

# GUÍA PARA LA CAPTURA DE CARBONO EN SUELOS AGRÍCOLAS

Laboratorio social, ambiental y productivo



Fundación Alpina



Fundación Alpina

Carrera 4 Bis # 9-24 Ed. Corporativo-Alpina  
Sopó, Cundinamarca  
fundacionalpina@alpina.com  
[fundacionalpina.org](http://fundacionalpina.org)

**Directora Ejecutiva**

Camila María Aguilar Londoño

**Coordinadores**

Martha Lucía de la Cruz Federici  
Elver Hernando García  
Juan Mateo Velez  
María Katherine Piñeros Bedoya

**Desarrollo de contenidos**

Jenny Alexandra Herrera Díaz  
María Fernanda Vargas Arteaga

**Edición y revisión de estilo**

Antonia Zapata Orozco

**Diseño y diagramación**

Antonia Zapata Orozco

**Publicación versión 1.0**

Diciembre 2025

Copyright ©

Todos los derechos reservados 2025



# TABLA DE CONTENIDO

## Glosario

### 1. Introducción

- 1.1 Definición del carbono en el suelo
- 1.2. El papel del carbono en los ecosistemas agrícolas

### 2 El Carbono y su relación con el suelo

- 2.1 El ciclo global del carbono y el nitrógeno
  - 2.1.1 El ciclo del carbono
  - 2.1.2 Ciclo del nitrógeno
- 2.2 Almacenamiento del carbono en el suelo, secuestro y liberación
- 2.3 Factores que afectan el ciclo del carbono en suelo
- 2.4 La importancia de los microorganismos del suelo en el ciclo del carbono

### 3. Agricultura regenerativa y su impacto en el carbono del suelo

- 3.1 Prácticas regenerativas
- 3.2 Principios de la agricultura regenerativa
  - 3.2.1 Suprimir las técnicas de cultivo dañinas
  - 3.2.2 Aplicar cultivos de cobertura durante todo el año

### 4. Guía para determinar la captura de carbono en suelo

Objetivo de la guía

- 4.1 Definir el área de estudio y número de muestras
  - 4.2 Seleccionar el tipo de muestreo
  - 4.3 Definir la profundidad del muestreo
  - 4.4 Herramientas y equipo necesario
  - 4.5 Tomar las muestras de suelo para química de carbono orgánico total del suelo
    - 4.5.1 Muestra de suelo para carbono orgánico
    - 4.5.2 Muestreo de suelo para la densidad aparente
    - 4.5.3 Muestreo de suelo para análisis microbiológico
  - 4.6 Conservación de las muestras
  - 4.7 Métodos de análisis en el laboratorio
- Se recomienda utilizar el mismo laboratorio para realizar todas las evaluaciones de seguimiento de indicadores
- 4.8 Cálculo de las reservas de carbono orgánico del suelo
  - 4.8 Laboratorios y costos de análisis de suelo

### 5. Referencias bibliográficas



## GLOSARIO

<b>Área de intervención</b>	Área compuesta por estratos, para la cual se estimarán las reservas de carbono orgánico del suelo.
<b>C</b>	Carbono.
<b>CAC</b>	Captura de almacenamiento de carbono.
<b>Carbono del suelo (C)</b>	Se refiere a la materia sólida almacenada en los suelos, incluye carbono orgánico e inorgánico del suelo.
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano.
<b>CH<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O</b>	Urea.
<b>CIS</b>	Carbono inorgánico del suelo.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono.
<b>COS</b>	Carbono orgánico del suelo.
<b>DA</b>	Densidad aparente.
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero.
<b>Medición del secuestro de carbono</b>	El proceso de cuantificar el contenido de carbono orgánico del suelo restringido a la fracción de tamaño menor a 2 mm, por muestreo directo de suelos y análisis químico de las concentraciones de carbono.
<b>MO</b>	Materia orgánica.
<b>Muestra compuesta</b>	Muestra en la que las unidades se agrupan y homogenizan.



## GLOSARIO

<b>Muestra de suelo</b>	Núcleo de suelos individuales tomado en campo.
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Óxido nitroso.
<b>NH<sub>3</sub></b>	Amoníaco.
<b>NH<sub>4</sub></b>	Amonio.
<b>NO<sub>2</sub></b>	Nitrito.
<b>NO<sub>3</sub></b>	Nitrato.
<b>SE</b>	Servicios ecosistémicos.
<b>Secuestro de carbono</b>	Tasa de aumento de almacenamiento a largo plazo del carbono orgánico del suelo (COS).



# Introducción



Fundación Alpina



# 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura presenta grandes desafíos en el aumento de la productividad, la biodiversidad, la conservación de los recursos naturales y se suma la necesidad **de aportar a la disminución de los gases de efecto invernadero (GEI)**, con el incremento de la captura de carbono por encima y debajo del suelo.

El suelo es un **recurso natural vivo no renovable y finito**. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2016), éste está conformado en un 45% de minerales, 25% de agua, 25% de aire, y 5% de materia orgánica, macro y microorganismos, quienes hacen parte integral de la dinámica de intercambio de nutrientes, la producción de materia orgánica y la captura de carbono.

Para comprender todas las funciones que cumplen los suelos, Karlen et al. (1997) propusieron el concepto de **calidad del suelo**. Este concepto busca evaluar **qué tan bien un suelo puede sostener la producción, mantener los servicios ecosistémicos y conservar los recursos naturales**, integrando así aspectos ecológicos y sociales en la toma de decisiones.

El concepto de servicios ecosistémicos fue desarrollado por diversas organizaciones, como el MA (2005) y TEEB (2010), con un enfoque antropocéntrico. De acuerdo con esto, **los servicios ecosistémicos son las contribuciones directas e indirectas de los ecosistemas para el bienestar humano**. Los suelos desempeñan un papel esencial en la provisión de servicios ecosistémicos, entre los que encontramos una amplia gama de beneficios como **la provisión de nutrientes, la purificación del agua y el almacenamiento de carbono**, entre otros (Adhikari y Hartemink, 2016, Keesstra et al., 2016, Pereira et al., 2018, Paul et al., 2021). Sin embargo, es importante destacar que los suelos no generan servicios ecosistémicos de manera aislada, sino que dependen del funcionamiento de todo el ecosistema circundante (Bouma, 2014).



Los suelos no solo son recursos agrícolas, sino componentes vitales para la estabilidad y el funcionamiento de los ecosistemas. reconociendo su rol fundamental en el bienestar humano y el mantenimiento de la biodiversidad. Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son fundamentales para determinar la temperatura en la Tierra a largo plazo, mientras que los gases de vida corta como el metano (CH<sub>4</sub>) influyen en el aumento de la temperatura a corto plazo. **La captura de carbono en suelos agrícolas con diversidad de plantas y árboles es una alternativa para la solución climática natural de estas temperaturas. Un suelo saludable favorece una mayor biodiversidad y por ende un mejor secuestro de carbono.**

Prácticas como la **agricultura regenerativa** buscan **aumentar la materia orgánica del suelo y mejorar el ciclo del carbono, nitrógeno, fósforo y agua**. Estas prácticas incluyen la reducción de la labranza, producción de compostajes, rotación y diversidad de cultivos, plantas perennes, pastoreo rotativo, cultivos agroforestales, reducción del uso de insumos químicos y optimización del recurso hídrico para una producción agrícola más sustentable.

### **1.1. Definición del carbono en el suelo**

El carbono en el suelo es fundamental en los ecosistemas ya que influye en **la estructura, su capacidad de retención de agua y la actividad macro y microbiológica**. También es crucial para la salud y productividad de los ecosistemas. Este carbono proviene de los **restos de animales, plantas y microorganismos que se descomponen en el suelo**. Se presenta como carbono orgánico del suelo (COS), que se almacena en la materia orgánica (MO) y carbono inorgánico del suelo (CIS), que se presenta en forma de carbonatos.



## 1.2. El papel del carbono en los suelos agrícolas

El carbono es un elemento no metálico clave en los sistemas agrícolas, ya que influye directamente en la productividad y sostenibilidad de los cultivos, así como en la salud del suelo. En este contexto, **el carbono está disponible en dos formas, el carbono orgánico del suelo (COS) y el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente en la atmósfera.** El carbono orgánico contribuye a mejorar la fertilidad del suelo, mejorando su estructura y capacidad para almacenar agua y nutrientes (Lal, 2004).

