

**DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO (COS) EN SUELO  
DESERTIFICADO POR CULTIVO DE ALGODÓN COMPARÁNDOLO CON  
OTROS CULTIVOS EN LA ZONA DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI  
CESAR.**



**AUTORES**

**KEVIN DAVID MUEGUES ACOSTA  
RONNY JAVIER PALOMINO LERMA**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y TECNOLOGIAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR – CESAR**

**2019**

**DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO (COS) EN SUELO  
DESERTIFICADO POR CULTIVO DE ALGODÓN COMPARÁNDOLO CON  
OTROS CULTIVOS EN LA ZONA DEL MUNICIPIO DE AGUSTÍN CODAZZI  
CESAR.**

**AUTORES**

**KEVIN DAVID MUEGUES ACOSTA  
RONNY JAVIER PALOMINO LERMA**

**Proyecto presentado como requisito para optar al título de ingeniero  
ambiental y sanitario de la Universidad Popular del Cesar.**

**DIRECTOR**

**ORLANDO E. RUBIANO LARA  
Ingeniero Agrónomo**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR.  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y TECNOLOGIAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
VALLEDUPAR – CESAR**

**2019**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Jefe de los Evaluadores

---

Evaluador

---

Evaluador

Valledupar, julio de 2019.

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de grado es dedicado a todas las personas que ayudaron con su tiempo, dedicación, deseos y compañía. En especial a nuestra familia, a nuestros padres por su apoyo incondicional en este proceso que aún no termina, es una meta cumplida en nuestro proceso de formación como profesionales idóneos. El camino será fructíferos para quienes saben a dónde van y de donde vienen.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer a todos los que por algún motivo contribuyeron en el presente proyecto, infinitamente agradecidos con nuestros padres, debido a que son el motor principal que ha permitido que este trabajo se haya realizado con éxito, Muchas gracias al director del proyecto el ingeniero agrónomo Orlando Enrique Rubiano Lara, gracias por la idea inicial de donde se forjó este proyecto y por todo el tiempo dedicado para poder finalizarlo con éxito.

Especialmente agradecidos con el señor Jairo Chávez y su hijo Brayan Chávez por permitirnos utilizar su parcela para los análisis del suelo afectados por cultivos de algodón, además de ayudarnos en los trabajos de campos realizados, agradecemos a los entes territoriales del municipio de Agustín Codazzi - Cesar que nos brindaron información de gran importancia para el proyecto en particular al UMATA y su director Rodolfo Barros Pacheco por brindarnos su conocimiento acerca los usos y manejos del suelos del municipio, también queremos agradecer a nuestras hermanas y todos nuestros amigos por su apoyo incondicional.

## CONTENIDO

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
CONTENIDO .....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABLAS .....	ix
INTRODUCCIÓN .....	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
2. JUSTIFICACIÓN .....	12
3. OBJETIVOS .....	13
3.1. OBJETIVO GENERAL .....	13
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	13
4. MARCO REFERENCIAL .....	14
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	14
4.2. MARCO TEORICO .....	23
4.3. MARCO CONCEPTUAL .....	36
4.4. MARCO CONTEXTUAL .....	39
4.5. MARCO LEGAL .....	43
5. MARCO METODOLÓGICO .....	46
5.1. TIPO DE INVESTIGACION .....	46
5.2. POBLACION .....	46
5.3. MUESTRAS .....	46
5.4. DESARROLLO METODOLOGICO .....	47
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	63
7. CONCLUSIONES .....	93
8. RECOMENDACIONES .....	95
BIBLIOGRAFIAS .....	96
ANEXOS .....	109

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> COS el ciclo global del carbono .....	26
<b>Figura 2.</b> Zonificación de la degradación de suelos por erosión. Área continental de Colombia. Escala 1:100.000 .....	27
<b>Figura 3.</b> Zonificación de la degradación de suelos por erosión. Departamento del cesar. Escala 1:100.000.....	28
<b>Figura 4.</b> Localización geográfica .....	39
<b>Figura 5.</b> Localización geográfica del área del proyecto, vereda Llerasca, finca Santa Isabel (9°52'34.45"N) y (73°15'19.11"O).....	40
<b>Figura 6.</b> Muestreo en forma de zigzag en la parcela donde se cultivó algodón..	49
<b>Figura 7.</b> Estructura de Rothamsted Carbon Model (RothC) (las siglas están en inglés).....	59
<b>Figura 8.</b> Interfaz para crear escenarios en RothC.....	60
<b>Figura 9.</b> Porcentaje de carbono orgánico .....	69
<b>Figura 10.</b> Carbono orgánico del suelo (tC/ha) .....	70
<b>Figura 11.</b> Densidad aparente del suelo en las zonas agrícolas estudiadas en el municipio de Agustín Codazzi Cesar. ....	71
<b>Figura 12.</b> Escenario 1: Carbono orgánico modelado en la parcela donde se cultivó algodón sin aplicar ninguna remediación (practica actual) (CT).....	77
<b>Figura 13.</b> Escenario 2: Carbono orgánico del suelo modelado aplicando un cambio de la parcela de bosque a zona cultivo (BosqC).....	78
<b>Figura 14.</b> Escenario 3: Carbono orgánico del suelo modelado en parcela donde se cultivó algodón aplicando remediación con FYM (CFYM). ....	78
<b>Figura 15.</b> Escenario 4: Carbono orgánico del suelo modelado en una rotación de cultivo y barbecho (CTC). ....	79

<b>Figura 16.</b> Escenario 5: carbono orgánico del suelo modelado aplicando remoción del barbecho del suelo remplazado por cultivo de cobertura (BC). .....	79
<b>Figura 17.</b> Modelación de los escenarios posibles planteados y muestra del comportamiento del carbono orgánico en la gestión de los suelos. ....	80
<b>Figura 18.</b> Estrategias de manejo sugeridas para mitigar y conservar el COS ....	84
<b>Figura 19.</b> Estrategias de manejo para suelos degradados por sistema de cultivo enfocado en mantener y aumentar el COS.....	89

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Categoría de la materia orgánica .....	29
<b>Tabla 2.</b> Categoría del pH del suelo .....	33
<b>Tabla 3.</b> Clasificación de los niveles de calcio, magnesio y potasio .....	34
<b>Tabla 4.</b> Niveles de sodio .....	34
<b>Tabla 5.</b> Criterio de evaluación de salinidad del suelo .....	35
<b>Tabla 6.</b> Niveles de fósforos en el suelo .....	36
<b>Tabla 7.</b> Metodologías utilizadas para determinar cada una de las propiedades químicas de suelo, en el municipio de Agustín Codazzi Cesar. ....	50
<b>Tabla 8.</b> Nitrógeno total en suelos agrícolas .....	54
<b>Tabla 9.</b> Valores de relación C/N en los suelos .....	54
<b>Tabla 10.</b> Datos de entrada para el diseño experimental completamente al azar realizado. ....	55
<b>Tabla 11.</b> Resumen de datos pluviométricos y meteorológicos utilizados en la modelación. Datos completos en (Anexo E).....	57
<b>Tabla 12.</b> Determinación de la densidad aparente en la zona de estudio. ....	63
<b>Tabla 13.</b> Caracterización fisicoquímica del suelo .....	63
<b>Tabla 14.</b> Nitrógeno total y relación C/N .....	67
<b>Tabla 15.</b> Contenido de carbono orgánico del suelo estudiados en el municipio de Agustín Codazzi Cesar, según análisis de resultado de medias de Tukey. ....	69

## INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo es un problema alarmante y en aumento en los últimos años, debido al cambio climático y sumado al indebido uso y manejo antropogénico que se le han dado al suelo, de tal manera que ha disminuido la productividad, el acceso a agua y el acceso a los alimentos, por otra parte ha aumentado la pérdida de la vegetación y de los bosques, no obstante es necesario conocer las condiciones del suelo para implementar un correcto manejo del recurso, por tal razón el carbono orgánico del suelo (COS) es un indicador importante en los procesos de degradación de los suelos, ya que hace parte de la materia orgánica y se almacena en el suelo siguiendo el ciclo global de carbono, manteniéndose en diferentes estados hasta que se produce la mineralización de la materia orgánica y es devuelto a la atmosfera. Por tal motivo la presente investigación tiene como propósito determinar el contenido de carbono orgánico en el suelo (COS) degradado por el uso agrícola de los cultivos de algodón y sorgo.

Con el fin de conocer los valores de carbono orgánico se tiene en cuenta el muestreo de suelo, el análisis de nutrimentos y la composición física del suelo, además se analiza las diferencias entre cultivos estudiados para encontrar significancia entre algunas de las variables estudiadas, la presente investigación es llevada a cabo en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar, llegando a encontrar aceleración en los procesos de degradación del suelo y además un perdida potencial de los contenidos de carbono orgánico del suelo, sin permitir ganancia de carbono, un efecto crucial es el uso de los suelos que actualmente cuenta con una mala gestión, más aún los agricultores no disponen de los conocimientos necesario para poder mejorar las condiciones de los suelos agrícolas, lo que genera mayor detrimentos y perdidas la fertilidad del suelo.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la zona del municipio de Agustín Codazzi-Cesar, se encuentran muchos suelos desertificados debido al uso agrícola, estos suelos fueron sometidos a maquinaria para labrar el terreno y se usaron grandes cantidades de pesticidas lo que ha dejado suelos desertificados e infértiles, sumado a las condiciones climáticas de la zona en la que predominan altas temperatura y vientos fuertes que aumentan la erosión y la evaporación del agua almacenada en la capas superficiales del suelo, por consiguiente se genera una disminución de la producción del suelo, y un detrimento en la materia orgánica del suelo, el cual es un componente esencial para el crecimiento de las plantas y aumento en la calidad de los suelos, además el detrimento de la materia orgánica causan grandes problemas al suelo tales como desertificación, aumento de las zonas áridas, disminución en la producción agrícola y otros sistemas como los suelos de pastoreo y producción pecuaria.

Cuando el carbono almacenado en el suelo es fracturado hace que se libere  $\text{CO}_2$  a la atmosfera lo que conlleva a un aumento en los niveles de  $\text{CO}_2$  y por consiguiente que se aumenta los gases de efecto invernadero que tanto afectan al calentamiento global es por esto que el carbón orgánico del suelo se debe mantener su captura y conservación ya que su liberación puede afectar tanto al suelo como la atmosfera (FAO, 2017).

Las circunstancias ambientales que presentan actualmente en el municipio de Agustín Codazzi llevan a iniciar múltiples investigaciones con el propósito de encontrar soluciones sostenibles a cada uno de los problemas ambientales que se presenten; de esta manera ¿Cómo determinar el estado del carbono orgánico de los suelos del municipio de Agustín Codazzi y su relación con la desertificación producida en la zona?

## 2. JUSTIFICACIÓN

El carbono orgánico del suelo (COS) es el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS). Como indicador de la salud del suelo, el COS es importante por sus contribuciones a la producción de alimentos, la mitigación y adaptación al cambio climático y el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Un alto contenido en MOS proporciona nutrientes a las plantas y mejora la disponibilidad de agua, lo cual mejora la fertilidad del suelo y, en definitiva, mejora la productividad de los alimentos. Además, el carbono orgánico del suelo mejora la estabilidad estructural del suelo promoviendo la formación de agregados que, junto con la porosidad, aseguran suficiente aireación e infiltración de agua para promover el crecimiento de la planta. Con una cantidad óptima de COS, la capacidad de filtración de agua de los suelos permite el suministro de agua limpia (FAO, 2016).

Según estudio realizado por el IDEAM. (2015) señala que el Cesar es el departamento que presenta mayor degradación de tierras por erosión. (81,9%) del departamento cuenta con algún grado de erosión. Dejando en evidencia que las funciones y los servicios originales de los suelos se encuentran parcialmente destruidos y se requieren prácticas de conservación y restauración inmediatas, de lo contrario pueden pasar rápidamente a grado severo.

En consecuencia, los suelos de tierras áridas deben ser gestionados de manera sostenible para mantener sus niveles existentes de COS y fomentar su potencial de secuestro de COS (Naciones Unidas, 2011, FAO y GTIS, 2015).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

3.1.1 Determinar el contenido de carbón orgánico (COS) presente en suelos desertificados en áreas agrícolas en la zona del municipio de Agustín Codazzi-Cesar.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

3.2.1. Caracterizar mediante análisis del contenido de carbono orgánico los suelos de dos áreas agrícolas del municipio de Agustín Codazzi.

3.2.2. Comparar los resultados de carbono orgánico entre las zonas agrícolas de algodón y sorgo.

3.2.3. Evaluar el efecto en los cambios y manejos de usos del suelo teniendo en cuenta el COS como indicador.

3.2.4. Proponer prácticas de manejo para mitigar la degradación de los suelos en la zona del proyecto, enfocado en mantener y aumentar el COS.

## **4. MARCO REFERENCIAL**

### **4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Son muchas las investigaciones que se ha llevado acabo sobre el carbono orgánico del suelo (COS) en todo el mundo, ya que este es parte importante del ciclo del carbono, sin embargo son muy limitados las investigaciones del carbono orgánico del suelo en cuento a las zonas áridas y semiáridas, pero se encuentra información muy valiosa sobre la desertificación y su relación con el carbono orgánico del suelo.

Según el informe de la FAO, (2017) en la cual se explica el potencial oculto que tiene el carbono orgánico del suelo y se proporciona una visión general de los principales hechos y datos científicos acerca del conocimiento y sus brechas en lo referente al COS, este informe de la FAO muestra relación con la mitigación de problemas como el calentamiento global. Por el cual, hay necesidad de implementar una serie de prácticas de conservación de COS sugeridas para alcanzar el potencial máximo de mitigación del y adaptación al cambio climático, y de la productividad alimentaria.

Además, el carbono orgánico del suelo (COS) mejora la estabilidad estructural del suelo, sin embargo, el carbono orgánico del suelo (COS) también puede ser un gran emisor de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmosfera debido a su mineralización, pero este puede ser solucionando si se promueve su almacenamiento y sus reservas mundiales.

Sin embargo, este informe concluye en que, existen una serie de barreras para la adopción de estas prácticas, incluidas las financieras, técnicas/logísticas, institucionales, de conocimiento, de recursos y socioculturales, y sus interacciones. Cuando estas barreras se combinan con factores abióticos que

limitan la acumulación de COS, restringen la adopción de prácticas de mitigación del y adaptación al cambio climático. A pesar de la existencia de soluciones conocidas para superar las barreras inducidas por el ser humano, las tasas globales de adopción de prácticas sostenibles de gestión del suelo siguen siendo relativamente bajas.

Al respecto, Pastor et al., (2015) en su estudio que tiene como objetivo evaluar el efecto del cambio del uso de la tierra en ecosistemas del semiárido venezolano sobre el carbono orgánico del suelo (COS) y el carbono de la biomasa microbiana (CBM). Plantea en su metodología para realizar el proyecto se tomaron muestras superficiales de suelo (0-25 cm) en cinco áreas agrícolas de la Península de Paraguaná, estado Falcón, ubicadas en la provincia de humedad del semiárido. En la medida que los sistemas agrícolas fueron más intensivos (uso de fertilizantes, plaguicidas y mecanización agrícola), se realizó un diseño experimental completamente al azar, se delimitó una parcela de 2.500 m<sup>2</sup> y dentro de esta se tomaron 8 muestras simples utilizando un sistema de muestreo en zigzag; la profundidad de muestreo fue de 25 cm. Para cada TUT evaluado se tomó como situación control, el suelo superficial de la vegetación natural adyacente. Las condiciones edafoclimáticas en las zonas estudiadas fueron variables, así como el principal tipo de uso de la tierra. Se encontró una disminución de las reservas de COS la cual estuvo en el orden de un 50 a un 86 %. El C-BM también siguió la misma tendencia del COS, encontrándose valores porcentuales de disminución entre un 36 y un 68 % producto del manejo agrícola intensivo. Estas variables estudiadas resultaron ser excelentes indicadores del proceso de desertificación que se viene presentando en estas zonas semiáridas de Venezuela, producto de un agotamiento de las reservas de carbono orgánico del suelo, y de las fracciones más lábiles del carbono.

Este estudio se relaciona con el presente ya que se estudia un suelo con condiciones similares a la estudiada en el presente trabajo como son la desertificación y la gran variable en el cambio del uso del suelo.

A pesar de que existen cientos de estudios todavía hay desacuerdo en cuanto a las direcciones y magnitudes acerca del cambio en el carbono orgánico del suelo un estudio realizado por “Global Ecology and Conservation” analizó 103 publicaciones de estudios sobre los cambio en el uso del suelo y su efecto sobre el carbono orgánico del suelo, el objetivo fue determinar los factores responsables para el secuestro del carbono orgánico del suelo y cuantificar los cambio del carbono orgánico de siete usos de la tierra, los resultados muestran que en promedio general los cambio en el uso de la tierra tienden a disminuir significativamente el carbono orgánico del suelo, ( $0.39 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ), pero, las reservas de carbono aumentaron cuando se hizo el cambio de tierras de labranza a pastizales ( $0.30 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) y bosques a pastizales ( $0.68 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ). Pero significativamente disminuyo cuando se hace el cambio de pastizales a tierras de cultivo ( $0.89 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ), bosque a tierras de cultivo ( $1.74 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ), y bosque a bosque ( $0.63 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ). Después de pasar de tierras de cultivar a Bosque y pastizales a bosque, el carbono orgánico del suelo no tubo cambio significativo. Globalmente, las reservas de carbono orgánico muestran una significativa correlación negativa con respecto a la primitiva o inicial ( $P < 0.05$ ). Y su efecto en los factores del clima (principalmente temperatura anual y precipitación anual), (Deng et al., 2015).

Por otra parte, hay sistemas de cultivos que pueden ayudar al almacenamiento del carbono orgánico como lo muestra un estudio en los cafetales (*Coffea arabica*L.), en monocultivo o con especies maderables, como nogal cafetero (*Cordia alliodora*), los cuales mitigan el cambio climático al fijar el  $\text{CO}_2$  atmosférico y depositarlo en biomasa y suelo. Este estudio se realizó en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia, con el objetivo de evaluar la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de suelos (COS) en tres sistemas de producción de café: 1) monocultivo, 2) en sistemas agroforestales (SAF) con nogal y 3) SAF con plátano.

Para tal fin, se seleccionaron cinco repeticiones por sistema de producción, los cuales son los más dominantes de la zona de estudio; estos se analizaron mediante un diseño experimental completamente al azar. En cada repetición se tomaron cinco muestras de suelo para densidad aparente (DA), el carbono orgánico del suelo se determinó por el método de Walkley y Black.

Estos sistemas de producción almacenaron entre 50 y 54 t·ha<sup>-1</sup> de COS en los primeros 30 cm de profundidad, lo cual demuestra su capacidad de almacenamiento de carbono y potencial mitigación del cambio climático.

Sin embargo, los cafetales en monocultivo parecen ser levemente mejores para el incremento de la fijación de carbono orgánico en el suelo. No obstante, se debe considerar que los cafetales en monocultivo almacenan menos carbono en biomasa y afectan negativamente otros servicios ambientales, como aquellos derivados de la conservación de biodiversidad. La sombra asociada al café parece no contribuir a cambiar la densidad aparente del suelo en los primeros 30 cm. (Alvarado et al., 2013).

Los bosques también almacenan gran cantidad de carbono como biomasa y en el suelo como lo demuestra un estudio realizado en España en el cual se evaluó, el carbono orgánico en los bosques ( bosques, pastizales y matorrales) el estudio se llevó a cabo en 900 suelos y 7 mil parcelas de España teniendo en cuenta un mapa de 24.3 x 100 ha, se llevó a cabo un análisis estadístico que lleva como variables, la cubierta de vegetación, material parental, consistencia del suelo, temperatura anual, precipitación total anual y elevación y la correlación espacial.

En el estudio se encontró que el secuestro de carbono en la región está influenciado por el tipo de vegetación, el tipo de suelo, el clima y la elevación, las variables que tuvieron influencia significativa fueron la precipitación y la temperatura. Se cree que la estimación de COS en los bosques de la península de España son la primera base de un modelo para cuantificar la variable principal que es el carbono orgánico del suelo (Doblas et al., 2013).

Muchas de las regiones áridas del mundo están caracterizadas por suelos degradados, una alta incidencia de pobreza y una baja capacidad para invertir en agricultura que no permiten avanzar en mejoramiento de los suelos, un estudio que tiene como objetivo evaluar el secuestro de carbono orgánico utilizando dos modelos (RothC-26.3 y CENTURY) los dos modelos difieren en cuanto a la entrada de variables para que puedan funcionar y necesitan de datos de calibración, el modelo CENTURY funciona como un ecosistema completo, mientras que RothC es más sencillo. En el estudio se seleccionó sistemas de cultivo en Nigeria, Sudan y Argentina. Los modelos mostraron que es posible hacer alteraciones dentro de la estructura de los sistemas actuales de cultivo para convertir estos suelos en recursos de carbono en una red de almacenamiento. Valores anuales de secuestro de carbono que van de 0.08–0.17 Mg ha al año en promedio para los próximos 50 años se pueden ser obtenidos. Las prácticas más efectivas fueron esas que maximizaron la entrada de material orgánica, particularmente el estiércol de corral (acerca de 0.09 Mg ha al año), árboles permanentes (acerca de 0.15 Mg ha al año) y adoptar cero labranza (acerca de 0.04 Mg ha al año). (Farage et al., 2013).

Otro estudio realizado por la FAO, (2007), que tiene como objetivo, Evaluar opciones específicas para la aplicación de prácticas de manejo de la tierra analizando algunos estudios de caso llevados a cabo en distintas tierras secas del mundo. El objetivo final es facilitar la diseminación de dichas prácticas en programas de secuestro de carbono del suelo en ambientes agroecológicos similares de otros países, para mejorar la seguridad alimentaria y los medios de vida de la población rural.

La FAO en sus principios de desarrollo siempre busca mejorar la seguridad alimentaria, mitigar el cambio climático, y suplir las necesidades de las poblaciones más pobres en todo el mundo en el presente estudio Se utilizaron datos obtenidos a partir de investigaciones realizadas en sistemas áridos notoriamente diferentes en Argentina, India, Kenya, Nigeria, Senegal y Sudán;

estas investigaciones fueron realizadas por la Universidad de Essex (Reino Unido) y la Universidad de Lund (Suecia) donde se utilizó el modelo CENTURY 4.0.

Algunos de los resultados predicen que el carbono del suelo puede restaurarse a los niveles anteriores a la siembra y en algunas circunstancias por encima de estos. El verdadero «nivel original del carbono del suelo» con frecuencia es difícil de establecer en los sistemas donde la actividad agrícola ha estado presente por siglos o milenios, como en el caso de Kenia y Nigeria. Alcanzar cantidades de carbono del suelo superiores al nivel natural, implica que el sistema agrícola tiene una productividad mayor que el sistema original, asumiendo que el carbono no esté siendo incorporado por otras vías. Los escenarios que predicen las tasas más altas de secuestro de carbono, con frecuencia están asociados con la introducción de árboles. Las aportaciones de carbono de los árboles son más resistentes a la descomposición que las de los cultivos herbáceos y en consecuencia pueden causar incrementos marcados en el nivel de carbono del suelo. Las tasas anuales más altas de secuestro (0,1-0,25 toneladas/a) tienen lugar donde los sistemas de labranza cero también incluyen el cultivo de abonos verdes y adiciones de abonos de corral. El uso exclusivo de fertilizantes inorgánicos fue generalmente ineficiente en el suministro de los nutrientes necesarios para incrementar el secuestro de carbono pero su efecto sobre la captura de carbono mejora considerablemente incluyendo cultivos de cobertura en el ciclo de rotación.

Los cultivos de cobertura mejoran la diversidad biológica del suelo la cual, a su vez, incrementa el secuestro de carbono. Los resultados de los estudios de caso corroboran las tasas de secuestro de carbono obtenidas bajo varios regímenes de manejo de suelo en tierras áridas según se informa en varias fuentes bibliográficas.

Por otro lado, otro estudio con el objetivo de mostrar el impacto que tiene el secuestro de carbono orgánico en el cambio del clima global y la seguridad alimentaria, muestra que la capacidad de almacenamiento de carbono del mundo de la agricultura y de los suelos degradados es de 50 a 66% de la histórica

perdida del carbono es de 42 a 78 gigas toneladas de carbono. La tasa de secuestro del carbono orgánico del suelo (COS) con la adopción de tecnologías recomendadas depende de la textura y estructura del suelo, precipitación, temperatura, sistema de cultivo, y manejo del suelo. Las estrategias para incrementar las reservas de carbono en el suelo incluyen, restauración de los suelos y regeneración de los bosques, cero labranza, cultivos de cobertura, manejo de nutrientes, aplicación de lodos y abono, mejorar el pastoreo, promover la conservación del agua y mitigación del hambre, riego eficiente, prácticas de reforestación. Un incremento de 1 tonelada en las reservas de carbono de las tierras degradadas por los sistemas de cultivo tal vez aumente el rendimiento de los cultivos 20 a 40 kilogramos por hectáreas (kg/ha) para el trigo, 10 a 20 kg/ha para maíz, y 0.5 to 1 kg/ha para judías esparrago. También aumentaría la seguridad alimentaria, el secuestro de carbono tiene la capacidad para desplazar las emisiones producidas por los combustibles fósiles por 0.4 a 1.2 giga toneladas de carbono por año, o 5 a 15% del total de las emisiones de los combustibles fósiles.

El estudio plantea 10 problemas relacionados con las estrategias para capturar y almacenar el carbono orgánico del suelo entre estas esta. La entrada de carbono al suelo por la adición de agroquímicos, el requerimiento de nutrientes de las plantas, la erosión y los depósitos de elementos, las practicas intensivas de cultivo, el ciclo hidrológico y del carbono, el calentamiento global, gases de efecto invernadero más potente que el CO<sub>2</sub> como el método CH<sub>4</sub>, la degradación de los suelos en las tierras áridas y mantener las reservas de carbono que ya existen.

Como conclusiones de este estudio muestra que, el secuestro de carbono en el suelo es una estrategia para mantener la seguridad alimentaria a través del mejoramiento de la calidad de los suelos. Y eso se logra implementando prácticas de manejo del suelo para mejorar el rendimiento de los cultivos a una escala global, mientras se reducen los aumentos de las concentraciones de CO<sub>2</sub> de la atmosfera. El secuestro de carbono mejora y mantiene la biomasa y la productividad de los cultivos. (R. Lal., 2004).

De acuerdo a la FAO, (2001). Con el objetivo de dar un informe global sobre el recurso suelo muestra un estudio que busca dar a conocer la captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de las tierras donde se plantea que, la captura de carbono en los suelos agrícolas por medio de la agricultura de conservación y otros métodos de manejo de la tierra puede ser permanente siempre que los agricultores continúen usando esas prácticas. La agricultura de conservación se ha difundido donde los agricultores han apreciado sus beneficios a través de la experiencia. Una vez que la productividad de las tierras arables y de las tierras de pastoreo se ha incrementado y demuestra una mayor capacidad de recuperación de las sequías, se reduce la presión sobre las tierras forestales y mejora las posibilidades de su conservación o del manejo conservacionista de estos recursos. Estos últimos, incluyendo la cosecha para la producción de energía o de productos madereros durables, con la inmediata resiembra o rebrote, mantendrán esencialmente la materia orgánica del suelo del sistema forestal. En el caso de la reforestación o de la plantación de cultivos permanentes tales como la palma aceitera o el caucho sobre tierras previamente deforestadas, el contenido de materia orgánica, esquilmo durante y después de la deforestación, se elevará gradualmente hasta alcanzar niveles similares a los que hay bajo el bosque.

