

Determinación del índice de calidad del suelo, en dos municipios de la Provincia de  
García Rovira Santander, Colombia

Clara Marcela Becerra Sandoval

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniera Forestal

Director

Ricardo Andrés Oviedo Celis

MSc. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Codirector

Doris Duarte Hernández

MSc. Manejo Uso y Conservación del Bosque

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia

Programa de Ingeniería Forestal

Bucaramanga

2022

### **Dedicatoria**

Primero dar gracias a Dios, a la Virgen del Rosario de Chiquinquirá y a la vida por permitirme dar cuenta que las mujeres que luchan incansablemente pueden cumplir sus ideales sin importar que tan dura sea la vida.

Dedico este trabajo a mis hijos Zoe Antonella Archila Becerra y Breyner Alexander Archila Becerra, quienes llegaron a mi vida en el trascurso de mi formación académica y hoy en día son mi motivo para lograr cada uno de mis objetivos propuestos, ellos me enseñaron el valor de la vida, a encontrarme como mujer y valorar cada paso que he realizado.

A mi esposo Fredy Alexander Archila Caballero por todo su apoyo, esfuerzo, amor y sobre todo por la confianza que depositó en mí, diciéndome desde el primer momento que a pesar de las dificultades se puede triunfar.

A mi familia y a todas las personas que me acompañaron en el proceso de campo hermanos, amigos, compañeros y docentes, quienes con su apoyo hicieron posible la realización de este trabajo.

**Clara Marcela Becerra Sandoval**

### **Agradecimientos**

A la Universidad Industrial de Santander, por permitirme ser parte de esta prestigiosa Sede educativa y poder formarme como profesional.

Al director, MSc. Ricardo Andrés Oviedo Celis y codirectora MSc. Doris Duarte Hernández por el apoyo y aporte de conocimiento científico en este proyecto.

A la comunidad rural de las veredas Guásimo y Pantano Grande, A mi familia, amigos y demás personas quienes, gracias a su colaboración de manera directa o indirecta, contribuyeron en la colección de información para el desarrollo del trabajo.

**Tabla de contenido**

	Pág.
Introducción .....	12
1. OBJETIVOS .....	14
1.1 General .....	14
1.2 Específicos .....	14
2. Antecedentes .....	15
3. Marco referencial .....	17
3.1 Marco Teórico.....	17
3.1.1 Recurso suelo .....	17
3.1.2 Calidad del suelo .....	17
3.1.3 Uso del suelo .....	19
3.2 Marco Conceptual .....	21
4. Metodología .....	23
4.1 Área de estudio.....	23
4.2 Monitoreo de campo .....	25
4.2.1 Relación de uso y manejo del suelo que tienen las poblaciones rurales. ....	25
4.2.2 Analisis de variables fisicoquímicas y biológicas del suelo .....	25
4.3 Procesamiento de datos .....	27
4.3.1 Relación de uso y manejo del suelo que tienen las poblaciones rurales. ....	27
4.3.2 Analisis de variables fisicoquímicas y biológicas del suelo .....	28

4.3.4 Determinación del indicador para comparar la calidad edáfica .....	29
5. Resultados .....	31
5.1 Relación de Uso y Manejo del Suelo .....	31
5.1.1 Aspectos Sociales.....	31
5.1.2 Aspecto Ambiental.....	32
5.1.4 Aspecto Económico .....	39
5.2 Analisis de variables fisicoquímicas y biológicas de suelo .....	40
5.3 Determinación del indicador para comparar la calidad edáfica .....	43
5.3.1 Obtención del conjunto mínimo de datos.....	43
6. Discusión.....	45
7. Conclusiones .....	49
8. Recomendaciones.....	50
Referencias bibliográficas .....	51
Apéndices .....	57

**Listas de Figuras**

	Pág.
Figura 1 <i>Ubicación área de estudio</i> .....	24
Figura 2 <i>Esquema muestreo de variables fisicoquímicas y biológicas del suelo</i> .....	25
Figura 3 <i>Estructura de la propiedad de la tierra en el área de estudio</i> .....	32
Figura 4 <i>Disposición final de las aguas domésticas</i> .....	33
Figura 5 <i>Presencia de área boscosa</i> .....	34
Figura 6 <i>Uso de agroquímicos</i> .....	34
Figura 7 <i>Distribución de la tenencia de la tierra</i> .....	35
Figura 8 <i>Manejo del suelo en las veredas objeto de estudio</i> .....	36
Figura 9 <i>Uso del suelo</i> .....	37
Figura 10 <i>Aspecto económico</i> .....	40
Figura 11 <i>Relación entre el contenido de CICE y el pH</i> .....	41
Figura 12 <i>Valor de densidad aparente</i> .....	42

**Lista de Tablas**

	Pág.
<b>Tabla 1</b> <i>Localización geográfica y características de los sitios de muestreo</i> .....	23
Tabla 2 <i>Variables fisicoquímicas y biológicas utilizadas en el presente estudio</i> .....	26
Tabla 3 <i>Clases de calidad de suelos</i> .....	31
Tabla 4 <i>Variables con diferencias significativas en las dos veredas</i> .....	41
Tabla 5 <i>Valores propios del análisis de componentes principales</i> .....	43
Tabla 6 <i>Peso de las variables de los dos primeros componentes principales</i> .....	44
Tabla 7 <i>Datos normalizados e índice de calidad del suelo</i> .....	45

**Lista de Apéndices**

	Pág.
Apéndice A <i>Resultados físicos, químicos y biológicos</i> .....	57
Apéndice B <i>Aplicación de encuestas a la comunidad</i> .....	58
Apéndice C <i>Uso del suelo en el área de estudio</i> .....	59
Apéndice D <i>Muestreo de suelo</i> .....	61
Apéndice E <i>Muestreo de la Biota Edáfica</i> .....	63
Apéndice F <i>Otros aspectos generales</i> .....	64
Apéndice G <i>Algunos aspectos relacionados en el instrumento de campo</i> .....	65

**Lista de ecuaciones**

	Pág.
Ecuación 1 <i>Calculo tamaño de la muestra</i> .....	27
Ecuación 2 <i>Calculo del criterio de referencia para las variables del CMD</i> .....	29
Ecuación 3 <i>Calculo para normalizar los datos</i> .....	30
Ecuación 4 <i>Calculo de la calidad del suelo</i> .....	30

## Resumen

**Título:** Determinación del índice de calidad del suelo, en dos municipios de la Provincia de García Rovira Santander, Colombia.\*

**Autor:** Clara Marcela Becerra Sandoval\*\*

**Palabras Clave:** Uso del Suelo, Indicadores, desarrollo rural, gestión sostenible, seguridad alimentaria.

**Descripción:** El contexto actual de la relación de uso y aprovechamiento del suelo como recurso natural por parte de las comunidades urbanas y rurales muestra una tendencia a la no sostenibilidad. De esta manera, se plantea determinar un índice de calidad del suelo ICS, en dos municipios de la Provincia de García Rovira Santander, Colombia.

El proceso metodológico, en primer lugar, buscó analizar la relación de la comunidad con el recurso mediante un instrumento de campo estructurado en aspectos socioeconómicos, ambientales y técnicos. El muestro de suelo, se llevó a cabo en tres usos establecidos (agrícola, forestal y pecuario) donde se realizó la toma de seis muestras, distribuidas en: 3 para cada vereda, una por cada uso del suelo. Se utilizó un proceso descriptivo para el análisis de la información obtenida en el instrumento de campo. Los resultados de las variables fisicoquímicas y biológicas, fueron sometidos a un Análisis de Varianza (ANOVA), para establecer diferencias significativas entre municipios. Para determinar el ICS se realizó un análisis de componentes principales con el fin de conocer el conjunto mínimo de datos.

Finalmente, el análisis de la relación comunidad-suelo indica que en la zona las personas que hacen uso del recurso, realizan diferentes prácticas agropecuarias sin tener en cuenta la sostenibilidad. Las propiedades que presentaron diferencias significativas fueron: Ca, Densidad aparente, Capacidad de intercambio catiónico (CICE) y Sodio intercambiable. El conjunto mínimo de datos lo conformaron 12 variables: pH, Al, Ca, Mg, K, CICE, Mn, Da, MO, Acidez intercambiable (Ai), Fe y Biota edáfica (Be). Por último, el valor del Índice de calidad de suelos para los dos municipios de estudio está en la categoría de moderada calidad, lo que refleja el uso de prácticas inadecuadas y la alteración en las propiedades edáficas

---

\* Trabajo de Grado

\*\*Instituto de proyección regional y educación a distancia IPRED. Programa Ingeniería forestal. Director: Ricardo Andrés Oviedo Celis. MSc. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Codirector: Doris Duarte Hernández. MSc. Manejo Uso y Conservación del Bosque

### Abstract

**Title:** Determination of the soil quality index in two municipalities of the Province of García Rovira Santander, Colombia\*

**Author:** Clara Marcela Becerra Sandoval\*\*

**Key words:** Soil use, indicators, rural development, sustainable management, food security.

**Description:** The current context of the relationship between the use and exploitation of soil as a natural resource by urban and rural communities shows a tendency towards non-sustainability. Thus, it is proposed to determine a soil quality index (SQI) in two municipalities of the Province of García Rovira Santander, Colombia.

The methodological process, in the first place, sought to analyze the relationship of the community with the resource by means of a field instrument structured in socioeconomic, environmental and technical aspects. The soil sampling was carried out in three established uses (agriculture, forestry and livestock) where six samples were taken, distributed as follows: 3 for each sidewalk, one for each land use. A descriptive process was used for the analysis of the information obtained in the field instrument. The results of the physicochemical and biological variables were subjected to an Analysis of Variance (ANOVA) to establish significant differences between municipalities. To determine the SQI, a principal component analysis was performed to determine the minimum data set.

Finally, the analysis of the community-soil relationship indicates that in the area the people who use the resource carry out different agricultural practices without taking sustainability into account. The properties that showed significant differences were: Ca, bulk density, cation exchange capacity (CEC) and exchangeable sodium. The minimum data set consisted of 12 variables: pH, Al, Ca, Mg, K, CICE, Mn, Da, MO, exchangeable acidity (Ai), Fe and edaphic biota (Be). Finally, the value of the Soil Quality Index for the two study municipalities is in the moderate quality category, which reflects the use of inadequate practices and the alteration of edaphic properties.

---

\* Degree Work

\*\*Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia. Programa Ingeniería Forestal. Director: Ricardo Andrés Oviedo Celis. MSc. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Codirector: Doris Duarte Hernández. MSc. Manejo Uso y Conservación del Bosque

## Introducción

El suelo es un sistema natural, fundamental para el desarrollo, crecimiento y soporte de las plantas e indispensable para garantizar la producción de alimentos y la seguridad alimentaria de las futuras generaciones (Burbano, 2017). Su limitado conocimiento y manejo inadecuado, según, Bautista et al. (2004) han creado vacíos sobre la valoración social, económica y ambiental, que afectan la posibilidad de que la calidad del suelo perdure en el tiempo. La sociedad rural considera que es la base que soporta las raíces del cultivo; pero no, un recurso estratégico con procesos y requerimientos naturales que le permiten mantener la productividad (Burbano, 2010).

La necesidad de aumentar la producción a través del tiempo, ha fomentado modelos de producción rural donde predomina la estructura económica del minifundio (Volverás et al., 20016), que ha provocado estados de degradación, desertificación y erosión, consideradas por García et al. (2012) como las expresiones de pérdida total máxima de este medio estratégico físico natural que da soporte a la vida.

Cantú et al. (2007) mencionan que en los últimos años la agricultura convencional se ha convertido en uno de los problemas asociados al manejo inadecuado y a la baja fertilidad de suelos, debido a que involucra prácticas de arado permanente, quemas y uso excesivo de fertilizantes y otros productos químicos. Cuando baja la fertilidad del suelo, se genera ampliación de la frontera agrícola por reducción de la capacidad del área inicial cultivada; esto reduce áreas naturales importantes para la diversidad y la conservación (Estupiñán et al., 2009).

Igualmente, el uso pecuario del suelo en Colombia se ha desarrollado de manera extensiva, lo cual implica destinar grandes terrenos para el pastoreo (Daza et al., 2014). En este sentido, es

característico una baja o nula diversidad vegetal, por inadecuadas prácticas de manejo como el sobrepastoreo, compactación y la mecanización (Medina, 2016; Estupiñán et al., 2009).

Estas formas de uso incrementan la vulnerabilidad a desastres naturales, inestabilidad de actividades económicas productivas rurales, inseguridad alimentaria, pobreza, erosión y degradación (Daza et al., 2014; Medina, 2016). En los últimos años, el punto de referencia para establecer medidas de estado del patrimonio ambiental no son las mejores para quienes hacen uso del recurso (Volverás et al., 2007). El panorama en Santander indica que el 43,2% de su área es sobreutilizada en actividades agropecuarias, condición que lo ubica como el cuarto departamento a nivel nacional con este conflicto (Ariza, 2019). Según la zonificación de degradación de suelos, Santander está clasificado en niveles de severo a muy severo (Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC], 2015).