Los suelos agrícolas son reservas de carbono durante largos periodos, dependiendo de las prácticas de manejo que se realicen para favorecer esta captura. **La captura de carbono ocurre a través de la fotosíntesis: las plantas absorben dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera, liberan oxígeno al aire y almacenan el carbono en forma de carbohidratos en sus raíces y biomasa aérea.** Posteriormente, parte de ese carbono se transfiere al suelo mediante los exudados radiculares, la descomposición de las plantas muertas y la incorporación de residuos de cultivos o de origen animal.

Además de mejorar la estructura del suelo, **el carbono es esencial en la activación de los organismos macro y microbianos del suelo, importantes en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes.** Según Powlson et al. (2011), la actividad microbiana favorece la mineralización de nutrientes que son luego aprovechados por las plantas, lo que mejora el rendimiento agrícola.

Los suelos agrícolas también actúan como **sumideros de carbono, a través de prácticas como las siembras directas, la rotación de cultivos, la aplicación de abonos orgánicos, el uso de cobertura vegetal y la implementación de arreglos agroforestales.** Con esto se promueve la captura de (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera. Estas prácticas no solo favorecen la captura de carbono, sino que también aumentan la resiliencia de los suelos frente a eventos climáticos extremos, como sequías o lluvias intensas (Follett et al., 2012).

El carbono en la producción agrícola mejora la calidad del suelo, favorece el desarrollo de los cultivos y aporta a la mitigación de los efectos del cambio climático.



# El carbono y su relación con el suelo



Fundación Alpina



## 2. EL CARBONO Y SU RELACIÓN CON EL SUELO

El carbono es un elemento esencial para la vida en el planeta, ya que **circula en estado líquido, sólido y gaseoso mediante procesos químicos, físicos y biológicos**. Su intercambio entre el reservorio terrestre y la atmósfera ocurre principalmente a través de la fotosíntesis y la respiración, así como por emisiones de origen humano derivadas de actividades como la agricultura, la deforestación y la quema de combustibles fósiles (Rügnitz et al., 2009). Estos flujos de carbono determinan en gran medida el equilibrio climático y la capacidad de los ecosistemas para sostener la vida.

En el suelo, el carbono cumple una función crítica como parte de la materia orgánica, influyendo en la fertilidad, la estructura y la retención de agua y nutrientes. **El carbono orgánico del suelo (COS) es el componente más relevante, pues mejora la calidad edáfica, estimula la actividad microbiana y contribuye a la disponibilidad de nutrientes para los cultivos** (Lal, 2004; Powlson et al., 2011). Asimismo, el carbono inorgánico del suelo (CIS), presente en forma de carbonatos, juega un papel en la regulación del pH y en procesos geoquímicos de largo plazo. **La capacidad de los suelos agrícolas para almacenar carbono depende en gran medida de las prácticas de manejo**, lo que convierte a este recurso en un factor estratégico para la sostenibilidad productiva.

Prácticas como **la labranza reducida, el uso de cultivos de cobertura, la rotación diversificada, la incorporación de abonos orgánicos y los sistemas agroforestales aumentan la captura de carbono y reducen su liberación a la atmósfera** (Follett et al., 2012; Smith et al., 2021). De este modo, el manejo sostenible del suelo no solo mejora la productividad agrícola, sino que también contribuye a la **mitigación de gases de efecto invernadero (GEI)**, consolidando al carbono edáfico como un eje fundamental en la transición hacia una agricultura más resiliente y climáticamente inteligente.



## 2.1. El ciclo global del carbono y del nitrógeno

El ciclo del carbono y el nitrógeno son procesos indispensables para el funcionamiento de los ecosistemas. El ciclo del carbono se da por el movimiento de éste a través de la atmósfera, los organismos vivos, el suelo y los océanos. Por su parte, el ciclo del nitrógeno involucra la transformación del nitrógeno atmosférico en formas que los organismos puedan utilizar, como amoníaco, amonio y nitratos. **Estos ciclos son fundamentales para la vida en el planeta.**

### 2.2.1. El ciclo del carbono

El ciclo de carbono es un proceso determinante en el cambio climático. **El suelo, como sumidero de carbono, actúa directamente con la atmósfera, los organismos vivos y la materia orgánica.** La relación adecuada del carbono en los suelos puede mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y mejorar la productividad del suelo a largo plazo (La., 2020; Díaz et al., 2019).

El ciclo del carbono comienza con la **liberación de carbono por todos los seres vivos a la atmósfera, donde se une con el oxígeno, convirtiéndose en dióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>)**, uno de los gases de efecto invernadero más comunes. Con ayuda del sol, las plantas absorben el CO<sub>2</sub> mediante la fotosíntesis, donde éste y el agua se transforman en carbohidratos, liberando oxígeno a la atmósfera. Parte de los carbohidratos se usa como energía en las plantas, liberando CO<sub>2</sub> a través de sus hojas o raíces, mientras que los animales consumen estos carbohidratos y también liberan CO<sub>2</sub> a través de su metabolismo y respiración. Los restos de plantas y animales muertos son descompuestos por microorganismos del suelo, liberando CO<sub>2</sub> que regresa a la atmósfera (Orellana et al., 2012).

En el suelo, **la respiración también produce CO<sub>2</sub>, resultado de la descomposición de la materia orgánica por parte de microorganismos y de la respiración de las raíces de las plantas.** La cantidad de CO<sub>2</sub> liberado refleja la tasa de descomposición de la materia orgánica, lo que indica la cantidad de carbono que se pierde del sistema del suelo. **Medir la respiración del suelo es crucial para entender su contribución al balance de CO<sub>2</sub> en la atmósfera** (Lessard et al., 2006).

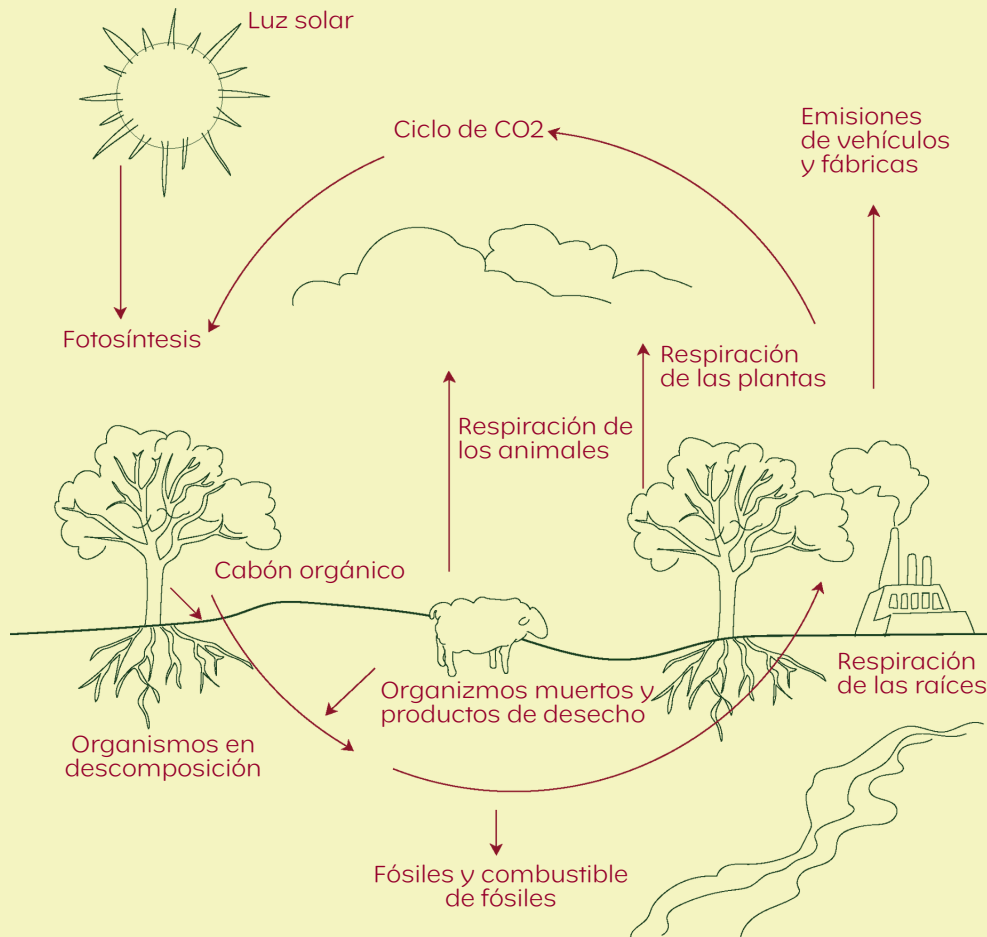


Imagen 1. Ciclo del carbono.  
Fuente: elaboración propia

### 2.2.2. El ciclo del nitrógeno

El ciclo del nitrógeno es un proceso continuo que involucra la transferencia de este elemento desde la atmósfera al suelo, luego a las plantas, animales y seres humanos, y que eventualmente regresa a su origen. En este ciclo el nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) que conforma el 78% del aire es convertido en compuestos que las plantas y otros organismos pueden absorber a través de varias etapas como la fijación, nitrificación, asimilación, amonificación y desnitrificación realizada por bacterias especializadas en suelo y agua.