El mejoramiento del manejo de la tierra y el control de la degradación y la deforestación son opciones triunfantes: son deseables para el alivio de la pobreza y para la sostenibilidad y, además, tales medidas también aumentan la captura de carbono en los suelos, haciendo de este modo que las inversiones en el sector agrícola y rural sean más beneficiosas para los agricultores.

El desarrollo de la agricultura durante los últimos siglos y décadas ha implicado el consumo de las existencias de carbono de los suelos creadas durante un período de larga evolución. En muchas de las tierras cultivadas, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas, esto ha llevado a una reducción de la productividad de la tierra debido a la degradación de la tierra y a la desertificación. Ahora es necesario invertir esa tendencia, lo que se ha demostrado posible pero solamente si se

cambia el tipo de agricultura. El protocolo de Kyoto y los acuerdos que se anticipan post-Kyoto favoreciendo la captura de carbono en los suelos son buenas oportunidades para facilitar este proceso. Los suelos pueden secuestrar cerca de 20 Pg/ha de carbono en 25 años, más del 10 por ciento de las emisiones antropogénicas. Al mismo tiempo esto proporciona otros beneficios importantes para el suelo, los cultivos y la calidad del ambiente, para la prevención de la erosión y de la desertificación y para el fortalecimiento de la biodiversidad.

La agricultura, las tierras de pastoreo y las sabanas tienen el potencial para almacenar carbono en el suelo y los habitantes del globo tienen gran necesidad de prácticas agrícolas que mejoren el almacenamiento del carbono y la productividad. La captura de carbono es una promesa para presentar opciones totalmente favorables y nuevos beneficios en las comunidades de agricultores en zonas áridas. La atención de los gobiernos debe ser dirigida a estos beneficios potenciales y a la necesidad de iniciar la recolección de datos y el análisis de las existencias y los flujos del carbono, en escala piloto, en diferentes sitios seleccionados.

Estos beneficios resultan del hecho que la materia orgánica es un elemento clave en los suelos y que determina una serie o cascada de propiedades o funciones relativas a las propiedades del suelo, el efecto amortiguador, la capacidad de recuperación y la sostenibilidad.

La biodiversidad depende del contenido de materia orgánica y su aumento en el suelo permitirá nuevas funciones. Los ingenieros del suelo y la micro-fauna tomarán a su cargo, por ejemplo, algunas funciones como la labranza. Este concepto implica el desarrollo de prácticas específicas de uso y manejo de la tierra. Es necesario definir algunas prioridades para las tierras degradadas con medidas adaptadas para las tierras cultivadas, las pasturas y la agrosilvicultura. La clave de todo ello será el desarrollo de la agricultura de conservación.

La mayoría de los estudios sobre carbono orgánico del suelo buscan analizar o implementar el secuestro de carbono en los cambios del uso del suelo y sus efectos

sobre el COS, en cambio otros, su principal preocupación es el cambio climático y el papel de importancia que juega el suelo en este tema, ya que como se demostró en los anteriores estudios el secuestro de carbono orgánico del suelo puede acumular tanto CO<sub>2</sub> como el que es emitido por la quema de combustibles fósiles, ( R, Lal., 2004), pero organizaciones como la FAO buscan cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible propuesto en las diferentes conferencias mundiales como el protocolo de Kioto y el COP23 llevado a cabo en el 2017 en París, donde muchos países se comprometieron a bajar las emisiones de carbono a la atmósfera e implementar el secuestro de carbono en el suelo, el análisis de la cantidad de carbono orgánico del suelo puede representar un inicio de los estudios y la base para la implementación de prácticas de manejo sostenibles que aseguren la entrada de carbono al suelo, principalmente en los países en desarrollo como Colombia donde actualmente existen grandes extensiones de tierras degradadas con un alto índice de desertificación.

## **4.2. MARCO TEORICO**

Esta investigación se basa en teorías fundamentadas y documentadas las cuales presentan un alto grado de certidumbre. El COS es uno de los principales indicadores para determinar la calidad del suelo, y su efecto positivo sobre la sustentabilidad de los sistemas productivos ha sido ampliamente documentado (Martínez, et al., 2008).

La cantidad de COS no solo depende de las condiciones ambientales locales, sino que es afectada fuertemente por el manejo del suelo. Existen prácticas de manejo que generan un detrimento del COS en el tiempo, a la vez hay prácticas que favorecen su acumulación. El COS afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo vinculadas con su calidad, sustentabilidad y capacidad productiva. Favorece la agregación del suelo y consecuentemente interviene en la distribución del espacio poroso, afectando diversas propiedades

físicas, como humedad aprovechable, capacidad de aire y movimiento de agua y gases. Además, interviene en las propiedades químicas del suelo, aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la capacidad de buffer sobre la reacción del suelo. Producto de la mineralización de la MOS, se liberan diversos nutrientes disponibles para las plantas, muchos de los cuales son aportados en forma deficitaria por los minerales del suelo. El C orgánico interviene en las propiedades biológicas, básicamente actuando como fuente energética para los organismos heterótrofos del suelo. (Martínez et al. 2008).

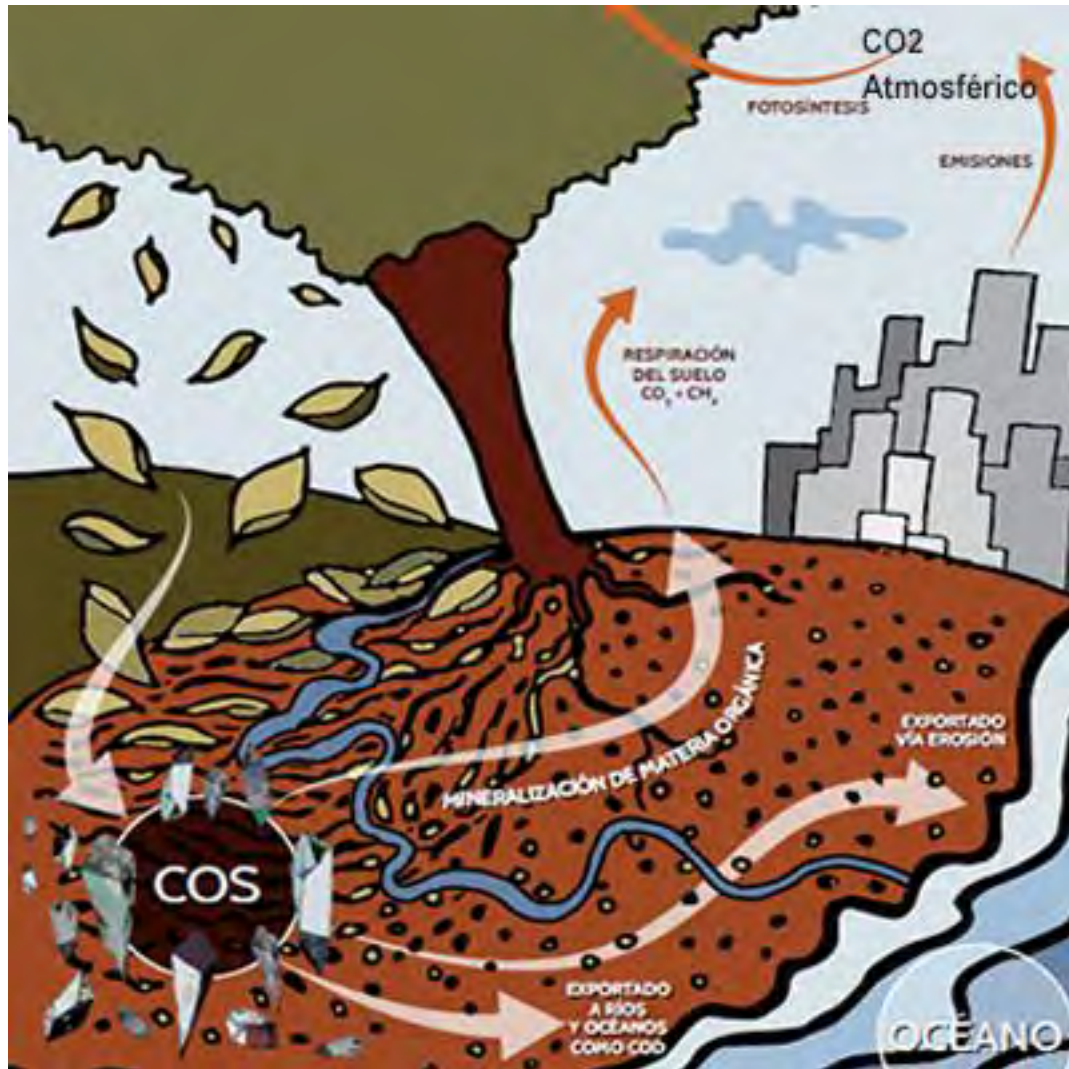
El COS es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69,8 % del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001).

Siendo el CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) y CH<sub>4</sub> (metano) los principales gases atmosféricos basados en carbono, organismos autótrofos (principalmente plantas), y microbios foto y quimioautótrofos sintetizan el CO<sub>2</sub> atmosférico en material orgánico. El material orgánico muerto (principalmente en forma de residuos vegetales y exudados) es incorporado al suelo por la fauna del mismo, lo que conlleva la entrada de carbono en el suelo a través de la transformación del material orgánico por microorganismos heterótrofos. Este proceso de transformación de materiales orgánicos da como resultado una mezcla biogeoquímica compleja de residuos vegetales y productos de descomposición microbiana en varias etapas de descomposición (2006; Paul, 2014) que pueden asociarse con minerales del suelo y ocluirse dentro de agregados, permitiendo la persistencia del COS en el suelo durante décadas, siglos o incluso milenios (Schmidt et al., 2011).

El CO<sub>2</sub> se emite de vuelta a la atmósfera cuando la materia orgánica del suelo (MOS) es descompuesta (o mineralizada) por microorganismos. La pérdida de carbono también puede ser causada por exudados radiculares como el ácido oxálico, que liberan compuestos orgánicos de las protectoras asociaciones con

minerales (Keiluweit et al., 2015). Finalmente, el carbono también es parcialmente exportado de los suelos a ríos y océanos como carbono orgánico disuelto (COD) o como parte del material de erosión.

Figura 1. COS el ciclo global del carbono

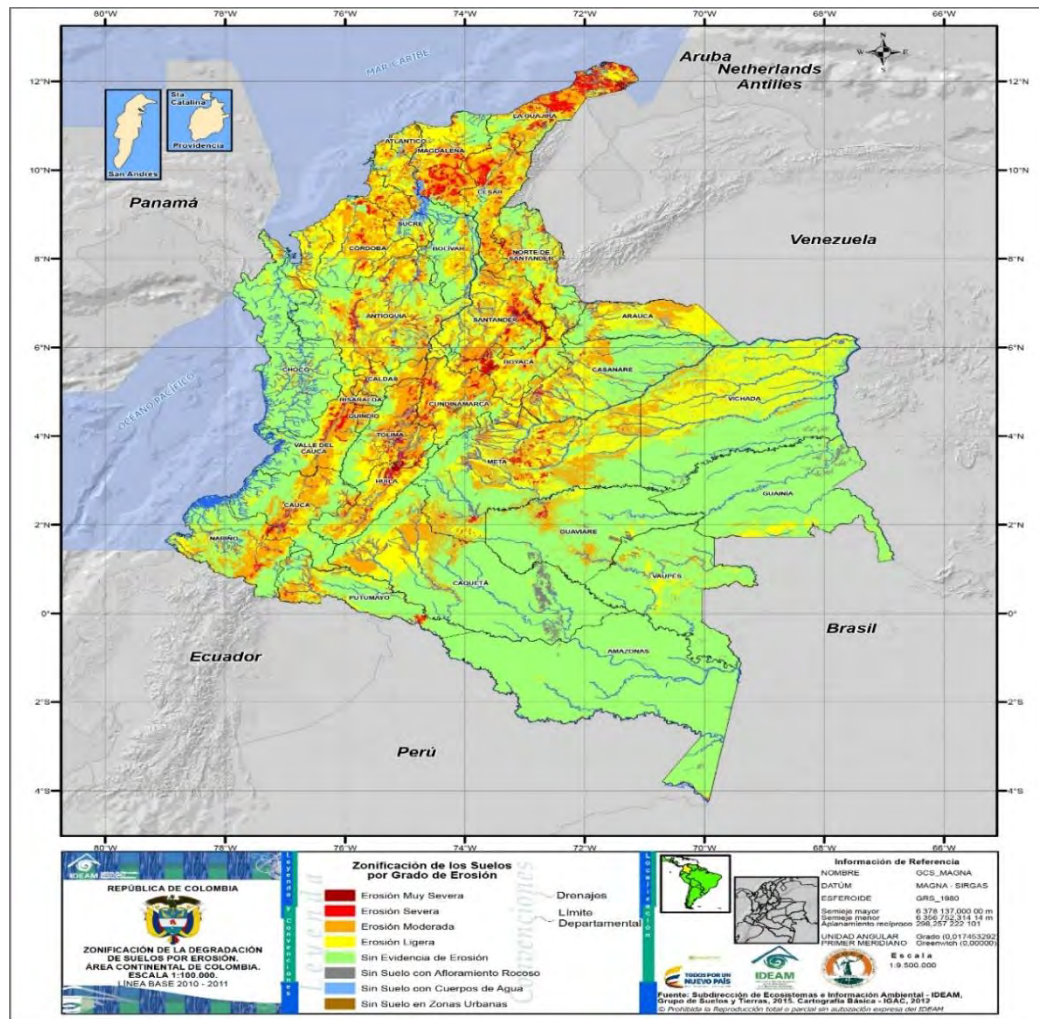


Fuente: El carbono orgánico del suelo, el potencial oculto FAO, 2017

Las consecuencias principales de la degradación de la tierra son: degradación química del suelo, pérdida de la cubierta vegetativa, pérdida de la capacidad de infiltración de la capa superficial del suelo, reducción del almacenamiento de agua en el suelo, pérdida de materia orgánica del suelo, fertilidad y estructura, pérdida de la elasticidad del suelo, pérdida de la regeneración natural y disminución de la capa freática. La degradación afecta alrededor de un quinto de las zonas áridas, mayormente en los márgenes semiáridos de zonas de cultivo. La degradación de la tierra puede tener un impacto significativo sobre el clima. La pérdida de cubierta

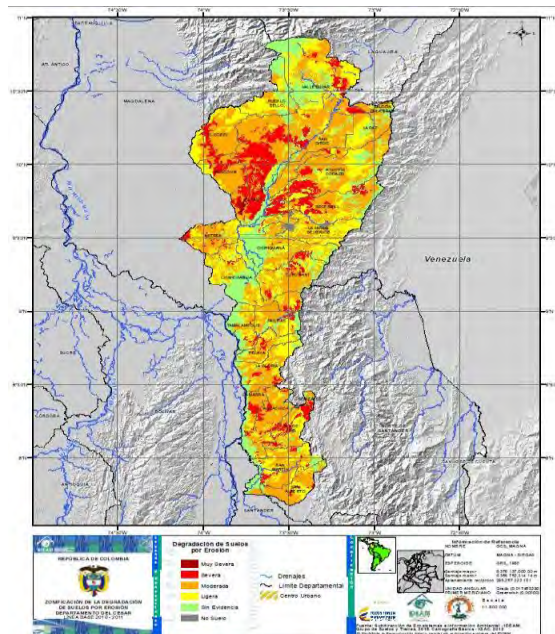
vegetal puede alterar el balance de energía superficial. El polvo proveniente de los desiertos modifica la dispersión y absorción de la radiación solar (Kansas, 1999).

**Figura 2.** Zonificación de la degradación de suelos por erosión. Área continental de Colombia. Escala 1:100.000



Fuente: cartografía básica del IDEAM, 2012

**Figura 3.** Zonificación de la degradación de suelos por erosión. Departamento del Cesar. Escala 1:100.000



**Fuente:** cartografía básica de IDEAM, 2012

Los factores que controlan la descomposición de la MOS incluyen la temperatura del suelo y el contenido de agua (principalmente determinado por las condiciones climáticas), que influyen mucho en el almacenamiento del C del suelo por su efecto sobre la actividad microbiana. La composición de la comunidad microbiana (por ejemplo, la relación bacterias-hongos) también puede influenciar la descomposición preferente de ciertos compuestos. La presunta recalcificación química de las moléculas complejas que acumulan COS, como la lignina o los lípidos, no contribuye sustancialmente a la persistencia de la MOS en el suelo (Marschner et al., 2008; Thévenot et al., 2010). La persistencia de la MOS está más bien afectada por la estabilización del COS en la matriz del suelo a través de su interacción y asociación con los minerales del suelo (Schmidt et al., 2011).

La MOS puede ser protegida de descomposición acelerada mediante: 1) estabilización física por la micro agregación, 2) estabilización físico-química mediante asociación con partículas de arcilla, y 3) estabilización bioquímica mediante la formación de compuestos altamente recalcitrantes (Six et al., 2002). El término MOS se utiliza para describir los constituyentes orgánicos en el suelo en diversas etapas de descomposición, tales como tejidos de plantas y animales muertos, materiales de menos de 2 mm de tamaño y organismos del suelo. La renovación de MOS desempeña un papel crucial en el funcionamiento del ecosistema del suelo y el calentamiento global. La MOS es fundamental para la estabilización de la estructura del suelo, la retención y liberación de nutrientes de las plantas, y el mantenimiento de la capacidad de retención de agua, lo que la convierte en un indicador clave no sólo para la productividad agrícola sino también para la resiliencia ambiental. La descomposición de MOS libera nutrientes minerales, lo cual los hace disponibles para el crecimiento de las plantas (Van der Wal & de Boer, 2017).

**Tabla 1.** Categoría de la materia orgánica

<b>Materia orgánica (%) por el método de Walkley Black</b>	
<b>%M.O</b>	<b>Categoría</b>
<b>&lt;0,9</b>	Muy bajo
<b>1,0 - 1,9</b>	Bajo
<b>2,0 – 2,5</b>	Normal
<b>2,6 – 3,5</b>	Medio
<b>&gt;3,6</b>	Alto

**Fuente:** Riojas, 2007

La MOS se puede dividir en diferentes grupos basándose en el tiempo necesario para la descomposición total y el tiempo de residencia derivado de los productos en el suelo (tiempo de rotación), de la siguiente manera (Gougoulas et al., 2014).

Reservas activas - renovación en meses o pocos años; Reservas pasivas - renovación en miles de años.

Esta estabilización física y química de la MOS dificulta en diferentes grados la descomposición microbiana debido a movilidad y acceso restringidos de los microbios a la materia orgánica, así como difusión de agua, enzimas y oxígeno. Además, dicha estabilización requiere una amplia gama de enzimas microbianas para degradar macromoléculas insolubles que conforman la MOS (Van der Wal & de Boer, 2017).

La MOS contiene aproximadamente 55-60 por ciento de C en masa. En muchos suelos, este C comprende la mayor parte o la totalidad de las reservas de C - a las que se hace referencia como COS - excepto cuando aparecen formas inorgánicas de C del suelo (FAO y GTIS, 2015). Al igual que la MOS, el COS se divide en diferentes grupos en función de su estabilidad física y química (Rourke et al., 2015): Reserva rápida (reserva lábil o activa) - Después de la incorporación de carbono orgánico fresco al suelo, la descomposición da lugar a la pérdida de una gran proporción de la biomasa inicial en 1-2 años.

Reserva intermedia - Contiene carbono orgánico procesado por microbios que está parcialmente estabilizado en superficies minerales y/o protegido dentro de agregados, con tiempos de rotación en el rango de 10-100 años.

Reserva lenta (reserva refractaria o estable) - COS altamente estabilizado, ingresa en un período de muy lenta rotación de 100 a >1000 años.

El suelo puede ser una espada de doble filo cuando se trata de flujos de carbono. Los impactos antropogénicos en el suelo pueden convertirlo en sumidero o fuente neta de GEI. Como fuente, el suelo emite GEI a la atmósfera donde atrapan la radiación térmica que aumenta el efecto invernadero contribuyendo así al calentamiento global. Los gases de efecto invernadero a base de carbono emitidos por el suelo son el CO<sub>2</sub> y el metano (CH<sub>4</sub>), que son dos de los principales GEI antropogénicos emitidos (IPCC, 2014). Otra forma de GEI es el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), cuya emisión se ha vuelto cada vez más antropogénica, en gran parte desde suelos agrícolas e instalaciones ganaderas. La inclusión de los tres gases en los

balances de CO<sub>2</sub> del suelo es importante debido a la interconexión de los procesos involucrados en sus emisiones y el ciclo eco sistémico (nitrógeno-carbono, procesos aeróbicos-anaeróbicos). La influencia climática potencial de estos gases difiere dependiendo de su eficiencia relativa climática, es decir, su potencial de calentamiento global (PCG). Se considera que el CO<sub>2</sub> tiene un PCG de 1, seguido del CH<sub>4</sub> con un PCG a 100 años de 28 y N<sub>2</sub>O con el mayor PCG de 265 a 100 años (IPCC, 2014).

Los suelos sin COS tienen el mayor potencial para obtener carbono, pero también la menor propensión a hacerlo. Dado que la mayoría de los suelos en todo el mundo están lejos de sus umbrales de saturación, existe un gran potencial para el incremento de los insumos de C y de la gestión que protege las reservas existentes para maximizar el secuestro de carbono en el suelo (Kane, 2015).

La agregación y la estabilidad de la estructura del suelo aumentan con el contenido de materia orgánica. Estas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo, así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica. La materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas las existencias de carbono orgánico presente en los suelos naturales representan un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización). En condiciones aeróbicas del suelo, gran parte del carbono que ingresa al mismo es lábil y sola una pequeña fracción (1%) del que ingresa (55 Pg/año) se acumula en la fracción húmica estable (0,4 Pg/año).

La materia orgánica del suelo tiene una composición muy compleja y heterogénea y está por lo general mezclada o asociada con los constituyentes minerales del suelo. Se han desarrollado un gran número de métodos de separación para identificar los distintos constituyentes de la materia orgánica del suelo, grupos cinéticos, p. ej. Grupos que pueden ser definidos por una cierta tasa de recambio del carbono.

La biomasa microbiana, la cual representa de uno a cinco por ciento del total de la materia orgánica del suelo y es una fuente de reserva de nutrientes (N, P). Esta es una fracción muy lábil que fluctúa con la estación y que también responde rápidamente a los cambios de manejo del suelo.

La cuantificación de los flujos globales de carbono es necesaria para aclarar, entre otros aspectos, si los ecosistemas terrestres globales fijan más CO<sub>2</sub> atmosférico a través de la fotosíntesis que el que emiten a la atmósfera a través de la respiración. Por un lado, el balance mundial de carbono está determinado por la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> y la absorción de CO<sub>2</sub> por el océano y la tierra y, por otro lado, por las emisiones derivadas de las emisiones de combustibles fósiles, el uso de la tierra y el cambio de uso de la tierra. La evaluación más reciente de C indicó que, entre 2006 y 2015, las emisiones a la atmósfera eran dos veces más altas que la suma de los sumideros oceánicos y terrestres, siendo el 90 por ciento de estas emisiones procedentes de combustibles fósiles y la industria (Le Quéré et al., 2016). El flujo de carbono derivado de los cambios en el uso de la tierra fue más predominante en los tiempos preindustriales, ya que, entre 1750 y 2011, un tercio de todos los gases de efecto invernadero (GEI) antropogénicos se derivaron de los cambios en el uso de la tierra (IPCC, 2014). A largo plazo, el CO<sub>2</sub> atmosférico ha aumentado aproximadamente de 180 a 280 ppm desde el último período glacial, añadiendo alrededor de 220 PgC a la atmósfera durante un período de 10 000 años. Esto se traduce en una tasa de aumento de alrededor de 4.4 PgC/año (Baldocchi et al., 2016).

La reciente investigación sobre la dinámica del C del suelo y su influencia en el ciclo global del carbono se ha visto impulsada en parte por el aumento de la concienciación de: 1) la importancia de la accesibilidad a pequeña escala al COS para la renovación del carbono microbiano que se extiende a una profundidad mayor de 20 cm (Trumbore et al., 2014).

El vínculo entre las comunidades microbianas y las propiedades dinámicas e inherentes del suelo en relación al ciclo del carbono y su interacción con otros ciclos biogeoquímicos (Trumbore et al., 2011); y la influencia de la diversidad de

plantas en el aumento de la actividad microbiana del suelo y el almacenamiento de carbono en el suelo (Lange et al., 2015).

La fertilidad química Se refiere a las propiedades químicas del suelo, tanto sus componentes inorgánicos y orgánicos, así como los fenómenos a que da lugar la mezcla de esos componentes (Huerta, 2010) y depende de ciertas propiedades como el pH es una propiedad química del suelo que tiene un efecto importante en el desarrollo de los seres vivos (incluidos microorganismos y plantas). La lectura de pH se refiere a la concentración de iones hidrógeno activos (H<sup>+</sup>) que se da en la interface líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos. La concentración de iones hidrógeno es fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo (Fernández y Rojas, 2006).

Los valores que favorecen a la mayoría de los nutrientes están disponibles para las plantas y por ende para desarrollo de los cultivos a pH de 6.5 a 7.5 (Vásquez et al., 2002), ya que pH es muy importante en las propiedades del suelo porque regula las propiedades químicas del suelo, determina la disponibilidad del resto de los cationes para las plantas e influye sobre la CIC, que es menor en suelos ácidos que en los básicos (Báscones, 2005).

**Tabla 2.** Categoría del pH del suelo

<b>pH, relación suelo – Agua</b>	
<b>Categoría</b>	<b>Valor pH</b>
<b>Fuertemente ácido</b>	<b>&lt;0,5</b>
<b>Moderadamente ácido</b>	<b>5,1 – 6,5</b>
<b>Neutro</b>	<b>6,6 – 7,3</b>
<b>Alcalino</b>	<b>7,4 – 8,5</b>
<b>Fuertemente Alcalino</b>	<b>8,5</b>

Fuente: Fernández, 2006

La capacidad de intercambio catiónico en unidades del sistema internacional, se expresa (CIC) en centimoles de carga positiva por kilogramo de suelo, cmol (+) kg-

1 o bien  $\text{cmolc kg}^{-1}$ . Con anterioridad se venía utilizando como unidad el  $\text{meq}/100\text{g}$ , cuyo uso se halla todavía muy extendido. El valor numérico es el mismo con ambas unidades (Huerta, 2010).