Por lo anterior, el presente estudio busca aportar insumos teóricos y prácticos para conocer los suelos de algunas veredas en los municipios de Málaga y Molagavita en la Provincia de García Rovira, con el fin de identificar las formas actuales de uso y limitantes, mediante la estimación de un índice de calidad edáfico, que permita establecer un escenario de gestión integral del suelo. Para esto, inicialmente se presenta un análisis de la relación de uso que tienen los habitantes sobre el suelo. Luego, se analizan las variables fisicoquímicas y biológicas más representativas y por último se determina la calidad del suelo mediante un índice construido a partir de indicadores físicos, químicos y biológicos.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 General**

Determinar el índice de calidad del suelo, teniendo en cuenta el uso actual del recurso que hacen las comunidades de las veredas Guásimo de Málaga y Pantano Grande de Molagavita Santander.

### **1.2 Específicos**

Definir la relación de uso y manejo del suelo que tienen las poblaciones rurales en los sectores seleccionados.

Analizar variables fisicoquímicas y biológicas del suelo, según las tipologías de uso y manejo del recurso.

Comparar el nivel de calidad edáfica rural en las localidades objeto de estudio.

## 2. Antecedentes

Los municipios donde se llevó a cabo el estudio en la provincia de García Rovira, Santander no reportan estudios relacionados con la determinación de índices de calidad edáfica, condición, que limita las acciones para un uso y aprovechamiento sostenible del suelo. Bajo este contexto, el abordaje histórico del marco referencial se construye con experiencias territoriales en la región andina.

Anaya y Jaramillo (2017), evaluaron algunas propiedades edáficas y foliares en seis municipios del departamento de Antioquia. En cada núcleo municipal seleccionaron 10 unidades productivas que representaban la variabilidad en los factores de la calidad de la taza del café. Las unidades de muestreo se localizan entre los 1206 y 2280 m s. n. m., condiciones ambientales similares a los municipios de estudio. Utilizaron métodos estadísticos multivariados para la evaluación de los indicadores, y la metodología “más es mejor” y “menos es mejor”. Establecieron dos indicadores mediante análisis de conjuntos mínimos de datos con base en análisis de componentes principales (MDS1) y de factor (MDS2).

En ecosistemas de páramo de la región del Sumapaz, Daza et al. (2014) estudiaron algunas propiedades físicas en relación con la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en estos suelos. Para esto, seleccionaron usos del suelo dominantes en la región como agricultura, ganadería, lote en descanso con vegetación de barbecho y uso con cobertura natural nativa. Las propiedades físicas estudiadas fueron: textura, pH, densidad aparente, entre otras. Estos suelos presentaron texturas francas y arcillosas para el uso ganadero, francas y franco arcillosas para el agrícola y franca limosa y franca para cobertura boscosa. El pH osciló entre 4,5 y 5,0 clasificado como suelos fuertemente

ácidos. Así mismo, el uso del suelo agrícola fue el que mostro menores valores de porcentaje de carbono orgánico, porosidad, retención de humedad, y altos valores de densidad aparente.

En Nariño, Volverás et al. (2016) determinaron algunos indicadores de calidad física del suelo de la zona dominada por cultivos de cereales. Aplicaron un instrumento de campo tipo encuesta que les permitió conocer el tipo de uso del suelo en años anteriores. Encontraron que el tiempo de uso para los suelos pecuarios es de 25 años de productividad y los agrícolas entre 25 y 70 años. Lo anterior les permitió determinar que predominó la agricultura con el uso de labranza intensiva lo cual genera cambios negativos en los suelos. Así mismo, relacionaron las variables de densidad aparente y densidad real en el suelo agrícola las cuales mostraron diferencias significativas, lo que infiere que, en pocos años de uso, el suelo pierde volumen estructural.

Ariza (2019) determinó la calidad de los suelos en un sistema productivo orgánico en La Estancia, Madrid, Cundinamarca, mediante propiedades químicas, físicas y biológicas. Caracterizó cuatro lotes según el uso y manejo del agroecosistema: un lote sin uso y tres de diferentes edades de manejo (20 años, 10 años y 3 años). Como resultado, obtuvo una alta calidad de suelos para todos los lotes estudiados; los indicadores físicos presentaron mayor impacto, debido al laboreo permanente; biológicamente la actividad de lombrices y de invertebrados, se manifestó con mayores abundancias en los lotes con menos años de manejo.

Finalmente, Lozano (2019) estudió las condiciones de sostenibilidad en 10 unidades productivas de café (*Coffea arabica*) en el municipio de San Andrés, Santander, Colombia cuyas condiciones de oferta ambiental presentan algunas similitudes con los municipios de Málaga y Molagavita. Los resultados indican que los suelos bajo modelos agroforestales presentan pH de tendencia baja, esta propiedad fue la que menor variación tuvo según los análisis estadísticos realizados, caso contrario se presentó con las variables de Materia orgánica, Fosforo (P) y Potasio

(K), donde la variación fue mayor como respuesta del manejo que recibe el suelo y la cobertura productiva por parte de los propietarios.

### **3. Marco referencial**

#### **3.1 Marco Teórico**

##### ***3.1.1 Recurso suelo***

El suelo es considerado un recurso estratégico para la vida en el planeta, esta condición, responde a su carácter como medio físico natural que permite el desarrollo de múltiples actividades de tipo productivo, económico y social. En este sentido, Astier et al. (2002) lo definen como un elemento esencial del paisaje y del escenario físico natural para el desarrollo de actividades de supervivencia, que permiten la interacción social con el medio biofísico natural. Por tal razón, el sostenimiento del recurso suelo es de gran importancia, debido a que la formación y origen dependen de largos procesos como: el tiempo, el relieve, material parental, biota y el clima (Jaramillo, 2002). Los anteriores factores están ligados a escalas temporales amplias que no tienen coherencia con el manejo de las tierras, en este sentido, Bautista et al. (2004) señalan que es un recurso no renovable en términos de la existencia humana.

##### ***3.1.2 Calidad del suelo***

Para Doran y Parkin (1994) la calidad del suelo es “la capacidad que tiene el suelo para funcionar en los límites impuestos por el ecosistema, para preservar la productividad biológica y calidad ambiental y promover la salud vegetal, animal y humana”. Así mismo, Estrada et al. (2017) sugieren que el uso y las prácticas de manejo son necesarias en el tiempo para conservar e implementar prácticas sustentables de manejo.

La calidad del suelo es dinámica y puede cambiar a corto plazo. En un futuro para producir cultivos sanos y abundantes es necesario sostener una cobertura natural en condiciones cercanas a las óptimas (Astier et al., 2002). Para Díaz (2011) la evaluación de la calidad del suelo permite entender y controlar el deterioro en dicha funcionalidad ecosistémica, como sucede con la pérdida de suelos por erosión, reducción de la infiltración, compactación de la capa superficial, pérdida de nutrientes, efecto del uso excesivo agroquímicos y pesticidas, cambios en el pH, pérdida de materia orgánica y reducción de la actividad biológica. Según García et al. (2012) hay una cantidad de herramientas útiles para la evaluación de la calidad del suelo denominados indicadores que permiten la evaluación de los cambios que ocurren a lo largo del tiempo en un sistema a través de un grupo mínimo de variables. Los indicadores que pueden ser usados para determinar la calidad pueden variar. Se deben agrupar atributos que tengan relación directa con el sistema a evaluar para este fin se utilizan indicadores físicos, químicos, biológicos y cualitativos (Estrada et al., 2017; Muñoz et al., 2016; Nortcliff et al., 2002; USDA, 1999). Existe una amplia variedad de indicadores estos cambian en relación con las características determinadas del lugar en estudio.

**3.1.2.1 Indicadores físicos.** Son aquellas propiedades del suelo, cuya expresión indica o explica el comportamiento mecánico del recurso, están asociadas en mayor proporción a la fracción sólida del suelo. Según Bautista et al. (2004) las propiedades físicas pueden ser utilizadas como indicadores de la calidad del suelo ya que reflejan la manera en que el recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas mediante la relación entre el tamaño, la disposición y el arreglo de las partículas.

**3.1.2.2 Indicadores químicos.** La química del suelo está relacionada con el suministro de nutrientes a las raíces de las plantas. Muestran las condiciones que afectan las relaciones suelo-

planta como: la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo y nutrientes necesarios para las plantas, entre otros (García et al., 2012).

Para Calderón et al. (2018) las propiedades químicas del suelo se relacionan con la calidad y disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas, entre ellas: pH, materia orgánica, conductividad eléctrica y fósforo (P), nitrógeno (N) y, potasio (K) extractables.

**3.1.2.3 Indicadores biológicos.** Los microorganismos se consideran como indicadores de la calidad del suelo porque son el grupo que hace parte del equilibrio entre las fases del suelo (sólida, líquida y gaseosa). García et al. (2012) mencionan que la biología del suelo es una ciencia amplia, compleja y dinámica que contribuye en el estudio de los organismos que de una u otra forma actúan sobre el suelo de tal manera que la composición, la estructura y su funcionamiento lleguen a niveles no deseados.

Autores afirman que los indicadores biológicos integran una gran cantidad de factores que afectan la calidad edáfica por la diversidad de funciones (Calderón et al., 2018, Paz-Ferreiro & Fu, 2016). Estas son sensibles al cambio ambiental producidas por las actividades antrópicas, asociadas con el tipo de labranza, aplicación de fertilizantes y plaguicidas, tala y otras actividades que perturban el sistema (Raiesi & Kabiri 2016). Es importante realizar la evaluación de las propiedades biológicas del suelo, porque se relacionan directamente con la descomposición de la materia orgánica derivada de los residuos vegetales y animales, ya que el producto de la actividad micro y macro biológica influye de forma directa en las propiedades físicas y químicas de los suelos (Astier et al., 2002).

### ***3.1.3 Uso del suelo***

Corresponde, a todas aquellas actividades antrópicas y productivas que implican la manipulación, adecuación, manejo y gestión del suelo en una región específica. Para Díaz (2011)

se trata de un tema ambiental que reviste un alto nivel de gravedad, ya que, genera modificaciones producidas por la intensidad y frecuencia de la actividad antrópica, en algunos casos esto provoca aumento de la erosión, pérdida de fertilidad de los suelos, deforestación, subutilización de tierras agrícolas y ganaderas; y a su vez aumenta el riesgo de la subsistencia de las poblaciones que de forma constante hacen uso del recurso (Estupiñan et al., 2009; Martínez y Viscaya, 2016).

Arrigo et al. (2012) manifiestan que los suelos de uso forestal son cuerpos naturales, donde la morfología y dinámica del perfil tienen características originales o cercanas a ellas, gracias a la presencia de un horizonte orgánico, formado por desechos compuestos por hojas, ramas, frutos y corteza, que al descomponerse liberan elementos que son reutilizados por los organismos vivos.

En la actualidad con el aumento de la población, la presión por cumplir la seguridad alimentaria y la ocupación de tierras ha generado que las actividades agropecuarias tengan cambios en las prácticas de manejo (Rodríguez et al., 2009). Estos cambios han transformado la agricultura tradicional a la intensiva, debido al aumento de fertilizantes químicos y una disminución de los periodos de descanso del suelo (Martínez y Viscaya, 2016). Muñoz et al. (2018) refieren que estos cambios han impactado negativamente en términos socio-económicos a nivel local, regional y global. Díaz (2011) indica que los efectos producidos por el uso extensivo de las actividades agropecuarias repercuten negativamente en la pérdida de fertilidad, procesos de degradación y desertificación, lo cual influye en la disminución y el deterioro de los recursos naturales, el aumento de la erosión y el cambio de las condiciones climáticas. Para Herrera et al. (2017) los usos de prácticas inadecuadas en suelos agrícolas bajo modelos de manejo convencionales muestran problemas de degradación química, menor capacidad de intercambio catiónico y menor contenido de bases.

Igualmente, Vallejo (2013) indica que la ganadería en Colombia debido al sobrepastoreo y en general al manejo inadecuado de pasturas, ha aumentado la degradación de las propiedades físicas del suelo, disminución de la calidad y baja disponibilidad de nutrientes en el mismo. Tendencia donde las figuras de tenencia denominadas terratenientes realizan intervención de tierras, de tal manera, que repercute negativamente en el deterioro ambiental de los ecosistemas naturales (Martínez y Viscaya, 2016).

Astier et al. (2002) señalan el manejo y el uso alternativo de cultivos agroecológicos esenciales en la mejora de atributos ambientales de sustentabilidad, productividad, resiliencia y estabilidad. Así mismo, es una estrategia esencial para analizar la calidad de los suelos mediante la aplicación de prácticas sustentables y amigables con el ecosistema (Farfán e hincapié, 2011).