El ciclo comienza cuando el nitrógeno atmosférico cae al suelo a través de fenómenos climáticos como la lluvia, nieve o granizo. Una vez en el suelo, el nitrógeno es procesado por bacterias fijadoras que lo convierten en amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) a través de un proceso anaeróbico donde las plantas lo pueden absorber a través de las raíces. Este amoníaco luego pasa por la amonificación, llevada a cabo por bacterias y hongos amonificadores, que lo transforman en amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Posteriormente, en un proceso conocido como nitrificación, otras bacterias convierten el amonio en nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) y luego en nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), los cuales las plantas pueden absorber y utilizar para producir proteínas y ácidos nucleicos. Cuando las plantas y los animales mueren, el nitrógeno de sus cuerpos regresa al suelo en forma de amoniaco y las bacterias desnitrificantes nuevamente lo descomponen convirtiéndolo en nitrógeno gaseoso, devolviéndolo a la atmósfera.

El desbalance en el ciclo del nitrógeno puede tener efectos graves en el medio ambiente, como la pérdida de oxígeno en mares y ríos, la contaminación de suelos poco fértiles y la formación de lluvias ácidas.

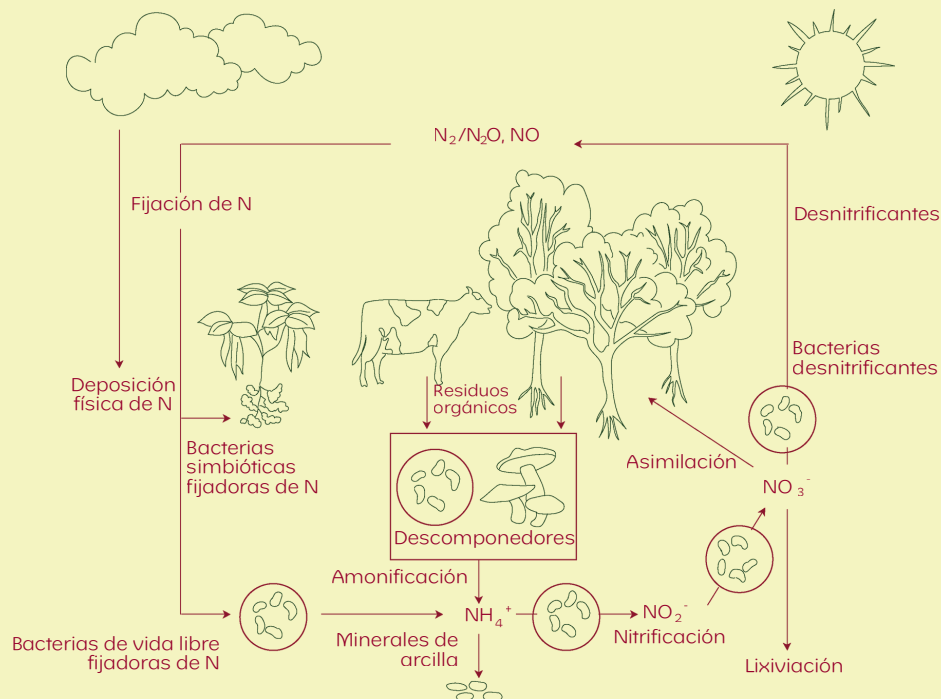


Imagen 2. Ciclo del nitrógeno.  
Fuente: elaboración propia



## 2.2. Almacenamiento del carbono en el suelo, secuestro y liberación

Las plantas capturan el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) de la atmósfera y lo convierten en moléculas a base de carbono, que son la base de la vida para el planeta. Sin embargo, **casi todo el carbono que las plantas fijan se convierte nuevamente en  $\text{CO}_2$  o metano  $\text{CH}_4$  cuando las moléculas que conforman las plantas son descompuestas por los microorganismos del medio ambiente. Solo una pequeña fracción de este carbono se mantiene duradera en el ecosistema, permaneciendo en el suelo durante ciclos fuera de la atmósfera.** Históricamente este carbono se ha almacenado principalmente en el suelo, pero gran parte de él se pierde debido a actividades humanas como la agricultura, la deforestación y el desarrollo urbano, que alteran los ecosistemas contribuyendo a la liberación del carbono almacenado.

El proceso de captura de carbono en el suelo involucra **la fotosíntesis y la descomposición de materia orgánica, producto de los restos de plantas, animales y microorganismos**, los cuales se almacenan como materia orgánica vital para la fertilidad del suelo. La actividad microbiana realizada por bacterias y hongos descompone esta materia orgánica y estabiliza parte del carbono en formas menos susceptibles de descomposición rápida.

Condiciones ambientales como la temperatura, humedad y la acidez del suelo afectan la captura de carbono a largo plazo. **Las prácticas agrícolas de manejo del suelo como la labranza mínima, rotación de cultivos y cobertura vegetal influyen en la cantidad de carbono almacenado durante largos periodos** (Smith et al., 2021). Por otro lado, la liberación de carbono ocurre a través de la respiración microbiana y la descomposición de materia orgánica, devolviendo  $\text{CO}_2$  a la atmósfera (Jones y Mitchell, 2020).



### **2.3. Factores que afectan el ciclo de carbono en el suelo**

El ciclo del carbono en el suelo es un proceso complejo que se ve afectado por una serie de factores humanos y climáticos. **Uno de los principales factores es la temperatura, la cual afecta directamente la tasa de descomposición de la materia orgánica y la actividad microbiana del suelo, lo que influye en la liberación de carbono** (Davidson y Janssens, 2020). Las condiciones de humedad óptima favorecen la descomposición microbiana, mientras que la humedad disminuye y las condiciones de sequedad aumentan, la actividad microbiana se ve reducida, afectando la liberación del carbono.

Otro factor importante es la **erosión del suelo**, tanto hídrica como eólica, que afecta la estabilidad del carbono almacenado en el suelo. **La erosión causa la pérdida de capas de materia orgánica superficiales, reduciendo la capacidad del suelo para almacenar carbono de forma efectiva.** Además, la mineralización de la materia orgánica realizada por los microorganismos que descomponen los compuestos orgánicos está influenciada por la aireación del suelo, la labranza y los fuertes disturbios a los que es sometido el suelo. Estos son los principales factores que estimulan la mineralización y, por lo tanto, la liberación de carbono (Balesdent et al., 2000). Finalmente, los procesos de lixiviación tanto del carbono orgánico como inorgánico también son un mecanismo importante en la pérdida de carbono del suelo.

### **2.4. La importancia de los microorganismos del suelo en el ciclo del carbono**

Los microorganismos del suelo, como bacterias y hongos, desempeñan un papel importante en el ciclo del carbono. **Son responsables de la descomposición de la materia orgánica, liberando compuestos orgánicos y CO<sub>2</sub>.** Además, participan en la mineralización de los nutrientes, transformando los materiales orgánicos en formas más accesibles para las plantas. **La actividad microbiana depende de factores ambientales como la temperatura, la humedad, la disponibilidad de nutrientes y la calidad de la materia orgánica** (Tate, 2017). Estos microorganismos contribuyen al secuestro de carbono al formar complejos estables con los minerales del suelo, lo que permite almacenar carbono durante largos períodos (Schimel y Schaeffer, 2018).