Los cationes más importantes en los procesos de intercambio catiónico, por las cantidades de ellos que participan en dichos procesos, son  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  y  $\text{Na}^{+}$  (las bases del suelo) y  $\text{NH}_4^{+}$ , en suelos ácidos, a partir de ciertos valores de pH, el  $\text{Al}^{3+}$  juega un papel muy importante en el complejo de intercambio catiónico del suelo constituyendo, junto con el  $\text{H}^{+}$ , la acidez intercambiable del mismo. (Jaramillo, 2002).

**Tabla 3.** Clasificación de los niveles de calcio, magnesio y potasio

<b>C.mol/kg</b>			
<b>Clase</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>
<b>Muy baja</b>	<2,0	<0,5	<0,2
<b>Baja</b>	2 – 5	0,5 – 1,3	0,2 – 0,3
<b>Media</b>	5 -10	1,3 – 3,0	0,3 – 0,6
<b>Alta</b>	10>	>3,0	>0,6

Fuente: Fernández, 2006

**Tabla 4.** Niveles de sodio

<b>Clase de Na Cmol/Kg</b>	
<b>Muy bajo</b>	<0,3
<b>Bajo</b>	0,3 - 0.6
<b>Normal</b>	0,6 – 1,0
<b>Alto</b>	1,0 – 1,5
<b>Muy alto</b>	1,5

Fuente: FAO, 2012

La salinidad del suelo es uno de los principales factores de estrés abiótico que reduce el rendimiento de los cultivos hasta en un 50%. La salinidad del suelo tiene un efecto muy importante sobre los cultivos agrícolas. El incremento de sales dificulta la capacidad de las raíces para absorber agua, lo que conduce a un progresivo decrecimiento en el desarrollo y rendimiento. Los principales efectos de la salinidad en las plantas se deben a un desbalance osmótico, toxicidad, oxidación y finalmente muerte celular (Jaramillo et al, 2014).

Zúñiga et al., (2011), manifiesta que la presencia de salinidad en los suelos interfiere en el crecimiento adecuado de la mayoría de los cultivos y por lo tanto constituye uno de los problemas más serios que enfrenta la agricultura. Este problema tiene efectos negativos sobre el suelo, como la disminución de la actividad biológica, la reducción en la disponibilidad de nutrientes, lo que es limitante para el desarrollo de los cultivos.

**Tabla 5.** Criterio de evaluación de salinidad del suelo  
**Conductividad del suelo, Relación suelo Agua de 1:2,5**

<b>Categoría de suelo</b>	<b>Valor (mmhos/cm)</b>
<b>No salino</b>	0 – 2,0
<b>Poco salino</b>	2,1 - 4,0
<b>Modernamente salino</b>	4,1 – 8,0
<b>Muy salino</b>	8,1 - 16,0
<b>Extremadamente salino</b>	>16,0

Fuente: Fernández, 2006

El contenido y el comportamiento del fósforo (P) en los suelos para uso agrícola, está determinado inicialmente por las propiedades originales del material parental, el tipo de arcilla dominante, por la fracción orgánica, así como por otras propiedades y procesos de naturaleza biológica y química. Así mismo, el manejo agronómico al que ha sido sometido el suelo, puede provocar variaciones

importantes del P que modifican igualmente su dinámica en el suelo (Henríquez, 2015).

El fósforo es el segundo elemento (después del nitrógeno) más importante para el crecimiento de las plantas la producción de los cultivos y su calidad, en el suelo, existen varias formas químicas de fósforo, incluyendo el inorgánico (Pi) y el orgánico (Po). Estos componentes tienen múltiples fuentes de origen natural los cuales difieren ampliamente en su comportamiento y destino tanto en suelos naturales como cultivados (Lozano et al., 2012).

**Tabla 6.** Niveles de fósforos en el suelo

<b>Fosforo en suelo por el método de Bray II</b>	
<b>RANGOS</b>	<b>ppm P</b>
Bajo	< 15
Medio	15 – 50
Alto	> 50

Fuente: Sheifa J. McKeon, 1993

Todas estas tasas regionales de crecimiento medio deberán considerarse a título indicativo. Si los bosques presentan una parte considerable del inventario total de gases de efecto invernadero de un país. Deberán emplearse los datos locales disponibles o solicitar la opinión de un experto para llegar a contar con valores que reflejen las condiciones y las prácticas.

### **4.3. MARCO CONCEPTUAL**

**4.3.1 Cambios en el uso del suelo:** Es un cambio en el uso o gestión de las tierras por los humanos, que puede llevar a un cambio en la cubierta de dichas tierras. (IPCC, 2000).

**4.3.2 Carbono orgánico del suelo:** El carbono orgánico del suelo (COS) es una pequeña parte del ciclo global del carbono, el cual implica el ciclo del carbono a través del suelo, la vegetación, el océano y la atmósfera (FAO, 2001).

**4.3.3 Calentamiento global:** El calentamiento global se puede entender en forma simplificada como el incremento gradual de la temperatura del planeta como consecuencia del aumento de la emisión de ciertos gases de Efecto Invernadero - GEI) que impiden que los rayos del sol salgan de la tierra, bajo condiciones normales. (Una capa “más gruesa” de gases de efecto invernadero retiene más los rayos infrarrojos y hace elevar la temperatura). (IPCC, 2001).

**4.3.4 Cambio climático:** El cambio del clima, tal como se entiende en relación con las observaciones efectuadas, se debe a cambios internos del sistema climático o de la interacción entre sus componentes, o a cambios del forzamiento externo debido a causas naturales o a actividades humanas. Esta influencia por aumentos antropogénico de los gases de efecto invernadero y por otros factores relacionados con los seres humanos (IPCC, 2001).

**4.3.5 Capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC):** Es la medida de la capacidad que posee un suelo de adsorber cationes y es equivalente a la carga negativa del suelo. Esta propiedad es la que define la cantidad de sitios disponibles para almacenar los cationes en el suelo. Los cationes que son sometidos a esta retención quedan protegidos contra los procesos que tratan de evacuarlos del suelo, como la lixiviación, evitando así que se pierdan nutrientes para las plantas. (Jaramillo, 2002).

**4.3.6 Desertificación:** Degradación de la tierra por su uso en regiones áridas, semiáridas y secas húmedas que se origina a partir de varios factores que incluyen la variación climática y las actividades humanas (Holtz, 2003).

**4.3.7 Densidad aparente del suelo:** Es la densidad del suelo que se calcula teniendo en cuenta el espacio ocupado por los poros al cuantificar el volumen de la muestra de suelo, razón por la cual depende de la organización que presente la fracción sólida del mismo y está afectada por su textura, su estructura, su

contenido de materia orgánica, su humedad (en especial en suelos con materiales expansivos) y su grado de compactación, principalmente. (Jaramillo, 2002).

**4.3.8 Erosión del suelo:** La erosión del suelo es la remoción del suelo de la superficie de la tierra por el agua, viento o labranza. La erosión hídrica ocurre principalmente cuando el flujo superficial transporta partículas del suelo desprendidas por el impacto de las gotas de lluvia o la escorrentía superficial, a menudo dando lugar a canales claramente definidos, tales como surcos o cárcavas. La erosión eólica ocurre cuando el suelo seco, suelto, sin cobertura es sometido a fuertes vientos y las partículas de suelo se desprenden de la superficie del suelo y son transportadas a otro lugar. (FAO, 2007).

**4.3.9 Fertilidad del suelo:** La fertilidad del suelo hace referencia a la capacidad del suelo para apoyar y sostener el crecimiento de las plantas, incluyendo el hacer disponible los nutrientes, nitrógeno, fósforo, azufre y otros para la absorción por parte de plantas. (FAO y GTIS, 2015).

**4.3.10 Gases de efecto invernadero:** Gas que absorbe radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación (radiación infrarroja) emitido por la superficie de la Tierra y por las nubes. El gas, a su vez, emite radiación infrarroja desde un nivel en que la temperatura es más baja que en la superficie. El efecto neto consiste en que parte de la energía absorbida resulta atrapada localmente, y la superficie del planeta tiende a calentarse. En la atmósfera de la Tierra, los gases de efecto invernadero son, básicamente: vapor de agua (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>) y ozono (O<sub>3</sub>) (IPCC, 2001).

**4.3.11 Materia orgánica del suelo (MOS):** Se conoce como materia orgánica del suelo (MOS) a un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y / o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo. Además, incluye una fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos (Aguilera, 2000).

**4.3.12 Secuestro de carbono del suelo:** El secuestro de carbono orgánico del suelo es el proceso mediante el cual el carbono se fija desde la atmósfera a través de plantas o residuos orgánicos y se almacena en el suelo. (Kane, 2015).

**4.3.13 Tierras áridas y semiáridas:** las tierras áridas se consideran como aquellas áreas donde el promedio de lluvias es menor que las pérdidas potenciales de humedad a través de la evaporación y la transpiración (FAO, 2001).

#### 4.4. MARCO CONTEXTUAL

**Figura 4.** Localización geográfica



**Fuente:** disponible en: <http://www.agustincodazzi-cesar.gov.co/municipio/> **Fuente:** Google Earth

Agustín Codazzi se encuentra ubicado en la parte norte del departamento del Cesar, a 45 minutos de la capital del departamento de Valledupar, a una distancia de 59 Km. El municipio está conformado por 45 barrios. Este posee diversidad de climas debido a que parte de su territorio la conforma la serranía del Perijá.

**Figura 5.** Localización geográfica del área del proyecto, vereda Llerasca, finca Santa Isabel (9°52'34.45"N) y (73°15'19.11"O).



Fuente: Google Earth, 2018

Limita por el norte con el municipio de La Paz y San diego, por el sur con el municipio de Becerril, por el occidente con el municipio de El Paso y por el oriente con la serranía del Perijá, que sirve de límite natural entre Colombia y Venezuela.

La economía del Municipio es principalmente Agropecuaria basada en el cultivo del Algodón, Café, Caña de Azúcar, Palma Africana y otros productos agrícolas en menor escala. Del mismo modo la cría de semovientes como ganado ovino, caprino y vacuno; y en menor escala explotación minera la cual aumentará con la apertura de la mina El Descanso, con una extensión de 42.800 hectáreas.

El municipio cuenta con una extensión Área Urbana: 5.49 Km<sup>2</sup> y una extensión Área Rural: 1733.51Km<sup>2</sup>. En el área del Municipio se localizan alturas sobre el nivel del mar que varían entre los 125 y 3.600 m.s.n.m. La diferencia de nivel entre la zona más alta y la más baja del casco urbano no supera los 32 metros. La cabecera Municipal está localizada sobre terrenos planos, con pendientes entre el 0.1 y el 5 %, las aguas de escorrentía drenan hacia el occidente.

En el municipio se pueden distinguir dos tipos de unidades orográficas, la montañosa y la de tierras bajas, la primera representada por la serranía del Perijá y la segunda por el valle del Río Cesar, denominado en esta zona, el valle de Codazzi.

Las formaciones montañosas de la serranía del Perijá, están constituidas por depósitos sedimentarios del mesozoico, con pliegues que alcanzan alturas hasta de 3.600 m.s.n.m, en esta zona la serranía se constituye en la divisoria de aguas de la gran cuenca de Maracaibo y el Valle del río Cesar.

El departamento del Cesar tiene las más grandes reservas de carbón a nivel nacional, estas ascienden a 1280 millones de toneladas, de las cuales una parte aun no explotada se encuentra en el área del Municipio de Codazzi, también se encuentran otros yacimientos de interés aun no explotados de hierro y caliza.

El 76% del territorio municipal se clasifica como suelos de producción y 24% como suelos de protección. Entre los primeros 25% corresponden a suelos para producción forestal y agroforestal, ubicados en el piedemonte principalmente, mientras que el 51% restante corresponden a las partes planas al occidente del municipio.

Los suelos de protección se ubican principalmente a la Serranía de Perijá, El 40% de los suelos del municipio están clasificados para uso agropecuario intensivo, a

los que se le suma 11% de suelos para uso agropecuario semintensivo, es un caso excepcional en Colombia, por lo que su productividad agropecuaria puede considerarse una de las mayores potencialidades del Municipio.

La zona urbana presenta suelos limo-arenosos (Clasificación U.S.C SM, A.A.S.H.TO A-4,), color café, con límite líquido menor de 20 y bajo índice de plasticidad ( $< 5$ ), en la mayor parte del área presenta alto contenido de gravas, cantos rodados y rocas de hasta 0.50 m<sup>3</sup>. Las tierras del Municipio están comprendidas en los pisos térmicos Cálido, templado y frío. La Altura media de la zona urbana es 125 m.s.n.m.

La zona presenta una temperatura promedio de 28°C y una precipitación promedio anual de 1.564 mm, con distribución bimodal de dos periodos secos, de junio a agosto y de diciembre a marzo y dos periodos lluviosos de abril a junio y de septiembre a noviembre.

Las principales corrientes superficiales son los ríos Cesar, Magiriamo, Casacará, Fernambuco y Sicarare.

La fuente actual de abastecimiento del acueducto de la zona urbana, es el río Magiriamo, el cual nace en la parte sureste de la cuchilla “El Tesoro” a 3.400 m.s.n.m, con una longitud total de 114 Km., desde su nacimiento hasta la cota 200 recorre 48 Km., y 66 Km. más hasta su desembocadura en el río Cesar, su caudal medio es de 137 m<sup>3</sup>/s. En la actualidad, como producto del verano asociado con el “fenómeno del Niño”, la sequía ha hecho casi que desaparecer el cauce del río, convirtiéndolo en una quebrada seca.

Las quebradas de la margen derecha del río Magiriamo se ubican en el municipio de La Paz, sus principales afluentes son los arroyos Rodrigo, del Milagro, Caño Boba, Agua Fría, La Duda, La Santa, su cuenca ocupa un área de 51.480 Ha. El

río Casacará nace en el cerro más alto del municipio, denominado “Las Tres Tetas” a 3600 m.s.n.m, con una extensión de 143 Km., sus principales afluentes son los arroyos Gamuza, Las Nieves, Tecuzno, Las Pavas, El Pino, Cabellera, El Salto, Paujil. Las Quebrada Iroka, su cuenca es compartida con el vecino municipio de Becerril (Alcaldía de Agustín Codazzi, Cesar, 2017).

Según cifras del DANE, se estima la población actual del municipio en 50.829 habitantes, con una distribución correspondiente a 38.727 habitantes en la zona urbana (76,19% del total de la población) y 12,102 en la zona rural (23,81% del total de la población).

#### **4.5. MARCO LEGAL**

La legislación Colombiana dispone de políticas claras y bien definidas para el manejo y protección del recurso suelo, el presente proyecto también integra las políticas sobre el manejo y contaminación de atmósfera además de tener en cuenta tratados internacionales que buscan mantener los niveles de carbono orgánico en el suelo.

**Decreto Ley 2811 de 1974**, se señala que el uso de los suelos debe realizarse de acuerdo con sus condiciones y factores constitutivos y que se debe determinar el uso potencial y clasificación de los suelos según los factores físicos, ecológicos, y socioeconómicos de la región.

**Decreto 704 de 1986**, el cual dispone que el uso indiscriminado del D.D.T. y sus derivados y compuestos, en razón a que es un insecticida de amplio espectro y alto efecto residual, conlleva graves riesgos para la salud humana y animal; altera el equilibrio ecológico y desarrolla resistencia en vectores de enfermedades transmisibles al ser humano y a los animales.

La Constitución Política de 1991 establece el uso, acceso y conservación de los componentes del ambiente, entre ellos el suelo.

**Artículo 79**, la Constitución Política establece que Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo y es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente.

**El artículo 80**, señala que El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

**Ley 99 de 1993**, que crea el Ministerio del Medio Ambiente, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, le asigna dentro de sus funciones la de establecer los criterios ambientales que deben ser incorporados en la formulación de las políticas sectoriales y en los procesos de planificación.

**Decreto 948 de 1995**, el cual definir el marco de las acciones y los mecanismos administrativos de que disponen las autoridades ambientales para mejorar y preservar la calidad del aire; y evitar y reducir el deterioro del medio ambiente, los recursos naturales renovables y la salud ocasionados por la emisión de contaminantes químicos y físicos al aire.

**Ley 685 de 2001**, tiene como objetivos de interés público fomentar la exploración técnica y la explotación de los recursos mineros de propiedad estatal y privada; estimular estas actividades en orden a satisfacer los requerimientos de la demanda interna y externa de los mismos y a que su aprovechamiento se realice en forma armónica con los principios y normas de explotación racional de los recursos naturales no renovables y del ambiente.

**Mediante la Resolución 0551 de 2009 del MAVDT**, se adoptan los requisitos y evidencias de contribución de los proyectos al desarrollo sostenible del país y se establece el procedimiento para la aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que optan al Mecanismo de Desarrollo Limpio – MDL.

**La Resolución 2734 de 2010, introduce** mejoras en el procedimiento de aprobación nacional de proyectos de reducción de emisiones de GEI que optan al MDL con el ánimo de reducir los tiempos de respuesta, agilizar el proceso interno de evaluación; la segunda. Deroga la Resoluciones 0453 y 0454 de 2010.

## **5. MARCO METODOLÓGICO**

### **5.1. TIPO DE INVESTIGACION**

El tipo de investigación aplicada para la determinación de carbono orgánico es:

#### **5.1.1. Descriptiva**

Los estudios descriptivos buscan, medir, evaluar o recolectar datos sobre diversos conceptos (Variables), aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar, en un estudio descriptivo se seleccionan una serie de cuestiones y se mide o recolecta información sobre cada una de ellas para así (vélgase la redundancia) describir lo que se investiga, (Hernández et al., 2014).

Además de describir el fenómeno, tratan de buscar la explicación del comportamiento de las variables. Su metodología es básicamente cuantitativa y su fin último es el descubrimiento de las causas. Se pueden considerar entre las disciplinas planteadas para el desarrollo de la metodología aplicada está el diseño experimental y el análisis de variables (Hernández et al., 2003).

**5.1.2 LINEA DE INVESTGACION.** Sostenibilidad y gestión ambiental.

**5.1.3 SUB LINEA DE INVESTIGACION.** Recurso suelo.

### **5.2. POBLACION**

La población del proyecto se refiere a 274860 Ha con desertificación severa equivalente al 12% del área del departamento del cesar (IDEAM, 2015) de las cuales 81646 Ha pertenecen al municipio de Agustín Codazzi, se tuvieron en cuenta 350 Ha en el contexto de la investigación (SIG Corpocesar, 2018).

### **5.3. MUESTRAS**

De las 350 Ha se tomaron 15 Ha de suelos desertificados en el municipio de Agustín Codazzi, se focalizo la hacienda Santa Isabel ubicada en la vereda de Llerasca donde se realizó el muestreo de suelo para las áreas agrícolas seleccionadas las cuales se deben a un área agrícola sin cultivar por un periodo

de 10 años donde se cultivó algodón y otra área donde se cultivó sorgo en diferentes periodos, actualmente las áreas se encuentran sin cultivar. Adicional a esto se seleccionó una zona de bosque para tomarla como control para esta área se focalizó una zona determinada como bosque seco tropical ubicado en la zona de Nueva granada.

## **5.4. DESARROLLO METODOLOGICO**

### **5.4.1. ETAPA 1: Revisión de información técnica e instrumentos de recolección de la información.**

La información de este proyecto es obtuvo de 2 maneras, recolección de información primaria y secundaria.

Información primaria: se obtuvo de conclusiones de análisis de laboratorios, trabajos de campo, entrevistas con los campesinos de la zona del municipio de Agustín Codazzi-Cesar y datos de estudios de casos suministrada por los entes territoriales del municipio.

Información secundaria: se obtuvo de libros, tesis de grados, revistas científicas, artículos científicos, que tienen que ver con la investigación planteada. La recolección de la información se hizo mediante un barrido electrónico en la web por las principales base de datos académica como son: Google académico, Scielo, ScienceDirect y el portal de revistas científica para Latino América Redalyc.

### **5.4.2. ETAPA 2: Delimitación de zona de estudio y toma de muestras**

Se seleccionaron 2 áreas agrícolas ubicadas en el municipio de Agustín Codazzi Cesar, en la vereda Lerasca, finca Santa Isabel, localizadas en las coordenadas (9°52'34.45"N ), (73°15'19.11"O) y (9°52'50.75"N), (73°15'31.08"O) el área agrícola principal corresponde a una parcela de 5 HA donde se sembró algodón en varias ocasiones, los suelos se encuentran sin cultivar desde hace 10 años (Datos suministrados por el propietario) (Anexo A), actualmente la parcela se encuentra en rastrojo/barbecho mientras que en temporada de lluvia predomina

una hierba espesa, la segunda área agrícola seleccionada fue un área agrícola donde se sembró sorgo 10 años atrás, esta presenta un área de 5 HA la cual se encuentra en recuperación presentando vegetación perenne (Anexo B) y como testigo se tomó una área de bosque seco tropical intervenido con características del suelo similar a las áreas agrícolas estudiadas, no fue posible focalizar una zona de bosque adyacente al proyecto ya que la mayoría eran zonas catalogadas como zonas de pastizal y de agricultura intensiva según IDEAM y SIG Corpocesar, por lo tanto se tomó una zona cerca de la cabecera municipal ubicada en las coordenadas (10°2'27.84"N) (73°15'59.89"O) (Anexo C).

Para análisis de suelo, se delimitaron 3 áreas, de las cuales 2 son de uso agrícola en las que se sembró algodón y sorgo respectivamente, y un área de bosque seco tropical intervenido, se tuvo en cuenta que estas zonas tuvieran la misma topografía y el mismo relieve.

En cada una de las áreas seleccionadas se establecieron 15 puntos de muestreo cuyas muestras se tomaron en forma de zigzag a una profundidad de 0-30 cm, donde son más notorios los cambios de carbono orgánico de acuerdo con las directrices del IPCC de 2006, para poder obtener una muestra representativa se tomaron 3 muestras compuestas cada uno de los puntos de muestreos de la siguiente manera:

Se removió con un machete la cobertura vegetal y se raspo la superficie del suelo aproximadamente a una profundidad de 1 cm, de tal manera que se pudiera observar el suelo limpio en los 15 puntos de muestreos (Anexo D), utilizando una pala se hizo un corte en "V" a una profundidad de 0-30 cm en todos los puntos, cuyas muestras fueron depositada en un balde y posteriormente mezcladas para obtener una muestra homogénea, luego colocamos las muestras de suelo en bolsas plásticas herméticamente cerrada y etiquetadas, este procedimiento se

repitió 3 veces en cada área, el cual se realizó para determinar la cantidad de carbono orgánico en el suelo.

**Figura 6.** Muestreo en forma de zigzag en la parcela donde se cultivó algodón



Fuente: Google Earth pro

### **5.4.3 ETAPA 3: Análisis del contenido de carbono orgánico, densidad aparente, textura, análisis completo de fertilidad y conductividad eléctrica.**

En el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Medellín y la Universidad Industrial de Santander (UIS) Bucaramanga, se realizó la determinación de cada elemento del suelo; en la tabla 7., se mencionan las metodologías utilizadas para la determinación cuantitativa de cada una de las variables.

**Tabla 7.** Metodologías utilizadas para determinar cada una de las propiedades químicas de suelo, en el municipio de Agustín Codazzi Cesar.

<b>PARAMETRO</b>	<b>METODO</b>	<b>TECNICA</b>
<b>Ph potencial de hidrogeno</b>	ELECTROMETRICO	RELACION 1:1 AGUA DESTILADA
<b>Carbono Orgánico.</b>	WALKLEY-BLACK (COLORIMETRICO)	ESPECTROFOTOMETRICA UV-VIS
<b>Fosforo Disponible</b>	BRAY II. HCl 0,1 N- NH4F 0,03 N	COLORIMETRICO
<b>Ca,Mg,Na y K</b>	EXTRACCION, ACETATO DE AMONIO	ABSORCION ATOMICA
<b>Textura</b>	BOUYOUCOUS	AGUA DESTILADA
<b>CIC: capacidad de intercambio cationico</b>	EXTRACCION	ACETATO DE AMONIO
<b>CE: conductividad eléctrica</b>	ELECTROMETRICO	AGUA DESTILADA

**Fuente:** Autores

La metodología que se utilizó para la determinación del contenido de carbono orgánico fue el de combustión húmeda del carbono (Walkley Back), el cual consiste en la oxidación del carbono orgánico a través de una mezcla de dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) y ácido sulfúrico concentrado (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), reacción acelerada por el calor de dilución del H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en agua y leído mediante colorimetría (espectrofotómetro) (Arrieche, 2002).

Se calcula el carbono orgánico con la ecuación:

$$\%C = V \left( 1 - \frac{M}{B} \right) * 0.003 / Pm$$

Ecuación 1

Dónde: %C = Contenido de carbono orgánico en %.

V = Volumen de bicromato de potasio empleado en la muestra y en el blanco (5 mL).

M = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra.

B = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación del blanco.

Pm = Peso de la muestra.

Se transforma el contenido de carbono orgánico a contenido de materia orgánica, en porcentaje (%MO), mediante la relación.

$$\%MO = \%C * 1.724$$

Ecuación 2

Según Kumada (1987) y el SSL (1995), este método actúa sobre las formas más activas del carbono orgánico que posee el suelo y no produce una oxidación completa de dichos compuestos, por lo que se deben hacer ajustes a los resultados obtenidos en el laboratorio, cuando se quieren expresar en términos de contenido de materia orgánica. El SSL (1996) recomienda utilizar un factor de corrección igual a 1.724, asumiendo que la materia orgánica tiene 58% de carbono orgánico.

Para la determinación del carbono en el suelo se hizo uso de la fórmula propuesta por la IPCC (2006) la cual se presenta a continuación:

$$COS\left(\frac{Ton}{Ha}\right) = \left(\% \frac{C}{100}\right) * Da * P$$

Ecuación 3

Donde:

%C= porcentaje de carbono

Da= densidad aparente

P= profundidad del suelo

La **textura** del suelo, para los fines prácticos normales, se determinó por el método del hidrómetro o de Bouyoucos,(Bouyoucos, 1962) el cual consiste en determinar los porcentajes en que se encuentran los diferentes separados del

suelo, de acuerdo con el peso de una muestra seca del mismo; este método se fundamenta en la Ley de Stokes, la cual establece que la velocidad de caída de las partículas pequeñas, en un medio líquido, es directamente proporcional a su tamaño, según la siguiente relación:

$$V = 2(Dr - Dw)g * r^2 / Gn$$

Ecuación 4

Dónde: V: Velocidad de caída: cm s-1.

Dr: Densidad de partículas: g cm-3.

Dw: Densidad del líquido (agua en este caso): g cm-3.

G: Aceleración de la gravedad: cm s-2.

R: Radio de la partícula: cm.

H: Viscosidad del líquido: g cm-1 s-1.

### **Densidad Aparente**

La densidad aparente es igual al peso seco del suelo (en gramos) entre el volumen del suelo (en cm<sup>3</sup>).