### **3.2 Marco Conceptual**

**Cobertura vegetal:** Para Rodríguez et al. (2009) es la unidad delimitable que hace referencia a las diferentes clases de vegetación existente en un área determinada, surgen a partir de un análisis de respuestas determinadas por condiciones abióticas, características fisionómicas y ambientales, diferenciables con respecto a la unidad próxima.

**Conservación:** Es la distribución adecuada de los recursos naturales, humano como también cultural en una población, con el fin de asegurar un desarrollo sostenible (Estrada et al., 2017).

**Fertilidad del suelo:** Es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y que consiste en la capacidad de suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas (García et al., 2012).

**Indicador:** Herramienta de medición y análisis que permite simplificar, cuantificar y comunicar fenómenos complejos, facilita el seguimiento a los efectos del manejo sobre el

funcionamiento del suelo en un periodo dado. Según, Cantú et al. (2007) deben ser fáciles de medir en condiciones de campo, fáciles de entender, basados en información objetiva y fáciles de reconocer.

**Sostenibilidad:** Capacidad que muestran los agroecosistemas para continuar la productividad en el tiempo, sin comprometer la estabilidad económica de quienes lo implementan como mecanismos de sustento (Farfán e Hincapié, 2011).

**Suelo:** Vallejo (2013) refiere que es un cuerpo natural dinámico, considerado también como un sistema vivo, compuesto por características físicas, químicas y biológicas, desarrolladas por diversos factores de formación a través del tiempo, que en dinámica generan los procesos vitales para el crecimiento de las plantas. Es una entidad geológica formada por la alteración de distintos materiales litológicos hallados en la superficie, originada por el clima y organismos.

**Suelos agrícolas:** Son aquellos terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales en áreas con cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y zonas agrícolas heterogéneas (Cantú et al., 2007).

**Suelo fértil:** Aquel que tiene los nutrientes suficientes para asegurar un desarrollo y crecimiento de la planta (García et al., 2012).

**Uso actual del suelo:** Son todos aquellos tipos de cobertura desarrollados por el hombre, como la agricultura, la ganadería, la forestería, el uso urbano o el recreativo que se han dado a través de los siglos hasta el presente y que han sido producto de las relaciones históricas del hombre con su medio (Daza et al., 2014).

#### 4. Metodología

Para el desarrollo del proyecto se llevaron a cabo varias etapas: la inicial buscó generar información base sobre las condiciones de manejo del suelo que hacen las poblaciones rurales en los tres usos establecidos. La segunda etapa consistió en seleccionar los sitios de muestreo de acuerdo con el uso del suelo, aspecto que definió los sitios donde se realizó la recolección de la información. Luego, se recolectaron las muestras de suelo para analizar las variables fisicoquímicas y biológicas. Por último, se comparó el nivel de calidad edáfica rural en las localidades objeto de estudio. Como producto límite, se defiende la generación del índice de calidad edáfica en un contexto de alcance exploratorio, por ser el primer estudio de este tipo para las dos localidades.

##### 4.1 Área de estudio

El área objeto de estudio se encuentra ubicada en las veredas Guásimo y Pantano Grande de los municipios de Málaga y Molagavita Santander (Figura 1). Estos municipios registran una altitud promedio de 2237 y 2680 m s. n. m., temperatura promedio anual de 19 °C y 17°C, precipitación media anual de 1641 y 1.829 mm respectivamente.

El trabajo tuvo como límite geográfico, seis unidades de producción rural familiar donde se llevaron a cabo los muestreos de suelo en los tres usos establecidos (agrícola, pecuario y forestal, con dos muestras por uso y una por cada municipio (Tabla 1).

**Tabla 1**

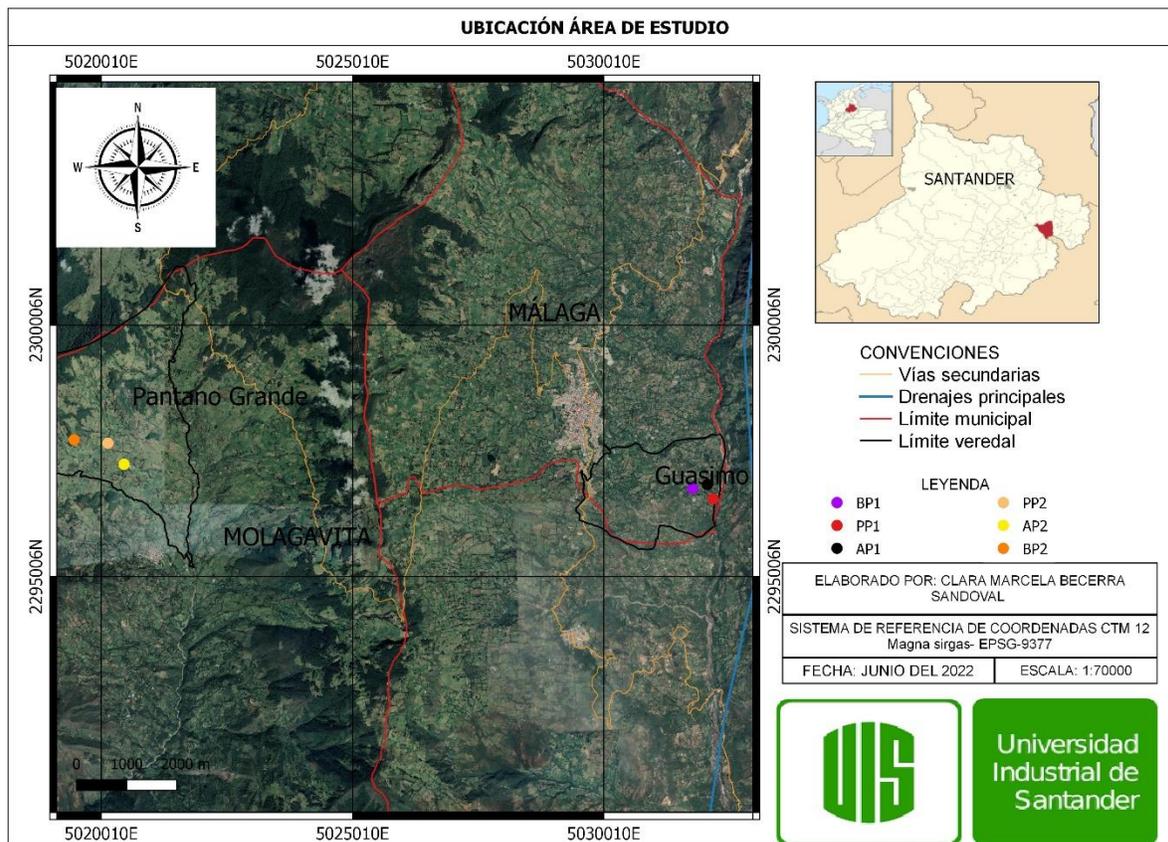
*Localización geográfica y características de los sitios de muestreo*

Cobertura	Muestra	Localización geográfica		Altitud
		N	O	
Agrícola	AP1	6°41'11,75"	72°42'33,76"	1600

Agrícola	AP2	6°41'24,01"	72°48'53,27"	2442
Pecuario	PP1	6°41'1,42"	72°42'31,27"	1547
Pecuario	PP2	6°41'37,67"	72°49'3,70"	2466
Forestal	BP1	6°41'8,33"	72°42'44,52"	1547
Forestal	BP2	6°41'40,03"	72°49'25,66"	2664

**Figura 1**

*Ubicación área de estudio*



Nota: Ubicación área de estudio y sitios de muestreo de suelo. Elaboración en software Qgis versión

3. 10.11.

## **4.2 Monitoreo de campo**

### ***4.2.1 Relación de uso y manejo del suelo que tienen las poblaciones rurales.***

Para su desarrollo, se aplicó un instrumento de campo cuya estructura integra los principales aspectos de manejo y conservación de suelos definidos por el Instituto (Geográfico Agustín Codazzi en [IGAC], 2014). Así mismo, el instrumento de recolección estuvo conformado por preguntas de aspectos sociales y económicos referente a los planteados por Quiroga, (2009), que aportaron datos sobre el panorama de sostenibilidad edáfico en la región.

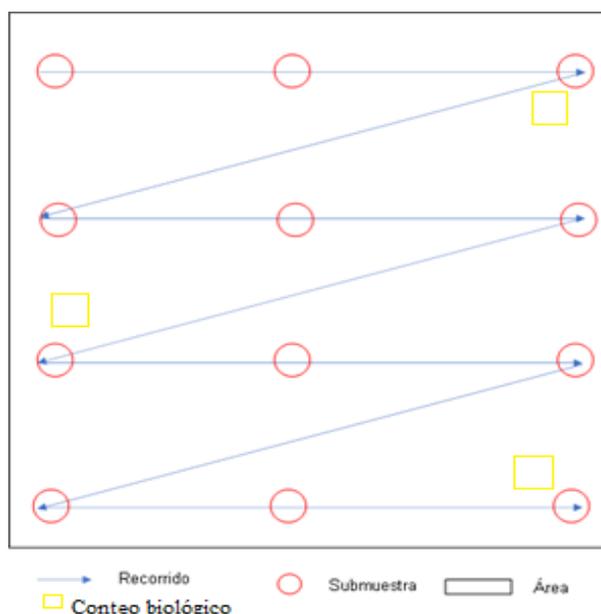
### ***4.2.2 Análisis de variables fisicoquímicas y biológicas del suelo***

**4.2.2.1 Muestreo de suelo.** La toma de muestras fisicoquímicas en campo se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por el IGAC (2017). Las muestras de suelo fueron tomadas al azar y el tipo de muestreo fue en forma de zig-zag (Figura 2) a una profundidad de 30 cm. Para cada uso del suelo se delimitó un área igual a 1 ha, luego se realizó la toma de 12 submuestras simples que posteriormente fueron mezcladas para conformar una muestra compuesta de 1 kg.

Respecto de los indicadores que miden la actividad biológica en el suelo, se realizó el conteo de biota edáfica, según la metodología descrita en USDA, (1999), la cual indica que es necesario cavar un hoyo de 1ft<sup>2</sup> a una profundidad de 12 in y retirar los bloques de suelo del área excavada para realizar la extracción, clasificación y conteo de biota para cada categoría.

## **Figura 2**

*Esquema muestreo de variables fisicoquímicas y biológicas del suelo*



*Nota:* Sistema de muestreo para suelo. Adaptado de (IGAC, 2017).

Las variables físicas y químicas del suelo empleadas en el estudio, fueron seleccionadas de la propuesta planteada por García et al. (2012) y Estrada et al. (2017), en estudios relacionados con indicadores de suelo para prevenir su degradación y evaluación de fertilidad, respectivamente (Tabla 2).

**Tabla 2**

*Variables fisicoquímicas y biológicas utilizadas en el presente estudio*

<b>Variables físicas</b>	<b>Variables químicas</b>	<b>Variables biológicas</b>
Densidad aparente (Da)	pH	Materia orgánica(%) (MO)
Textura	Conductividad eléctrica (CE) (mS/cm)	Biota edáfica (Be)
	Fósforo disponible (P) (mg/kg)	
	Azufre disponible (S) (mg/kg)	
	Boro disponible (B) (mg/kg)	
	Acidez intercambiable (Ai) (meq/100 g)	
	Aluminio intercambiable (Al) (meq/100 g)	

---

Calcio intercambiable (Ca) (meq/100 g)
Magnesio intercambiable (Mg) (meq/100 g)
Potasio intercambiable (K) (meq/100 g)
Sodio intercambiable (Na)(meq/100 g)
Capacidad de intercambio catiónico (CICE) (meq/100 g)
Hierro intercambiable (Fe)(mg/kg)
Manganeso intercambiable (Mn) (mg/kg)
Zinc intercambiable (Zn) (mg/kg)
Cobre intercambiable (Cu) (mg/kg)

---

### 4.3 Procesamiento de datos

#### 4.3.1 Relación de uso y manejo del suelo que tienen las poblaciones rurales.

El marco muestral, se identificó con los registros de número de familias suministrado por las oficinas de desarrollo social y económico de las alcaldías de Málaga y Molagavita. Posteriormente, se aplicó la Ecuación 1, para determinar el tamaño de la muestra en las dos localidades a quienes se aplicó el instrumento de campo, mediante la ecuación planteada por Sampieri, (2014) para poblaciones finitas como se relaciona a continuación.