La materia orgánica del suelo es un indicador clave de la calidad del mismo, influyendo tanto en sus funciones agrícolas como ambientales, como la captura de carbono y calidad del aire. El número de microorganismos y su diversidad están directamente relacionados con la materia orgánica del suelo. La actividad biológica que ésta genera afecta las propiedades químicas y físicas del suelo (Robert, 1996). **La materia orgánica mejora la estabilidad del suelo aumentando la biodisponibilidad de nutrientes para las plantas, la capacidad de infiltración de agua hacia el suelo, así como la resistencia a la erosión hídrica y eólica.**

Estudios recientes destacan que los microorganismos del suelo son importantes para predecir las pérdidas de carbono por el calentamiento global. Según Delgado B. (2020), **estos microorganismos son importantes en la respuesta de respiración del suelo al calentamiento, lo que demuestra la importancia de caracterizar y conservar las comunidades microbianas para predecir las pérdidas del carbono en el contexto del cambio climático.** Los resultados indican que los microorganismos del suelo son más importantes de lo que se pensaba para regular los efectos de la temperatura sobre la respiración del suelo (García, Palacios et al., 2020).

# 3 Agricultura regenerativa y su impacto en el carbono del suelo



Fundación Alpina



## 3. AGRICULTURA REGENERATIVA Y SU IMPACTO EN EL CARBONO DEL SUELO

La agricultura regenerativa tiene como principio **la rehabilitación del suelo para que este sea más productivo y evitar la ampliación de la frontera agrícola**. La agricultura regenerativa abarca varias prácticas agropecuarias, tales como la agroecología, la agricultura orgánica, las prácticas agroforestales, la agricultura climáticamente inteligente y el pastoreo rotacional. **No existe un enfoque único para cada caso, ya que la clave está en caracterizar cada sistema productivo para proporcionar estrategias adaptadas a cada contexto particular** (Gattinger et al., 2012; Teague et al., 2016).

Además de aumentar la fertilidad del suelo, la agricultura regenerativa busca **restaurar y mejorar la salud del suelo mediante prácticas que aumenten la biodiversidad, mejoren la calidad del agua y favorezcan el secuestro de carbono**. Estas prácticas son diseñadas para fomentar el aumento de la productividad agrícola y la regeneración de los ecosistemas.

### 3.1. Prácticas regenerativas

Las prácticas regenerativas buscan **la sostenibilidad ambiental y la salud humana**, ya que no solo priorizan la producción agrícola, sino también la restauración de los ecosistemas degradados mediante el reciclaje de nutrientes al **incrementar la biodiversidad y devolver el carbono al suelo**, entre otros beneficios. Además, proponen un enfoque holístico, donde **la productividad debe ir de la mano con la protección de los recursos naturales como el suelo, el agua y la biodiversidad** (Gliessman, 2016). Este enfoque reconoce que la agricultura no sólo es un medio para producir alimentos, sino una **herramienta para restaurar el equilibrio ecológico** y promover la resiliencia frente al cambio climático (Altieri, 2018).

### 3.2. Principios de la agricultura regenerativa

Los principios de la agricultura regenerativa fueron definidos por Gabe Brown, pionero del movimiento de salud del suelo y regeneración de recursos, quien plantea un conjunto de lineamientos prácticos orientados a restaurar la fertilidad del suelo y promover ecosistemas productivos más resilientes. A continuación, se encuentran sus principios básicos:



Principio	Descripción	Beneficios principales
Suprimir las técnicas dañinas de cultivo.	Eliminar labranzas excesivas, uso de pesticidas y fertilizantes sintéticos, y monocultivos. Implementar labranza mínima o cero labranza.	Conserva la estructura del suelo, aumenta carbono orgánico, retiene agua, reduce erosión y mejora actividad microbiana.
Aplicar cultivos de cobertura durante todo el año.	Mantener el suelo cubierto con plantas (leguminosas, gramíneas, forrajes) que aporten materia orgánica.	Evita erosión, mejora fertilidad, aporta nitrógeno, incrementa carbono en el suelo y puede servir de alimento animal.
Mejorar la diversidad biológica.	Rotación de cultivos, integración de árboles, arbustos, forrajes y animales en el ecosistema.	Control natural de plagas, reducción de insumos sintéticos, aumento de fertilidad, mayor captura de carbono, productos de mejor calidad.
Integrar animales en la producción agrícola.	Incorporar ganado en sistemas agroforestales o mixtos.	Fertilización natural del suelo, control de plagas, reducción de pesticidas, incremento de sostenibilidad.
Preservar las raíces vivas de cultivos perennes.	Mantener raíces activas de perennes para mejorar la salud del suelo.	Aumenta estructura y retención de agua, reduce erosión, equilibra nutrientes y almacena carbono a largo plazo.

Fuente: Información adaptada de Powlson et al. (2014).



### **3.2.1. Suprimir las técnicas dañinas de cultivo**

Eliminar toda práctica agrícola que atente contra la salud del suelo y el medio ambiente, como labranzas excesivas, aplicación de pesticidas y fertilizantes sintéticos, así como los monocultivos. Estas prácticas afectan negativamente la biodiversidad del suelo, contribuyen a la erosión y aumentan la liberación de gases de efecto invernadero. Se recomienda reemplazar todas estas técnicas dañinas por la implementación de labranza mínima o no labranza, las cuales ayudan a mantener la estructura del suelo, conservar y aumentar el carbono en el suelo, favorecer la retención de agua y acumulación de materia orgánica, reducir la erosión y mejorar la actividad microbiana en el suelo (Powlson et al. 2014).

### **3.2.2. Aplicar cultivos de cobertura durante todo el año**

Evitar que el suelo quede descubierto mediante el uso de plantas que aumenten la producción agrícola, mejoren la salud del suelo y sirvan como alimento para el ganado. Los cultivos de cobertura evitan la erosión, mejoran la estructura y fertilidad del suelo y proporcionan una fuente continua de materia orgánica. Esto contribuye al aumento de carbono almacenado en el suelo. Al utilizar leguminosas como cultivos de cobertura, se promueve la fijación de nitrógeno beneficiando los cultivos principales.

### **3.2.3. Mejorar la diversidad biológica**

La diversidad biológica es fundamental para la salud de los ecosistemas agrícolas. La diversidad biológica del suelo y aérea mejora a través de prácticas de rotación de cultivos y la integración de árboles, arbustos, forrajes y animales al ecosistema. Una mayor diversidad biológica ayuda a controlar plagas y enfermedades de forma natural, reduciendo el uso de insumos sintéticos. Además, la biodiversidad aumenta la fertilidad del suelo, la captura de carbono y mejora la calidad de los productos agropecuarios.

### **3.2.4. Integrar animales en la producción agrícola**

Integrar animales a los sistemas agrícolas y en arreglos agroforestales permite aprovechar sus desechos para la fertilización del suelo de forma natural, además de colaborar con el control de plagas y reducir el uso de pesticidas. Esta integración aumenta la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas.



### **3.2.5. Perservar las raíces vivas de los cultivos perennes**

La integración de cultivos perennes en los sistemas agrícolas mejora la estructura y calidad de los suelos. **Mantener vivas las raíces de estos cultivos favorece la estructura del suelo, reduce la erosión, aumenta la retención de agua y facilita el intercambio de nutrientes, equilibrando el ecosistema.** Además, las raíces vivas ayudan al almacenamiento de carbono, lo que mejora la fertilidad del suelo y contribuye con la sostenibilidad a largo plazo.

# 4

## **Guía para determinar la captura de carbono del suelo**



Fundación Alpina



## 4. GUÍA PARA DETERMINAR LA CAPTURA DE CARBONO EN EL SUELO

### Objetivo de la guía

Proporcionar un documento metodológico para cuantificar, monitorear y reportar los cambios en la reserva de la captura de materia orgánica (carbono) en suelo, de proyectos que adopten prácticas hacia la transición agroecológica o agricultura regenerativa, durante el horizonte de intervención en predios.