En las mismas parcelas donde se recolectó la muestra de suelo para carbono (C%) se hizo el muestreo para densidad. Para la determinación de la densidad aparente en las unidades de muestreo, se utilizó el método del “Cilindro de volumen conocido” descrito por MacDicken (1997) haciendo uso de un cilindro metálico de 5 cm de diámetro y 6cm de profundidad, con un volumen de 164 cm<sup>3</sup>. El cilindro fue introducido en el suelo de manera vertical a una profundidad de 0-10cm para lo cual se utilizó un mazo de acero de manera que el cilindro se introdujera completamente en el suelo, luego se extrajo el cilindro del suelo con una pala y seguidamente se eliminó el sobrante de suelo que quedaba en los bordes del cilindro. Una vez lleno y nivelado por ambos extremos, se extrajo el suelo contenido cuyo volumen corresponde al del cilindro. Luego las muestras

fueron depositadas en una bolsa obteniendo 3 muestras por parcela, llevadas al laboratorio de suelos de la Universidad Popular del Cesar para ser puestas en un horno a 105° C por un periodo de 24 horas. Luego de esto cada una de las muestras se pesó y se obtuvo el valor de peso seco en gramos.

$$Da \left( \frac{gr}{cm^3} \right) = Ps/V$$

Ecuación 5

Donde:

Da= densidad aparente

Ps= peso en seco de la muestra

V= volumen del cilindro

### **Nitrógeno total de suelo y relación carbono/nitrógeno.**

Con el fin de conocer el porcentaje de nitrógeno total presente en los suelos estudiados se calculó, teniendo en cuenta el porcentaje de materia orgánica del suelo, puesto que el nitrógeno en el suelo es parte integral del sistema de la materia orgánica, donde los cambios producidos están siempre acompañadas con cambios similares en el nitrógeno orgánico.

La cantidad de N en forma aprovechable (iones nitrato) que contienen los suelos en condiciones naturales dependen fundamentalmente de la cantidad y tipo de materia orgánica presente, grado de humedad, actividad biológica del suelo. etc.

Una de las propiedades más importantes y características de la Materia orgánica es su contenido de nitrógeno total. Se demuestra que existen correlaciones cuando el contenido de Nitrógeno total del suelo multiplicado por 20, da una primera aproximación del contenido de materia orgánica total de suelo, así (Villaruel, 1988).

$$\%N \text{ TOTAL} = \frac{\% M.O}{20}$$

Ecuación 6

**Tabla 8.** Nitrógeno total en suelos agrícolas

<b>Clasificación</b>	<b>Niveles de N total %</b>
<b>Muy bajo</b>	< 0,05
<b>Bajo</b>	0,05 – 0,15
<b>Moderado</b>	0,15 – 0,20
<b>Alto</b>	0,20 – 0,30
<b>Muy alto</b>	>0,30

Fuente: Villarroel, 1988

Teniendo en cuenta el nitrógeno total del suelo se obtuvo la relación C/N, la relación C/N tiene una gran importancia en la valoración de la fertilidad del suelo. Además la relación C/N del suelo varía fundamentalmente en función de la relación de la materia orgánica vegetal existente.

**Tabla 9.** Valores de relación C/N en los suelos

<b>Relación C/N del suelo</b>	<b>Interpretación</b>
<b>&lt; 5</b>	Excesiva mineralización
<b>5 – 8</b>	Tendencia a la mineralización
<b>8 – 12</b>	Equilibrio entre mineralización y humificación
<b>&gt;12</b>	Tendencia a la humificación

Fuente: Jordán, 2005

#### 5.4.4 ETAPA 4. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para conocer las diferencias entre los tipos de suelos estudiados, siendo el COS el principal indicador.

Se trabajó con un diseño experimental completamente al azar con 3 tratamientos y 3 repeticiones, esto con el fin de conocer comparaciones de medias entre unidades experimentales.

Como factores de interés o tratamientos se tomó las parcelas estudiadas (sorgo, algodón, bosque) y como unidad experimental se tomó el carbono orgánico del suelo y el porcentaje de carbono orgánico siendo los tratamientos las variables de clasificación utilizadas y el carbono orgánico del suelo la variable dependiente el análisis de varianza se realizó con el programa INFOSTAT.

**Tabla 10.** Datos de entrada para el diseño experimental completamente al azar realizado.

PARCELAS	%CO			COS (t/ha)		
Bosque	0,78	0,72	0,48	33,93	32,32	20,94
Sorgo	0,63	0,59	0,45	28,16	26,37	20,12
Algodón	0,38	0,27	0,2	18,58	13,05	9,64

Fuente: Autores

El modelo lineal para la observación del tratamiento i en la parcela J y  $Y_{ij}$  ajustado por INFOSTAT es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$ : observaciones de tratamiento i en parcela j

$\tau_i$ : Efectos del tratamiento

$\epsilon_{ij}$ : términos del error aleatorio asociado a la observación  $Y_{ij}$

Usualmente se asume que el término de error se distribuya normalmente con media cero y varianza constante para todas las observaciones.

Se realizó prueba de Tukey para conocer diferencias significativas entre los tratamientos con un nivel de confianza ( $P > 0,05$ ).

#### **5.4.5 ETAPA 5. Modelación del carbono orgánico del suelo.**

La evaluación del efecto en los cambios y manejos de usos del suelo teniendo en cuenta el COS como indicador, se realizó mediante un programa de modelamiento del carbono orgánico existente en el suelo llamado Rothamsted carbon model (RothC-26.3), (Coleman y Jenkinson, 2014), el cuál necesita pocos datos de entrada para poder modelar, estos datos son fáciles de conseguir y varios fueron obtenidos en los estudios de campo realizados.

RothC comenzó como un programa para estimar el carbono orgánico almacenado en algunas zonas áridas y semiáridas donde se utilizaba arado en el suelo, luego fue extendido a un modelo que puede manejar diferentes suelos y con diferentes usos como bosques, pastizales y suelos de pastoreo, además se puede operar con diferentes climas, en la actualidad es utilizado en varios estudios a largo plazo y en estudios globales sobre el manejo y uso del suelo, (Coleman & Jenkinson, 2014).

RothC ha sido validado en varios estudios por lo que no fue necesario una validación ya que el programa es bien reconocido y utilizado. (Coleman et al., 1997).

Los datos para la modelación tienen que ver con el clima, el manejo y uso del suelo y los componentes específicos del suelo como son el COS y la textura.

Los datos del clima se obtuvieron mediante el IDEAM ya que este cuenta con una red de estaciones pluviométricas y meteorológicas cerca de la zona de estudio que fue de utilidad para obtener estos datos, la recolección de los datos fueron obtenidos de la estación Motilona de Agustín Codazzi Cesar en la corriente Pernambuco, las condiciones meteorológicas a utilizar en el modelamiento son: la temperatura promedio en meses, precipitación en meses, evaporación en meses.

Los datos del suelo de entrada al sistema serán el carbono orgánico del suelo y la textura, mientras que los datos de manejo del suelo serán el porcentaje de arcilla presente en los suelos, cobertura del suelo y profundidad a la que se hizo el muestreo.

**Tabla 11.** Resumen de datos pluviométricos y meteorológicos utilizados en la modelación. Datos completos en (Anexo E).

Descripción	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Evaporación (mm)
Enero	29,4	22,8	190,3
Febrero	30,3	36,9	191
Marzo	30,4	83,4	204,5
Abril	29,6	152,8	170,2
Mayo	28,7	219,1	149,4
Junio	28,8	139,1	142,4
Julio	29,3	108,5	162,9
Agosto	28,9	162,2	153,8
Septiembre	28,1	168,3	139
Octubre	27,6	256,6	128,6
Noviembre	27,7	158,3	127,2
Diciembre	28,2	59	151,2
Arcilla %	20-20-34*	Profundidad (cm)	30**

Fuente: IDEAM

\*Corresponde a los datos de la textura de los suelos de sorgo, algodón y el bosque estudiados. \*\*corresponde a la profundidad a la que se hizo el muestreo.

El programa de modelamiento RothC aparte de los datos de entrada mencionados, maneja un grupo particular de datos que ejecuta internamente el programa y que son importante para un correcto modelamiento del carbono orgánico del suelo, estos datos son calculados teniendo en cuenta una recopilación de datos de estudios previos en diferentes zonas y con diferentes cultivos.

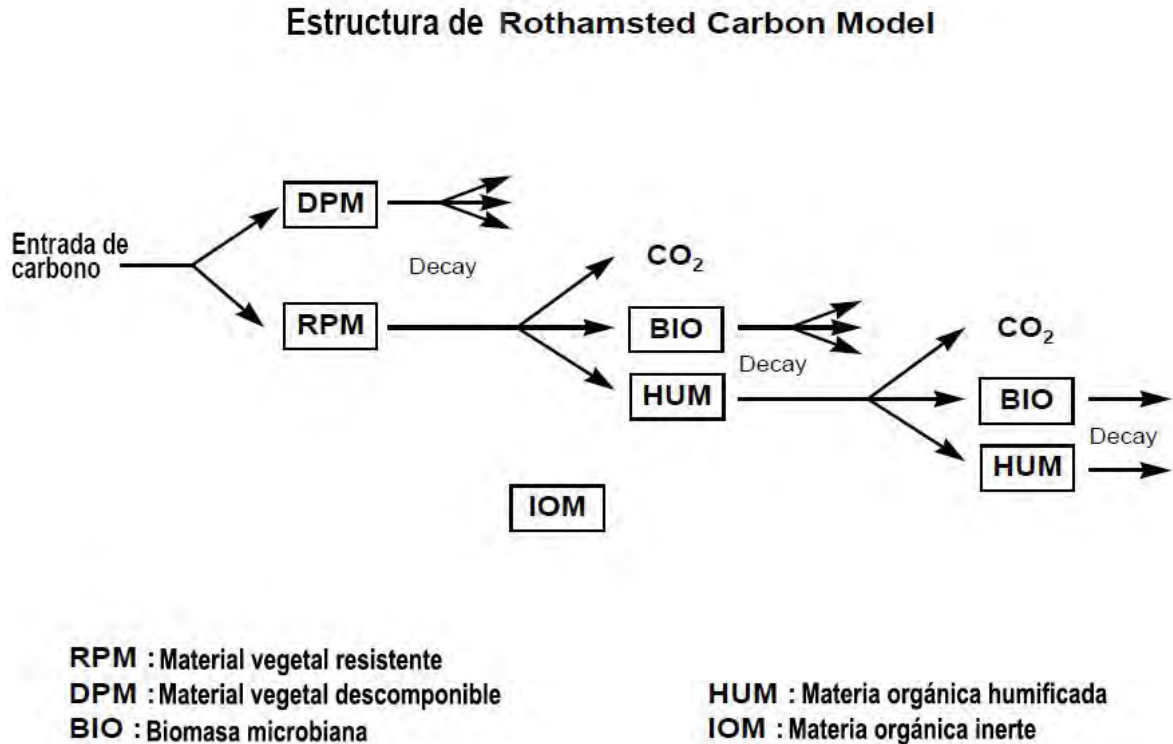
Para crear escenarios futuros del comportamiento del carbono orgánico del suelo es necesario determinar cuál es el manejo y usos que se le han dado al suelo durante un periodo de tiempo, el modelo ya tiene unas prácticas de manejo que considera pueden mejorar las condiciones del suelo y aumentar el carbono orgánico del suelo, al utilizar estas condiciones se obtiene un escenario posible y se determina cuáles serían los mejores usos y manejos que se le puede dar al suelo.

Esta sería la línea base para realizar la propuesta de prácticas de manejo para mitigar la degradación del suelo.

El modelo RothC separa el COS en cuatro compartimientos activos y una pequeña cantidad de materia orgánica inerte (IOM), como sigue, residuos de plantas reintroducidos en el suelo, se divide en material vegetal descomponible (DPM) y material vegetal resistente (RPM), ambos sometidos a descomposición para producir biomasa microbiana (BIO), materia orgánica humificada (HUM) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub> como pérdida del sistema). La arcilla del suelo determina las proporciones que van de CO<sub>2</sub> o (BIO + HUM) y calcula cuanta vegetación o disponibilidad de agua hay en el suelo. Cada compartimiento a excepción de (IOM) se descompone en cinética de primer orden. La IOM fue calculado por la ecuación propuesta por Falloon et al (1998), el modelo se ejecutó en modo "inverso" para conocer el entrada de planta residual (tC/ha) al suelo (Nieto., et al, 2010).

La entrada de compost (FYM) es un parámetro opcional del sistema, para este estudio se utilizó con el fin de modelar un caso en el que se le adicione enmienda orgánica al suelo.

**Figura 7.** Estructura de Rothamsted Carbon Model (RothC) (las siglas están en inglés).



Fuente: Coleman & Jenkinson, (2014).

Los escenarios creados corresponden al estado actual de los suelos cultivados y la zona de bosque. Con tendencia a seguir en las mismas circunstancias, con el mismo manejo que se le han dado desde que se cultivó hasta que fueron dejados en el estado actual.

Con el fin de conocer los efectos en el cambio y uso del suelo se crearon cinco escenarios posibles para evaluar el comportamiento de los suelos en un periodo de 30 años.

Los escenarios planteados fueron los siguientes:

Escenario 1: Modelación cultivó de algodón sin aplicar ninguna remediación (practica actual) (CT).

Escenario 2: Modelación Cambio de bosque a cultivo (BosqC)

Escenario 3: Modelación en parcela donde se cultivó algodón aplicando remediación con FYM (CFYM).

Escenario 4: Modelación aplicando rotación de cultivo y barbecho (CTC).

Escenario 5: Modelación aplicando remoción del barbecho del suelo remplazado por cultivo de cobertura (BC).

**Figura 8.** Interfaz para crear escenarios en RothC

Site name	Land management name	DPM/RPM	Year	Number of years	IOM
Equil					
bosq	bosque.dat	0.25			28

**Fuente:** Rothamsted carbon model versión 2.1

Cada modelo fue corrido a la inversa, en modo equilibrado, con el fin de generar la entrada requerida de materia orgánica inerte (IOM) de tal modo que coincidiera con el carbono orgánico del suelo, cuyos valores fueron diferentes y se tomaron del análisis de las medias que resultaron del análisis de varianza. También se calculó la entrada de carbono orgánico que será necesaria agregar al suelo para que coincida con los valores medidos y modelados.

#### **5.4.6 ETAPA 6. Prácticas de manejo propuestas para mitigar la degradación de los suelos enfocada en mantener y aumentar el carbono orgánico del suelo (COS).**

Las prácticas de manejo planteadas resultaron de la modelación de COS, a estas se les llamó prácticas de manejo posibles, también se plantearon practicas resultantes de los datos reportados por el UMATA sobre el manejo y usos del suelo en los últimos 10 años en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar (Anexo F), a estas prácticas se le nombraron como históricas, mientras que al estado actual de los suelos estudiado se les nombró como practicas actuales.

Posterior, se recopilaron todas las prácticas de manejo y teniendo en cuenta la mitigación de la degradación del suelo y la capacidad para retener carbono de las prácticas que se reportaron en el estudio se clasificaron en buenas y malas prácticas.

Se hizo un análisis de las prácticas que mayor importancia puede tener sobre los suelos estudiados y se especificaron pautas para una correcta gestión y realización de las prácticas de manejo.

Luego, se tuvieron en cuenta solo las practicas reportas como buenas y se clasificaron en un cuadro comparativo que las relacionaba con el secuestro de carbono, se reportaron prácticas de manejo del suelo economías, se les llamo económicas debido a que están enfocadas para que la implementen pequeños agricultores en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar, además otro de los reparto se le llamo convenientes, es decir que son las más factibles prácticas estudiadas para mitigar la degradación del suelo y aumentar el COS, otro de los recuadro se le nombró practicas actuales puesto que el municipio cuenta con muchas zonas con las mismas condiciones que las estudiadas, donde se aplican las misma prácticas, por último, el recuadro de cierre se le llamó innovadoras, son prácticas que se han implementado e investigado recientemente y que han demostrado resultados positivos en la captura y almacenamiento de carbono orgánico del

suelo, de este recuadro en especial se hizo una descripción de los estudios que se han realiza, que han encontrado un valor positivo en cuanto al mejoramiento de las condiciones del suelo.

Incrementar el COS en sistemas agrícolas ha sido considerado como una posible solución para mitigar el cambio climático, ya que se remueve el CO<sub>2</sub> de la atmosfera y se almacena en el suelo, por otro lado, una perturbación del suelo puede librear de nuevo el carbono orgánico almacenado en el suelo y ratonarlo a la atmosfera (Singh et al., 2018).

## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 6.1 Caracterización fisicoquímica de los suelos en las áreas agrícolas estudiadas en el municipio de Agustín Codazzi Cesar.

Se caracterizó las principales propiedades químicas del suelo y su composición mecánica, siendo el carbono orgánico el principal indicador.

**Tabla 12.** Determinación de la densidad aparente en la zona de estudio.

ZONA DE MUESTRA	TEXTURA	PESO EN SECO DE LA MUESTRA (gr)	VOLUMEN DEL CILINDRO (cm <sup>3</sup> )	DENSIDAD APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )
<b>C.ALGODON</b>	FCO-ARCILLO-ARENOSO	272,1	164	1,66
<b>C.SORGO</b>	FCO-ARCILLO-ARENOSO	244,2	164	1,49
<b>BOSQUE</b>	FCO-ARCILLO-LIMOSO	237,8	164	1,45

Fuente: Autores

**Tabla 13.** Caracterización fisicoquímica del suelo

Zona de estudio	PH	%C			P ppm	Ca	Mg	Na	K	% Ar	% L	% A	textura	CIC meq/100g	CE meq/100g
	un	M1	M2	M3		meq/100g suelo									
<b>algodón</b>	5.8	0.38	0.27	0.20	4.38	4.83	0.92	0.05	0.08	54	26	20	F.A. A	6.0	0.04
<b>sorgo</b>	6.0	0.45	0.58	0.63	4.23	5.92	1.14	0.10	0.09	52	28	20	F.A. A	7.4	0.04
<b>testigo</b>	6.7	0.70	0.75	1.9	134	9.0	1.9	N.A	0.23	10	56	34	F.A. L	11.1	0.04

Fuente: Autores

Del análisis de estos datos cabe hacer las siguientes consideraciones:

Para el respectivo análisis de las muestras que se detallan en esta sección se tomaron de los resultados de laboratorio. Se pueden evidenciar en (Anexo G).

Los análisis físicos realizados a las muestras presentan datos referentes a la zona de estudio como se indica continuación:

Para la muestra de algodón, en la tabla 13 se muestran los resultados de la composición mecánica del suelo y la clase textural de las parcelas estudiadas, donde se cultivó algodón y sorgo en la finca santa Isabel del municipio de Agustín Codazzi, los cuales presenta una textura (franco-arcillo-arenoso) para las parcelas agrícola con un % de arena de 54, %limo de 26 y % de arcilla de 20 y un % de arena de 52, %limo de 28 y % de arcilla siendo los valores de algodón y sorgo respectivamente.

Por otra parte, el testigo reporto una textura franco-arcillo-limosa siendo sus valores porcentuales de %arena de 10, arcilla 34, limo 56.

Los valores de densidad aparente (Tabla 12) para la zona de muestreo donde se cultivó algodón corresponde a 1,66 g/cm<sup>3</sup> siendo los valores más altos analizados, mientras que los valores de sorgo corresponden a 1,49 g/cm<sup>3</sup>; los valores de la zona que se tomó como testigo reportó los valores más bajo (1,45 g/cm<sup>3</sup>). Los valores encontrados en esta investigación se encuentran en el rango normal, ya que los valores promedios oscilan entre 1,4 a 1,6 gr/cm<sup>3</sup>, según United States Department of Agriculture (USDA).

Los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Los valores altos de densidad aparente son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan

dificultades para alongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios. En estas condiciones, el desarrollo y crecimiento de las plantas es impedido o retardado consistentemente (Rubio, 2010).

Por otra parte, los valores de los análisis químicos realizados en el laboratorio de las áreas estudiadas, reportaron que, en cuanto a los resultados de pH, se puede observar en la tabla 13 que en las muestras de los cultivos analizados se obtuvo un rango de pH medianamente ácido (5.1-6.5) y en la zona de bosque un pH ligeramente ácido acercándose a neutro con valor de 6.7, los cuales se consideran un valor adecuado para las plantas, ya que pH es muy importante en las propiedades del suelo, porque regula las propiedades químicas del suelo, determina la disponibilidad del resto de los cationes para las plantas e influye sobre la CIC, que es menor en suelos ácidos que en los básicos (Báscones, 2005).

Se presentó un contenido bajo en fósforo en las muestras de cultivo en un rango (<15 ppm) a diferencia de la zona de bosque que tiene un contenido alto en fosforo superando el valor de los (50ppm).

Con respecto a los resultados de calcio para las muestras, variaron desde una concentración baja de 4,83 Cmol.kg<sup>-1</sup> a un nivel medio entre 5 -10 Cmol.kg<sup>-1</sup> en las muestras estudiadas en relación a la tabla de interpretación 3. En cuanto a los resultados de magnesio obtenido presentaron un rango de 0,5-1.3 Cmol.kg<sup>-1</sup> bajo y de 1.3 a 3.0 Cmol.kg<sup>-1</sup> que se encuentra en un nivel medio. El valor de potasio para las muestras del suelo presento un nivel de 0,2 Cmol.kg<sup>-1</sup> en un nivel muy bajo.

Los valores son bajo en lugares donde los suelos son arenosos y tienen contenido bajo de materia orgánica. Los suelos arenosos con baja CIC, retiene cantidades más pequeñas de cationes, además tienen menos partículas de humus y arcillas

que son las responsables de incrementar la capacidad de intercambio catiónico (Cacuango, 2013).

Los resultados que se obtuvieron de sodio para las muestras del suelo variaron a una concentración muy baja  $< 0,3 \text{ Cmol.kg}^{-1}$  en las muestras estudiada en relación a la tabla de interpretación según la FAO (tabla 4) ya que estos valores están dentro del rango permisible y no son suelos sódicos a diferencia Zúñiga et al., (2011), que la presencia de sodio en los suelos interfiere en el crecimiento adecuado de la mayoría de los cultivos y por lo tanto constituye uno de los problemas más serios que enfrenta la agricultura.

Como se puede apreciar en los resultados de suelo se presentan una conductividad eléctrica baja debido a que se encuentran dentro del rango de 0- 2.0 mmhos/cm según la tabla 5, lo que quiere decir que estos suelos no son salinos, y por esta razón no tienen problemas de exceso de salinidad, esto se debe a que están compuestos principalmente de textura franca, franca arcillosa y franca arenosa, los mimos que tienden a ser lavables fácilmente por la precipitación y lixiviación del suelo, siendo relativo a Zúñiga et al., (2011), que la presencia de salinidad en los suelos interfiere en el crecimiento adecuado de la mayoría de los cultivos. Este problema tiene efectos negativos sobre el suelo, como la disminución de la actividad biológica, la reducción en la disponibilidad de nutrientes, lo que es limitante para el desarrollo de los cultivos.

Por otra parte, los porcentajes de carbono orgánico (COS %) se reportan como altos si son mayores a 2,5%, medios si se encuentran entre 1 a 2,5 % y bajos si son menores a 1% (Núñez 2000). Por consiguiente, los valores de carbono orgánico de la zona donde se cultivó algodón son bajos, al igual que los valores donde se cultivó sorgo.

**Tabla 14.** Nitrógeno total y relación C/N

<b>USO</b>	<b>%C.O</b>	<b>K</b>	<b>%M.O</b>	<b>%N TOTAL</b>	<b>C/N</b>
<b>BOSQUE</b>	0,66	1,724	1,13784	0,06	11
<b>SORGO</b>	0,56	1,724	0,96544	0,05	11,2
<b>ALGODÓN</b>	0,28	1,724	0,48272	0,02	14

Fuente: autores

Los niveles de nitrógeno total encontrados en los suelos que fueron cultivados con algodón y sorgo son muy bajos, mientras que los niveles del bosque son bajos, esto se debe a que estos suelos presentan unos niveles bajos de materia orgánica, además de las condiciones climáticas presentes.

Por otra parte, la relación C/N calculada es de 11 para las áreas de bosque 11,2 para el sorgo y 14 para el algodón.

El testigo del estudio o el bosque demostró una mineralización baja que significa alta capacidad para retener los nutrientes. El cultivo de sorgo indica una mineralización media que significa normal retención de nutrientes en el suelo, en cuanto al sistema productivo del algodón es alta la mineralización que significa baja retención de nutrientes en el suelo, pero el bosque con su mineralización lenta tiene bastantes nutrientes de fósforo, nitrógeno y azufre y muchos elementos menores mientras que en el sorgo y algodón la mineralización es normal, pero por falta de materia orgánica demuestra que el calcio, el potasio, fósforo y azufre son muy bajos con parados con el testigo (el bosque).

Los sistemas de producción demuestran un pH más bajo que el testigo (bosque) esto deduce el bajo porcentaje de materia orgánica por la razón simple que a mayor porcentaje de materia orgánica el pH tiende a hacer más alto. Por otra parte, el fósforo en los sistemas productivos de algodón y sorgo es menor que del testigo por el gran porcentaje que tiene de materia orgánica el bosque y que donde la materia orgánica es fuente principal de nitrógeno, fósforo, azufre y algunos elementos menores. Demostrando el análisis de suelo que la conductividad eléctrica que significa la salinidad en los suelos, en este análisis no hay problema

de salinidad, a pesar que hay una diferencia en el testigo y los dos sistemas productivos de algodón y sorgo, llevándose el cultivo de algodón y sorgo los excedentes de magnesio del testigo, manteniendo el equilibrio del sodio del cultivo de algodón y sorgo comparados con el testigo (bosque).

El potasio es muy bajo en miliequivalente en 100 gramos de suelos en los dos sistemas productivos comparados con el testigo y más o menos manteniendo el equilibrio en el cultivo de sorgo y algodón.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) en el algodón es más desgastante o bajo comparado con el cultivo de sorgo, pero con diferencias muy grande con el testigo.