#### Ecuación 1

*Calculo tamaño de la muestra*

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{i^2(N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

n: tamaño de muestra, N: tamaño de la población, Z: para 95% =1.96, p: probabilidad de éxito 95% = 0,95, q: 1 – p = 0,05, í: error 5 % = 0.05

Según la información recolectada en las oficinas de desarrollo social y económico de las alcaldías de Málaga y Molagavita se verificó que para el año 2021 se registraron 86 familias en la vereda Guásimo y 72 en Pantano Grande. Así mismo, según los criterios para calcular el tamaño de la muestra presente en la Ecuación 1 el instrumento de campo se aplicó a 40 familias en el Guásimo y 36 en Pantano Grande.

La información generada en el instrumento de campo se tabuló y analizó en el software Microsoft Excel con el propósito de conocer el comportamiento de la población rural en relación con el uso y manejo del suelo y de acuerdo con los aspectos sociales, técnicos, ambientales y económicos del área de estudio.

#### ***4.3.2 Análisis de variables fisicoquímicas y biológicas del suelo***

**4.3.2.1 Caracterización de los sitios de muestreo de suelos.** Las áreas de muestreo fueron seleccionadas según la información recolectada en el instrumento de campo, lo que permitió, identificar el interés del propietario del predio en la importancia de conocer el estado de los suelos de su unidad productiva y a su vez se tuvieron en cuenta aspectos como la homogeneidad en pendiente, uso, área, cobertura y manejo. Estos criterios según el IGAC (2017) son importantes para el tratamiento, procesamiento y análisis de datos, de tal forma que la comparación entre unidades que conforman cada parámetro de segmentación, no se vea afectada por la variabilidad espacial de las áreas.

**4.3.2.2 Unidad de muestreo.** Se definieron como unidad de muestreo, cada una de las muestras de suelo extraídas en los tres usos del suelo (agrícola, pecuaria y forestal) que fueron tomadas igualmente como parámetros de segmentación para los posteriores análisis estadísticos. El total de muestras a extraer para el estudio es de 6, distribuidas en: 3 para en la vereda Guásimo

una por cada uso del suelo, y 3 en la vereda Pantano Grande de Molagavita para la misma condición.

**4.3.2.3 Análisis estadístico.** Para la descripción de las propiedades físicas, químicas y biológicas se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con el fin de establecer si existen diferencias entre las variables estudiadas en cada uno de los municipios.

**4.3.2.4 Análisis de laboratorio.** Para el análisis de las variables físicas y químicas de los suelos mencionadas en la Tabla 2, se enviaron las muestras selladas y etiquetadas al laboratorio de reconversión ganadera y agroforestal de la Universidad Industrial de Santander Sede Málaga, donde fueron analizadas bajo los estándares y procedimientos internos del laboratorio. Finalmente, se recibió el informe con los resultados de cada una de las muestras recolectadas.

#### ***4.3.4 Determinación del indicador para comparar la calidad edáfica***

Para la comparación de la calidad del suelo de las dos localidades se construyó un índice de calidad edáfico mediante un análisis de componentes principales (ACP) en el software R-studio. esta técnica permite generar la descripción de un conjunto de datos, y posterior disminuir la dimensionalidad de las mismas sin que afecte la interpretación del índice edáfico.

**4.3.4.1 Obtención del conjunto mínimo de datos:** Una vez elaborado el ACP, se construyó el conjunto mínimo de datos (CMD) a partir de las variables que tienen mayor peso y representan mejor los sitios de acuerdo con su calidad. Para esto, se tomó como referencia 1 (la máxima condición optima) dividida entre el número total de variables (17).

#### **Ecuación 2**

*Calculo del criterio de referencia para las variables del CMD*

$$\text{Criterio} = \frac{1}{17} = 0,06$$

Donde, 0,06 es el valor para tomar como base para la selección de variables y conformación del CMD, se tomaron como referencia los valores propios de cada variable al interior del componente principal (CP) respectivo. Este proceso, solo se aplicó en los CP que tuvieron valores propios mayores a 1. Una vez seleccionado el CMD, se procedió a normalizar los valores arrojados por el laboratorio, para esto se tomó el valor de cada variable del CMD; y se dividió entre el valor máximo. De esta forma se obtienen valores entre 0 y 1, sobre los cuales se establece la calidad del suelo de cada uno de los municipios.

Al obtener los valores normalizados, se sacó el promedio de estos, y con este valor promedio se aplicó siguiente fórmula:

### **Ecuación 3**

*Calculo para normalizar los datos*

$$Vn = \frac{I_m - I_{min}}{I_{max} - I_{min}}$$

Donde:  $I_m$  = promedio de los valores normales,  $I_{min}$  = valor mínimo de los normalizados,  $I_{max}$  = valor máximo de los normalizados. El valor  $Vn$ , se debe calcular para cada una de las variables que conforman el CMD. Finalmente, con estos valores se aplicó la siguiente fórmula para conocer la calidad de los suelos para las veredas de estudio. Los valores obtenidos del ICS se analizan según la tabla 3, propuesta por (Cantú et al., 2007).

### **Ecuación 4**

*Calculo de la calidad del suelo*

$$ICS = \frac{\Sigma(Vn1 + Vn2 + Vnn...)}{Vntotal}$$

Donde:  $Vn1$  = Valor normalizado variable 1,  $Vn2$  = Valor normalizado variable 2,  $Vnn$  = Valor normalizado según cantidad de variables,  $Vntotal$  = Número total de variables del CMD.

**Tabla 3***Clases de calidad de suelos*

Índice de calidad de suelos	Escala	Clases
Muy alta calidad	0,80 - 1,00	1
Alta calidad	0,60 - 0,79	2
Moderada calidad	0,40 - 0,59	3
Baja calidad	0,20 - 0,39	4
Muy baja calidad	0,00 - 0,19	5

Nota: Tomada de Cantú et al. (2007).

## 5. Resultados

### 5.1 Relación de Uso y Manejo del Suelo

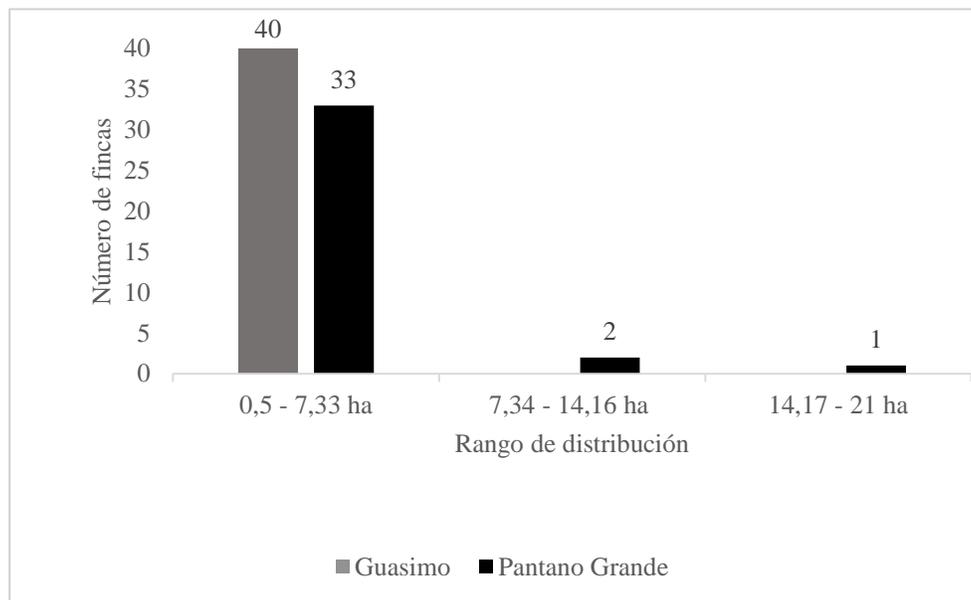
Respecto de la relación de uso del suelo que tienen las comunidades rurales de los dos municipios seleccionados, se presentaron como base los parámetros de segmentación de la sostenibilidad (social, ambiental y económico), de igual forma, se tuvo en cuenta el aspecto técnico como relevante para el producto.

#### 5.1.1 Aspectos Sociales

Para el área de estudio, la estructura de propiedad de la tierra según el tamaño de los predios por hectáreas, tiene una concentración mayor en fincas de menor extensión (Figura 3), es decir, la totalidad de las fincas de la vereda Guásimo muestran esta distribución, condición similar, se presenta en Pantano Grande donde los predios de menor extensión corresponden al 91,7%. Se observa una diferencia en el municipio de Molagavita con la presencia de únicamente tres predios, cuya extensión es mayor a 7,33 ha.

**Figura 3**

*Estructura de la propiedad de la tierra en el área de estudio*



Por otra parte, el núcleo familiar en las dos veredas está constituido principalmente por hogares de cuatro a seis personas, seguido de núcleos conformados por menos de tres personas, mientras que para la vereda Guásimo se observa un porcentaje bajo (5%) representado por dos fincas con familias de más de siete personas. Así mismo, el nivel de escolaridad en la vereda Pantano Grande indica que las personas que integran el núcleo familiar tienen algún nivel de estudios, y solo en una finca sus integrantes no estudiaron. Para la vereda Guásimo hay un número mayor de fincas (9) donde sus integrantes indican no tener estudios.

**5.1.2 Aspecto Ambiental**

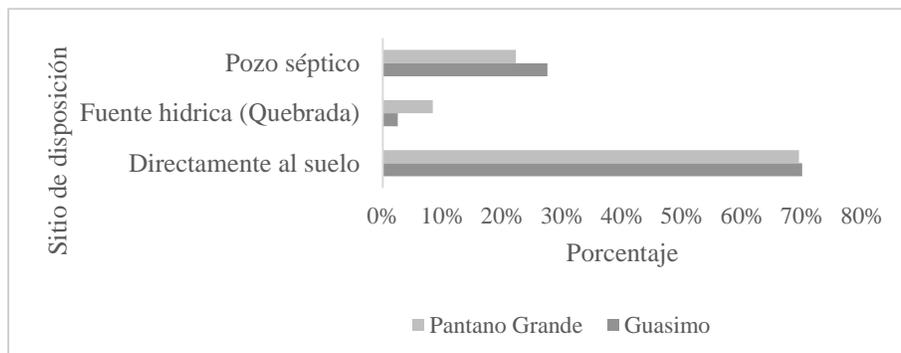
Referente al manejo del recurso hídrico en cada una de las veredas, el total de los encuestados desconoce que el agua de uso doméstico y agropecuario tenga algún tratamiento previo. Así mismo, el agua destinada para las actividades agropecuarias en la vereda Guásimo en

su mayoría proviene de un acueducto veredal y no es utilizada para el consumo humano. En Pantano Grande se capta de una fuente hídrica y es utilizada para el consumo doméstico.

En la Figura 4 se muestra la distribución de la disposición final de las aguas residuales domesticas en el área de estudio. El 70% de las fincas del Guásimo y el 69% de Pantano Grande vierten estas aguas directamente al suelo.

**Figura 4**

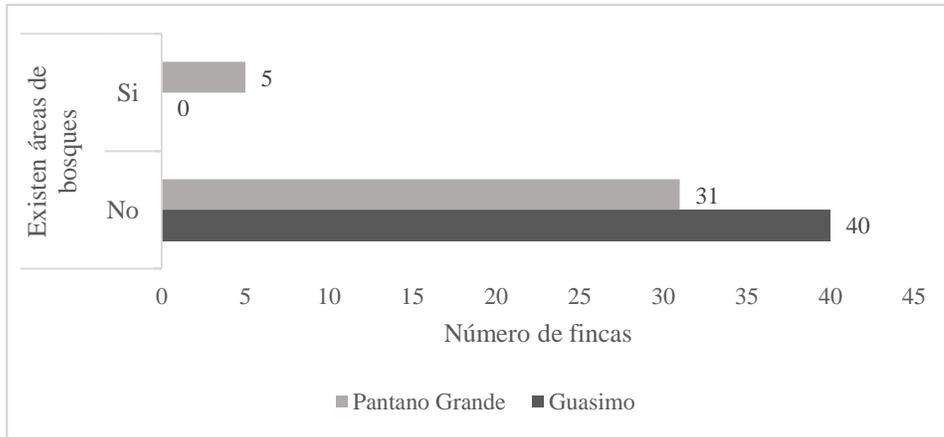
*Disposición final de las aguas domésticas*



En la Figura 5 se observa lo referente a los remanentes de bosques (aspecto forestal para el proyecto), únicamente fueron identificados en la vereda Pantano Grande, sin embargo, estos no cuentan con una extensión mayor a 5 ha localizadas en el 14% de las fincas. Caso contrario, se presenta en el Guásimo donde este tipo de cobertura no fue identificada en ninguno de los predios. Esta vereda no cuenta con una extensión de área boscosa específica, solo se presentan algunas franjas de vegetación asociadas a cuerpos de agua con baja composición florística. Los árboles presentes al interior de las fincas son utilizados en un 54% como postes que sirven como soporte para el alambre de púa en los límites de los lotes o fincas. Esta condición se presenta en las dos veredas estudiadas.