### 4.1. Definir el área de estudio y el número de muestras

Antes de la visita:

1. Planee y delimite el área de muestra con polígonos georreferenciados.

Levante línea base:

- Fertilizantes
- Labranza
- Riego
- Cultivos
- Árboles

2. Prepare el equipo y los formularios de registro:

- Barrena
- Anillo
- Bolsas
- Etiquetas
- GPS
- Nevera
- Refrigerantes

3. Delimite geográficamente las tierras o cultivos donde se implementarán/están implementando las prácticas agroecológicas o regenerativas: proporcione la ubicación exacta del área a muestrear. Utilice polígonos georreferenciados que indiquen claramente los límites de la zona de intervención.

- Se recomienda obtener una imagen fotográfica del terreno, elaborar un mapa detallado del área y una imagen satelital de la zona (utilice herramientas como Google Earth o Bing Maps).



4. Realice una caracterización o línea base de las condiciones actuales de la explotación/área sujeta de seguimiento e implementación. Incluya información de:

- Fertilizantes
- Enmiendas
- Tipos de labranza
- Gestión de riego
- Cultivos
- Árboles
- Otras prácticas que considere pertinentes

Éstos le servirán como punto de referencia para evaluar los efectos de las prácticas regenerativas una vez implementadas sobre los resultados iniciales y finales del carbono orgánico del suelo.

5. Una vez caracterizado el escenario de intervención, defina claramente el área en la cual se va a realizar el muestreo. El área puede ser una parcela agrícola, zona de pastoreo o sistema agroforestal. El tamaño del área dependerá de factores como:

- Homogeneidad del suelo
- Textura
- Topografía
- Uso actual
- Diversidad de especies presentes

De acuerdo con el área topográfica de intervención, defina núcleos de muestreo para obtener las muestras de reservas de carbono orgánico en el suelo. Defina 3-10 núcleos que servirán para obtener muestras representativas.

Distribuya estratégicamente los núcleos de muestreo para capturar la variabilidad del terreno y así asegurar que los datos obtenidos sean lo más representativos posible.

## 4.2. Seleccionar el tipo de muestreo

1. Dependiendo de las características del área, puede optar por uno de los siguientes tipos de muestreo:

Tipo de muestreo	Descripción
Aleatorio	Se seleccionan puntos al azar dentro del área de estudio.
Estratificado	Si el área tiene heterogeneidad (diferentes usos de suelo o vegetación), se divide en estratos y se toma muestra en cada uno.
Sistemático	Se establece una cuadrícula regular en el área y se toma una muestra en cada punto de la cuadrícula.

Fuente: elaboración propia.

### Tipos de muestreo de suelos

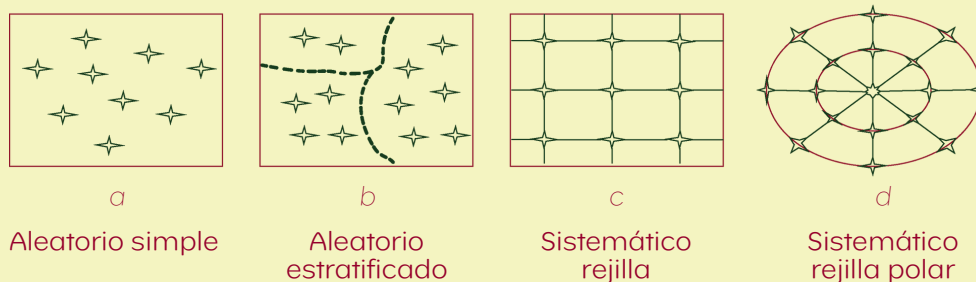


Imagen 3: tipos de muestreo de suelos.  
Fuente: elaboración propia

2. Tome de 3 a 4 submuestras por unidad homogénea o núcleo.



### **Durante la visita:**

3. Seleccione puntos según el diseño. Evite zonas alteradas (excretas, caminos, riego).

### **4.3. Definir la profundidad del muestreo**

1. Tome muestras por estratos de profundidad:

- Cultivos transitorios: entre 0–10 y 10–30 cm.
- Perennes/forestales: entre 50–100 cm.

Use anillos para densidad aparente y así poder cumplir con el protocolo del laboratorio.

2. Cantidad y representatividad: recolecte 1.2–1.5 kg por muestra. Haga 3–4 submuestras por unidad. Remueva las piedras o raíces. Estime el porcentaje de fragmentos (superior a 2 mm).

3. Registro y trazabilidad: etiquete la muestra (finca/código, fecha, coordenadas, profundidad, uso del suelo, % de fragmentos superiores a 2 mm) y georreferencie.

El carbono orgánico en el suelo puede variar dependiendo de la profundidad. Generalmente se toman muestras en diferentes capas del suelo. Esta profundidad depende del tipo de proyecto, especies plantadas y condiciones generales del área. Las concentraciones de carbono orgánico son mayores en las capas superiores del suelo y van disminuyendo con la profundidad. Se recomienda tomar la muestra entre 0 y 30 cm de profundidad.

Los rangos de medición o muestreo son los siguientes:

- Capa superficial: 0-10 cm.
- Capa superficial: 10-20 cm.
- Capa media: 10-30 cm.
- Capa profunda: 30-60 cm.

El número de capas dependerá de la especificidad del estudio y la variabilidad del suelo.

Para cultivos transitorios, la muestra debe tomarse en estratos de 0-10 y de 10-30 cm.



Para cultivos perennes o forestales, la profundidad del estrato debe ser de 50-100 cm.

Las muestras de 0 y 30 cm de profundidad pueden tomarse con pala o palín, siguiendo el protocolo estándar para toma de muestras de análisis químico de suelo.

Simultáneamente, tome las muestras con anillos para determinar la densidad aparente de estos perfiles. Recuerde que los protocolos de muestreo y anillos para las muestras son proporcionados por el laboratorio donde se analizará la muestra.

Si los cambios temporales del stock de carbono orgánico del suelo (COS) se van a utilizar para inventarios globales de carbono nacionales o IPCC, se deben tomar como mínimo del perfil de 0-30cm (Eggleston., 2006).

### Checklist de herramientas y equipo necesario

	<b>Barrena:</b> para extraer las muestras de suelo.
	<b>Pala o palín:</b> para limpiar el área de muestreo, tomar la muestra, estimar el material grueso y extraer cilindros.
	<b>Mazo:</b> anti-rebote, para introducir el cilindro.
	<b>Bolsas plásticas tipo zip:</b> para recolectar y conservar las muestras de suelo.
	<b>Balde plástico:</b> para almacenar y homogeneizar submuestras formando la muestra compuesta.
	<b>Cilindro metálico (anillo de acero):</b> para determinar la densidad aparente del suelo (5-10 cm de diámetro).
	<b>Cuchillo, tijeras o espátula:</b> para retirar el material sobrante de los anillos.
	<b>Elementos de limpieza (cepillos, toallas, etc.):</b> para limpiar la barrena y los cilindros.



	<b>Regla o metro plegable:</b> para medir la profundidad de las capas de suelo.
	<b>Etiquetas o marcadores:</b> para identificar las muestras.
	<b>Guantes:</b> para evitar la contaminación de las muestras.
	<b>Hoja de registro o formulario:</b> para documentar ubicación, profundidad y fecha de cada muestra.
	<b>GPS o celular:</b> para georreferenciar los puntos de muestreo.
	<b>Balanza o peso:</b> para estimar el peso de la muestra y el porcentaje de material superior a 2 mm.
	<b>Cava o nevera:</b> para conservar la cadena de frío de las muestras.
	<b>Refrigerantes:</b> para mantener una temperatura promedio de 6 °C.

## 4.5. Tomar las muestras de suelo para química de carbono orgánico total del suelo

### 4.5.1. Muestra de suelo para carbono orgánico

1. Preparación del sitio: si el área está cubierta por vegetación densa, despeje la superficie de todos los residuos orgánicos como hojas, pasto o material orgánico sin afectar el suelo.
  - a. Evite tomar muestras en áreas con excretas, caminos, con riego, cortafuegos u otras que sugiera el protocolo de laboratorio donde se realizará el análisis.
2. Extracción del suelo: con la pala, palín, el barreno o la barrena, tome una muestra del suelo hasta la profundidad deseada. Asegúrese de que la muestra esté libre de contaminantes como piedras, raíces gruesas o restos de plantas.