## **6.2 Comparación de carbono orgánico mediante análisis estadístico**

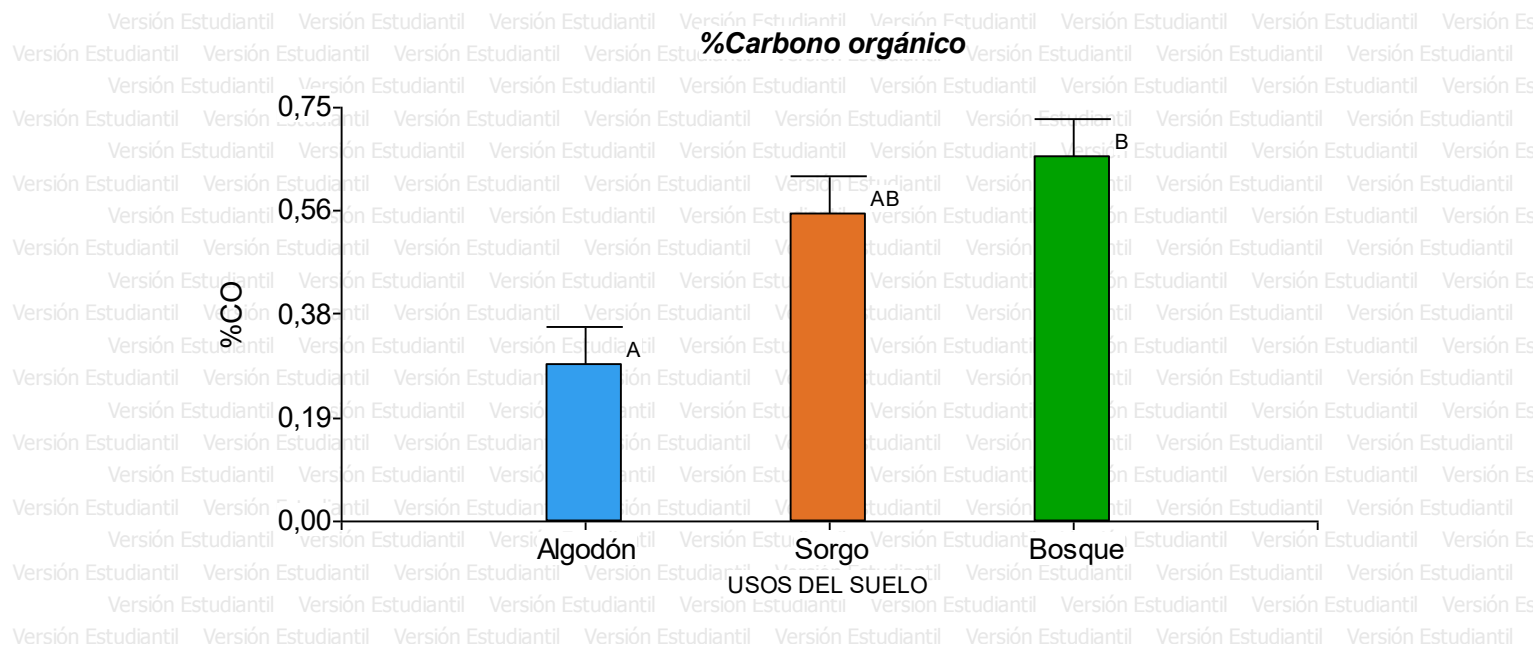
EL carbono orgánico del suelo se encontró a unas concentraciones que varían entre 0,28 y 0,66% en los 0-30 cm superficiales de los suelos estudiados, los cuales fueron tomados como tratamientos. Se encontró una diferencia significativa entre los suelos que fueron cultivado con algodón y el testigo (Bosque seco tropical intervenido) ( $p > 0.05$ ), sin embargo, no se encontró diferencia entre los suelos cultivados con sorgo ni con el testigo ni con los suelos de algodón ( $p > 0.05$ ). Siendo el bosque seco intervenido el que más carbono orgánico en porcentaje presento ( $0,66 \pm 0,07$ ). Y la zona donde se cultivó algodón fue la que reporto el menor valor de carbono orgánico ( $0,28 \pm 0,07$ ) (Tabla 15, Figura 9).

**Tabla 15.** Contenido de carbono orgánico del suelo estudiados en el municipio de Agustín Codazzi Cesar, según análisis de resultado de medias de Tukey.

Usos del suelo	%C.O	COS (tC/ha)	%COS perdido
Algodón	0,28 A	14,11 A	50,83
Sorgo	0,56 A B	24,88 A B	13,34
Bosque	0,66 B	28,71 B	

Fuente: autores.

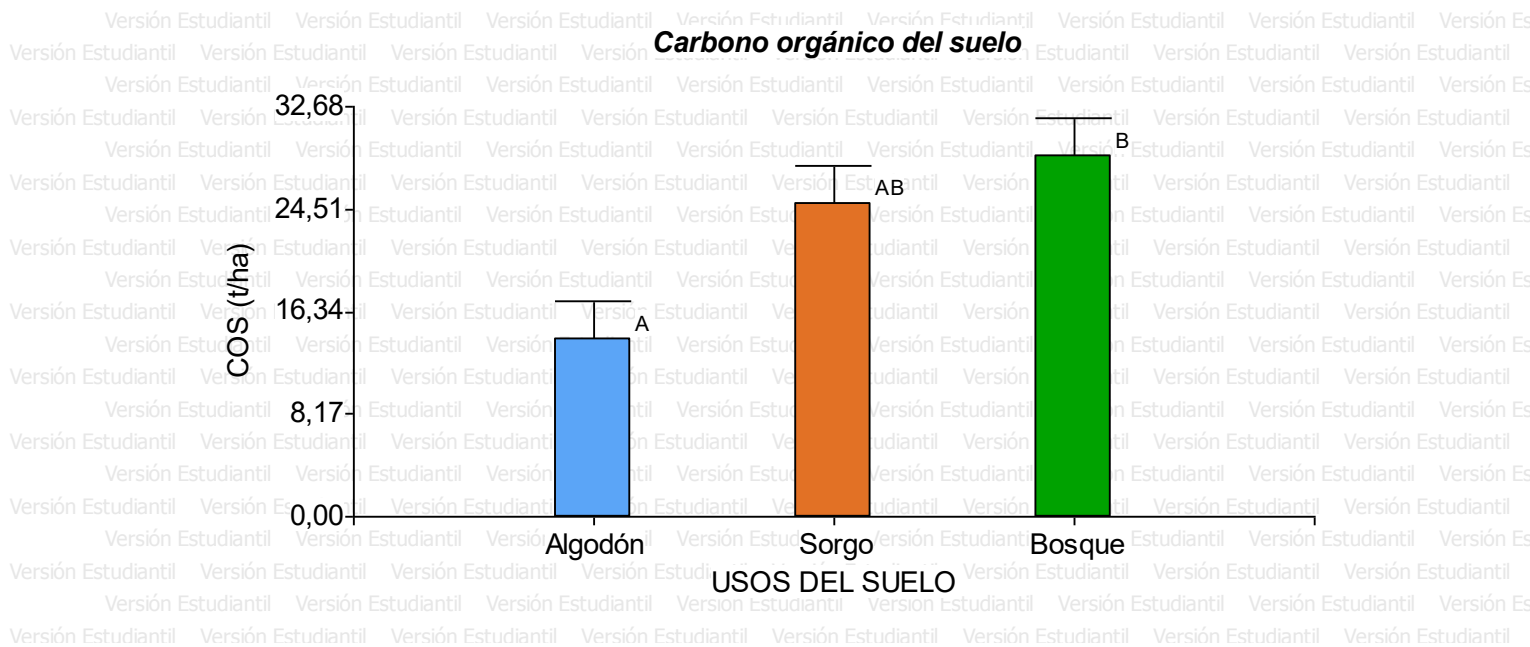
**Figura 9.** Porcentaje de carbono orgánico



Porcentaje de carbono orgánico, muestreado a una profundidad de 0-30 cm superficiales en suelos de cultivo de algodón, sorgo y una zona de bosque en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar, la barra del error corresponde al error estándar, letras diferentes indican diferencias significativas estadísticamente ( $P > 0,05$ ).

## 6.2.1 Carbono orgánico almacenado en el suelo.

Figura 10. Carbono orgánico del suelo (tC/ha)



Fuente: autores.

El carbono orgánico del suelo (tC/ha) muestreado a una profundidad de 0-30 cm superficiales en suelos de cultivo de algodón, sorgo y una zona de bosque en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar, la barra del error corresponde al error estándar, letras diferentes indican diferencias significativas estadísticamente ( $P > 0,05$ ).

## 6.2.2 Almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS).

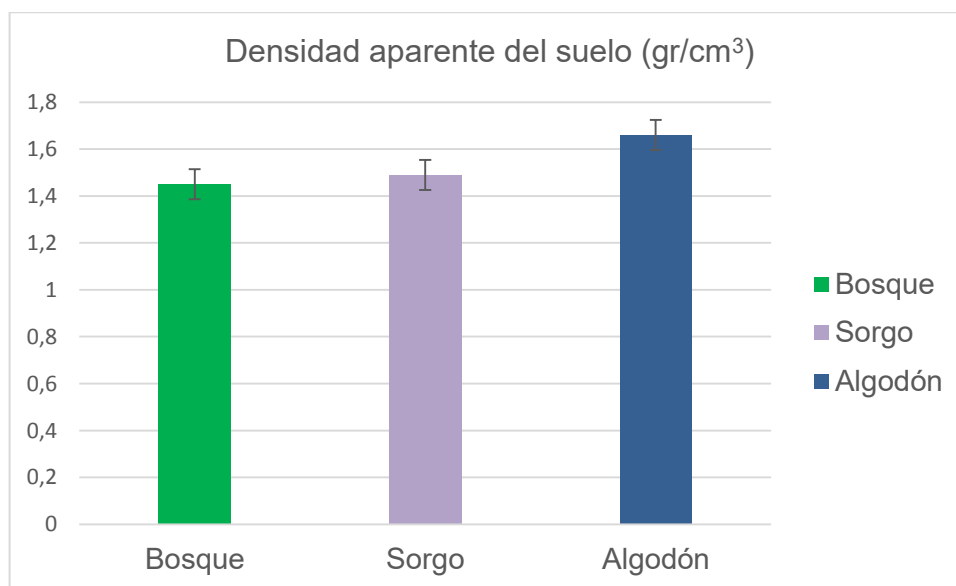
El carbono orgánico del suelo según la gráfica 10, presento diferencias significativas entre zona de cultivos estudiadas ( $P > 0,05$ ), se encontraron valores de carbono orgánico del suelo que van desde  $14,11 \pm 3,08$ ;  $24,88 \pm 3,08$  y  $28,71 \pm 3,08$  siendo estos los valores de algodón, sorgo y el testigo respectivamente. El sorgo no presento diferencia estadísticamente significativa ( $P > 0,05$ ) con ninguno

de los tratamientos, mientras que el algodón presentó una diferencia significativa con el testigo (bosque).

Los valores de carbono orgánico del suelo encontrados en este estudio fueron muy inferiores a los reportados como promedio mundial para suelos de zonas áridas en los primeros 0-30 cm de profundidad del suelo, los cuales reportan valores de 114 t C·ha<sup>-1</sup> (Batjes, 1996), esto podría indicar que los suelos han sido manejados de forma inadecuada y que las condiciones climáticas han afectado fuertemente el carbono orgánico del suelo.

### 6.2.3 Densidad aparente del suelo.

**Figura 11.** Densidad aparente del suelo en las zonas agrícolas estudiadas en el municipio de Agustín Codazzi Cesar.



**Fuente:** autores.

Se encontró diferencias significativas entre los valores analizados de densidad aparente ( $p > 0.05$ ), en los suelos de las áreas de cultivos y bosque a una profundidad de 0-30 cm, siendo el bosque el que reportó el menor valor (1,45 g/cm<sup>3</sup>) y el algodón el que reportó el mayor valor. Esto muestra una correlación entre los valores de densidad aparente y el carbono orgánico del suelo, así como

lo reportó en su estudio (Alvarado et al., 2013). Mostrando una correlación inversa ya que a medida que se incorpora carbono orgánico al suelo disminuye la densidad aparente. Otros factores que se tienen en cuenta es el aplastamiento de los suelos de cultivo por el uso de maquinaria lo que hace que se incremente la densidad aparente, Si bien una disminución de la densidad aparente mejora la calidad del suelo, al incrementarse el contenido de macro-agregados y consecuentemente de los flujos de agua y nutrimentos (Martínez et al., 2008).

#### **6.2.4 Comparación del carbono orgánico del suelo almacenado en las áreas agrícolas (algodón y sorgo) y el testigo (bosque seco intervenido).**

Se observó una disminución del COS en los diferentes tipos de uso de la tierra bajo sistemas agrícolas en comparación a las parcelas con vegetación natural, la cual presentó una pérdida del COS con valores de 13,34 y 50,84% producto del manejo agrícola (Tabla 15).

Las mayores pérdidas de COS se encontraron en las parcelas de cultivo de algodón, seguido por la de sorgo, producto de mala utilización e insumos en los cultivos tecnificados (alto uso de insumos agrícolas, mala mecanización y arado pesado, que hace que se libera el carbono a la atmósfera (FAO, 2002).

En todos los casos, los valores de COS resultaron bajos, esto podría atribuirse a que el proceso de mineralización de la materia orgánica es alto y medio en cultivo de algodón seguido por el sorgo y bajo en el testigo, esto trae como consecuencia que se fije muy poco carbono en forma estable, causando un agotamiento de la M.O a mediano y largo plazo, además los análisis muestran un suelo con textura franco arcillosa arenosa para el cultivo de algodón y franco arcillosa arenosa para el cultivo de sorgo que cambiaron totalmente la textura del testigo en un suelo franco arenoso limoso.

Se menciona con especial interés el caso de la parcela cultivada con algodón, seguido del sorgo comparado con el testigo (bosque).

Se puede comparar los resultados encontrados con los expuestos por otros autores, quienes hacen mención a la pérdida del carbono en ecosistemas como los del estudio y algunos suelos semiáridos, tanto en el continente europeo, asiático como en el americano (Hontoria et al. 2004; Wang et al. 2004; Bogdonoff et al. 2000).

Con respecto a la parcela donde se cultivó sorgo, se notó menos pérdida del carbono orgánico que en el cultivo de algodón haciendo la comparación con el testigo, no hay diferencias estadísticas entre el cultivo de sorgo y el bosque ( $P > 0,05$ ) esto se debe a que la parcela donde se cultivó sorgo no se ha vuelto a intervenir y se ha recuperado, aunque no presenta una vegetación diversa como el bosque si han prosperado algunas clases de árboles perennes de gran cantidad de biomasa, que en su efecto ayudan a retener grandes cantidades de carbono orgánico (Anexo C).

Sin embargo, todavía se encuentran muy por debajo de los niveles de carbono orgánico que deberían tener estas zonas, como los reportados en varios estudios sobre carbono orgánico en zonas áridas y semiáridas como es el caso de los estudios realizados por (FAO, 2007) donde se realizaron varios estudios de casos particulares en aldeas y parcelas del semiárido africano y encontraron niveles de carbono orgánico superiores a 30 tC/ha en zonas de cultivo similar al sorgo como el trigo y el maíz.

Un caso similar es el de la aldea Kymausoi, que está situada en una zona algodonera marginal, donde se cultivó también maíz, frijol gandul y henequén. Se practicó la cría de ganado y la aldea se estableció en la década de 1950. El promedio del contenido de carbono de los suelos vírgenes es de  $38,4 \pm 4,8$  toneladas/ha, mientras que para los suelos cultivados el promedio es de 33,5 toneladas/ha con un rango de 17,4–38,9 toneladas/ha (FAO, 2007).

Los datos de este estudio se encuentran por debajo de estos rangos, lo que deja en evidencia el mal estado y la degradación severa de los suelos estudiados en el municipio de Agustín Codazzi Cesar.

Por otra parte, el bosque no se encuentra en su mejor estado, ya que sus niveles de carbono orgánico tampoco se asimilan a los reportados por otros estudios que han analizado el carbono orgánico en los bosques como es el caso de (Ibrahim et al., 2006) un estudio realizado en Colombia, donde se analizaron cuatro usos de la tierra y no presentaron diferencias significativas en sus contenidos de COS, reportándose valores de entre  $52,3 \pm 9,8$  y  $81,3 \pm 3,6$  t ha<sup>-1</sup> para los bosques riparios y para las pasturas mejoradas sin árboles, respectivamente. Estos resultados se asemejan a los de otros estudios llevados a cabo en Colombia, donde inventarios de carbono superficial en el suelo (0-30 cm) de cuatro tipos de cobertura vegetal (bosque primario intervenido, bosque secundario, rastrojo bajo y pastizal sin manejar) no encontraron diferencias significativas ( $83,9 \pm 11,1$  y  $96,6 \pm 5,0$  t C ha<sup>-1</sup>; (Moreno y Lara, 2003).

Otros estudios llevados a cabo en Tolima, Colombia donde se analizaron bosque riparios, una matriz de arrozal y pasturas con manejo orgánico a la profundidad de 0-20 cm encontraron que las interfaces arroz-bosque ripario y pastura-bosque ripario almacenaron en promedio 65,6 y 61,3 t C/ha, respectivamente, sin diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). No se detectaron diferencias estadísticas ( $p > 0,05$ ) entre matrices agropecuarias (arroz y pastura) en ninguna de las variables.

#### **6.2.5 Comparación del carbono orgánico del suelo almacenado en las diferentes áreas agrícolas analizadas.**

Se encontró diferencias significativas entre las parcelas de algodón y sorgo (tabla 15), aunque los suelos de la parcela de sorgo se encuentren en recuperación no tienen la gestión adecuada de manejo del suelo. En cuanto a la parcela de algodón su degradación está marcada por los malos usos y manejos que se le han dado al suelo en el pasado, los agroquímicos fueron un detonante para mineralizar la materia orgánica del suelo, que por consiguiente genera una pérdida del

carbono orgánico del suelo, liberando CO<sub>2</sub> a la atmosfera y ayudando con el calentamiento global, sumado a que por más de 10 años estos suelos han estado descubiertos o en tipo rastrojo, (el SIG de Corpocesar, 2018, los clasifica como tipo de suelos uso de pastizal), sin ningún manejo para recuperar la materia orgánica del suelo lo que ha agravado el problema y ha permitido una mayor pérdida del carbono del suelo.

En cuanto a las propiedades físicas de los suelos estudiados, presentan un bajo nivel de arcilla, el cual juega un papel importante en la captura y almacenamiento de carbono orgánico del suelo, esto demuestra gran potencial de los suelos para perder el carbono orgánico ya que la arcilla ayuda a estabilizar el suelo y proteger los nutrientes del suelo para la mineralización ósea la conversión del poco material orgánico en materia inorgánico para llegar a elaborar la solución del suelo, donde la planta va a tomar los nutrientes en forma asimilable, en contraste el porcentaje de arcilla ayuda a retener agua que utilizan las plantas. Como se mostró en la tabla 13 los suelos tanto de algodón como de sorgo presentan un porcentaje de 20% de arcilla, siendo este porcentaje bajo para estos suelos (Six et al., 2002).

Con respecto al manejo de los suelos, la parcela de sorgo se encuentra en recuperación y otra parte esta descubierta, pero los efectos son contrastados por la presencia de árboles perennes y vegetación herbácea que aumenta el COS así como lo demostró Tolbert et al. (2000) el cual observó que en Alabama, USA, el cambio de cultivo de maíz tradicional (*Zea mays*) a cultivos de biomasa aumentó el carbono orgánico almacenado.

El porcentaje de arcilla en el testigo que ha sido protegida por la cobertura arbórea es significativa en un 34% y se puede analizar como la arcilla en los cultivos de algodón y sorgo cuando queda descubierta de la vegetación se pierde por eso los resultados para ambos sistemas productivos en un 20%.

Por otro lado, un manejo que tuvo un gran impacto en el carbono orgánico del suelo fue el uso de labranza intensiva en los suelos donde se cultivó algodón,

como se ha demostrado, la labranza intensiva expone el suelo a los principales agentes erosivos (agua y viento) y no facilita el contacto de los organismos heterótrofos del suelo no habiendo la presión parcial de oxígeno de la atmósfera, favoreciendo la mineralización de la MOS. Todo esto quiere decir que el oxígeno en ambiente mal drenados o con poca aireación disminuye la descomposición de la MOS (Singer y Munns, 1996, y Haraguchi et al., 2002). La perturbación del suelo por labranza es una de las mayores causas de la disminución de la MOS (Balesdent et al., 1990, Six et al., 2004, y Olson et al., 2005) y del tamaño y estabilidad de los agregados del suelo cuando los ecosistemas nativos son convertidos a la agricultura (Six et al., 2004). Como sucede en esta región que el cultivo de sorgo, maíz y otros se convirtió en el mayor problema de degradación de los suelos estudiados.

Las tasas de pérdida de carbono a través del cultivo dependen considerablemente del sitio y sistema de labranza. Ellert y Janzen (1999), Resulta difícil cuantificar los efectos de la labranza sobre el carbono del suelo, debido a que estos dependen en parte del lugar; por ejemplo, los suelos de textura arenosa y limosa tienen mayor probabilidad de ser afectados por las prácticas de cultivo que los de textura arcillosa (Buschiazzo et al., 2001). Sin embargo, reducir el laboreo podría ser más efectivo en ambientes cálidos y secos (Batjes y Sombroek, 1997).

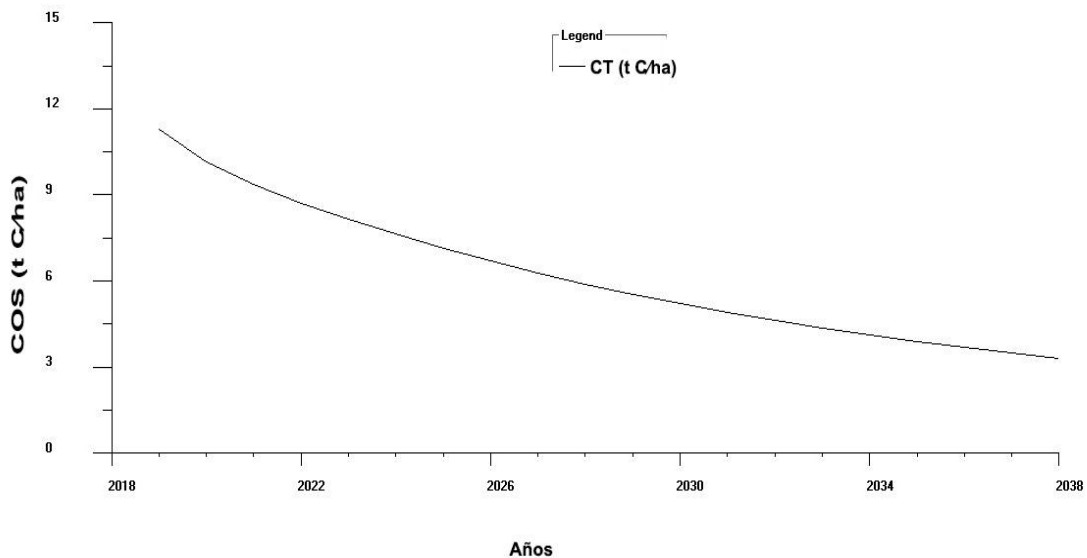
La labranza cero o labranza mínima ha resultado ser uno de mejores prácticas para mejorar la presencia del carbono orgánico del suelo en zonas de cultivo, En consecuencia, los sistemas de labranza cero, generalmente dependen de herbicidas y plaguicidas adicionales. Estos insumos tienen un precio monetario y también un costo de carbono. Sin embargo, en los sistemas agrícolas de tierras áridas del mundo en desarrollo, la compra de tales insumos no es factible y muchas veces existe abundante mano de obra disponible para el deshierbe manual. La aplicación de fertilizantes nitrogenados también puede ser problemática cuando se aplica en suelos no perturbados y no labrados en esta zona del municipio de Agustín Codazzi, Cuando los suelos de esta zona tienen un

drenaje pobre, puede ocurrir la desnitrificación y la baja tasa de evaporación incrementa el riesgo de percolación de nitratos. Además, en el estudio el nitrógeno original del suelo tiene una tasa menor de mineralización que en los suelos no perturbados como es el caso de suelos de bosque.

### 6.3 Modelación del carbono orgánico para conocer los cambios en el manejo y usos del suelo.

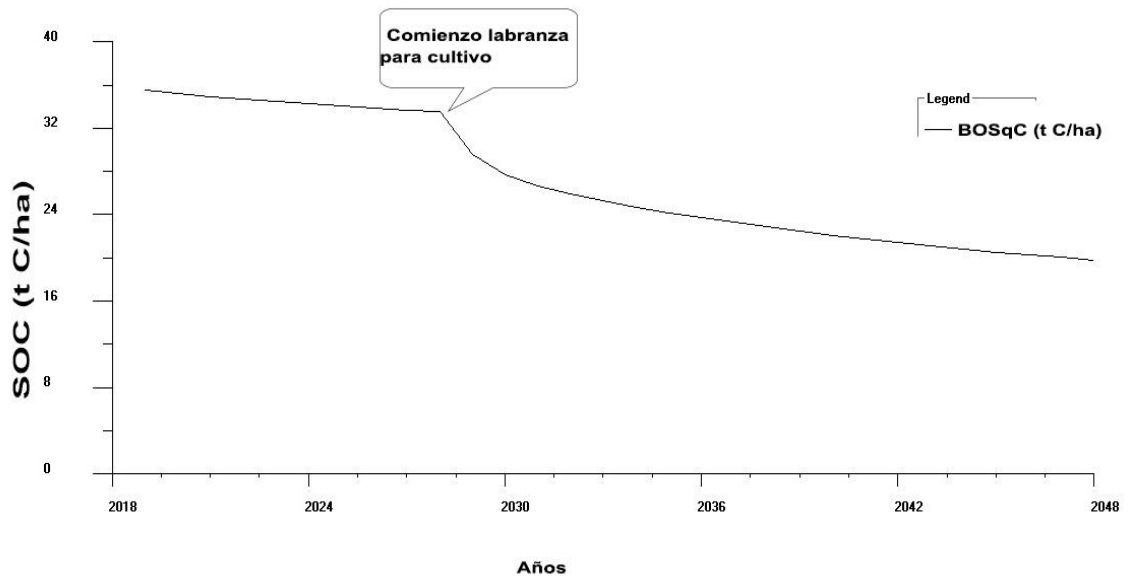
Utilizando el programa RothC, se simuló el comportamiento del carbono orgánico del suelo después de 30 años de manejo, siendo el año inicial 2018 y el año final de modelamiento 2048 en alguno de los modelamiento se realizó a mediano plazo 20 años de modelamiento para conocer un comportamiento más próximo. Los modelos planteados se muestran en las siguientes figuras:

**Figura 12.** Escenario 1: Carbono orgánico modelado en la parcela donde se cultivó algodón sin aplicar ninguna remediación (practica actual) (CT).



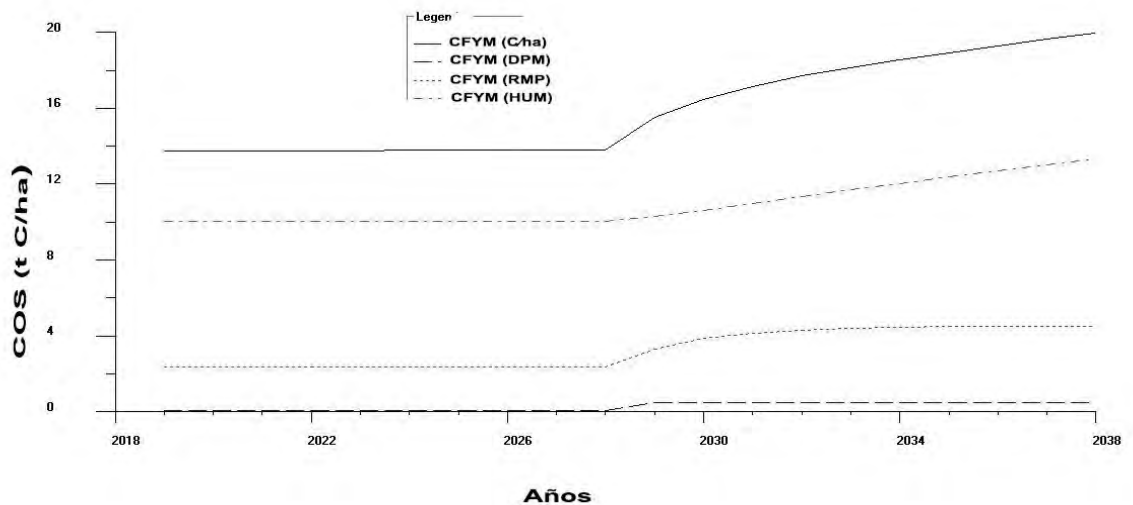
Fuente: RothC

**Figura 13.** Escenario 2: Carbono orgánico del suelo modelado aplicando un cambio de la parcela de bosque a zona cultivo (BosqC).