**Figura 5**

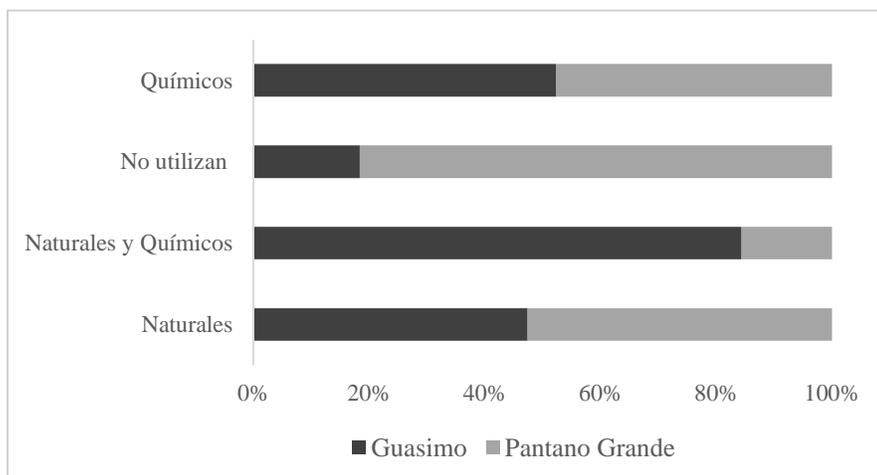
*Presencia de área boscosa*



El sistema utilizado para realizar control de plagas y enfermedades en los cultivos y el ganado (Figura 6), en la vereda Guásimo indica que en el 70% utilizan únicamente químicos, el 25% restante corresponde a métodos químicos y naturales y solo naturales. Finalmente, el 5% no utiliza ningún método. En Pantano Grande el 64% utilizan solo productos químicos, 14% corresponde a métodos químicos y naturales y solo naturales. El 22% no utilizan.

**Figura 6**

*Uso de agroquímicos*



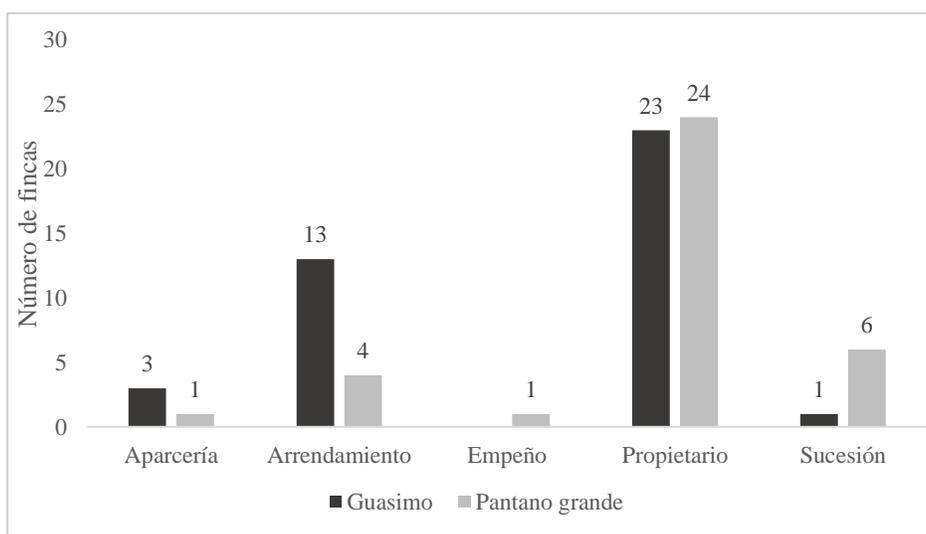
El tipo de fertilizante que utilizan para mejorar las carencias de los micronutrientes y aumentar la rentabilidad y productividad de los cultivos en las veredas, es de enfoque agroquímico y orgánico en la mayoría de los casos. En el Guásimo el 68% utilizan fertilizantes químicos y orgánicos, el 18% solo agroquímicos, el 13% orgánicos y el 3% no utiliza. Hay una diferencia en Pantano Grande ya que el 22% de los cultivadores no utilizan aportes nutricionales a los cultivos, el 44% utilizan fertilizantes químicos y orgánicos, el 8% solo agroquímicos y el 25% orgánicos.

### 5.1.3 Aspecto Técnico

El régimen de tenencia de la tierra (Figura 7) para el área objeto de estudio, en primer lugar, muestra una distribución similar para las dos veredas con un régimen de propiedad, condición que corresponde al 62% de la muestra analizada, donde el propietario tiene total posesión del predio. En segundo lugar, se encuentra el régimen de tenencia en arrendamiento, para el Guásimo con 13 fincas con esta distribución y Pantano Grande con 4 fincas. Los regímenes de tenencia por sucesión, aparcería y empeño representan el 16% del total de la muestra.

**Figura 7**

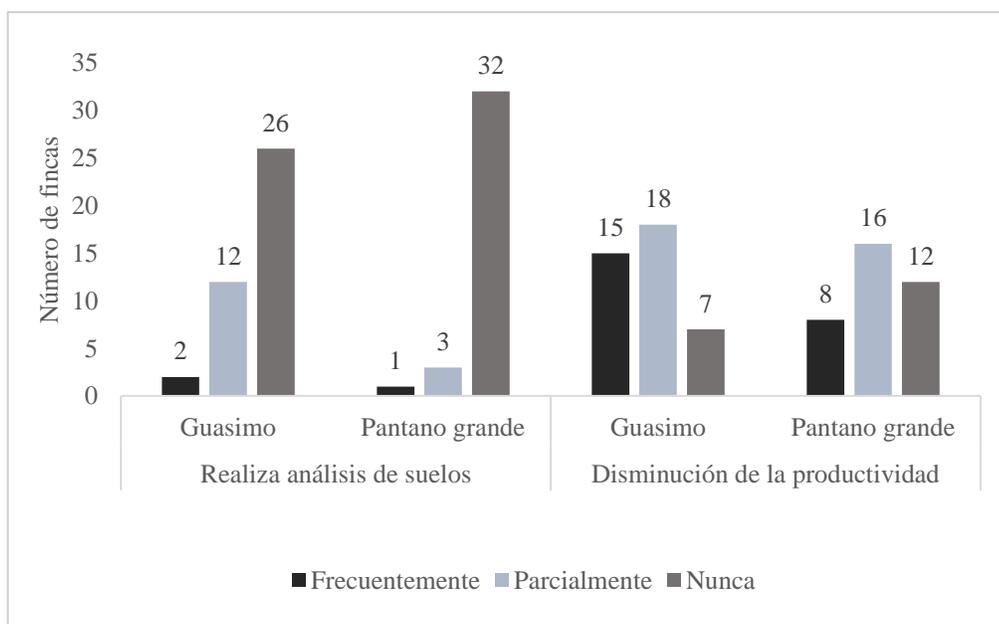
*Distribución de la tenencia de la tierra*



Para el 68% del total de los encuestados es muy importante conocer las características del recurso suelo antes de establecer una actividad agropecuaria, con el fin de tener mejores rendimientos en la productividad. En la Figura 8 se muestra la frecuencia con la cual los propietarios realizan un análisis de suelos a sus predios. El 89% de las fincas de la vereda Pantano Grande y el 65% del Guásimo refieren que nunca lo han realizado. En 12 fincas del Guásimo realizan de manera parcial mientras que en Pantano Grande solo en 3 fincas. Un porcentaje bajo (4%) del total de las fincas del área de estudio realizan frecuentemente análisis de suelos. A su vez, el 45% de los productores en el Guásimo y un 44% en Pantano Grande indican que la productividad de los suelos de sus fincas ha disminuido parcialmente. El 38% del Guásimo y el 22% en Pantano Grande presenta disminución de manera parcial y el 18% y 33% respectivamente indican no haber observado cambios en la productividad de sus fincas.

**Figura 8**

*Manejo del suelo en las veredas objeto de estudio*

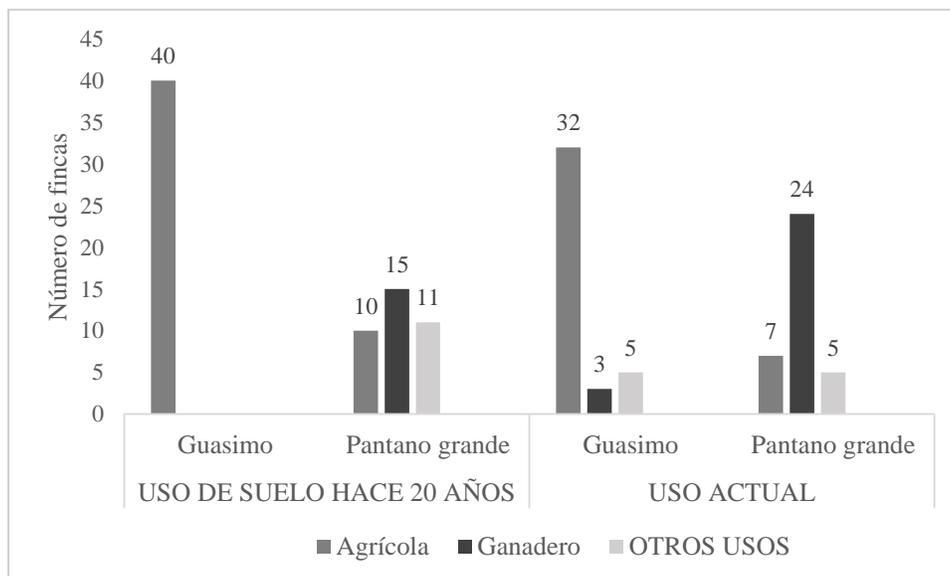


En relación al tipo de labranza que aplican se obtuvo que el 80% del total de los encuestados realizan la no mecanización del terreno para la siembra conocida como labranza mínima. Seguido de la labranza convencional o tradicional con siete fincas en el Guásimo y dos en Pantano Grande y en una finca del Guásimo donde solamente se aplica la siembra directa o labranza cero.

En las últimas dos décadas, el uso del suelo agrícola y pecuario han sido predominantes en área de estudio (Figura 9). La totalidad de los suelos de las fincas del Guásimo se usaban para fines agrícolas, y en la actualidad este uso disminuyó en un 20%. En Pantano Grande solo el 28% de los suelos eran de uso agrícola y han disminuido en los últimos 20 años en un 9%, a diferencia del uso ganadero que se presenta solo en esta vereda con el 42% de las fincas y actualmente tiene un aumento del 25%. Antiguamente en Pantano Grande, en 11 fincas los propietarios distribuían el uso del suelo de sus predios para fines agrícolas y pecuarios, actualmente esta condición se presenta en solo cinco en comparación con el Guásimo donde este uso está únicamente tres fincas.

**Figura 9**

*Uso del suelo*



Otro sistema de uso de la tierra importante que aporta al manejo sostenible de los cultivos y del suelo, es combinar temporal y espacialmente árboles con pasturas (silvopastoril) o con cultivos agrícolas (agroforestal). Del total de los encuestados, solo el 16% implementan estos sistemas en sus fincas. Cuatro fincas en la vereda Guásimo y una en Pantano Grande utilizan Sistemas Agroforestales con café (*Coffea arabica*), los árboles forestales más utilizados son: urapán (*Fraxinus uhdei*), carbonero (*Albizia carbonaria*), leucaena (*Leucaena leucocephala*), matarratón (*Gliricidia sepium*), yátago (*Trichanthera gigantea*), loqueto (*Escallonia pendula*) y chachafruto (*Erythrina edulis*). Únicamente en siete fincas de Pantano Grande se implementan los sistemas silvopastoriles con especies arbóreas como el pino patula (*Pinus patula*), eucalipto (*Eucalyptus sp*), aliso (*Alnus acuminata*), sietecueros (*Tibouchina lepidota*), guamo (*Inga edulis*) y botón de oro (*Tithonia diversifolia*).

En el área de estudio realizan prácticas de manejo como la rotación de cultivos, proceso útil para el manejo y conservación de suelos. En el Guásimo rotan los cultivos en 14 fincas frecuentemente, en 17 de manera parcial y en cinco no realizan esta práctica. En Pantano grande en cinco fincas se realiza frecuentemente, en nueve de manera parcial y en nueve no realizan rotación de cultivos. Después de recoger el cultivo, el suelo agrícola en 31 fincas del Guásimo y nueve de Pantano Grande queda descubierto, es decir, los residuos orgánicos, producto final del cultivo son retirados al finalizar la cosecha para utilizarlos como alimento para el ganado. En las fincas ganaderas en los dos sitios realizan manejo de las praderas mediante el sistema de rotación de pasturas, siendo una de las principales prácticas sostenibles que ayudan a incrementar y conservar la productividad del espacio ganadero.

