



# Secuestro de carbono orgánico en suelos de América Latina y el Caribe

**Producto 10: Protocolo de muestreo de suelos para determinar stock de COS y uso de NIRS para determinar carbono y nitrógeno en el suelo.**

**Equipo técnico**

**2023**

Ministry for Primary Industries  
Manatū Ahu Matua



GLOBAL  
RESEARCH  
ALLIANCE  
ON AGRICULTURAL  
GREENHOUSE GASES



**FONTAGRO**



Códigos JEL: Q16

ISBN:

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Marcelo Panichini, Verónica Ciganda, Virginia Pravia y Mariana Rosas.

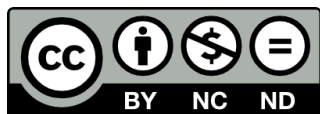
Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

**FONTAGRO**

Correo electrónico: [fontagro@fontagro.org](mailto:fontagro@fontagro.org)

[www.fontagro.org](http://www.fontagro.org)



# Tabla de Contenidos

<b>Abstract</b> .....	4
<b>Resumen EJECUTIVO</b> .....	5
<b>Palabras Clave: COS, SEGURIDAD ALIMENTARIA, LAC, TIER2</b> .....	5
<b>Introducción</b> .....	6
<b>Objetivos</b> .....	6
<b>Protocolo de muestreo de suelos</b> .....	6
Protocolo de procesamiento post-campo .....	9
Protoloco NIRS .....	9
<b>Conclusiones y recomendaciones</b> .....	10
<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	11
<b>Instituciones participantes</b> .....	12



## ABSTRACT

Agroecosystems in Latin America and the Caribbean (LAC) have the potential to offer significant solutions to global problems such as climate change, food security and environmental pollution. At the center of this paradigm shift is soil organic carbon (COS), which plays a crucial role in soil productivity and acts as the largest carbon reservoir in the biosphere, with a major impact on the balance of greenhouse gas (GHG) emissions. Proper management of COS becomes an essential pillar for the development of sustainable agriculture. In this context, an initiative is proposed that seeks to contribute to the design of land use practices with high COS sequestration potential in LAC agricultural systems, as well as to develop local capacities to quantify and monitor the stock of COS. Currently, the lack of consolidated local information documenting the response of COS stock to changes in land use or management is a major constraint. This initiative seeks to overcome this barrier by creating a multi-agency platform that will provide LAC countries with information to report their COS inventories at a more detailed level (TIER2).

The initiative will identify at least one COS sequestration opportunity for each participating country and quantify its impact on both net GHG emissions and the economic performance of commercial farms. This will contribute to the identification and evaluation of intensification strategies for agricultural production systems in LAC that have the potential to mitigate and adapt to climate change.

In order to quantify and monitor the COS stock, it is necessary to have a working protocol to carry out the corresponding activities, which is why this technical note contains the sampling protocol generated by the working group.

Key words: COS, food security, lac, TIER2



## RESUMEN EJECUTIVO

Los agroecosistemas en América Latina y el Caribe (ALC) tienen el potencial de ofrecer soluciones significativas a problemas globales como el cambio climático, la seguridad alimentaria y la contaminación ambiental. En el centro de este cambio de paradigma se encuentra el carbono orgánico del suelo (COS), que desempeña un papel crucial en la productividad del suelo y actúa como el mayor reservorio de carbono en la biósfera, con un impacto importante en el equilibrio de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La gestión adecuada del COS se convierte en un pilar esencial para el desarrollo de la agricultura sostenible. En este contexto, se propone una iniciativa que busca contribuir al diseño de prácticas de uso de la tierra con alto potencial de secuestro de COS en los sistemas agropecuarios de ALC, así como desarrollar capacidades locales para cuantificar y monitorear el stock de COS. Actualmente, la falta de información local consolidada que documente la respuesta del stock de COS a cambios en el uso o manejo de la tierra es una limitación importante. Esta iniciativa busca superar esta barrera mediante la creación de una plataforma multi-agencia que proporcionará a los países de ALC información para reportar sus inventarios de COS en un nivel más detallado (TIER2).