3. Mezcla de muestras: si toma varias muestras en un área (en un mismo estrato o núcleo), debe mezclarlas bien para así obtener una muestra compuesta representativa. Para ello, puede tomar submuestras de diferentes puntos dentro de la misma área y mezclarlas en un recipiente limpio.

4. Cantidad de muestra: recoja alrededor de 1.200 a 1.500 gramos de suelo por cada muestra, dependiendo de las recomendaciones del laboratorio donde se va a realizar el análisis.

5. Porcentaje de contenido de elementos gruesos: esto se realiza en el caso de suelos con fracciones de elementos mayores a 2 mm. Si es aplicable, se debe incluir el porcentaje de elementos gruesos presentes en la muestra (como piedras o fragmentos de materia orgánica), clave para el cálculo matemático de carbono orgánico en suelo.

6. Análisis de evolución del COS: para este seguimiento se requiere que la muestra sea tomada en el mismo momento del año con una variabilidad de 30 días, semestral o en cada rotación de cultivo.

#### 4.5.2. Muestreo del suelo para la densidad aparente

Profundidad de la muestra: la muestra debe ser tomada en los mismos estratos o profundidades que se utilizaron para el muestreo del carbono orgánico en el suelo.

Determinar la densidad aparente del suelo ( $D_a$ ): se debe utilizar el método de medición directa o núcleo intacto por excavación. El tamaño de la muestra y el método adecuado dependerán del protocolo y los materiales de apoyo proporcionados por el laboratorio donde se analizará la muestra.



Método de núcleo intacto: se debe recolectar una muestra con volumen conocido, utilizando un anillo de metal presionado sobre el suelo. Posteriormente, se determina el peso de la muestra después del secado.

**Paso a paso:**

1. Limpieza de la superficie del suelo: utilice una pala o palín hasta la profundidad deseada para la muestra. Introduzca un anillo de acero de volumen conocido (de  $100\text{cm}^3$ , proporcionado por el laboratorio) y martille suavemente en el suelo, asegurándose de proteger el anillo y evitar la compactación de la muestra.
2. Una vez completado el procedimiento, se debe retirar el anillo con cuidado, eliminando cualquier exceso de suelo del exterior del anillo. Con tijeras, corte las raíces que se encuentren fuera del anillo, tape el anillo y rotule la muestra para su posterior envío al laboratorio.

**4.5.3. Muestreo de suelo para análisis microbiológico**

La muestra tomada para el análisis de carbono orgánico en el suelo también es adecuada para el análisis microbiológico, siempre y cuando se asegure de que la muestra sea representativa. Se recomienda tomar aproximadamente entre 1200 y 1500 gramos de suelo para garantizar la calidad y el número de análisis. Es clave conservar la cadena de frío durante todo el proceso y el transporte, manteniendo la muestra a una temperatura promedio de  $6^{\circ}\text{C}$  hasta la recepción en el laboratorio.

Es fundamental seguir las recomendaciones y el protocolo de muestreo y transporte específicos del laboratorio donde se realizará el análisis, para asegurar la validez y precisión de los resultados.



### Posterior a la visita en campo:

1. Conservación y envío: almacene en fresco/seco. Para microbiología mantener ~6 °C hasta llegar al laboratorio.
2. Análisis en laboratorio (Walkley-Black, Dumas, UV-VIS): mantenga el mismo laboratorio para las diferentes series de tiempo.
3. Cálculo de COS en la ecuación:

$$\text{COS} = (C/100) \times P \times D \times (1 - FG/100) \times 100 \text{ (t C ha}^{-1}\text{)}$$

interprete contra la línea base.

Reporte al productor: explique los resultados y recomendaciones (labranza mínima, cobertura, rotación, agroforestería) que incrementan la captura y resiliencia.

### 4.6. Conservación de las muestras

Etiquetado y trazabilidad:

- Cada muestra debe estar correctamente identificada.
- La etiqueta debe incluir, como mínimo:
  - Nombre o código de la finca.
  - Propietario.
  - Fecha de recolección.
  - Ubicación y coordenadas geográficas.
  - Profundidad de la muestra.
  - Uso actual del suelo.
  - Porcentaje de elementos gruesos (>2 mm).
    - Este último dato debe registrarse en una base de datos por productor, pues es indispensable para el cálculo matemático del carbono.



Envío al laboratorio:

- Una vez etiquetadas, las muestras deben enviarse al laboratorio lo más pronto posible.
- Si el envío no puede realizarse de inmediato, las muestras deben conservarse en condiciones que eviten la descomposición o alteración del carbono (lugar fresco y seco).
- Seguir siempre las recomendaciones específicas del laboratorio que realizará el análisis.

Muestras para análisis microbiológico:

- Si las muestras se utilizarán también con fines microbiológicos, deben mantenerse bajo cadena de frío.
- Conservar a una temperatura aproximada de 6°C, para evitar la alteración de la actividad microbiana hasta la recepción en el laboratorio.

#### 4.7. Métodos de análisis en el laboratorio

Finalmente, envíe las muestras al laboratorio de análisis de suelos, donde se realizará la determinación del carbono orgánico en el suelo mediante métodos como la combustión a alta temperatura (por ejemplo, método de oxidación húmeda (Walkley-Black, 1934), método de combustión seca de Dumas (Bremner, 1996), o el análisis por espectrofotometría UV-VIS).

Se recomienda utilizar el mismo laboratorio para realizar todas las evaluaciones de seguimiento de indicadores.



#### 4.8. Cálculo de las reservas de carbono orgánico en el suelo

Una vez recibidos los resultados del análisis del suelo, se procede a cuantificar la cantidad de carbono orgánico del suelo (COS) expresado en toneladas de carbono orgánico de suelo por hectárea (tCha<sup>-1</sup>), utilizando la ecuación propuesta por Mathew et al. (2016). Esta ecuación permite calcular el contenido de carbono orgánico en el suelo en función de los datos obtenidos en el análisis de laboratorio. Es fundamental para evaluar el impacto de las prácticas de manejo en el almacenamiento de carbono de los suelos.

La ecuación que se utiliza es:

$$\text{COS} = (\text{C}/100) \times \text{P} \times \text{D} \times (1 - \text{FG}/100) \times 100$$

Donde:

- COS = stock de carbono orgánico del suelo
- C = contenido de carbono en el suelo, determinado en el laboratorio (%)
- P = densidad aparente (Mg/m<sup>3</sup>)
- D = profundidad de la muestra en cm
- FG = porcentaje del volumen de fragmentos gruesos /100
- 100 = factor de conversión tCha<sup>-1</sup>

Este cálculo arroja el contenido total del carbono orgánico del suelo por hectárea, permitiendo realizar un seguimiento adecuado a los cambios en el almacenamiento de carbono según las prácticas de manejo implementadas.

#### Ejemplo:

Para calcular el stock de carbono orgánico del suelo (COS), se realiza un muestreo a una profundidad de 5cm de suelo, con los siguientes datos obtenidos:

- Contenido de carbono en suelo de = 2.1%
- Densidad aparente del suelo (D) = 1,3Mg/m<sup>3</sup>

Donde:

- COS = stock de carbono orgánico del suelo
- C= Contenido de carbono en suelo, = 2,1%
- P= Densidad aparente= 1,3 Mg m<sup>3</sup>



- D= Profundidad de la muestra = 5cm
- FG = porcentaje del volumen de fragmentos gruesos % = 10%
- 100 = factor de conversión  $tCh^{-1} = 100 tCh^{-1}$

Reemplazamos la fórmula con los datos:

- $COS = (2,1/100) \times 1,3Mg m^3 \times 5 \times (1 - 10/100) \times 100 tCh^{-1}$
- $COS = (0,021) \times 1,3 \times 5 \times (0,9) \times 100$
- $COS = (0,021) \times 6,5 (0,9) \times 100$
- $COS = 0,1365 \times 90$
- $COS = 12,285Mg COS ha^{-1}$

**Resultado:** El Stock de Carbono Orgánico del Suelo en esta muestra es 12,285 toneladas de carbono por hectárea (t/ha).