La degradación de los suelos es un tema de interés en el área de estudio debido a causas naturales y antrópicas que han presentado afectaciones a la capacidad actual o futura del recurso

lo que limita el desempeño de sus funciones. En el Guásimo el 68% de los suelos no han sido afectados, el 32% han sido alterados por procesos de remoción en masa cuya área afectada es inferior a las cinco ha, y se presenta socavación en las fincas aledañas al río Servita. En Pantano Grande el 39% de los suelos no han sido afectados y el 61% de las fincas con un área aproximada de 12 ha, presentan estos problemas principalmente a causa de procesos de remoción en masa.

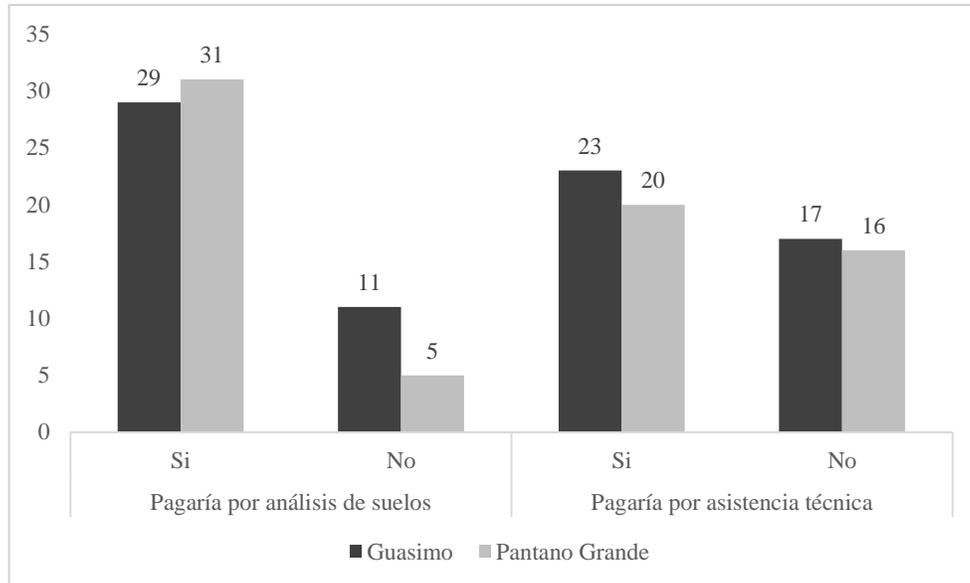
#### ***5.1.4 Aspecto Económico***

El aspecto económico juega un papel importante al momento de realizar buenas prácticas de manejo de suelos. En el Guásimo en 29 fincas, los propietarios cuentan con los recursos económicos para realizar análisis de suelos y el 33% del total de la muestra no realizarían análisis por motivos económicos y por el desconocimiento de la efectividad o la metodología del proceso.

El 57% de los propietarios pagarían por asistencia técnica, ya que consideran que es un componente importante para el desarrollo sostenible de las actividades agropecuarias. El porcentaje restante no cuenta con los recursos necesarios para pagar acompañamiento técnico especializado.

**Figura 10**

*Aspecto económico*



## 5.2 Análisis de variables fisicoquímicas y biológicas de suelo

Los sitios de muestreo para cada uno de los usos de suelos presentaron características similares. El uso agrícola en las veredas Guásimo y Pantano Grande presentan cobertura en monocultivo de maíz en gran parte de su extensión, con un tiempo de siembra de tres y cinco meses.

El uso pecuario en el Guásimo es relativamente reciente y realizan poco manejo de fertilizantes químicos. El suelo es dominado por pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). En Pantano Grande hay diferentes tipos de pastos: kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), raigrás (*Lolium multiflorum*), carretón blanco (*Trifolium repens*) y carretón rojo (*Trifolium pratense*).

Para la cobertura boscosa en la Vereda Guásimo se realizó el muestro en un relicto de bosque aledaño a la Quebrada el Vichi, el cual presenta especies arbóreas como el caracolí (*Anacardium excelsum*), yátago (*Trichanthera gigantea*), Guásimo (*Guazuma ulmifolia*) e

higuerón (*Ficus máxima*). En Molagavita el relicto de bosque estaba conformado por individuos de roble (*Quercus humboldtii*), tuno (*Miconia* sp), siete cueros (*Tibouchina* sp), chuzque (*Chusquea* sp) y gaque (*Clusia* sp)

En la Tabla 4 se observa el análisis de varianza para las variables fisicoquímicas y biológicas del suelo, donde cinco variables presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ): (pH), Ca intercambiable, Densidad aparente, Capacidad de intercambio catiónico (CICE) y Sodio intercambiable.

**Tabla 4**

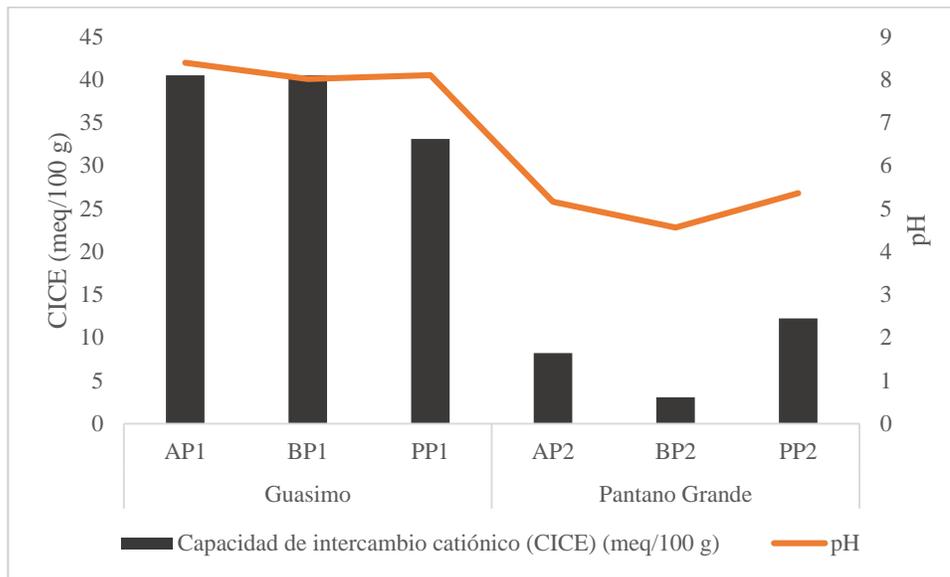
*Variables con diferencias significativas en las dos veredas*

Muestra	Pr(>F)
pH	0,000296 ***
Ca	0,00102 **
Na	0,0132 *
CICE	0,00113 **
DA	0,0472 *

El indicador de pH fue la variable que presentó mayor valor de significancia (0,000296). En la vereda Guásimo del Municipio de Málaga, los valores se ubicaron en el rango de 7,9 – 8.4 para suelos ligeramente alcalinos, es decir, estos suelos presentan problemas en la disponibilidad de micronutrientes para las plantas. Los suelos de Pantano Grande presentaron valores entre 4,56 a 5,36, lo que indica un pH moderadamente ácido. La Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva en el Guásimo varió entre 40,499 y 33,102 (meq/100 g). En el otro sitio de interés, los suelos presentaron valores bajos entre 3,056 y 12,233 (meq/100 g) (Figura 11).

**Figura 11**

*Relación entre la CICE y el pH*

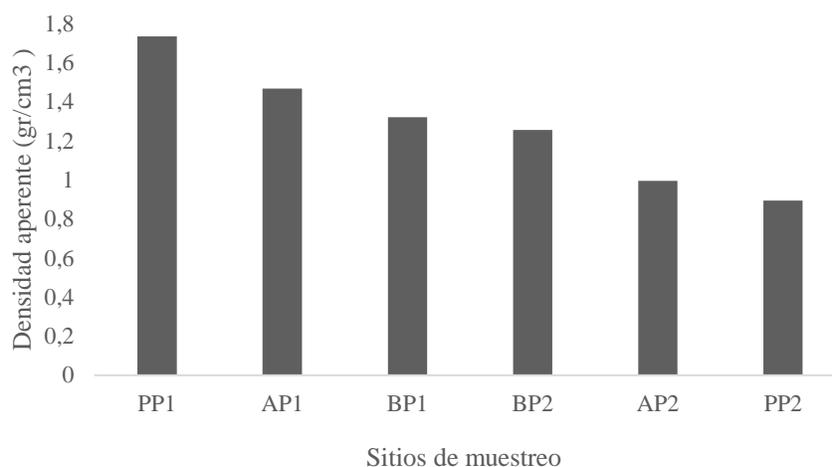


El Ca en los suelos de la vereda Guásimo presentó valores entre 32,44 y 39,46 meq/100g. Principalmente en la cobertura agrícola obtuvo el valor más alto en relación a los demás sitios de muestreo. En el otro sitio de interés el uso pecuario presentó el valor más alto 11,8 meq/100 g, mientras que las demás muestras presentaron valores entre 2,76 y 7,42 meq/100 g.

La densidad aparente (Figura 12) en el Guásimo fue de 1,468 gr/cm<sup>3</sup> en el sitio de muestro agrícola, 1,735 gr/cm<sup>3</sup> en suelos pecuarios y 1,32 gr/cm<sup>3</sup> en el suelo forestal, lo que permite analizar que el uso pecuario muestra un valor superior relacionado con el alto porcentaje de arcillas. En Pantano grande el valor es inferior a 0,1 gr/cm<sup>3</sup> lo que demuestra que son suelos arenosos con buen drenaje.

**Figura 12**

*Valor de densidad aparente*



**5.3 Determinación del indicador para comparar la calidad edáfica**

Se realizó un ACP con las variables fisicoquímicas y biológicas relacionadas en la Tabla 2. Este análisis, dio como resultado cinco componentes principales con valores propios mayores a 1 (Tabla 5) que explicaron el 100 % de la varianza.

**Tabla 5**

*Valores propios del análisis de componentes principales*

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Standard deviation	2,6606	1,5894	1,4644	0,96197	0,57025
Proportion of Variance	0,5445	0,1943	0,165	0,07118	0,02501
Cumulative Proportion	0,5445	0,7388	0,9038	0,97499	100

**5.3.1 Obtención del conjunto mínimo de datos**

Una vez realizado el ACP se seleccionaron los dos componentes principales que representan el 73,88% de la varianza acumulada. En la Tabla 6 se resaltan las propiedades que presentaron un peso equivalente o mayor a 0,06, valor de referencia que se especificó en la Ecuación 2. Finalmente, el conjunto mínimo de datos fue conformado por 12 variables con mayor

influencia positiva. En el primer componente las variables que mejor lo explicaron fueron MO, Ai, Al, Fe, Mn y Be; y para el segundo pH, Ai, Al, Ca, Mg, K, CICE, Mn, Da y Be.

**Tabla 6**

*Peso de las variables de los dos primeros componentes principales*

	CP1	CP2
<b>pH</b>	-0,302	<b>0,152</b>
CE	-0,246	-0,034
<b>MO</b>	<b>0,120</b>	-0,534
P	0,053	0,082
<b>Ai</b>	<b>0,275</b>	<b>0,186</b>
<b>Al</b>	<b>0,257</b>	<b>0,201</b>
<b>Ca</b>	-0,302	<b>0,153</b>
<b>Mg</b>	-0,233	<b>0,171</b>
<b>K</b>	-0,194	<b>0,208</b>
Na	-0,320	-0,006
<b>CICE</b>	-0,303	<b>0,155</b>
<b>Fe</b>	<b>0,304</b>	<b>0,126</b>
<b>Mn</b>	<b>0,246</b>	<b>0,157</b>
Zn	-0,225	-0,125
Cu	-0,061	-0,528
<b>DA</b>	-0,179	<b>0,269</b>
<b>Be</b>	<b>0,269</b>	<b>0,286</b>

Una vez seleccionado el CMD, se normalizaron los valores arrojados por el laboratorio, según las indicaciones de la Ecuación 3. Luego se evaluó la calidad de los suelos en los dos municipios y por último se comparó el nivel de calidad edáfico.

En la Tabla 7 se presentan los valores normalizados de los indicadores propuestos en el ACP y el valor del índice de calidad del suelo resultante para los municipios de Málaga (0,48) y Molagavita (0,45). De acuerdo con el valor del ICS obtenido mediante el CMD (Tabla 6) y los valores arrojados, los dos municipios se ubican en la escala de 0,40 - 0,59 de la clase 3 para una clasificación de moderada calidad de suelos (Tabla 3).