La iniciativa identificará al menos una oportunidad de secuestro de COS para cada país participante y cuantificará su impacto tanto en las emisiones netas de GEI como en el resultado económico de fincas comerciales. Esto contribuirá a la identificación y evaluación de estrategias de intensificación de los sistemas productivos agropecuarios de ALC con potencial de mitigación y adaptación al cambio climático.

La cuantificación y el monitoreo del stock de COS, requiere disponer de un protocolo de trabajo que permita llevar adelante las actividades correspondientes en una forma sistemática y homogénea ente los distintos actores de la propuesta. La presente nota técnica contiene, por lo tanto, el protocolo de muestreo discutido y elaborado por el grupo de trabajo.

Palabras Clave: COS, SEGURIDAD ALIMENTARIA, LAC, TIER2



## INTRODUCCIÓN

La obtención de datos confiables, con solidez científica y que aporten información que pueda ser utilizada tanto a nivel nacional, como internacional, requiere de procesos estandarizados para su colecta. El presente trabajo sobre la estandarización de procesos para el muestreo de suelos con el objetivo de determinar y monitorear la evolución del stock de carbono orgánico. El logro de la toma de datos con un elevado nivel de confianza, en lo que refiere a heterogeneidad y calidad de la información, requiere del cumplimiento en el tiempo de algunas etapas (FAO, 2019; Álvarez, 2015). En primer lugar, en la etapa de gabinete, se realiza una evaluación del terreno con apoyo de imágenes satelitales. Luego continúa una etapa de trabajo de campo focalizada en el muestreo de suelos seguida de la etapa de procesamiento y acondicionamiento de las muestras para el envío al laboratorio. Por último, se trabaja en la etapa de análisis de los datos obtenidos. Esta última etapa no forma parte de la presente nota técnica, ya que se profundizará sobre esto en los productos del conocimiento número 1 y 2.

## OBJETIVOS

El objetivo del presente informe es presentar los protocolos generados en la plataforma multi agencia. A través de estos protocolos se busca unificar los criterios de trabajo de los países que conforman la plataforma, teniendo en cuenta su heterogeneidad de condiciones climáticas y edáficas, a la vez que manteniendo un alto nivel de precisión y un bajo costo de procedimientos (Santos, et al., 2009).

## PROTOCOLO DE MUESTREO DE SUELOS

### Objetivo

El objetivo general de este protocolo es contribuir al diseño de usos y manejos del suelo con alto potencial de secuestro de carbono orgánico del suelo (COS) en los sistemas productivos agropecuarios de ALC, y generar capacidades para la cuantificación y el monitoreo del stock de COS.

Objetivos específicos:

1. Determinar el stock de carbono (C) en el suelo y su relación con otras variables de suelo (textura, POM, etc.).



2. Evaluar el efecto que presentan las secuencias de cultivos y pasturas sobre:

el stock actual de carbono por profundidad.

el stock potencial de carbono/capacidad de secuestro, por profundidad y estabilización.  
su relación con otras características del suelo y la secuencia de cultivos.

3. Obtener y archivar muestras para futuros estudios.

## Metodología

### - Elección de sitios

Los sitios para considerar en este proyecto serán aquellos suelos que hayan experimentado cambios en su uso y/o manejo que puedan haber contribuido a un cambio en el stock de COS. Por lo tanto, en cada sitio de muestreo, ya sea en experimentos de largo plazo o en predios comerciales, será necesario identificar usos o manejos del suelo contrastantes que permitan cuantificar el cambio en COS. Por ejemplo, suelos con praderas cultivadas permanentes y su control sin intervención.