#### 4.9. Laboratorios y costos de análisis de suelo

Existen diversos laboratorios especializados en análisis de suelo que ofrecen servicios de alta calidad para obtener datos precisos sobre las propiedades o análisis específicos del suelo. En la tabla 1 se presentan algunos laboratorios, al igual que las características de los diferentes análisis técnicos, métodos utilizados y los costos aproximados de los análisis.

Recomendaciones al elegir un laboratorio: es fundamental que el laboratorio esté certificado y acreditado para garantizar que los resultados sean válidos y confiables. Además, debe contar con experiencia en el tipo de análisis requerido, ofrecer asesoría permanente y disponer en su portafolio todos los análisis de interés para optimizar la muestra.

Agrosavia es uno de los laboratorios más reconocidos en cuanto a la disponibilidad y calidad de los análisis de suelo. Las técnicas que utilizan están acreditadas, y cuenta con la acreditación ONAC, vigente a la fecha, con código de acreditación 13-LAB-031, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017.

Para la determinación de carbono orgánico, emplean el método: GA-R-119 versión 5 de 2021-10-25, utilizando la técnica de espectrofotometría UV-VIS.



Costos para el año 2025: la densidad aparente tiene un valor de \$33.850 y la de carbono orgánico \$45.100 para un total de \$78,950. Estos valores no incluyen los costos de envío, los cuales dependen de la zona geográfica.

Análisis de carbono en el suelo					
Laboratorio	Tipo de muestra	Análisis solicitado	Descripción	Precio	Tiempo de entrega
Agrosavia Lab. de química analítica	Suelo física	Suelo física - densidad aparente	Densidad Aparente/Método IGAC 2006/Técnica cilindro de volumen conocido	\$33.850	20 días hábiles
Laboratorio IGAC	Suelo física	Suelo física - densidad aparente	Densidad Aparente/Método IGAC 2006/Técnica cilindro de volumen conocido	\$30.000	
Agrosavia Lab. de química analítica	Suelo químico	Suelo química parámetro M.O	Determinación de carbono orgánico/Método GA-R 119 Versión 5 de 2021-10-25/ técnica espectrofotometría UV-VIS	\$45.100	20 días hábiles
Agrosavia Lab. de química analítica	Suelo químico	Suelo química elemento carbono oxidable (LQA)	Carbono orgánico Oxidable/Método GA-R 119 Versión 5 de 2021-10-25/ técnica espectrofotometría UV-VIS	\$45.100	20 días hábiles



Análisis de carbono en el suelo					
Laboratorio	Tipo de muestra	Análisis solicitado	Descripción	Precio	Tiempo de entrega
Laboratorio IGAC	Química	Carbono orgánico	Carbono Orgánico1 fácilmente oxidable (Método Walkley & Black).	\$44.600	
Laboratorio IGAC	Química	Carbono total	Carbono total	\$45.000	

### Análisis de fertilidad completa en el suelo

#### Agrosavia - Laboratorio de química analítica

- Tipo de muestra: suelo química.
- Análisis solicitado: suelo-química-fertilidad completa
- Descripción:
  - Determinación de pH:
    - Método: GA-R-46 versión 6 de 2021-10-25.
    - Técnica: potenciometría.
  - Determinación de conductividad eléctrica en suelos:
    - Método: NTC 5596:2008
    - Método B / Técnica: extracción: Relación 1:5 suelo-agua.
    - Cuantificación: potenciometría
  - Acidez intercambiable - pH menor 5,5:
    - Método: NTC 5263 modificada, extracción con KCl en suelos con pH menor de 5,5.
    - Técnica: volumetría
  - Determinación de carbono orgánico:
    - Método: GA-R-119 Versión 5 de 2021-10-25.
    - Técnica: espectrofotometría UV-VIS.



- Materia orgánica: se estima con un cálculo matemático a partir del contenido de carbono orgánico.
- Determinación de cationes cambiabales en suelo (Ca, Mg, K y Na):
  - Método: GA-R-50, Versión 9 de 2021-10-25.
  - Técnica: extracción de acetato de amonio 1M, pH 7.00.
  - Cuantificación: espectrofotometría de absorción atómica.
  - Determinación de fósforo (P) disponible.
- Bray II:
  - Método: GA-R-48, versión 7 de 2021-10-25.
  - Técnica: extracción Bray II.
  - Cuantificación: espectrofotometría UV-VIS.
- Determinación de micronutrientes en suelo (Fe, Cu, Mn, Zn):
  - Método: NTC 5526:2007. Método D.
  - Técnica: extracción: solución Olsen modificada.
  - Cuantificación: espectrofotometría de absorción atómica.
- Azufre disponible:
  - Método: NTC 5402.
  - Técnica: espectrofotometría VIS -turbidimétrica.
- Boro disponible:
  - Método: NTC 5404.
  - Técnica: espectrofotometría VIS-extracción.
- Determinación de capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE):
  - Método: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo "SCCS". 1981
  - Técnica: cálculo "Interpretación de resultados y Recomendación integral de Fertilización Química para un cultivo por muestra, Ingeniero Agrónomo con EXPERIENCIA en fertilidad de suelos".

Metodologías acreditadas con el ONAC, código de acreditación 13-LAB-031, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017.

- Precio: \$185.650.
- Tiempo de entrega: 15 días hábiles.

## Laboratorio-Biofertilizar Medellín

- Tipo de muestra: suelo microbiología.
- Análisis solicitado: suelo fertilidad completa
- Descripción: textura, PH,CE,P-Bray, II, P-soluble, S, AL (Si PH-5,5), acidez int, Ca, Mg, K, Na, CICE, relación y saturación de cationes, +Fe,Mn,Cu,Zn,B,N,NO2 y N-NH4.



- Precio: \$179.000.
- Tiempo de entrega: 10 días hábiles.

## Laboratorio IGAC

- Tipo de muestra: análisis químico suelo.
- Análisis solicitado: análisis químico suelo.
- Descripción: Q-01 caracterización básica, incluye:
  - Capacidad de intercambio catiónico – CIC
  - Capacidad de intercambio catiónico efectiva – CICE (Si pH <7.0).
  - Bases intercambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio).
  - Saturación de bases (calculado).
  - Relaciones catiónicas calculadas (Ca/Mg, Mg/K, (Ca+Mg)/K).
  - Fósforo disponible.
  - Acidez Intercambiable (Si pH  $\leq$  5.5).
  - Carbono orgánico.
  - Materia orgánica y nitrógeno total (calculado).
  - Carbonato de calcio cualitativo (si pH > 7.0).
  - Textura por Bouyoucos, pH y recomendación de fertilización para un cultivo.
- Precio: \$113.150.

## **Análisis de microbiología del suelo**

### Agrosavia - Laboratorio de microbiología agrícola

- Tipo de muestra: suelo microbiología.
- Análisis solicitado: suelo para recuento de bacterias presuntivas solubilizadoras de fósforo.
- Descripción: recuento de bacterias presuntivas solubilizadoras de fósforo.
  - Método: recuento en placa.
- Precio: \$112.650.
- Tiempo de entrega: 12 días hábiles.

### Agrosavia - Laboratorio de microbiología agrícola

- Tipo de muestra: suelo microbiología.
- Análisis solicitado: suelo para recuento de bacterias mesófilas hongos totales y actinomicetos.
- Descripción: recuento de bacterias mesófilas anaeróbicas, hongos totales (moho y levaduras) actinomicetos.



- Método: recuento en placa
- Precio: \$204.700.
- Tiempo de entrega: 12 días hábiles.

## Laboratorio-Biofertilizar Medellín

- Tipo de muestra: suelo microbiología.
- Análisis solicitado: suelo recuento de microorganismos.
- Descripción: conteo de colonias totales de hongos y bacterias.
- Precio: \$125.900.
- Tiempo de entrega: 10 días hábiles.

## Agrosavia - Laboratorio de microbiología agrícola

- Tipo de muestra: suelo microbiología.
- Análisis solicitado: suelo para recuento de bacterias presuntivas fijadoras de nitrógeno.
- Descripción: recuento de bacterias presuntivas fijadoras de nitrógeno.
  - Método: recuento en placa.
- Precio: \$112.650.
- Tiempo de entrega: 12 días hábiles.