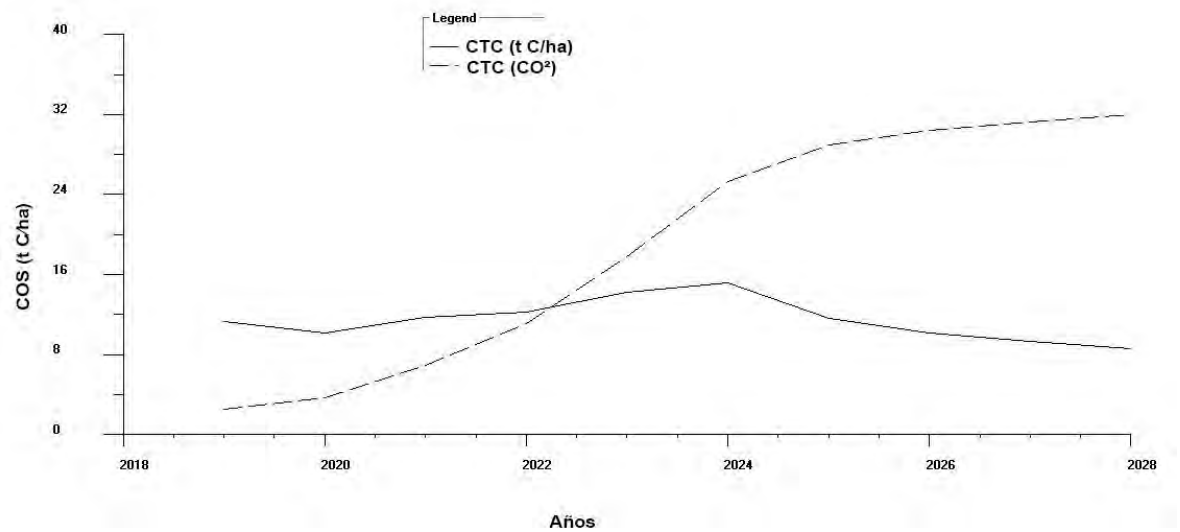
Fuente: RothC

**Figura 14.** Escenario 3: Carbono orgánico del suelo modelado en parcela donde se cultivó algodón aplicando remediación con FYM (CFYM).



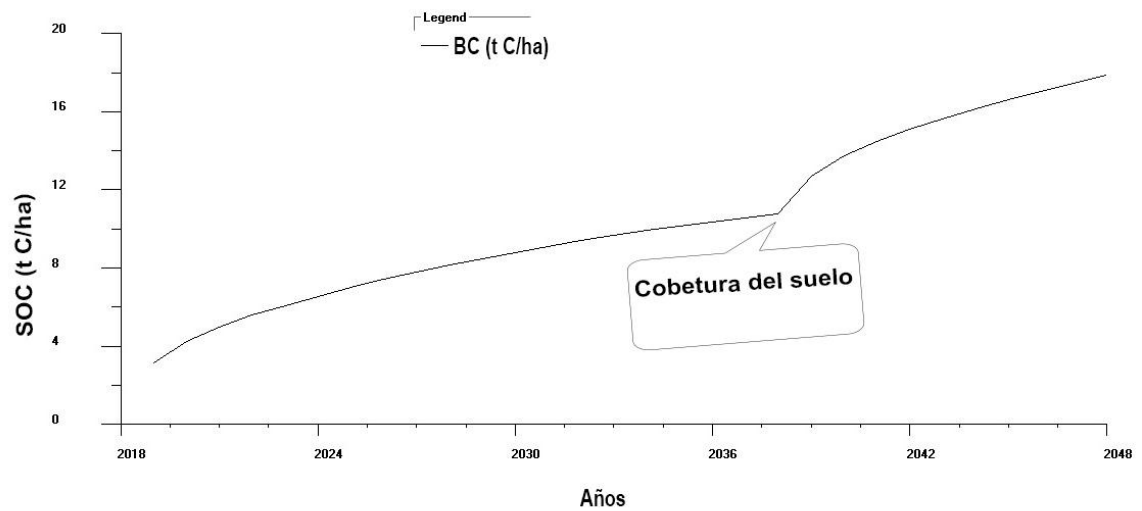
Fuente: RothC

**Figura 15.** Escenario 4: Carbono orgánico del suelo modelado en una rotación de cultivo y barbecho (CTC).



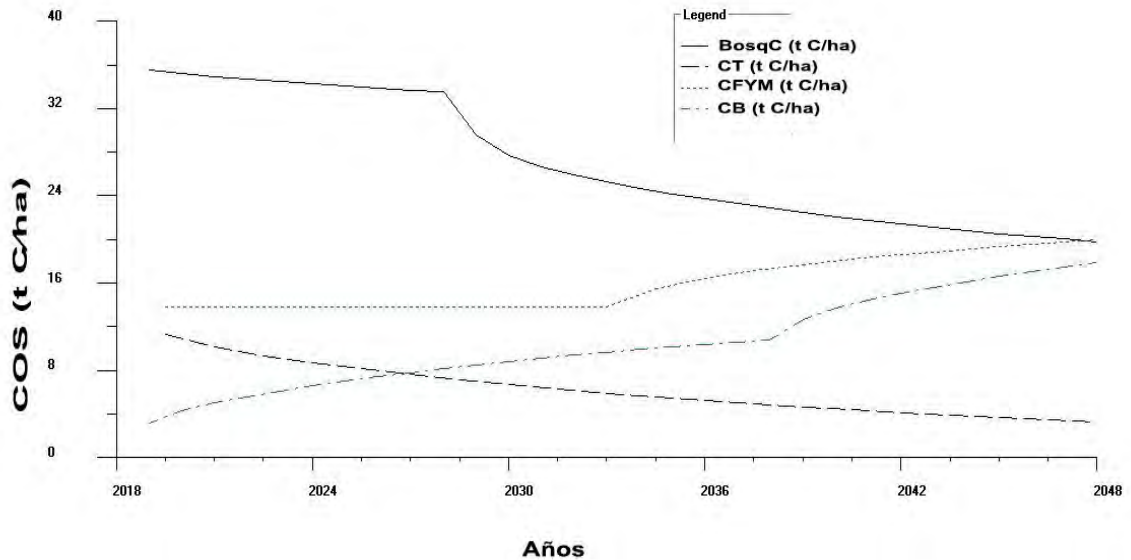
Fuente: RothC

**Figura 16.** Escenario 5: carbono orgánico del suelo modelado aplicando remoción del barbecho del suelo remplazado por cultivo de cobertura (BC).



Fuente: RothC

**Figura 17.** Modelación de los escenarios posibles planteados y muestra del comportamiento del carbono orgánico en la gestión de los suelos.



Fuente: RothC

El manejo del suelo y sus cambios en el en uso se ha demostrado que son los principales factores que afectan la dinámica del carbono orgánico del suelo (Singh et al., 2018).

Un correcto modelamiento, donde se tenga en cuenta datos de campo, como es el caso de este estudio, disminuye la sobre estimación de los valores de modelamiento.

Con el modelamiento del carbono orgánico del suelo se busca evaluar las condiciones actuales de los suelos para una adecuada gestión del recurso, ya que es un medio cambiante que está en constante interacción con los medios bióticos y abióticos del suelo.

En la figura 12, se muestra el carbono orgánico del suelo modelado en la parcela donde se cultivó algodón, y se plantea el caso en el que el suelo se mantenga por un periodo de 20 años con las practicas actuales (CT) sin que se le agregue ninguna enmienda orgánica o inorgánica, la modelación reveló que de seguir con

las practicas actuales el carbono orgánico del suelo disminuirá drásticamente, llegando a niveles muy bajos donde se decretaría al suelo como desértico debido a niveles bajos de COS ( $3,5 \text{ t C/ha} \pm 3,08$ ) considerando que el suelo no soportaría las plantas y se mantendría descubierto, es importante saber que los suelos estudiados no se han vuelto a cultivar por un periodo de 10 años, después de que los cultivos de algodón fueron establecidos, estos suelos han quedado dependiendo de las condiciones climáticas de la zona, durante la temporada de lluvia los suelos se muestran cubiertos por plantas invasoras, mientras que durante el periodo de sequía los suelos permanecen en rastrojo, por tal razón los suelos permanecen sin cobertura protectora, lo que los hace más susceptibles a la pérdida del carbono orgánico que se puede recuperar en épocas de invierno.

Lo encontrado en esta investigación contrasta con los estudios realizados por Boone et al, (2018) donde se modeló el carbono orgánico del suelo por un periodo de 20 años, en el cual se tuvieron en cuenta diferentes modelaciones, todas revelaron que si se mantenía la tendencia de dejar el suelo descubierto sin ninguna gestión, el carbono orgánico del suelo disminuía a menos que se le aplicara compost o estiércol como enmienda orgánica en época de invierno.

En cuanto a la figura 13, muestra el modelamiento de la parcela de bosque seco intervenido, así mismo se plantea el cambio de bosque a zona de cultivo (BosqC), teniendo en cuenta que el bosque es adyacente a una zona de cultivo de palma de aceite y se encuentra muy cerca de la cabecera municipal por lo que es muy probable que esta zona pase a ser zona de cultivo en algunos años.

El modelamiento reveló, que en el momento en que se comience a labrar el suelo el carbono orgánico del suelo disminuirá manteniendo esa tendencia, reportando perdida en un periodo de 20 años del 30 al 40% del COS.

En otros estudios, la pérdida del COS reportado fue del 30% después de convertir un bosque a zona de cultivo (Murty et al., 2002).

Las investigaciones realizadas corroboran con el modelamiento en este estudio y muestran que la pérdida de los bosques afecta los niveles de carbono orgánico del suelo, causando la liberación de grandes cantidades de CO<sub>2</sub> que afecta el cambio climático, además disminuye la entrada de carbono al suelo, ya que el sistema radicular de las plantas deja de retener materia orgánica y nutrientes, cambiando así la dinámica e interacción de la materia orgánica con los microorganismos del suelo y por lo tanto hay una fragmentación de los agregados del suelo.

En relación a la figura 14, muestra el modelamiento de la parcela donde se cultivó algodón aplicando una remediación con compost como base principal el estiércol de ganado vacuno, en la modelación se utiliza la sigla FYM cuando se trabaja con remediación de estiércol o cuando se le agrega residuos de planta al suelo (compost).

La figura 14, muestra los componentes que calcula y maneja internamente el programa Rothamsted Carbon Model, como es RPM, que hace referencia al material de planta resistente, DPM es la materia vegetal descomponible y HUM es la materia orgánica húmica, todos estos componentes integran el COS, en este caso revelan que: cuando el suelo está descubierto es más difícil y sale más costoso la incorporación de compost y enmiendas orgánicas, debido a los bajos grados mínimos de cobertura arbórea, que manifiesta la permanencia del COS, todos funcionan como un sistema conjunto, en que todas las partes tienen el mismo comportamiento, se integran, pero se encuentran en niveles diferentes.

En la figura 14, el modelamiento muestra un comportamiento con tendencia a aumentar el COS luego de 10 años de manejar el suelo en las condiciones actuales si se le agrega compost como base principal estiércol de vacuno como enmienda orgánica al suelo, además presentará un aumento pequeño del carbono COS no significativo para un periodo tan prolongado de tiempo, es necesario un manejo adicional para poder obtener niveles óptimos de carbono orgánico.

Por otra parte, la gráfica 15, muestra el escenario 4, modelamiento de carbono orgánico del suelo de una rotación de cultivo y aplicación de barbecho cada 2 años por un periodo de una década (CTC).

La modelación reveló, que cuando se hace rotación de cultivo incluyendo un periodo de barbecho cada 2 años aumenta el COS, pero al volver a realizar cultivo disminuye el carbono orgánico del suelo, esto se debe al uso intensivo del suelo y las labores de labranzas llevadas a cabo como preparación del terreno para establecer el cultivo, CT demostró que tiempo prolongado sin salir ninguna clase de rastrojo controlando malas hierbas disminuye el COS, La labranza es considerada el factor principal responsable de disminuir el COS asociado con la agricultura (Stewart, 1993; Pretty et al., 2002). El efecto de eliminar la labranza ha demostrado que mitiga la pérdida de COS (FAO, 2001).

Por consiguiente, el uso de cero labranza como lo demuestra Reicosky (1997) tienen efecto sobre la acumulación de materia orgánica, la rotación y la cantidad de residuos de cultivos. En general, se espera que las tasas de acumulación de materia orgánica sean altas por lo tanto el COS tiene la tendencia de permanecer cautivo por los coloides del suelo.

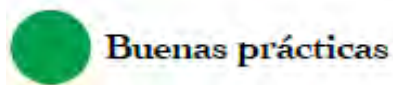
La figura 16 (BT), muestra el modelo comenzando con el suelo descubierto, se estima que a los 30 años el suelo ha de ganar hasta 15 t C/ha si se cambia el estilo del suelo por un cultivo de cobertura arbórea estos resultados son respaldados por varios estudios que afirman que se puede lograr una acumulación eficiente de COS sin una reducción de la productividad agrícola.

Cerrando con la modelación, la figura 17 muestra un resumen de los diferentes manejos y usos del suelo por un periodo de 30 años, algunos escenarios tienden aumentar y otros a disminuir el COS, dependiendo de cada caso, sin embargo, los que tienden a ganar COS presentan tendencia hacia el estado actual de los suelos donde se cultivó sorgo, llegando a niveles de 24,88 tC/ha.

**Figura 18.** Estrategias de manejo sugeridas para mitigar y conservar el COS



**Fuente:** Autores, parcialmente adaptado y modificado de Ogle et al., 2014



Buenas prácticas



Malas prácticas

#### 6.4 Identificación de prácticas históricas, actuales y posibles

La figura 18 muestra las prácticas de manejo que conllevan a mitigar la degradación del suelo y que tienen influencias sobre el COS, en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar. Las prácticas buenas se muestran en color verde, mientras que las practicas malas en color rojo.

Se tuvieron en cuenta prácticas históricas, actuales y posibles. Las prácticas buenas (verde) y malas (rojo) con numeración [N] se muestran especificaciones ya que son prácticas cruciales en la investigación, mientras que el resto de prácticas han sido correlacionadas y reportadas en la modelación.

por otra parte, las practicas malas (rojo) deben suspenderse y en lo posible cambiarlas por las practicas consideradas en la investigación como buenas, teniendo en cuenta que las practicas buenas son alternativa para la gestión del suelo en el municipio de Agustín Codazzi Cesar que busca mitigar la degradación de los suelos y evitar perdida del carbono orgánico del suelo.

[1] La rotación de cultivo se considera una práctica que incrementa la captura de carbono orgánico en los suelos (FAO, 2007; Raphael et al., 2016; Lal, 2001), no obstante la rotación de cultivo puede ser un arma de doble filo en cuanto al COS, puesto que, los cultivos al establecerse requieren grandes insumos químicos y de labranza intensiva que afecta negativamente al COS, mientras que si se agrega compost, estiércol, residuos de plantas y se usan periodos corto de barbecho antes de establecer cada cultivo hay una ganancia neta de carbono.

Los pequeños agricultores con gran cantidad de recursos (mano de obra, tierra, animales, equipo agrícola, etc.) tienen más opciones de incluir lo dicho anteriormente.

La rotación de cultivos se practica donde es posible para asegurar el uso diferenciado de nutrientes y la asimilación entre cultivos, tales como el mijo y el sorgo, así como cultivos fijadores de N, como maní y caupí. Se protegen los árboles, especialmente los conocidos por su capacidad de fijar el N y restaurar el suelo. La aplicación de estiércol, ya sea de ganado vacuno o de pequeños rumiantes, constituye un elemento clave. Los rebaños se deben manejar con mayor intensidad con el fin de mantener un suministro estable de estiércol en vista del incremento de escasez de la tierra, por ejemplo, alimentarlos con residuos agrícolas y malezas (FAO, 2007).

Una estrategia prometedora para aumentar el almacenamiento de COS en suelos agrícolas (Lal, 2004a). Es en general, las rotaciones de cultivos. Son más beneficiosas para la acumulación de MOS que los sistemas de monocultivo (Jarecki y Lal, 2003). Más recientemente, se ha demostrado que el aumento de la diversidad de rotación de cultivos desempeña un papel importante en el aumento del almacenamiento de COS, en las funciones de los ecosistemas, impulsados por una mejor entrada de carbono a la raíz, diversidad microbiana y estabilidad de agregados del suelo (McDaniel et al., 2014; Tiemann et al., 2015).

La rotación de cultivos se puede mejorar aún más mediante la incorporación de forrajes perennes con sistemas radiculares extensos para aumenta la entrada de carbono a la raíz y la protección física en los agregados del suelo, lo que resulta en el secuestro de COS en tasas de hasta 0,5 Mg C ha<sup>-1</sup> por año (Dendoncker et al., 2004; Hutchinson et al., 2007; Paustian et al., 1997).

[2] Resulta difícil cuantificar los efectos de la labranza sobre el carbono del suelo, debido a que estos dependen en parte del lugar; por ejemplo, los suelos de textura gruesa tienen mayor probabilidad de ser afectados por las prácticas de cultivo que los de textura fina (Buschiazzo et al., 2001). Sin embargo, reducir el laboreo podría ser más efectivo en ambientes cálidos y secos (Batjes y Sombroek, 1997). Como es el caso de este estudio.

Aunque algunos productores aprecian la labranza para el control de malezas y la aireación del suelo, parece haber un reconocimiento creciente de que la labranza también destruye la cubierta vegetal protectora y como resultado, expone los nutrientes del suelo a la degradación.

Para el propósito del secuestro de carbono, se prefiere la labranza reducida o su ausencia total, simplemente debido a que mejoran el almacenamiento de carbono en el suelo (Tschakert y Tappan, 2004).

La adopción de la labranza cero detendría la disminución en el carbono del suelo. Sin embargo, para incrementar el secuestro de carbono son necesarias aplicaciones orgánicas más altas (abonos verdes y abonos de corral), las que pueden utilizarse para remplazar las aplicaciones de fertilizante inorgánico.

[3] Como resultado, el riego y la fertilización se han recomendado y han probado ser métodos eficientes para incrementar el secuestro de carbono (Lal, Hassan y Dumanski, 1999).

Los sistemas agrícolas de las tierras áridas con acceso a adecuados recursos de agua pueden beneficiarse mediante el desarrollo de su potencial de riego. En sistemas de riego a pequeña escala, surge un alto potencial de captura de carbono, como es el caso del presente estudio en las parcelas de la finca santa Isabel, en la vereda de Llerasca – Agustín Codazzi, Cesar, el sistema de riego es por gravedad desde una acequia perenne, no hay pérdida de energía en el sistema lo que representa una ganancia neta de carbono, por otra parte el limitante es la textura del suelo que al ser franco arcillo arenosa no retiene con facilidad el agua y se infiltra lo que no permite retenerla y que pueda ser manejada por las plantas por periodos estables.

[4] El uso intensivo de insumos químicos en los cultivos de algodón y sorgo afectan la retención de nutrientes por las plantas, y por consiguiente al COS, los pesticidas y herbicidas utilizados en los cultivos son caros y muchas veces no están disponibles para los pequeños agricultores, lo que hace que accedan a

prácticas inconvenientes para los cultivos o uso de cualquier insumo químico para poder realizar los cultivo esto genera un problema para el manejo de la tierra, y a su vez representa una pérdida de carbono almacenado.

[5] En el municipio de Agustín Codazzi la extensión de tierras de pastoreo es grande y muchas de estas se encuentran en zonas que se consideran con un alto grado de degradación del suelo, los agricultores que tienen animales y grandes extensiones de tierra sin cultivar utilizan esos terrenos para el sobrepastoreo causando compactación de los suelos y aumentando su degradación.

[6] La combustión de biomasa es una práctica común, especialmente en los trópicos, para manejar las cargas de rastrojo, pero aumenta la mineralización de nutrientes y provoca la pérdida de nutrientes, la contaminación del aire y reduce la fertilidad del suelo. Esta práctica también puede ser perjudicial para invertebrados y microorganismos beneficiosos. (Hemwong et al., 2008; Jain et al., 2014; Wuest et al., 2005;). Además, las quemas. Puede causar una pérdida de COS. Por ejemplo, se reportó una pérdida de 1,75 Mg C ha<sup>-1</sup> (capa de 0-10 cm) durante un período de 19 años en estudio de caso en el sureste de Australia (Chan y Heenan, 2005). Del mismo modo, Heenan et al. (2004) encontraron una pérdida de 8.2 Mg C ha<sup>-1</sup> (0 10 cm) después de 21 años de cultivo trigo/rotación de trigo cuando se quemó el rastrojo y se cultivó el suelo.

**Figura 19.** Estrategias de manejo para suelos degradados por sistema de cultivo enfocado en mantener y aumentar el COS



Fuente: Autores, adaptado y modificado de Singh et al., 2018

La figura 19. Muestra las prácticas de manejo del suelo que se encargan del secuestro de carbono. Las prácticas están separadas en 4 compartimientos que se integran para llegar al mismo objetivo, capturar el COS, algunas prácticas

permiten mayor secuestro de carbono, esto depende de las condiciones del sitio, el clima y de una correcta ejecución de las prácticas.

No obstante, las parcelas estudiadas en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar, en la finca Santa Isabel, son limitadas las prácticas en pro del COS, pero se resalta la rotación de cultivo, los sistemas de riego por gravedad y los cultivos de cobertura en algunas áreas. A pesar de que muchas de las prácticas encaminadas al secuestro de carbono son costosas y difíciles de llevar a cabo en zonas áridas. Sin embargo, se muestran prácticas relativamente económicas como el laboreo de conservación, plantar plantas perennes y añadir residuos de plantas.

Las prácticas convenientes para aplicar en parcelas estudiadas de cultivo de algodón y sorgo en proceso de degradación para aumentar el COS, son la reforestación, añadir compost al suelo y evitar en lo mayor posible la perturbación del suelo como la labranza intensiva, el uso de maquinaria y la quemadas.

En el caso del apartado de prácticas probadas, estas no son demostradas en el presente estudio, pero si recientemente en otros estudios, que demuestran la efectividad de estas prácticas para el secuestro de grandes cantidades de carbono en tiempo largos, como se muestra a continuación.

#### **6.4.1 Adicción de arcilla al suelo**

Es difícil aumentar el contenido COS de los suelos arenosos debido a su baja capacidad de retención de nutrientes y agua que limita el crecimiento de las plantas y la entrada de carbono (Hall et al., 2010).

La adición de arcilla a la capa superficial del suelo tiene el potencial de aumentar dramáticamente el COS en los suelos, de arcilla por naturaleza es rica en nutrientes específicamente en retener macronutrientes como el nitrógeno que es fijado al suelo y proviene de la atmósfera y el nitrógeno que viene en forma inorgánico de donde se origina el suelo enriquece la solución del suelo donde la planta tomará sus nutrientes en forma ideal, como también, la arcilla capta y retiene el fósforo que viene de la superficie y se une con el fósforo mineral para

complementar el proceso de mineralización; el potasio es sometido por las arcillas para que se vuelva soluble y las plantas puedan tomarlo como un requerimiento principal, no podemos descartar el azufre que forma parte de los elementos esenciales de la planta para su crecimiento lignificación y reproducción, además con otros macronutrientes y micronutrientes cumple la arcilla su lugar privilegiado en la acumulación de estos en sus coloides, también podemos decir con la presencia de la arcilla esta modificando las propiedades físicas y químicas del suelo, permitiendo mayor secuestro de CO<sub>2</sub>. También aumenta la productividad del suelo, reduce la erosión del suelo y la pérdida de nutrientes por lixiviación, la adición de arcilla no tiene ningún impacto ambiental negativo en los suelos.

#### **6.4.2 Aplicación de Biochar**

El uso de biochar es un componente que podemos utilizar para que el suelo tenga la capacidad de secuestrar el CO<sub>2</sub> en forma sucesiva pueda mantener sus niveles los que hace más capaz de robustecer las arcillas y la retención de nutrientes, el biochar es hecho por el hombre. Básicamente en biomasa pirolizada que puede ser producida a partir de varias materias primas orgánicas como (residuos de madera, alimentos, desechos verdes, biosólidos y estiércol animal) a temperaturas entre 400 y 700 °C en ausencia de oxígeno (Lehmann y Joseph, 2009).

Por lo tanto, las asociaciones órgano-minerales inducidas por la interacción de biochar, el tipo de suelo y las entradas de carbono de la planta tienen el potencial de mejorar el secuestro de carbono en ciertos suelos ricos en arcilla (Lehmann et al., 2015; Weng et al., 2015, 2017).

### **6.4.3 Retención de rastrojo**

Se puede utilizar la retención de rastrojo en los suelos que fueron mal explotados esta es una práctica agronómica de manejo de cultivos comerciales bien conocida, lo que proporciona varios efectos positivos que incluyen una mejor estructura del suelo, una mejor retención de agua, y menor riesgo de erosión, aumentando en forma progresiva la materia orgánica, la principal generadora de nutrientes como el fosforo, el nitrógeno, el potasio y el azufre.

## 7. CONCLUSIONES

En definitiva, se encontró que la densidad aparente en los suelos en la zona de bosque (testigo) con relación a los suelos de las parcelas de las áreas agrícolas de algodón y sorgo es mayor y significativa.

Se encontró una disminución del COS en los sistemas productivos de sorgo y algodón comprado con el testigo de bosque seco intervenido en niveles de 13,34 y 50,84 tC/ha en los primeros 0-30 cm de la superficie del suelo, como causa principal de los sistemas agrícolas intensivos.

Los sistemas productivos de algodón y sorgo presentan cambios texturales comparados con el testigo (bosque) siendo un suelo con textura franco arcillo arenoso comparando con el testigo que es de textura franco arcillo limoso.

El testigo (bosque) presenta una mineralización baja que indica una alta capacidad de retención de nutrientes en el suelo, mientras que los sistemas de productivos de algodón presenta una mineralización alta lo que representa una lenta capacidad de retención de nutrientes en el suelo y el sorgo arrojó resultados de mineralización media que significa una normal retención de nutrientes en el suelo.

Estos resultados muestran el proceso de desertificación que se viene presentando en la zona de estudio, debido al uso y manejo inadecuado que se le da al suelo, lo cual puede traer consecuencias en la productividad del mismo y afectar el cambio climático.