Los datos obtenidos de los muestreos de sitios con usos o manejos de suelo contrastantes constituirán la fuente de información para construir las tablas TIER 2.

### Muestreo de suelo

Los muestreos se realizarán **en 60 sitios de cada país participante** de la cooperación técnica. Es importante precisar que cada uno de estos 60 sitios estarán compuestos por su sitio y su respectivo control o testigo. Por lo tanto, cada país podrá llegar a completar 120 puntos de muestreo. Es posible, de todas formas, que en algunas situaciones el punto control o testigo sea el mismo para diferentes manejos o usos del suelo.

La elección de los sitios será en base a suelos destinados a cultivos de importancia económica de cada región, considerando cambios en el uso (pradera, cultivos, frutales) y manejo del suelo (con fertilización, riego o secano, pradera natural, etc). Cada sitio muestreado deberá tener un control o testigo que tenga un largo historial donde no se haya cultivado el suelo. Este puede ser una pradera natural sin intervención o manejo o un bosque prístino natural de la zona.

- En cada punto los muestreos se realizarán hasta **60 cm de profundidad**.

- Se muestrearán **tres profundidades** para cuantificar los stocks de C:**0-10, 10-30 y 30-60 cm**.

- En cada punto de muestreo se obtendrá una muestra compuesta de **nueve submuestras**



tomadas dentro de la superficie seleccionada, de forma de representar lo más fielmente el lugar. El mismo criterio correrá para el control o testigo sin manejo.

- Para cada sitio, se debe dejar una contramuestra que será utilizada para la calibración de NIRS (*Near InfraRed Spectroscopy*).

- Se usará la técnica de doble bolsa. La primera bolsa contiene la muestra, y la segunda bolsa cubre la etiqueta. Etiqueta entre las dos bolsas.

- La etiqueta de cada muestra tendrá un código de registro (código alfanumérico) además de otros datos. El código de registro describe número de parcela, fecha, profundidad y punto de GPS, tanto en las etiquetas como en la planilla electrónica. Es importante conservar registro de las muestras que se envían al laboratorio y, de ser posible, un duplicado de la muestra correctamente acondicionada (secada al aire y protegida de potenciales contaminaciones).

- Las muestras deben mantenerse en una conservadora en el campo y en heladera (sin congelar) hasta su procesamiento.

La precisión y la confianza del dato que brindará el laboratorio estarán relacionadas con la calidad del muestreo y, por lo tanto, con la cantidad de submuestras que conformen la muestra compuesta. El número de puntos de muestreo dependerá de la variabilidad del COS, de la cantidad (masa) extraída por punto y del tamaño de la unidad de muestreo.

Los materiales e insumos necesarios para el muestreo de COS son:

- mapa o imagen satelital
- GPS
- Calador manual (barreno) o calador hidráulico
- cilindro de acero inoxidable
- guantes de látex
- alcohol al 60 %,
- marcador y lapiceras
- etiquetas de papel
- bolsa de plástico
- cinta métrica
- cuchillo y, espátula
- conservadora





Los muestreos a realizarse con **calador manual** o barreno utilizarán calador grande de 4 cm de diámetro.

Los muestreos a realizarse con **calador hidráulico** deberán utilizar calibre para registrar el diámetro interno del puntero. Preferentemente, se deberá utilizar el mismo puntero en todo el muestreo. Cada cilindro de suelo obtenido será desplegado en “media caña” de PVC para segmentar las profundidades utilizando regla o cinta métrica y trincheta o cuchillo. Verificar con cinta métrica si existe compactación de la muestra (comparando con profundidad del hoyo).

### **Densidad aparente**

La medición de densidad aparente del suelo se realizará utilizando el método del cilindro (anillo de Kopeck). Se tomarán 3 cilindros por profundidad y se utilizará el valor promedio de los tres para el cálculo del stock de COS. Si el terreno muestra mucha variación en pendiente o textura de suelo (información que puede ser proporcionada por agricultor o dueño del predio), considerar hacer 2 o 3 calicatas para la extracción de los cilindros de densidad aparente (a mayor cantidad de cilindros, mayor representatividad y disminución del error).