## Agrosavia - Laboratorio de microbiología agrícola

- Tipo de muestra: suelo microbiología.
- Análisis solicitado: suelo-rizobios.
- Descripción: recuento de unidades formadoras de colonia de rizobios en suelo.
  - Método: recuento en placa.
- Precio: \$112.650.
- Tiempo de entrega: 12 días hábiles.

## Laboratorio IGAC

- Tipo de muestra: suelo microbiología.
- Descripción: cuantificación de microorganismos fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fosfatos, bacterias y actinomicetos, hongos y celulolíticos aerobios.
- Precio: \$135.000.



#### Laboratorio IGAC

- Tipo de muestra: suelo microbiología.
- Descripción: cuantificación de microorganismos anaerobios o extremófilos (por grupo seleccionado).
- Precio: \$90.300.

#### Laboratorio IGAC

- Tipo de muestra: suelo microbiología.
- Descripción: evaluación de poblaciones de fauna del suelo, incluye determinación taxonómica a orden, índices de diversidad.
- Precio: \$110.000.

# 5

## Referencias bibliográficas



Fundación Alpina



## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adhikari, K. and A. E. Hartemink (2016). Linking soils to ecosystem services—A global review. *Geoderma* 262: 101-111.
- Balesdent, J., Chenu, C., Balabane, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53: 215-220.
- Bouma, J. (2014). Soil science contributions towards sustainable development goals and their implementation: linking soil functions with ecosystem services. *Journal of plant nutrition and soil science* 177(2): 111-120.
- Bremner, JM. (1996). Total, Nitrogen. In: DL Sparks (ed). *Methods of soil analysis. Part 3: Chemical methods*. SSSA. pp:1149-1176.
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). (s.f.). Determinan que el microbioma del suelo es crucial para entender las pérdidas de carbono a la atmósfera. <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/determinan-que-el-microbioma-del-suelo-es-crucial-para-entender-las-perdidas-de-carbono-la-atmosfera>
- Davidson, E. A., & Janssens, I. A. (2020). El impacto del cambio climático sobre el ciclo del carbono en los suelos. *Nature Climate Change*, 10(7), 505-514.
- Delgado Baquerizo, M. (2020). Soil microorganisms as key players in predicting carbon loss in response to global warming. *Science Advances*, 6(9), eaay5875.
- EOS Data Analytics. (s.f.). Agricultura regenerativa: Qué es, principios y técnicas. <https://eos.com/es/blog/agricultura-regenerativa/>
- Fervalle. (s.f.). Guía completa sobre agricultura regenerativa. [https://www.fervalle.com/guia-completa-sobre-agricultura-RGqLL1ZFkYHQdM0ujTY3hz2\\_C3m9hng38tz\\_regenerativa/](https://www.fervalle.com/guia-completa-sobre-agricultura-RGqLL1ZFkYHQdM0ujTY3hz2_C3m9hng38tz_regenerativa/)
- Follett, R. F., et al. (2012). Soil carbon sequestration and the greenhouse effect. *Soil Science Society of America Journal*, 76(3), 1124-1134.
- Follett, R. F., Kimble, J. M., & Lal, R. (2012). Soil carbon sequestration and the greenhouse effect. *Soil Science Society of America Journal*, 76(3), 1124-1134.
- García-Palacios, P., et al. (2020). Soil microbiome regulates the effects of temperature on soil respiration. *Global Change Biology*, 26(7), 4211-4224.
- Fervalle. (s.f.). Guía completa sobre agricultura regenerativa. <https://www.fervalle.com/guia-completa-sobre-agricultura-regenerativa/>



- GeoPlaneta. (s.f.). El sorprendente ciclo del nitrógeno: Un secreto revelado. <https://geoplaneta.net/el-sorprendente-ciclo-del-nitrogeno-un-secreto-revelado/>
- Jeff Moyer, (2020). doctor Andrew Smith, doctor Yichao Rui, doctor Jennifer Hayden, (Rodali intitute, Regenerativo agricultura and the soil carbons solution
- Jones, M. D., & Mitchell, A. J. (2020). Mecanismos de liberación de carbono en ecosistemas terrestres. *Environmental Biogeochemistry*, 12(2), 155-167.
- Karlen, D. L., M. J. Mausbach, J. W. Doran, R. Cline, R. Harris and G. Schuman (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal* 61(1): 4-10.
- Keesstra, S. D., J. Bouma, J. Wallinga, P. Tiftonell, P. Smith, A. Cerdà, L. Montanarella, J. N. Quinton, Y. Pachepsky, W. H. van der Putten, R. D. Bardgett, S. Moolenaar, G. Mol, B. Jansen and L. O. 148 Fresco (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *Soil* 2(2): 111-128
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623-1627.
- Lal, R. (2020). Manejo de suelos para la retroalimentación negativa del cambio climático y el impacto positivo en la seguridad alimentaria y nutricional. *Ciencia del suelo y Nutrición Vegetal* 66, 1-9, doi:10.1080/00380768.2020.1718548
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis. World Resources Institute. Washington, D.C (USA).
- Paul, C., K. Kuhn, B. Steinhoff-Knopp, P. Weißhuhn and K. Helming (2021). Towards a standardization of soil-related ecosystem service assessments. *European Journal of Soil Science* 72(4): 1543- 1558
- Pereira, P., I. Bogunovic, M. Muñoz-Rojas and E. C. Brevik (2018). Soil ecosystem services, sustainability, valuation and management. *Current Opinion in Environmental Science and Health* 5: 7-13.
- Plaza, C., et al. (2020). Microbial biomass and soil respiration in response to increasing temperatures in global soil studies. *Soil Biology and Biochemistry*, 146, 107809.



- Powlson, D. S., et al. (2011). Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-evaluation of the literature. *Global Change Biology*, 17(6), 1391-1404.
- Powlson, D. S., et al. (2014). Soil carbon sequestration to mitigate climate change: A critical re-examination of the evidence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 123(1-3), 1-19.
- Powlson, D. S., Whitmore, A. P., & Goulding, K. W. T. (2011). Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re-examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science*, 62(1), 42-55.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2019). Informe sobre la brecha de emisiones 2019. Nairobi: PNUMA. Informe sobre la brecha de emisiones del PNUMA (2019)
- Robert, M. (1996). La materia orgánica del suelo y su influencia en las propiedades físicas y químicas del suelo. *Soil Biology and Biochemistry*, 28(11), 1509-1515.
- Rüginitz, M. T., Chacón, M. L. & Porro, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Primera edición. Lima, Perú: Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)/Consorcio Iniciativa Amazônica (IA). 79p
- Rüginitz, M. T., Chacón, M. L., & Porro, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF).
- Schimel, J. P., & Schaeffer, S. M. (2018). Microorganismos del suelo y su impacto en el secuestro de carbono. *Soil Ecology Letters*, 19(2), 113-128.
- Sharma, R. K., et al. (2020). Effect of compost and organic fertilizers on soil organic carbon and microbial properties. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(25), 31270-31283.
- Smith, P., et al. (2021). La gestión del carbono en suelos agrícolas: prácticas y efectos sobre el secuestro de carbono. *Soil Science Journal*, 68(4), 123-139.
- Smith, P., et al. (2021). La gestión del carbono en suelos agrícolas: prácticas y efectos sobre el secuestro de carbono. *Soil Science Journal*, 68(4), 123-139.
- Tate, R. L. (2017). Microbiología del suelo y su papel en el ciclo del carbono. *Soil Biology*, 33(4), 305-317.



- UN, United Nations (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. Oxford, Oxford University Press.
- TEEB (2010). The economics of ecosystems and biodiversity: ecological and economic foundations, UNEP/Earthprint.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37(1), 29-38.
- Windows to the Universe. (s.f.). Ciclo del carbono [Figura]. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/figure/Ciclo-del-carbono-fuente-windows2universeorg\\_fig2\\_233813640](https://www.researchgate.net/figure/Ciclo-del-carbono-fuente-windows2universeorg_fig2_233813640)[https://www.researchgate.net/figure/Ciclo-del-carbono-fuente-windows2universeorg\\_fig2\\_233813640](https://www.researchgate.net/figure/Ciclo-del-carbono-fuente-windows2universeorg_fig2_233813640)



Fundación Alpina

Laboratorio social, ambiental y productivo



Fundación Alpina