**Tabla 7***Datos normalizados e índice de calidad del suelo*

Indicador	Valor del indicador en el Municipio de Málaga	Valor del indicador en el Municipio de Molagavita
pH	0,41	0,58
MO	0,55	0,35
Ai	0,00	0,34
Al	0,00	0,35
Ca	0,66	0,51
Mg	0,61	0,43
K	0,92	0,38
CICE	0,67	0,52
Fe	0,54	0,38
Mn	0,28	0,62
DA	0,45	0,43
Be	0,64	0,55
Índice de calidad del suelo	0,48	0,45

## 6. Discusión

En análisis realizados por la Unidad de Planificación Rural Agraria [UPRA], 2014 para la región, se registran datos similares acorde con la estructura de propiedad de la tierra lo cual refleja que existe fraccionamiento de la propiedad con un alto predominio del minifundio. Esta estructura facilita la deforestación, reducción de área y pérdida de conectividad entre los remanentes de bosque existente (Mayer, 2019). Así mismo, conduce a que quien haga uso del suelo lo sobreexplota, de tal manera que disminuya la disponibilidad de nutrientes esenciales para el

desarrollo de una planta o cultivo y a largo plazo se vea afectada la rentabilidad de los cultivos y la calidad alimentaria (Muñoz et al., 2018).

Camacho (2020) y Burbano (2017) afirman que es necesario identificar la relación y uso de los suelos para conocer el estado y calidad de los mismos. Los datos encontrados del manejo del recurso hídrico concuerdan con el Censo Nacional Agropecuario (2016), donde afirman que el agua utilizada para actividades agropecuarias en Colombia proviene en un 16,7% de los ríos o quebradas y tan solo un 0,3% es extraída de aljibes o nacimientos. Este dato concuerda con la presente investigación donde el agua para uso agropecuario proviene de fuentes hídricas y acueductos. Así mismo, Camacho (2020) relaciona que en Colombia el agua no cuenta con un sistema de potabilización en las áreas rurales, esto significa que se utiliza el recurso hídrico sin cumplir el estándar de calidad requerido para su uso. La disposición final de las aguas residuales domésticas en las veredas de estudio se realiza en la mayoría (69%) directamente en el suelo. Lo que concuerda con Almario et al. (2017) mencionan que la disposición final de las aguas residuales domésticas y servidas en las áreas rurales, ha sido el vertimiento en los cuerpos de agua y directamente en el suelo. El Departamento Nacional de Planeación [DNP], (2016), indica que en Colombia el 78,1% de la población rural no cuenta con los mecanismos adecuados para la disposición final de los residuos sólidos. Sin embargo, la calidad y los componentes de estos desechos generan problemas ambientales ya que afectan y amenazan la conservación o protección de los ecosistemas del suelo, lo que contribuye a la pérdida de valor económico del recurso y del medio ambiente (Camacho, 2020; Guzmán et al., 2019). El control sanitario en los cultivos y el ganado, es de enfoque agroquímico, lo que corrobora lo mencionado en investigaciones previas realizadas por Estupiñán et al. (2009). Igualmente, se utilizan fertilizantes agroquímicos para mejorar las carencias de los micro y macronutrientes (Majeed, 2018). Por esta razón, Anaya y

Jaramillo (2017) señalan que el uso intensivo de agroquímicos ha empobrecido biológicamente al suelo, ya que a corto plazo se ha observado disminución en la fertilidad y en la capacidad productiva del sustrato. Otro factor importante es la condición física del suelo en relación al tipo de labranza mecanizada. Los datos concuerdan con estudios realizados por Muñoz et al. (2018) quienes señalan que en los últimos años se ha incentivado el laboreo con técnicas de labranza mínima en suelos agropecuarios.

En general en la investigación realizada las propiedades químicas fueron las más representativas. Este comportamiento ha sido confirmado en trabajos en los que se ha observado que las propiedades que más se afectan por el manejo inadecuado del suelo son las químicas (Anaya y Jaramillo, 2017).

El pH indica si un suelo es ácido o alcalino es por eso que al analizar esta variable en el estudio realizado se puede inferir la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Estudios realizados por Herrera et al. (2017) en suelos agrícolas en una altitud de 1650 m s.n.m., y precipitaciones promedio anuales de 1232 mm, registran que con la ejecución de prácticas semiecológicas y convencionales el pH presentó un valor inferior a 6,0 lo que indica suelos moderadamente ácidos y elevadas concentraciones de Mn y Fe. Este dato concuerda con los resultados encontrados en el presente estudio ya que, en la Vereda de Pantano Grande según lo reportado por el instrumento de campo, realizan prácticas agroecológicas y el pH de estos suelos es de tendencia hacia la acidez, valor influenciado por las altas precipitaciones de la región.

En el Guásimo se registró un pH mayor a 8.0 lo cual se ve influenciado por el uso y manejo de fertilizantes químicos y la presencia de roca calcárea. Estas condiciones son desfavorables para el crecimiento y desarrollo de la mayoría de cultivos por el exceso de carbonatos de Calcio y baja disponibilidad de microelementos (Jaramillo, 2014).

Un estudio realizado por Volverás, (2016) indicó que la densidad aparente y el pH mostraron diferencias significativas. Para Duarte, (2016) los valores mayores de  $1,6 \text{ gr/cm}^3$  en la densidad aparente indican suelos compactos, duros, un poco difíciles de manejar y los resultados menores de  $1.0 \text{ gr/cm}^3$  se relacionan con suelos de buenos contenidos de materia orgánica.

El valor de CICE infiere la facilidad que tienen las raíces para extraer nutrientes del suelo. Jaramillo, (2014) menciona que valores altos de CICE se relacionan con el aumento de variables como el pH, contenidos de arcilla, Sesquióxidos de Fe y Aluminio. Este dato concuerda con el valor registrado para el indicador de Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva ya que presentó valores altos en el municipio de Málaga, un pH alcalino, alto contenido de Ca y a su vez en el otro sitio de interés se vio influenciado por un valor bajo relacionado con el alto contenido de Fe y bajas concentraciones de Ca.

En el indicador de Biota Edáfica, la lombriz de tierra fue la especie más abundante y según Calderón et al. (2018) es importante conocer que está presente en los suelos debido a que cumple funciones como ayudar en la descomposición de los restos vegetales e incrementar la tasa de transformación de nutrientes, promover la agregación del suelo y la porosidad clave en propiedades del suelo como CIC, aumentar la infiltración de agua y el transporte de solutos.

Algunas de las variables seleccionadas para el conjunto mínimo de datos han sido reportadas en estudios realizados en la zona Andina. Se resalta que aún no se han desarrollado metodologías para el proceso de selección del CMD, dado que las variables edáficas dependen de las características del sitio a estudiar. El trabajo realizado por Anaya y Jaramillo, (2017) analizó el comportamiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas para la producción de suelos cafeteros donde evaluaron la calidad de suelos mediante el CMD conformado por los indicadores Da, S, MO, Ai, P, Na, Al y Mn. Herrera et al. (2017) evaluaron la calidad de suelos agrícolas

mediante los indicadores: pH y K. Estrada et al. (2017) realizaron un estudio en suelos Mexicanos con predominio de las rocas calizas y realizaron sitios de muestreo en suelos agrícolas, degradados y forestales cuya finalidad fue evaluar la fertilidad con los indicadores MO, P, K, Mg, pH, Ca y CICE. Las variables Ai, Fe y Mn aún no han sido reportados como indicadores de calidad de suelos en Colombia.

El índice de calidad del suelo para el municipio de Molagavita (0,45) y Málaga (0,48) obtenido mediante el conjunto mínimo de datos se ubica en la clase de moderada calidad de suelos. Esta información coincide con estudios realizados por Herrera et al. (2017) y Anaya y Jaramillo, (2017). En otros países como México, Cantú et al. (2007) utilizaron metodologías similares a la de esta investigación para el cálculo de un índice de calidad de suelos y determinaron mediante la aplicación de este índice que la calidad de suelos agrícolas bajo diferentes tipos de labranza (siembra directa, labranza reducida y labranza convencional), se clasifica en la clase de moderada calidad.

## **7. Conclusiones**

Respecto a la relación que tienen las comunidades rurales con el recurso edáfico se concluye que el uso de prácticas inadecuadas agrícolas o pecuarias, tales como el uso excesivo de fertilizantes químicos, el tipo de labranza y el uso de monocultivos repercuten negativamente en la fertilidad del suelo. Así mismo, es importante conocer los aspectos que definen el recurso por

quienes hacen uso de él, debido a que hay una escasa valoración social, quizás porque aún lo consideran renovable y poco importante.

Los valores promedio de las variables de pH, Ca y de la CICE reflejan contenidos altos en el suelo para la Vereda el Guásimo que indican presencia de suelos alcalinos por incidencia de material calcáreo y la aplicación excesiva de fertilizantes agroquímicos. La Vereda Pantano Grande del Municipio de Molagavita presentó suelos ligeramente ácidos influenciados por altos contenidos de Fe, Acidez intercambiable y Al.

El pH es un indicador importante a la hora de conocer la calidad del suelo, debido a que según el valor reportado se puede deducir el comportamiento de los demás indicadores químicos.

La evaluación de la calidad edáfica es una herramienta fundamental que permite evaluar la calidad de los de uso agrícolas y pecuarios. Los valores obtenidos del ICS permiten generar una línea base para dar seguimiento o ajustar las prácticas agrícolas de la región con objeto de controlar la degradación actual del suelo.

## **8. Recomendaciones**

Para futuros estudios realizar mayor cantidad de réplicas por sitio de muestreo y por uso del suelo con el fin de obtener una mayor aproximación a los parámetros evaluados en este estudio.

Tener en cuenta la opinión de las comunidades rurales y urbanas en cada una de las investigaciones que relacionen el recurso suelo, ya que estos son quienes lo usan y aplican diferentes prácticas agropecuarias sin tener en cuenta la respuesta del suelo ante cada una de las actividades.

Seguir en el proceso de monitoreo del suelo bajo similares tipos de uso en los municipios de la provincia, con el fin de desarrollar metodologías que permitan estudiar el estado actual del recurso natural en la región.

Desarrollar actividades de extensión rural con las comunidades de la Provincia de García Rovira con el objeto de dar a conocer la importancia del recurso suelo para la implementación de actividades agrícolas, pecuarias y forestales.

**Referencias bibliográficas**

- Almario, A., Ortega, Y, y Rodríguez, E. (2017). Potencial de reutilización del efluente de la planta de tratamiento de agua residuales de Timaná - Huila para riego de pasto estrella (*Cynodon Plectostachius*). *Ingeniería y Región*, (18), 33-44.
- Anaya, M., y Jaramillo, D. (2017). Determinación de dos índices de la calidad del suelo en la calidad de la taza de café. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 6(2), 102-123.
- Ariza, L. (2019). APP-estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Santander, Colombia. Aportes para una investigación acción participativa en inteligencia y justicia territorial.
- Arrigo, N., Jiménez, M., Efron, M., & Defrieri, R. (2002). Carbon respiration of a forest soil and its relation to the litter fall. *Agric. Téc. [online]* 62(2), 331-338.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072002000200015>
- Astier, M., Mass, M., & Etchevers, J. (2002). Derivation of soil quality indicators in the context of sustainable agriculture. *Agrociencia*, 36(5), 605-620.
- Bautista, A., Etchevers, J., Castillo, F., y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2).
- Burbano, H. (2010). El suelo al servicio de la sociedad y su rol en el contexto de los cambios globales. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas*, 11(2), 53-62.
- Burbano, H. (2017). La calidad y salud del suelo influyen sobre la naturaleza y la sociedad. *Tendencias*, 18(1), 118-126. <https://doi.org/10.22267/rtend.171801.68>

- Calderón, C., Bautista, G., y Rojas, S. (2018). Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2), 141-157. <https://doi.org/10.22579/20112629.524>
- Camacho, L. (2020). La paradoja de la disponibilidad de agua de mala calidad en el sector rural colombiano. *Revista de ingeniería*, (49), 38-51.
- Cantú, P., Becker, A., Bedano, J., y Schiavo, H. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del suelo*, 25(2), 173-178.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA]. (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo.
- Daza, M., Hernández, F., y Triana, F. (2014). Efecto del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz-Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(1), 7189-7200.
- Díaz, C. (2011). Alternatives for erosion control by using conventional coverage, non-conventional coverage and revegetation. *Ingeniería e investigación*, 31(3), 80-90.
- Doran, J., & Parkin, T. (1994). Defining and Assessing Soil Quality. En J. Doran, C. Coleman, F. Bezdicek & A. Stewart (Eds.), *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* (pp. 1-21). Soil Science Society of America.
- Estrada, R., Hidalgo, C., Guzmán, R., Almaraz, J., Navarro, H., & Etchevers, J. (2017). Soil quality indicators to evaluate soil fertility *Agrociencia* 51(8), 813-831.
- Estupiñán, L., Gómez, J., Barrantes, V., y Limas, L. (2009). Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el páramo El Granizo, (Cundinamarca-Colombia). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 12(2), 79-89.