Con respecto a la materia orgánica del suelo se infiere que el sistema donde se cultivó algodón arrojó un porcentaje muy bajo de materia orgánica, lo que significa que este sistema no protege la materia orgánica del suelo, estos resultados se comparan con el porcentaje de materia orgánica del testigo.

En cuanto al sistema productivo de sorgo es menos degradante y mayor conservador de la materia orgánica comparado con el sistema productivo de cultivo de algodón.

La investigación reveló que los niveles de COS muestreados a 0-30 cm en valores de 14,11 y 28,71 tC/ha se encuentran muy por debajo del promedio mundial de carbono orgánico para zonas de cultivo 30 tC/ha, además el bosque seco, tomado como control se encuentra por debajo del promedio mundial para áreas naturales el cual está en orden de 38 tC/ha.

## 8. RECOMENDACIONES

Monitorear los diferentes tipos de manejos y usos que se le dan al suelo en la zona de estudio y su relación con el COS.

Socializar el resultado con el dueño de las parcelas y darle a conocer el estado actual de su terreno con el fin de darle a conocer la importancia del buen uso y manejo del suelo.

Evaluar la relación costo-beneficio que implica cambiar el uso del suelo.

Este estudio amerita continuarlo con otros estudios donde se analice la forma lábil del carbono orgánico para conocer los cambios a corto plazo como es la interacción entre los componentes del suelo, la materia orgánica, que lleve a cabo un estudio del carbono de biomasa microbiana. Más aún, para poder conocer los efectos de los cultivos de algodón sobre el suelo in situ, se recomienda hacer un estudio por calicata, puesto que es una práctica confiable en cuanto a estudios edafológicos y pedológicos, pero por cuestiones económicas es recomendable buscar una institución que se encargue de financiar el proyecto.

## BIBLIOGRAFIAS

Alvarado, J. Andrade Jair, H. & Segura, M. (2013). Almacenamiento de carbono orgánico en suelos en sistemas de producción de café (*coffea arabica* L.) en el municipio del Líbano, Tolima, Colombia. *Colombia forestal*, 16(1), 21 – 31.

Alcaldía municipal de Agustín Codazzi. (2017). Disponible en: <http://www.agustincodazzi-cesar.gov.co/municipio/nuestro-municipio>.

Aguilera, S.M., (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile. p. 77–85.

Boone, L., Van, V., Roldán-ruiz, I., Sierra, C. A., Vandecasteele, B., Sleutel, S.,... Dewulf, J. (2018). Introduction of a natural resource balance indicator to assess soil organic carbon management: Agricultural Biomass Productivity Benefit. *Journal of Environmental Management*, 224(July), 202–214.

Baldocchi, D., Ryu, Y. & Keenan, T. (2016). Terrestrial Carbon Cycle Variability. *Earth System Science Data*, 8, 605-649.

Batjes, N.H. (1996). Total carbon and nitrogen in the soils of the World. *European Journal of Soil Science*, 47, 151-163.

Batjes, N.H. y Sombroek, W.G. (1997). Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. *Glob. Change Biol.*, 3: 161–173.

Báscones, E. (2005). Análisis de suelo y consejos de abonado. p 10. (En línea). INEA. Consultado el 21 de Sept. 2018. Formato PDF. Disponible en <http://www.larioja.org>.

Balesdent, J., Lavelle, P., Vuattoux, R. (1990). Estimate of organic matter turnover rate in a savanna soil by  $^{13}\text{C}$  natural abundance measurements. *Soil Biol. Biochem.*, 22, 517-523.

Buschiazzo, D. E., Hevia, G. G., Hepper, E. N., Urioste, A., Bono, A. A. y Babinec, F. (2001). Organic C, N and P in size fractions of virgin and cultivated soils of the semi-arid pampa of Argentina. *J. Arid Env.* 48: 501–508.

Coleman, K., & Jenkinson, D. S. (2014). RothC - A model for the turnover. Londres: Rothamsted Research.

Celaya H, Castellano A (2011). Mineralización del nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra.* 29:343-356.

Coleman, K., Jenkinson, D.S., Crocker, G.J., Grace, P.R., Klir, J., Korschens, M., Poulton, P.R., Richter, D.D. (1997). Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the Verberne/MOTOR model. *Geoderma* 81, 29–44.

Cacuango, D. (2013). Diagnóstico de la fertilidad del suelo en las unidades productoras referenciales, en siete barrios y una comunidad en la parte baja de la parroquia la esperanza del cantón pedro Moncayo. Tesis. Ing. Agropecuario. UPS. Quito- EC. p 88.

Chan, K.Y., Heenan, D.P. (2005). The effects of stubble burning and tillage on soil carbon sequestration and crop productivity in southeastern Australia. *Soil Use Manage.* 21, 427-431.

Deng, L., Zhu, G., Zhuang-sheng, T., & Zhou-ping S. (2016). Global patterns of the effects of land-use changes on soil carbon stocks. *Global Ecology and Conservation*, 5, 127–138.

Don, A., Peoplau, C. (2015). Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 200, 33–41.

Doblas Miranda, E., Rovira, P., Brotons, L., Martínez Vilalta, J., Retana, J., Pla, M., & Vayreda, J. (2013). Soil carbon stocks and their variability across the woodlands of peninsular Spain. *Biogeosciences*, 10, 10913–10936.

Dendoncker, N., Van Wesemael, B., Rounsevell, M.D.A., Roelandt, C., Lettens, S. (2004). Belgium's CO<sub>2</sub> mitigation potential under improved cropland management. *Agric. Ecosyst. Environ.* 103, 101-116.

El ciclo del ácido carbónico: siempre de ida y vuelta. (2003). Disponible en: <http://www.visionlearning.com/es/library/Ciencias-de-laTierra/6/El-Ciclo-Carb%C3%B3nico/95>.

Ellert, B. H. y Janzen, H. H. (1999). Short-term influence of tillage on CO<sub>2</sub> fluxes from a semiarid soil on the Canadian Prairies. *Soil Till. Res.*, 50: 21–32.

FAO. (2017). *Carbono orgánico del suelo: el potencial oculto*. Roma: FAO

FAO. (2015). *learning tool on Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMAs) in the agriculture: forestry and other land use (AFOLU) sector*. Roma: FAO.

FAO. (2009). Guía para la descripción de suelo. Trad. por Ronald Vargas Rojas 4 ed. Roma, IT. Cuarta ed. Roma.

FAO. (2007). Secuestro de carbono en tierras áridas: informe sobre recursos mundiales de suelo. Roma: FAO.

FAO. (2001). captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra: reporte sobre el recurso suelo. Roma: FAO.

FAO & GTIS. (2015). Status of the World's Soil Resources, Roma: s.n.

Farage, P.K., Ardo, J., Olsson, L., Rienzi, E.A., Ball, A.S., Pretty, J.N. (2007). The potential for soil carbon sequestration in three tropical dryland farming systems of Africa and Latin America: A modelling approach. *Soil & Tillage Research*, 94, 457–472.

Falloon, P., Smith, P., Coleman, K. & Marshall, S. (1998). Estimating the size of inert organic matter pool from total soil organic carbon content for use the Rothamsted Carbon Model. *Soil Biology and Biochemistry*, 30, 1207–1211.

Fernández, L y Rojas, N. (2006). Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. (En línea). Mx. Consultado el 12 de oct. 2018. Formato PDF. <http://www2.inecc.gob>.

Gougoulias, C., Clark, J.M. & Shaw, L.J. (2014). The role of soil microbes in the global carbon cycle: tracking the belowground microbial processing of plant-derived carbon for manipulating carbon dynamics in agricultural systems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94, 2362- 2371.

Gärdenäs, A. I., Ågren, G. I., Bird, J. A., Clarholm, M., Hallin, S., Ineson, P., Kätterer, T., Knicker, H., Nilsson, S. I., Näsholm, T., Ogle, S., Paustian, K., Persson, T. & Stendahl, J. (2011). Knowledge gaps in soil carbon and nitrogen interactions: From molecular to global scale. *Soil Biology and Biogeochemistry*, 43, 702-717.

Hernández Sampieri, R., Collado, C. F., Baptista Lucio, M., Méndez Valencia, S., & Mendoza Torres, C. P. (2014). *Metodología de la investigación sexta edición*. Mexico : McGRAW-HILL.

Henríquez, C. (2015). Efecto del uso del suelo sobre las formas de fósforo de un andisol. Universidad de costa rica. *Revista Agronomía Costarricense*, Vol. 39. p 79-85.

Hontoria C, Rodriguez J, Saá A (2004). Contenido de carbono orgánico en el suelo y factores de control en la España Peninsular. *Edafología*. 11:149-157.

Holtz, U. (2003). La Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD) y su dimensión política, 1–14.

Haraguchi A., Kojima H., Hasegawa C., Takahashi Y., Iyobe T. (2002). Decomposition of organic matter in peat soil in a minerotrophic mire. *Eur. J. Soil Biol.*, 38, 89-95.

Haddaway, N. R., Hedlund, K., Jackson, L. E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I. K., Helene B. Jørgensen, H. B. & Isberg, P-E. (2016). How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review protocol. *Environmental Evidence*, 5(1).

Huerta, H. (2010). Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de san Joaquín, gro., y su relación con el crecimiento bacteriano. Tesis. Lcd. biología. Universidad Autónoma de Querétaro. Mx. p 7- 11.

Hutchinson, J.J., Campbell, C.A., Desjardins, R.L. (2007). Some perspectives on carbon sequestration in agriculture. *Agric. Forest Meteorol.* 142, 288-302.

Hemwong, S., Cadisch, G., Toomsan, B., Limpinuntana, V., Vityakon, P., Patanothai, A. (2008). Dynamics of residue decomposition and N<sub>2</sub> fixation of grain legumes upon sugarcane residue retention as an alternative to burning. *Soil Tillage Res.* 99, 84-97.

Hall, D.J.M., Jones, H.R., Crabtree, W.L., Daniels, T.L. (2010). Clayng and deep ripping can increase crop yields and profits on water repellent sands with marginal fertility in southern Western Australia. *Aust. J. Soil Res.* 48, 178-187.

Hoyle, F.C., Baldock, J.A., Murphy, D.V. (2011). Soil organic carbon \_ role in rainfed farming systems. In: Tow, P., Cooper, I., Partridge, I., Birch, C. (Eds.), *Rainfed Farming Systems*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 339-361.

IDEAM, U.D.C.A. (2015). Síntesis del estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia - 2015. IDEAM - MADS. Bogotá D.C., Colombia., 62 págs. Publicación aprobada por el IDEAM, Bogotá D.C., Colombia.

IDEAM. (2007). información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. IDEAM Colombia.

Ibrahim, M. A., Mario, C., Cuartas, C. A., Naranjo, J. F., Ponce, G., Vega, P.,... Rojas, J. (2006). Almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arbórea en sistemas de usos de la tierra en paisajes ganaderos de. *Agroforestería En Las Américas*, 45. Retrieved from <http://www.cipav.org.co/pdf/red> de

agroforesteria/Articulos/almacenamiento de carbono en el suelo y la biomasa arborea.pdf

IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis, Report Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC.

IPCC. (2001). Climate change: the scientific basis. Cambridge, R.U., Cambridge University Press.

IPCC. (2006). General guidance and reporting. In: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. s.l.:IGES, Japan.

IPCC. (2007). Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge (U.K.), New York (U.S.A): Cambridge University Press.

IPCC. (2000). Land use, land use change and forestry. A special report of the IPCC. Cambridge, R.U., Cambridge University Press.

Jaramillo, V; Arahana, V; Torres, M. (2014). Determinación del nivel de tolerancia a salinidad en condiciones in vitro de plantas de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) provenientes de distintas localidades de la sierra ecuatoriana. Universidad san francisco de quito.EC. Avances en Ciencias e Ingenierías, Vol. 6, p 44-50.

Jaramillo, D.F. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Medellín, Universidad nacional de Colombia.

- Jain, N., Bhatia, A., Pathak, H. (2014). Emission of air pollutants from crop residue burning in India. *Aerosol Air Qual. Res.* 14, 422-430.
- Keiluweit, M., Bougoure, J. J., Nico, P. S., Pett-Ridge, J., Weber, P. K. & Kleber, M. (2015). Mineral protection of soil carbon counteracted by root exudates. *Nature Climate Change*, 5, 588–595.
- Kane, D. (2015). *Carbon Sequestration Potential on Agricultural Lands: A Review of Current Science and Available Practices*, s.l.: s.n.
- Kuzyakov, Y., Schneckenberger, K. (2004). Review of estimation of plant rhizodeposition and their contribution to soil organic matter formation. *Arch. Agron. Soil Sci.* 50, 115-132.
- Lal, R. (2004). Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*, 304.
- Lozano, Z; Hernández, R; Bravo, C; Rivero, C y Delgado, M. (2012). Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas y tipos de fertilización. *Revista Interciencia* 11 (37): 820-827.
- Ling-An, N., Jin-Min, H., Zhang, B.-Z., Xin-Sheng, N. (2011). Influences of long-term fertilizer and tillage management on soil fertility of the North China Plain. *Pedosphere* 21, 813-820,
- Liu, C., Lu, M., Cui, J., Li, B., Fang, C. (2014). Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: a meta-analysis. *Global Change Biol.* 20, 1366-1381.

Lange, M., Eisenhauer, N., Sierra, C. A., Bessler, H., Engels, C., Griffiths, R. I., Mellado Vázquez, P. G., Malik, A. A., Roy, J., Scheu, S., Steinbeiss, S., Thomson, Trumbore, B. C., & Gleixner, G. (2015). Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. *Nature Communications*, 6, 6707.

Lehmann, J., Joseph, S., (2009). Biochar for environmental management: an introduction. In: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London, pp. 1-9.

Moreno G., Cerón, J., Cerón, R., Guerra, J., Amador, L., Endañu, E. (2010). Estimación del potencial de captura de carbono en suelos de manglar de Isla del Carmen. *Tecnociencia UNACAR*, 4 (1), 23-39.

Martínez E., Fuentes J.P., & Acevedo E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *R.C.Suelo Nutr. Veg*, 8 (1), 68-96.

Marschner, B., Brodowski, S., Dreves, A., Gleixner, G., Gude, A., Grootes, P. M., Hamer, U., Heim, A., Jandl, G., Ji, R., Kaiser, K., Kalbitz, K., Kramer, C., Leinweber, P., Rethemeyer, J., Schäffer, A., Schmidt, M. W. I., Schwark, L. & Wiesenberg, G. L. B. (2008). How relevant is recalcitrance for the stabilization of organic matter in soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171, 91-110.

McDaniel, M.D., Tiemann, L.K., Grandy, A.S., (2014). Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecol. Appl.* 24, 560-570.

Murty, D., Kirschbaum, M.F., McMurtrie, R.E., McGilvray, H., (2002). Does conversion of forest to agricultural land change soil carbon and nitrogen? A review of the literature. *Global Change Biol.* 8, 105–123.

Nieto , O. M., Castro, J., Fernandez, E., & Smith, P. (2010). Simulation of soil organic carbon stocks in a Mediterranean olive grove under different soil-management systems using the RothC model. *Soil Use and Management*, 118–125.

Olson, K.R., Lang, J.M., Ebelhar, S.A. (2005). Soil organic carbon changes after 12 years of no-tillage and tillage of Grantsburg soils in southern Illinois. *Soil Till. Res.*, 81, 217-225.

Ogle, S. M., Olander, L., Wollenberg, L., Rosenstock, T., Tubiello, F., Paustian, K., Buendia, L., Nihart, A. & Smith, P. (2014). Reducing greenhouse gas emissions and adapting agricultural management for climate change in developing countries: providing the basis for action. *Global Change Biology*, 20(1): 1-6.

Pastor Mogollón, P., Martínez, A., Rivas, W., Maseda, C., Muñoz, B., Marquez E., Lemus, L., Colmenares, M., & Campos, Y. (2015). Carbono orgánico como indicador del proceso de desertificación en suelos agrícolas al norte de Venezuela. *Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo*, 45(1), 24-30.

Poeplau, C., Vos, C., & Don, A. (2017). Soil organic carbon stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content, *Soil*, 3, 61–66.

Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., Van Wesemael, B., Schumacher, J., et al. (2011). Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone \_ carbon response functions as a model approach. *Global Change Biol.* 17, 2415\_2427.

Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P. & Smith, P. (2016). Climatesmart soils. *Nature*, 532(7597), 49-57.

Paustian, K., Andren, O., Janzen, H.H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., et al., (1997). Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions. *Soil Use Manage.* 13, 230-244.

Paul, E. (2014). *Soil microbiology: ecology and biochemistry*. Academic Press, 598. Reicosky, D.C. 1997. Tillage-induced CO<sub>2</sub> emission from soil. *Nut. Cyc. Agroeco.*, 49: 273–285.

Raphael, J. P., Calonego, J. C., Milori, D. M. B. & Rosolem, C. A. (2016). Soil organic matter in crop rotations under no-till. *Soil and Tillage Research*, 155: 45-53.

Reicosky, D.C. (1997). Tillage-induced CO<sub>2</sub> emission from soil. *Nut. Cyc. Agroeco.*, 49: 273–285.

Singh, B. P., Setia, R., Wiesmeier, M., & Kunhikrishnan, A. (2018). agricultural management practices and soil organic carbon storage. *soil carbon storage*. elsevier inc.

Schulp, C.J.E., Nabuurs, G.J., Verburg, P.H., (2008). Future carbon sequestration in Europe : effects of land use change. *Agric. Ecosyst. Environ.* 127, 251-264.

Schmidt, M. W. I., Torn, M. S., Abiven, S., Dittmar, T., Guggenberger, G., Janssens, I. A., Kleber, M., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., Manning, D. A. C., Nannipieri, P., Rasse, D. P., Weiner, S. & E. Trumbore, S. E. (2011). Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478, 49–56.

Stewart, C. E., Paustian, K., Conant, R. T., Plante, A. F. & Six, J. (2007). Soil carbon saturation: concept: evidence and evaluation. *Biochemistry*, 86, 19-31.

Stewart, B.A., (1993). Managing crop residues for the retention of carbon. *Water Air Soil Pollut.* 70, 373–380.

Six, J., Frey, S.D., Thiet, R. K. & Batten, K. M. (2006). Bacterial and Fungal contributions to Carbon Sequestration in Agrosystems. *Soil Science Society of America*, 70(2), 555-569.

Six, J., Conant, R.T., & Paustian, K., (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils, *Plant and Soil*, 241, 155-176.

Singer, M.J., Munns, D.N. (1996). *Soils. An introduction.* Third edition. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. 480 p.

Thévenot, M., Dignac, M. F. & Rumpel, C. (2010). Fate of lignins in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 42, 1200-1211.

Tolbert, V.R., Thornton, F.C., Joslin, J.D., Bock, B.R., Bandaranayake, W., Houston, A.E., Tyler, D.D., Mays, D.A., Green, T.H., Pettry, D.E. (2000). Increasing below ground carbon sequestration with conversion of agricultural lands to production of bioenergy crops. *N. Z. J. Forest Sci.* 30, 138–149.

Tschakert, P. y Tappan, G. (2004). The social context of carbon sequestration: considerations from a multi-scale environmental history of the Old Peanut Basin of Senegal. *J. Arid Env.*, 59: 535–564.

Van der Wal, A., De Boer, W. (2017). Dinner in the dark: Illuminating drivers of soil organic matter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, 105, 45-48.

Vásquez, A. Santiago, G. Estrada, A. (2002). Influencia del pH en el crecimiento de quince cepas de hongos ectomicorrizógenos. Serie Botánica 73 (1): 1-15.

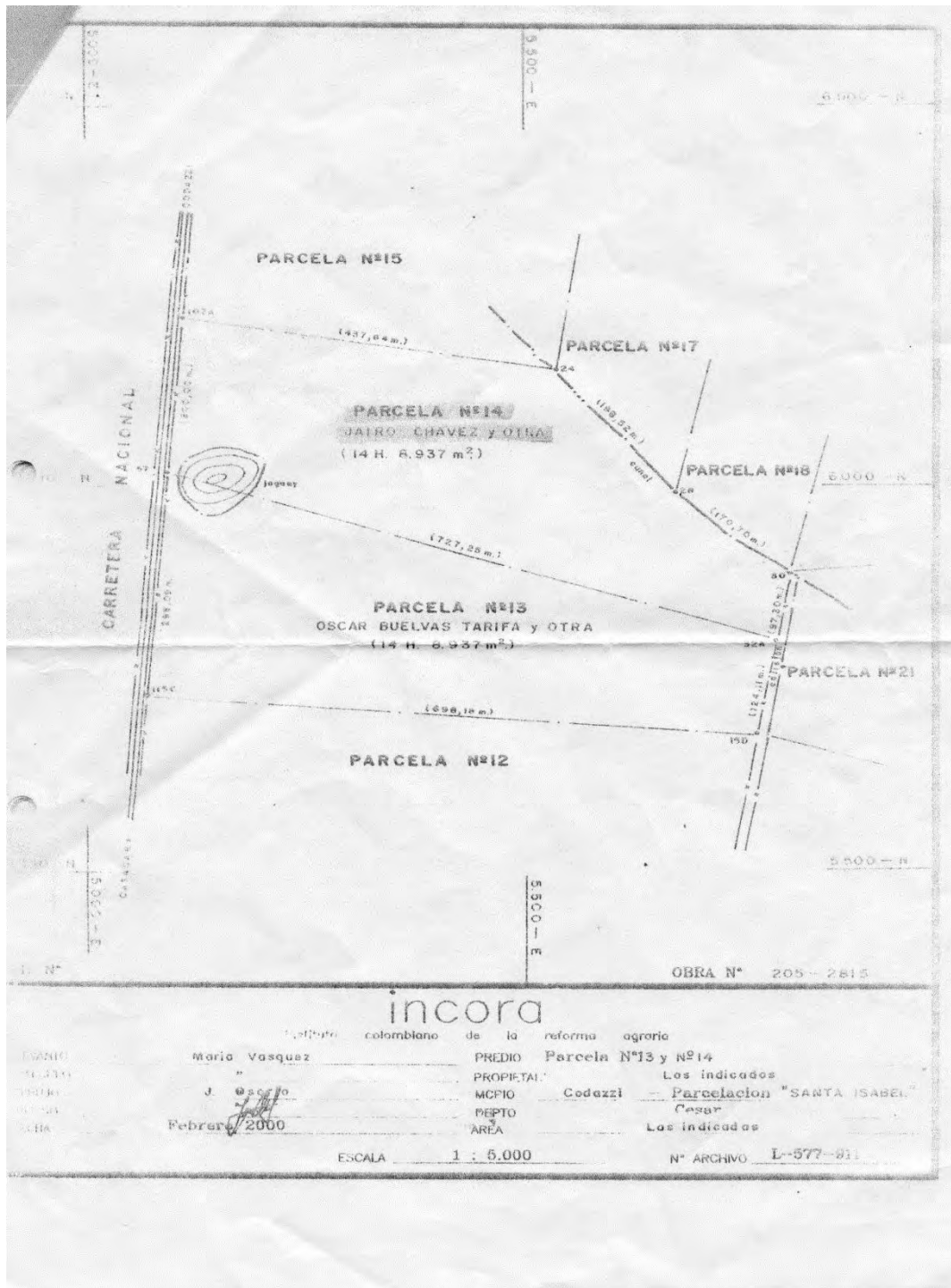
Villarroel, A.J. (1988). Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio. AGRUCO. Recuperado de <http://atlas.umss.edu.bo:8080/jspui/handle/123456789/142>

Weng, Z., Van Zwieten, L., Singh, B.P., Kimber, S., Morris, S., Cowie, A., et al. (2015). Plant-biochar interactions drive the negative priming of soil organic carbon in an annual ryegrass field system. Soil Biol. Biochem. 90, 111-121.

Zúñiga, O. Osorio, J. Cuero, R. Peña, J. (2011). Evaluación de tecnologías para la recuperación de suelos degradados por salinidad. Rev.Fac.Nac.Agron 64 (1): 1-2.

## ANEXOS

**Anexo A.** Datos del propietario de las parcelas correspondiente al señor Jairo Chávez.



**Anexo B.** Parcela donde se cultivó sorgo.



**Anexo C.** Zona de bosque seco intervenido.



Anexo D. Muestreo de suelo.



Anexo D-1. Muestreo de suelo y Peso de muestra



## Anexo E. Datos meteorológicos IDEAM

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA,  
METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACION

VALORES TOTALES MENSUALES DE  
NACIONAL AMBIENTAL

PRECIPITACION (mms)

FECHA DE PROCESO : 2019/01/25  
ESTACION : 28020460 CODAZZI DC

LATITUD	1002 N	TIPO EST	PM
DEPTO	CESAR	FECHA-INSTALACION	1979-NOV
LONGITUD	7314 W	ENTIDAD	01 IDEAM
MUNICIPIO	AGUSTIN CODAZZI	FECHA-SUSPENSION	
ELEVACION	0090 m.s.n.m	REGIONAL	05 MAGDALENA
CORRIENTE	PERNAMBUCO		

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*  
A#O EST ENT ENERO \* FEBRE \* MARZO \* ABRIL \* MAYO \* JUNIO \*  
JULIO \* AGOST \* SEPTI \* OCTUB \* NOVIE \* DICIE \* VR ANUAL \*  
\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*

MEDIOS	22.8	36.9	83.4	152.8	219.1	139.1	
108.5	162.2	168.3	256.6	158.3	59.0	1567.1	
MAXIMOS	141.0	251.0	285.0	371.0	560.0	408.0	
440.0	346.0	382.0	591.0	342.0	275.0	591.0	
MINIMOS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.0	10.0
1.0	28.0	54.0	55.0	10.0	0.0	0.0	

## Anexo E-1. Datos meteorológicos IDEAM

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACION

VALORES TOTALES MENSUALES DE NACIONAL AMBIENTAL

EVAPORACION (mms)

FECHA DE PROCESO : 2019/01/25  
ESTACION : 28025070 MOTILONIA CODAZZI

LATITUD	1000 N	TIPO EST	AM
DEPTO	CESAR	FECHA-INSTALACION	1956-ENE
LONGITUD	7315 W	ENTIDAD	01 IDEAM
MUNICIPIO	AGUSTIN CODAZZI	FECHA-SUSPENSION	
ELEVACION	0180 m.s.n.m	REGIONAL	05 MAGDALENA
CORRIENTE	PERNAMBUCO		

\*\*\*\*\*  
\*\*\*\*\*  
A#O EST ENT ENERO \* FEBRE \* MARZO \* ABRIL \* MAYO \* JUNIO \*  
JULIO \* AGOST \* SEPTI \* OCTUB \* NOVIE \* DICIE \* VR ANUAL \*  
.....