## **PROTOCOLO DE PROCESAMIENTO POST-CAMPO**

### **Procesamiento de muestras**

Las muestras se deberán secar al aire y posteriormente tamizar a 2 mm. Se eliminarán las raíces ya que alteran el contenido de C y N en la muestra. A partir de la muestra tamizada a 2 mm, se tomará una submuestra que se molerá con mortero, o con molino de rodillos, o con molino de “bolas” hasta obtener una molienda fina cercana a condición física de polvo. Estas muestras se almacenarán (aproximadamente 2 gramos) siguiendo el protocolo establecido por el laboratorio de la Universidad de Davies, EEUU, a donde se enviarán para la determinación de C, N,  $^{13}\text{C}$  y  $^{15}\text{N}$ .

Se deberá guardar una contramuestra seca y tamizada a 2 mm de todas las muestras obtenidas para la determinación y calibración de NIRS.

## **PROTOCOLO NIRS**

### **Uso de NIRS para cuantificación de C**

El NIRS es un método alternativo para la cuantificación de COS. En el marco de esta cooperación técnica, se espera que cada país logre la obtención de curvas de calibración para determinación



de COS en sus equipos NIRS, ya que esta metodología permitiría minimizar los costos de cuantificación de COS en futuras mediciones.

La determinación y calibración del método NIRS se realizará utilizando un 20 % de las muestras obtenidas por cada país participante de la cooperación técnica.

**Ventajas de uso de NIRS:**

- Durable: instrumentos suelen trabajar muy bien durante muchos años
- Operación simple y segura, con bajo costo por muestreo
- Poca o nula preparación de muestra
- Alta velocidad de análisis: a nivel de segundos y no horas o días
- Exactitud al límite del método de referencia, excelente reproducibilidad
- Ambientalmente amigable (no genera residuos ni requiere agentes químicos)
- Eficiencia y flexibilidad, se puede realizar análisis de varios componentes a la vez

**Desventaja de uso NIRS:**

- Costo del instrumento
- Desconocimiento de operación adecuada del instrumento
- Requiere una etapa y calibración (desarrollo del modelo predictivo) para cada constituyente
- Necesita un método de referencia (que hay ir verificando constantemente)
- Requiere un monitoreo de exactitud y precisión permanente de los modelos.
- Escepticismo: muchos no creen (aún) en estas tecnologías.

En el producto del conocimiento número 11, se detallará en profundidad el procedimiento de calibración del equipo para determinación de Carbono y Nitrógeno.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Un protocolo de muestreo de suelos bien diseñado y ejecutado es esencial para obtener resultados confiables que respalden la toma de decisiones informadas en diversas aplicaciones.

La presente cooperación técnica, ha desarrollado este documento con el objetivo de mantener registros precisos y detallados de todo el proceso de muestreo, desde la planificación hasta la entrega de muestras al laboratorio, y tomar muestras de suelo representativas que reflejen con



precisión las condiciones de campo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, C. (2015). Metodología de muestreo de suelo y ensayos de campo: Protocolos básicos comunes (D. J. Santos, M. G. Wilson, & M. M. Ostineti, Eds.). INTA ediciones 2017.

FAO, 2019. Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems. Guidelines for assessment

Santos, C.; Tótola, M.; Borges, A.; Kasuya, C.(2009). Atributos indicadores da qualidade do solo em povoamentos de Eucalipto de fertirrigado no Vale Do Rio Doce- MG1. Scientia Agraria. Curitiba. 10: 135-141.



## INSTITUCIONES PARTICIPANTES



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



[www.fontagro.org](http://www.fontagro.org)

Correo electrónico: [fontagro@fontagro.org](mailto:fontagro@fontagro.org)