- Farfán, F. y Hincapié, E. (2011). Valoración de la sostenibilidad ambiental mediante indicadores de calidad del suelo, en sistemas de producción de café en Colombia. *Cenicafé* 62 (1):100-118.
- García, Y., Ramírez, W., Sánchez, S. (2012). Soil quality indicators: a new way to evaluate this resource. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.
- Guzman, C., Hoyos, F., Da Silva, M., Zimale, A., Chirinda, N., Botero, C., & Steenhuis, T. (2019). Variability of soil surface characteristics in a mountainous watershed in Valle del Cauca, Colombia: Implications for runoff, erosion, and conservation. *Journal of Hydrology*, 576, 273-286.
- Herrera, A., Calderón, I., & Gutiérrez, M. (2017). Soil quality index in conventional and semi-ecological farms producing plantain (Musa AAB Simmonds cv. Dominic Harton) in Anolaima-Cundinamarca, Colombia. *Acta agronómica*, 66(4), 457-465.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2017). Recomendaciones para la toma de muestras para análisis del laboratorio nacional de suelos.
- Jaramillo, D. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. *Escuela de Geociencias y Medio Ambiente*.
- Jaramillo, D. (2014). El suelo: origen, propiedades, espacialidad (2a ed.). Medellín: *Universidad Nacional de Colombia*.
- Lozano, D. (2019). Evaluación de la sostenibilidad ambiental, económica y productiva de modelos agroforestales con Café en la Laguna de Ortices. [Tesis pregrado], Universidad Industrial de Santander, Málaga, Santander, Colombia.
- Majeed, A. (2018). Application of agrochemicals in agriculture: benefits, risks and responsibility of stakeholders. *J Food Sci Toxicol*, 2(1), 3.

- Martínez, L., y Viscaya, L. (2016). Determinación del estado actual del conflicto del uso del suelo en Santander, Colombia. *Dinamica ambiental*, (1), 59-70.
- Mayer, A. (2019). Family forest owners and landscape-scale interactions: A review. *Landscape and Urban Planning*, 188, 4-18. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.10.017>
- Medina, C. (2016). Effects of soil compaction by trampling of animals in soil productivity. Remediations. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 8(1), 88-93.
- Muñoz, F., Galicia, L., & Pérez, E. (2018). Migratory agriculture conductor of change of soil use of high Andean ecosystems of Colombia. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1), 15-25.
- Muñoz, M., Erickson, E., Dixon, W., & Merritt, J. (2016). Soil quality indicators to assess functionality of restored soils in degraded semiarid ecosystems. *Restoration Ecology*, 24, S43-S52.
- Nortcliff, S. (2002). Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 161-168
- Paz-Ferreiro, J., & Fu, S. (2016). Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. *Land Degradation & Development*, 27(1), 14-25.
- Quiroga, R. (2009). Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe.
- Raiesi, F., & Kabiri, V. (2016). Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. *Ecological Indicators*, 71, 198-20

- Rodríguez, A., Sepúlveda, I., Camargo, C., y Galvis, J. (2009). Pérdidas de suelo y nutrientes bajo diferentes coberturas vegetales en la zona Andina de Colombia. *Acta Agronómica*, 58 (3), 160-166.
- Sampieri, H. (2014). Metodología de la investigación (sexta ed.). México D.F.
- Sistema de Información Ambiental de Colombia [SIAC], (2015). Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia.
- Unidad de Planificación Rural Agropecuaria [UPRA]. (2014). Vocación del uso del suelo. Bogotá Colombia.
- Vallejo, V. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*, 16(1), 83 – 99.
- Volverás, B., Amézquita, E., y Campo, J. (2016). Indicators of Physical Soil Quality of the Cereal Producing Andean Area of the Department of Nariño, Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 17(3), 361-377. [http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol17\\_num3\\_art:513](http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:513)

**Apéndices**

**Apéndice A**

*Resultados físicos, químicos y biológicos*

Variable	Sitio 1			Sitio 2			
	Agrícola	Pecuario	Forestal	Agrícola	Pecuario	Forestal	
Textura							
	Arena	60,32	38,89	56,01	59,71	76,46	61,18
	Arcilla	22,51	36,07	11,31	17,32	12,56	14,38
	Limo	17,17	25,04	32,87	22,97	10,89	24,44
pH		8,39	8,1	8,01	5,16	5,36	4,56
Conductividad eléctrica (mS/cm)		0,28	0,91	0,58	0,22	0,16	0,08
Materia orgánica(%)		8,88	10,31	11,04	11,32	16,93	11,62
Fósforo disponible (mg/kg)		27,86	14,75	9,88	21,56	20,05	16,81
Acidez intercambiable (meq/100 g)		0,00	0	0	0,42	0,37	3,51
Aluminio intercambiable (meq/100 g)		0,00	0	0	0,02	0,2	3,1
Calcio intercambiable (meq/100 g)		39,46	32,44	39,22	7,42	11,75	2,76
Magnesio intercambiable (meq/100 g)		0,49	0,22	0,54	0,11	0,25	0,15
Potasio intercambiable (meq/100 g)		0,48	0,35	0,65	0,61	0,19	0,13
Sodio intercambiable (meq/100 g)		0,08	0,09	0,1	0,04	0,05	0,01
Capacidad de intercambio catiónico (CICE) (meq/100 g)		40,50	33,1	40,5	8,19	12,23	3,06
Hierro intercambiable (mg/kg)		42,91	39,25	45,25	189,53	142,24	478,09
Manganeso intercambiable (mg/kg)		3,41	0,67	0,26	3,79	2,55	3,98
Zinc intercambiable (mg/kg)		2,01	1,12	2,17	1,70	1,82	0,09

Cobre intercambiable (mg/kg)	0,25	1,16	0,33	0,20	1,25	0,27
Densidad aparente	1,468	1,735	1,321	0,996	0,895	1,256
Biota edáfica	40,00	13,00	38,00	72,00	32,00	71,00

**Apéndice B**

*Aplicación de encuestas a la comunidad*

Vereda Guásimo	
	
	
Vereda Pantano Grande	



**Apéndice C**

*Uso del suelo en el área de estudio*

Vereda Guásimo

 <p>Uso Agrícola</p>	 <p>Sistema agroforestal</p>
 <p>Uso Pecuario</p>	 <p>Uso Forestal</p>
<p>Vereda Pantano Grande</p>	
 <p>Uso Pecuario</p>	 <p>Uso Agrícola</p>



Uso Forestal



Sistema Sivopastoril

## Apéndice D

### *Muestreo de suelo*





Secado de muestras



Empacado de las muestras

**Apéndice E**

*Muestreo de la Biota Edáfica*



**Apéndice F**

*Otros aspectos generales*

Vereda Guásimo



Laboreo del suelo con Bueyes



Desbroce de la capa vegetal por animales



Sistema del acueducto veredal



Laboreo del suelo con Tractor



**Apéndice G**

*Algunos aspectos relacionados en el instrumento de campo*

<div style="text-align: center;">  <p><b>Universidad Industrial de Santander/ Sede Málaga. Programa Ingeniería Forestal</b></p> </div> <p>Fecha de aplicación:      Día: _____ Mes: _____ Año: _____</p> <p><i>En virtud de la ley 1581 del 2012 reglamentada parcialmente por el decreto 1377 de 2013 cuyo objeto es desarrollar el derecho constitucional que tienen todas a las personas a conocer, actualizar y rectificar las informaciones que se hayan recogido sobre ellas en base de datos o archivos los demás derechos, libertades y garantías constitucionales a que se refiere el artículo 15 de la constitución política, así como el derecho de la información consagrada en el artículo 20 de la misma.</i></p> <p><i>Los datos recolectados en la presente encuesta serán utilizados única y exclusivamente para fines académicos y como lo señala el artículo 4 del decreto 1377 del 2013 son permanentes y adecuados y no constituyen violación de la privacidad.</i></p> <p>¿Autoriza usted el tratamiento de los datos personales que suministrara en la presente encuesta?</p> <p>Si <input type="checkbox"/></p> <p>No <input type="checkbox"/></p> <p><small>Esta encuesta se aplica con la finalidad de recolectar información necesaria para desarrollar el proyecto de grado titulado, determinación del índice de calidad del suelo, en dos municipios de la Provincia de García Rovira Santander, Colombia a cargo de la estudiante de Ingeniería Forestal Clara Marcela Becerra Sandoval de la Universidad Industrial de Santander sede Málaga. Para su desarrollo es útil conocer su opinión, lo invito a responder las preguntas que la conforman referentes al contexto ambiental, social, técnico y económico. La información obtenida será solo de uso académico la cual ayudará a conocer las condiciones de uso y manejo del suelo, en las veredas: Guácimo y Pantano Grande de los municipios Málaga y Molagavita respectivamente.</small></p> <p><small>A continuación, encontrará preguntas de única respuesta, de múltiple respuesta y respuesta abierta. Cualquier duda e inquietud respecto del cuestionario la puede resolver con la responsable del mismo.</small></p> <p style="text-align: center;"><b>ASPECTOS SOCIALES</b></p> <p>1. ¿Cuál es el nombre de la vereda y finca? _____</p> <p>2. ¿Cuál es la extensión de la finca en hectáreas? _____</p> <p>3. Su núcleo familiar, está conformado por:</p> <p>a) Padre, Madre y un hijo</p> <p>b) Padre, Madre y dos hijos</p> <p>c) Padre, Madre y tres hijos</p> <p>d) Padre, Madre y cuatro hijos</p>	<p style="text-align: center;"><b>ASPECTOS AMBIENTALES</b></p> <p>7. Indique si el agua para uso agropecuario en su finca cuenta con un algún tratamiento previo.</p> <p>a) Si (Cuales) _____</p> <p>b) No</p> <p>8. ¿En dónde dispone los vertimientos o aguas servidas generadas en su hogar?</p> <p>a) Pozo séptico</p> <p>b) Corriente de agua (Quebrada o rios)</p> <p>c) Directamente en el suelo</p> <p>d) Otro: _____</p> <p>9. La separación de residuos sólidos generados en la finca se hace:</p> <p>a) Totalmente</p> <p>b) Parcialmente</p> <p>c) No se hace</p> <p>10. Indique el tratamiento que realiza para manejar los residuos sólidos.</p> <p>a) Se entierran</p> <p>b) Se queman</p> <p>c) Se utilizan para elaborar compostajes</p> <p>d) Otro: _____</p> <p>11. ¿En la finca existen áreas de bosques naturales?</p> <p>a) Si</p> <p>b) No</p> <p>12. ¿Existen cercas vivas dentro de la finca?</p> <p>a) Si</p> <p>b) No</p> <p>13. En su vivienda prepara los alimentos en:</p> <p>a) Estufa de gas</p> <p>b) Estufa de leña</p> <p>c) Otro: _____</p>
---	---

ASPECTOS TÉCNICOS	
<p>16. ¿Cuál es la forma de tenencia de la tierra de la finca?</p> <p>a) Propietario b) Arrendamiento c) Aparcería d) Empeño</p> <p>17. ¿Indique la frecuencia en que realiza análisis de la productividad de los suelos de su finca?</p> <p>a) Frecuentemente b) Parcialmente c) Nunca</p> <p>18. ¿Ha notado disminución de la productividad por cosecha en su finca?</p> <p>a) Totalmente b) Parcialmente c) Nunca</p> <p>19. ¿Qué tan importante es para usted conocer el suelo?</p> <p>a) Muy importante b) Importante c) Poco importante d) No es importante</p> <p>20. ¿Con que frecuencia escucha hablar sobre el manejo adecuado de suelos?</p> <p>a) Muy frecuentemente b) Frecuentemente c) Ocasionalmente d) Nunca</p>	<p>21. Indique la frecuencia con que realiza estudio de suelo (Análisis de suelo), antes de establecer un cultivo o una actividad ganadera en su finca.</p> <p>a) Muy frecuentemente b) Frecuentemente c) Ocasionalmente d) Nunca</p> <p>22. ¿Considera que es necesario aplicar un manejo adecuado de suelos, para asegurar su productividad a futuro?</p> <p>a) Totalmente necesario b) Medianamente necesario c) No necesario</p> <p>23. ¿Qué tipo de labranza aplica en el momento de preparar el suelo para un cultivo?</p> <p>a) Labranza convencional o tradicional b) Labranza mínima o conservacionista c) Labranza cero o siembra directa d) Ninguno de los anteriores</p> <p>24. ¿Conoce qué es la labranza mínima? ¿la aplica?</p> <p>a) Si b) No</p> <p>25. ¿Mencione qué usos tenía el suelo de la finca hace 20 años?</p> <p>a) Uso agrícola b) Uso ganadero c) Uso forestal d) Ninguna de las anteriores</p> <p>26. ¿Indique cuál es el uso actual del suelo que predomina en la finca?</p> <p>a) Uso agrícola b) Uso ganadero c) Uso forestal d) Ninguna de las anteriores</p>