MEDIOS	190.3	191.0	204.5	170.2	149.4	142.4	
	162.9	153.8	139.0	128.6	127.2	151.2	1910.4
MAXIMOS		258.5	244.0	282.7	256.3	200.2	178.2
	230.4	218.6	167.8	169.5	164.4	208.8	282.7

## Anexo E-2. Datos meteorológicos IDEAM

I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES

SISTEMA DE INFORMACION

VALORES MEDIOS MENSUALES DE NACIONAL AMBIENTAL

TEMPERATURA (oC)

FECHA DE PROCESO : 2019/01/25  
ESTACION : 28025070 MOTILONIA CODAZZI

LATITUD	1000 N	TIPO EST	AM
DEPTO	CESAR	FECHA-INSTALACION	1956-ENE
LONGITUD	7315 W	ENTIDAD	01 IDEAM
MUNICIPIO	AGUSTIN CODAZZI	FECHA-SUSPENSION	
ELEVACION	0180 m.s.n.m	REGIONAL	05 MAGDALENA
CORRIENTE	PERNAMBUCO		


```

*****
*****
A#O EST ENT ENERO * FEBRE * MARZO * ABRIL * MAYO * JUNIO *
JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB * NOVIE * DICIE * VR ANUAL *
*****
*****

```

MEDIOS		29.4	30.3	30.4	29.6	28.7	28.8
29.3	28.9	28.1	27.6	27.7	28.2	28.9	

## Anexo F. Datos del UMATA

	REPUBLICA DE COLOMBIA DEPARTAMENTO DEL CESAR ALCALDÍA MUNICIPAL DE AGUSTÍN CODAZZI CESAR NIT. NO.800096558-1	CÓDIGO:	
	<b>OFICINA DE UMATA</b>	VERSIÓN: 2	
ODM	OFICIOS	FECHA DE ACTUALIZACIÓN 06/01/2016	
		ESTADO: CONTROLADO	Página 1 de 1

Agustín Codazzi – Cesar, Septiembre 24 de 2018

Señores  
**KEVIN DAVID MUEGUES ACOSTA**  
**RONNY JAVIER PALOMINO LERMA**

Asunto: Respuesta a solicitud de información

1. El manejo que se le ha dado al suelo en estos últimos 10 años hasta ahora, se ha usado fertilizantes químicos como la Urea, Triple 15, KCL, sulfato de amonio y elementos menores; también la aplicación de plaguicidas a base de clorinados y fosforados biológicos e inhibidores de la síntesis de la quitina.

En cuanto al riego se ha utilizado el riego por gravedad en el cultivo del arroz y en la palma de aceite.

En herbicidas se ha utilizado el Glifosato en un alto porcentaje.

2. Cuadro

3. El uso del suelo en el Municipio:

En Ganadería se encuentra con 623 predios con una población de 128.318 cabezas y pastoreos, plantaciones forestales se cuenta aproximadamente con 62 hectáreas.

Atentamente,

  
**RODOLFO BARROSO PACHECO**  
 Jefe de Umata.

ELABORO: JONALY GONZALEZ FERREIRA	REVISO: RODOLFO BARROSO PACHECO	APROBÓ: RAULITH JOSÉ BRITO GARCÍA
CARGO: ASISTENTE UMATA	CARGO: JEFE DE UMATA MUNICIPAL	CARGO: SECRETARIO DE PLANEACION MUNICIPAL



Codazzi Con Futuro

Carrera 16 No. 17 – 02 Agustín Codazzi, Cesar  
 Teléfono: (57) 5 5765733 - Fax: (57) 5 5765733  
[alcaldia@agustincodazzi-cesar.gov.co](mailto:alcaldia@agustincodazzi-cesar.gov.co)

**Anexo F-1. Datos del UMATA**

MUNICIPIO	PERIODO	CULTIVO	AREA SEMBRADA A 31 DE DICIEMBRE DE 2017 HAS	RENDIMIENTO POR HAS	PRODUCCION POR HAS
AGUSTIN CODAZZI	2017	CACAO	784	0.4	3136
AGUSTIN CODAZZI	2017	CAFÉ	6.768	0.7	47376
AGUSTIN CODAZZI	2017	CAÑA PANELERA	16	3.0	48
AGUSTIN CODAZZI	2017	CITRICOS	20	10.0	200
AGUSTIN CODAZZI	2017 A	FRIJOL	200	0.5	1000
AGUSTIN CODAZZI	2017 B	FRIJOL	358	1.0	358
AGUSTIN CODAZZI	2017	LULO	40	7.0	280
AGUSTIN CODAZZI	2017 A	MAIZ TRADICIONAL	650	1.0	650
AGUSTIN CODAZZI	2017 B	MAIZ TRADICIONAL	219	1.0	219
AGUSTIN CODAZZI	2017	MALANGA	37	10	37
AGUSTIN CODAZZI	2017	MANGO	113	15.0	1695
AGUSTIN CODAZZI	2017	MORA	31	8.0	248
AGUSTIN CODAZZI	2017	PALMA DE ACEITE	10.100	3.0	30300
AGUSTIN CODAZZI	2017	PLATANO	253	8.0	2024
AGUSTIN CODAZZI	2017	TOMATE	3	12.0	36
AGUSTIN CODAZZI	2017	TOMATE DE ARBOL	31	15.0	465
AGUSTIN CODAZZI	2017	YUCA	72	15.0	1080

Anexo G. Resultados análisis de suelo

	LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS CONVENIO UIS-GOVERNACIÓN DE SANTANDER RESULTADO ANÁLISIS DE SUELOS			Código: F.L.Q.S-24
				Versión: 02 Página 1 de 1

Cliente:	Kevin David Mueguez Acosta	Fecha de Ingreso de la muestra:	Septiembre 18 de 2018	Departamento:	Cesar	Municipio:	Coluzzi
Entidad:	N.S	Fecha de Análisis:	Octubre 1 de 2018	Vereda:	Llerasca	Cultivo:	Algodón
Dirección:	N.S	Fecha de Emisión de Resultado:	Octubre 1 de 2018	C.I.C.		Finca:	Santa Isabel
Análisis solicitado:	Caracterización	Elementos Menores	x	C.E.			

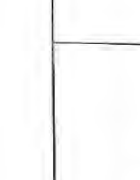
RESULTADO DEL ANÁLISIS DE SUELOS




Cód. Muestra	pH Unid	%C	P (ppm)	meq/100g suelo					%Avena	%Lino	%Avellea	Textura	B Fe Mn Cu Zn S					CIC meq/100g	CE mhos/cm	
				Ca	Mg	Na	K	Al					N.S.C.	N.S.C.	N.S.C.	N.S.C.	N.S.C.			N.S.C.
18-0972	5.8	0.38	4.38	4.83	0.92	0.05	0.08	N.A	54	26	20	Fco-Arcillo-Arenoso	N.S.C.	N.S.C.	N.S.C.	N.S.C.	N.S.C.	N.S.C.	6.00	0.04

PARÁMETROS	MÉTODO ANALÍTICO	NOTAS	ABREVIATURAS
pH: Potencial de Hidrógeno C: Carbono P: Fósforo disponible Ca, Mg, Na, K % Textura B: Boro Fe, Mn, Cu, Zn S: Azufre C.C: Capacidad de Intercambio Catiónico CE: Conductividad Eléctrica	Electrométrica: Reacción 1:1 Agua destilada Colorimétrica: Walkley Black $K_2C_2O_4 \cdot H_2SO_4$ Colorimétrica: Bray II, HCl 0.1, $NH_4HF_2$ 0.03 N Absorción Atómica: Extracción: Acetato de Amonio Boyoucosus: Agua destilada Colorimétrica: Extracción Fosfato Monocálcico Colorimétrica: Extracción con DTPA Turbidimétrica: Extracción Fosfato Monocálcico Extracción: Acetato de Amonio Electrométrica: Agua destilada	Nota 1: Los resultados almacenados en la base de datos y los enviados por fax ó e-mail se conservarán durante tres meses a partir de la entrega de los mismos. Nota 2: Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. Nota 3: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. Nota 4: Los métodos analíticos aplicados en el laboratorio son válidos únicamente para muestras de suelos, y no a otros materiales de características físicas similares. Nota 5: La contramuestra de la muestra analizada se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. Nota 6: Información y muestra suministrada por el cliente. Nota 7: Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al teléfono 5324851 ó al correo electrónico: laboratorioquimicosuelos_us@yahoo.com	N.D: No Detectable a la mínima concentración establecida por el método. N.S: No Suministrado por el Cliente. N.A: No Aplica. N.S.C: No Solicitado por el Cliente. Vobo

OBSERVACIONES:

PARCELA 14


  
 JANETH AIDÉ PERERA VILLAMIL  
 Directora  
 Matrícula PQ- 0498

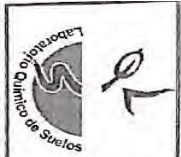
		<b>LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS</b> <b>CONVENIO UIS-GOBERNACIÓN DE SANTANDER.</b> <b>ANÁLISIS DE RESULTADOS Y RECOMENDACIONES</b>			<b>Código: F-IQS-23</b>
					Versión: 02 Página 1 de 1

Fecha de Emisión:	Octubre 01 de 2018	Cultivo :	ALGODÓN (Gossypium sp)
Código Muestra:	18-0972	Edad:	Iniciar

**ANÁLISIS DE RESULTADOS:** Suelo Medianamente Ácido. pH: 5.8 No óptimo. Contenidos Bajos en Materia Orgánica, Nitrogeno, Fósforo, Calcio, Magnesio y Potasio. Adecuados en Sodio. Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C) Bajo y Conductividad Eléctrica (C.E) Ideal. Relación Calcio: Magnesio Desbalanceada. Textura del suelo (Franco-Arcillo-Arenoso) adecuada para el cultivo de Algodón.

**RECOMENDACIONES:** Incorporar dos meses antes de efectuar la siembra 840 kilogramos de Cal Dolomita. Aplicar 6 kilogramos de Abono orgánico por metro cuadrado de surco de siembra (0.3 metros de ancho x 3 metros de largo) para mejorar la Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C). Aplicar por hectárea 460 kilogramos de Fosfato Diamónico (DAP) más 220 kilogramos de Sulfato de Potasio. Realizar fertilización foliar (hojas) con Sulfato de Magnesio, en dosis de 200 gramos en 100 litros de agua (una aplicación); aplicados después de un día de lluvia o de aplicar riego en las primeras horas de la mañana. Realizar nuevamente análisis de suelos en 12 meses.

<b>NOTAS</b> Nota 1: Las recomendaciones almacenadas en la base de datos y las enviadas por fax o correo electrónico se conservarán durante tres meses a partir de la entrega de las mismas. Nota 2: Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. Nota 3: Estas recomendaciones son válidas únicamente para las muestras suministradas por el cliente. Nota 4: Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al teléfono 6324861 o a los correos electrónicos: laboratorioquimicosuelos_uis@yahoo.com y labquimicosuelos@uis.edu.co	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>Vobo:</b>  <b>ALFREDO ORLANDO GÓMEZ RODRÍGUEZ</b> T.P. 10891 Ingeniero Agrónomo Profesional Universitario SADER
--	----------------------	--



LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS  
CONVENIO UIS-GOBERNACIÓN DE SANTANDER  
RESULTADO ANÁLISIS DE SUELOS



Código: F-1QS-24  
Versión: 02  
Página 1 de 1

Cliente:	Kevin David Mueguez Acosta	Fecha de Ingreso de la muestra:	Septiembre 18 de 2018	Departamento:	Cesar	Municipio:	Codazzi
Entidad:	N.S	Fecha de Análisis:	Octubre 1 de 2018	Vereda:	Llerasca	Cultivo:	Sorgo
Dirección:	N.S	Fecha de Emisión de Resultado:	Octubre 1 de 2018	C.I.C.:		Finca:	Santa Isabel
Análisis solicitado:	Caracterización	Elementos Menores	x	C.E.:			

RESULTADO DEL ANÁLISIS DE SUELOS

Cdd. Muestra	pH Unid	%C	P (ppm)	meq/100g suelo					B	Fe	Mn	Cu	Zn	S	CIC meq/100g	CE mmhos/cm				
				Ca	Mg	Na	K	Al												
18-0971	6.0	0.45	4.23	5.92	1.14	0.10	0.09	N.A	52	28	20	Fco-Arcillo-Arenoso	N.S.C.	N.S.C.	N.S.C.	N.S.C.	N.S.C.	N.S.C.	7.40	0.04

PARÁMETROS	MÉTODO ANALÍTICO	NOTAS	ABREVIATURAS
pH: Potencial de Hidrógeno C: Carbono P: Fósforo disponible Ca, Mg, Na, K % Textura B: Boro Fe, Mn, Cu, Zn S: Azufre CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico CE: Conductividad Eléctrica	Electrométrico: Relación 1:1 Agua destilada Colorimétrico: Walkley Black K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> -H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Colorimétrico: Bray II, HCl 0.1 N-NH <sub>4</sub> F 0.03 N Absorción Atómica: Extracción; Acetato de Amonio Bouyoucos; Agua destilada Colorimétrico: Extracción Fosfato Monocalcico Absorción Atómica: Extracción con DTPA Turbidimétrico: Extracción Fosfato Monocalcico Extracción: Acetato de Amonio Electrométrico: Agua destilada	Nota 1: Los resultados almacenados en la base de datos y los enviados por fax ó e-mail se conservarán durante tres meses a partir de la entrega de los mismos. Nota 2: Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. Nota 3: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. Nota 4: Los métodos analíticos aplicados en el laboratorio son válidos únicamente para muestras de suelos, y no a otros materiales de características físicas similares. Nota 5: La contramuestra de la muestra analizada se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. Nota 6: Información y muestra suministrada por el cliente. Nota 7: Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al teléfono 6324661 ó al correo electrónico: laboratorioquimicosuelos_uis@yahoo.com	N.D: No Detectable a la mínima concentración establecida por el método. N.S: No Suministrado por el Cliente. N.A: No Aplica. N.S.C: No Solicitado por el Cliente. Vobo

PARCELA 14

*Janeth Aide Perea Villamil*  
DIRECTORA  
JANETH AIDE PEREA VILLAMIL  
Matrícula PQ: 0498



LABORATORIO QUÍMICO DE SUELOS  
CONVENIO UIS-GOVERNACION DE SANTANDER  
RESULTADO ANALISIS DE SUELOS



Código: F-IQS-24

Version: 02

Página | de |

JS-23  
2  
1

Cliente:	Kevin Mueques Acosta	Fecha de Ingreso de la muestra:	Octubre 17 de 2018	Departamento:	Cesar	Municipio:	Agustín Codazzi
Entidad:	N.S	Fecha de Analisis:	Noviembre 6 de 2018	Vereda:	Lerasca	Cultivo:	N.S
Dirección:	N.S	Fecha de Emisión de Resultado:	Noviembre 6 de 2018	C.E.		Firca:	Santa Isabel
Analisis solicitado:	Caracterización	Elementos Menores	x	C.I.C.			

RESULTADO DEL ANÁLISIS DE SUELOS

Cód. Muestra	pH	%C	P (ppm)	meq/100g suelo					%Arena	%Limo	%Arcilla	Textura	B					CIC meq/100g	CE mmol/cm	
				Ca	Mg	Na	K	Al					Fe	Mn	Cu	Zn	S			
18-1078	6,3	0,63	4,09	7,08	1,66	0,15	0,15	NA	52	24	24	Fco-Arrollo-Aranoso	N.S.C.	N.S.C.	N.S.C.	N.S.C.	N.S.C.	N.S.C.	11,6	0,04

Adecuados a del suelo

PARAMETROS	METODO ANALITICO	NOTAS	ABREVATURAS
pH: Potencial de Hidrogeno C: Carbono P: Fósforo disponible Ca, Mg, Na, K % Textura B: Boro Fe, Mn, Cu, Zn S: Azufre CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico CE: Conductividad Eléctrica	Electrométrico: Relación 1:1 Agua deslizada Colorimétrico: Walkley Black K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Colormetrico: Bray II, HClO <sub>4</sub> / NH <sub>4</sub> F 0,03 N Absorción Atómica, Extracción: Acetato de Amonio Borjocuous: Agua deslizada Colorimétrico: Extracción Fósforo Monocálcico Absorción Atómica: Extracción con DTPA Turbidimétrico: Extracción Fosfato Monocálcico Extracción: Acetato de Amonio Electrométrico: Agua deslizada	Nota 1: Los resultados almacenados en la base de datos y los enviados por fax o e-mail se conservarán durante tres meses a partir de la entrega de los mismos. Nota 2: Prohibida la reproducción total o parcial de este documento. Nota 3: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras suministradas por el cliente. Nota 4: Los métodos analíticos aplicados en el laboratorio son válidos únicamente para muestras de suelos, y no a otros materiales de características físicas similares. Nota 5: La contramuestra de la muestra analizada se almacenará por un periodo de tiempo de 2 meses a partir de la fecha de emisión del resultado. Nota 6: Información y muestra suministrada por el cliente. Nota 7: Favor comunicar su sugerencia, observación o reclamo al teléfono 51324861 o al correo electrónico: laboratorioquimicosuelos_us@yahoo.com	N.D: No Detectable a la mínima concentración establecida por el método. N.S: No Suministrado por el Cliente. N.A: No Aplica. N.S.C: No Solicitado por el Cliente. Vobo

OBSERVACIONES:

*Janeth Aide Perea Villamil*  
DIRECTORA  
JANETH AIDÉ PEREA VILLAMIL  
Matrícula PQ-0498

*DR. RODRIGUEZ*  
SADER



**Identificación**

Nombre: KEVIN MUEGUES ACOSTA  
 NIT o C.C.: 1119839456  
 Dirección: 310 682 42 10  
 Teléfono: 310 682 42 10  
 Fax: -  
 Email: kevinmue@outlook.com/riemas3@gmail.com  
 F. Recibo: 25-FEB-19

**Análisis de Suelos**

Municipio: Agustín Codazzi ( Cesar)  
 Vereda: Nueva Granada  
 Finca: No Especificado  
 Área: - Ha  
 Profundidad: 30 cms.

Cultivo actual  
 Cultivo anterior

Reporte No. 54691


**Código Identificación en el campo**

Código	Textura			pH	C.E.	M.O.	Al	Ca	Mg	K	Na	CICE	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	N-NO3	N-NH4	N	
	A%	L%	A% Clase																				dsM-1
SP36287	10	56	34	FAL	6.7	1.2	-	9.0	1.9	0.23		11.1	134										

**Observaciones**

**Métodos**  
 Textura : Bouyoucos; pH : Agua (1:1); Conductividad eléctrica: Extracto de saturación; Materia orgánica: Walkley Black; Al : KCl 1M; Ca, Mg, K, Na : Acetato de amonio 1M; CICE : Suma de cationes de cambio; S : Fosfato monocalcico 0.008M; Fe, Mn, Cu, Zn : Olsen EDTA; B : Agua caliente; NO3 : Sulfato de aluminio 0.025M; NH4 : KCl 1M; P : Bray II.

Tener en cuenta:  
 N.D.=No detectable  
 N.A.=No aplica  
 Para las unidades considere:  
 dsM-1 =mmho cm-1  
 cmolc kg-1 =meq/100 g suelo  
 ppm =mg kg-1

  
 Revier Estel Aguirre  
 Docente Asistente  
 Laboratorio de Suelos  
 Facultad de Ciencias  
 Universidad Nacional de Colombia

**Análisis de Suelos**

Reporte N° 54692\*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE MEDELLÍN  
Lab oratorio de Suelos  
Escuela de Geociencias  
Facultad de Ciencias  
Bloque 14 Oficina 204 - 220  
P.BX 4303301 Teléfono: 4303311

**Identificación**

Nombre: KEVIN MUEGUES ACOSTA  
Nit o C.C.: 1119839456  
Dirección: 310 652 42 10  
Teléfono: 310 652 42 10  
Fax:   
Email: kevinmue@outlook.com / klemma3@gmail.com  
F. Recibo: 25-Feb-19

Municipio: Agustín Codazzi (Antioquia)  
Vereda: Llerasca  
Finca: Santa Isabel  
Área: 15 - Ha  
Profundidad: 30 cms

Cultivo actual  
Cultivo anterior

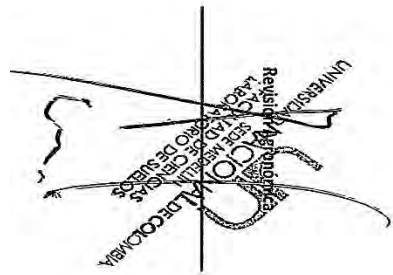
Código	Identificación en el campo	Textura			pH	Si %	C.O %	Al	Ca	Mg cmolc kg <sup>-1</sup>	K	Na	CICE	P	S	Fe	Mn	Cu mg kg <sup>-1</sup>	Zn	B	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N %	
		A%	L%	Ar%																				
SP36288	Algodón Zona 2						0,27																	

Observaciones: El presente informe reemplaza el Reporte 54692, para el cual el usuario solicitó adicionar la identificación en el campo, además se hace la corrección de M.O a C.O, ya que el solicitó que le reportara C.O.

**Métodos**

Textura: Boyucos; pH: Agua (1:1); Conductividad eléctrica: Extracto de saturación; Materia orgánica: Walkley Black; Al: KCl 1M; Ca, Mg, K, Na: Acetato de amonio 1M; CICE: Suma de cationes de cambio; S: Fosfato monocálcico 0,008M; Fe, Mn, Cu, Zn: Olsén-EDTA; B: Agua caliente; NO<sub>3</sub>: Sulfato de aluminio 0,025M; NH<sub>4</sub>: KCl 1M; P: Bray II.

Tener en cuenta:  
N.D.= No Detectable  
N.A.= No Aplica  
Para las Unidades considere  
dsM-1 = mmho cm-1  
cmolc Kg-1 = meq/100 g suelo  
ppm = mg Kg-1



### Análisis de Suelos

Reporte N° 54693\*



**Identificación**  
 Nombre: KEVIN MUEGUES ACOSTA  
 NIT o C.C.: 1119839456

Municipio: Agustín Codazzi (Antioquia)  
 Vereda: Lienasca  
 Finca: Santa Isabel  
 Área: 15 - Ha  
 Profundidad: 30 cms

Nombre: KEVIN MUEGUES ACOSTA  
 NIT o C.C.: 1119839456  
 Dirección: 310 652 42 10  
 Teléfono: 310 652 42 10  
 Fax:  
 Email: kevinmue@outlook.com / kermac3@gmail.com  
 F. Recibo: 25-Feb-19

Código	Identificación en el campo	Textura			pH	Si %	C.O %	Al	Ca	Mg	K	Na	ClCE	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N %
		A%	L%	Ar%																			
SP36289	Sorgo						0,59																

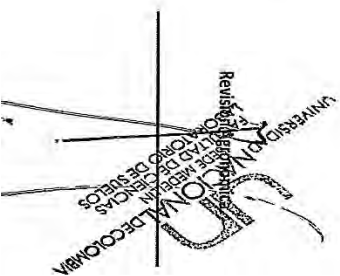
Observaciones: El presente informe reemplaza el Reporte 54693, para el cual el usuario solicitó adicional la identificación en el campo, además se hace la corrección de M.O a C.O, ya que el solicitado que le reportara C.O.

#### Métodos

Textura: Boyucos; pH: Agua (1:1); Conductividad eléctrica: Extracto de saturación; Materia orgánica: Walkley Black; Al: KCl 1M; Ca, Mg, K, Na: Acetato de amonio 1M; CICE: Suma de cationes de cambio; Si: Fosfato monocalcico 0,008M; Fe, Mn, Cu, Zn: Olen - EDTA; B: Agua caliente; NO3: Sulfato de aluminio 0,025M; NH4: KCl 1M; P: Bray II.

#### Tener en cuenta:

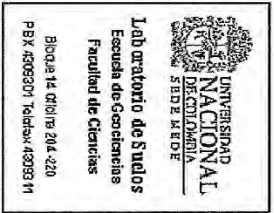
N.D.= No Detectable  
 N.A.= No Aplica  
 Para las Unidades considere  
 dsM-1 =mmho cm-1  
 cmolc kg-1 = meq/100 g suelo  
 ppm = mg kg-1





## Análisis de Suelos

Reporte N° 54696\*



<b>Identificación</b>		<b>Nombre</b>	KEVIN MUEQUES ACOSTA	<b>Municipio</b>	Agustín Codazzi (Antioquia)	<b>Cultivo actual</b>	
<b>Nitro C, C<sub>2</sub></b>	1119839456	<b>Dirección</b>		<b>Vereda</b>	Llerasca	<b>Cultivo anterior</b>	
<b>Teléfono</b>	310 652 42 10	<b>Fax</b>		<b>Finca</b>	Santa Isabel		
<b>Email</b>	kevinmue@outlook.com/kierna03@gmail.com	<b>Profundidad</b>		<b>Área</b>	15- Ha		
<b>F. Recibo</b>	25-Feb-19				30 cms		

Código	Identificación en el campo	Textura			pH	Si %	CO %	Al	Ca	Mg	K	Na	ClCE	P	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N %	
		A%	L%	Ar%																				Clase
SP36292	Algodón Zona 1						0,2																	

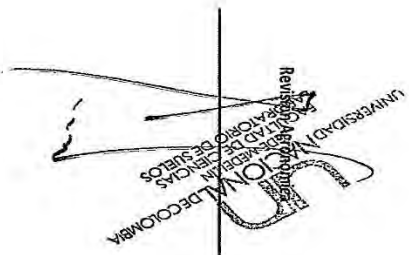
**Observaciones:** El presente informe reemplaza el Reporte 54696, para el cual el usuario solicitó adicionalmente la identificación en el campo, además se hace la corrección de M.O.C.O. ya que el solicitó que le reportara C.O.

**Métodos**

Textura: Boycoss; pH: Agua (1:1); Conductividad eléctrica: Extracto de saturación; Materia orgánica: Walkley Black; Al: KCl 1M; Ca, Mg, K, Na: Acetato de amonio 1M; ClCE: Suma de cationes de cambio; S: Fosfato monocalcico 0,008M; Fe, Mn, Cu, Zn: Olsen - EDTa; B: Agua caliente; NO<sub>3</sub>: Sulfato de aluminio 0,025M; NH<sub>4</sub>: KCl 1M; P: Bray II;

**Tener en cuenta:**

N.D. = No Detectable  
 N.A. = No Aplica  
 Para las Unidades considere  
 dsM-1 =mmho cm-1  
 cmolc.kg-1 = meq/100 g suelo  
 ppm = mg.kg-1



**Anexo H. Parcela donde se cultivó algodón**



Anexo I. Muestreo para densidad aparente



## Anexo J. Datos análisis estadístico ANOVA. INFOSTAT.

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
%CO	9	0,73	0,64	23,77

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,23	2	0,11	8,05	0,0200
USOS DE TIERRA	0,23	2	0,11	8,05	0,0200
Error	0,08	6	0,01		
Total	0,31	8			

### Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,29771

Error: 0,0141 gl: 6

USOS DE TIERRA	Medias	n	E.E.	
algodón	0,28	3	0,07	A
sorgo	0,56	3	0,07	A B
bosque	0,66	3	0,07	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
COS (t/ha)	9	0,67	0,56	23,71

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	343,87	2	171,93	6,00	0,0370
USOS DE TIERRA	343,87	2	171,93	6,00	0,0370
Error	171,80	6	28,63		
Total	515,67	8			

### Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=13,40553

Error: 28,6333 gl: 6

USOS DE TIERRA	Medias	n	E.E.	
algodón	14,11	3	3,09	A
sorgo	24,88	3	3,09	A B
bosque	28,71	3	3,09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )