



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**RESERVA DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE LA  
CUENCA ZAPOTAL EN LA PROVINCIA DE SANTA  
ELENA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Requisito parcial para la obtención del título de:

**INGENIERA AGROPECUARIA**

**Autora:** Gabriela Estefanía Peña Alcívar.

**LA LIBERTAD, 2022**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**RESERVA DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE LA  
CUENCA ZAPOTAL EN LA PROVINCIA DE SANTA  
ELENA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Requisito parcial para la obtención del título de:

**INGENIERA AGROPECUARIA**

**Autora:** Gabriela Estefanía Peña Alcívar.

**Tutor:** Ing. Daniel Antonio Ponce de León Lima. PhD.

## TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **GABRIELA ESTEFANÍA PEÑA ALCÍVAR** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniera Agropecuaria de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **DEFENSA** el: 8/02/2022



---

Ing. Nadia Pinos Quevedo, Ph.D.  
**DIRECTORA DE CARRERA**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**




---

Ing. Carlos Balmaseda Espinosa, Ph.D.  
**PROFESOR ESPECIALISTA**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Daniel Ponce de León Lima, Ph.D.  
**PROFESOR TUTOR**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Ing. David Vega González.  
**SECRETARIO**

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer antes que nada a Dios, por guiarme en el sendero y fortalecerme espiritualmente para comenzar un camino lleno de triunfo. Este trabajo es producto del esfuerzo colectivo de bastantes personas que de alguna u otra forma me colaboraron a conseguir este objetivo académico y personal. Para mí es una satisfacción terminar una fase de mi vida por esto, no quisiera dejar de manifestar mis profundos agradecimientos a los que formaron parte de este proceso de aprendizaje:

A mi mamá y mi papá quienes con sus consejos fueron el motor de arranque y mi recurrente razón, muchas gracias por su paciencia y comprensión, por haberme apoyado todo este tiempo en mi formación académica. A mis compañeros y amigos, en especial a la Ing Elena Del Roció, que me brindó su apoyo haciendo que el proyecto se lleve a cabo con éxito, quien con su intelecto y buena voluntad me ayudó a avanzar en este proceso. A Kerly Lizbeth Pozo Tomalá, quien a través del tiempo fuimos fortaleciendo una amistad y creando una familia, muchas gracias por apoyarme durante mi proceso de formación académica. A los que fueron mis docentes en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, que no solo me transmitieron conocimientos sino valores y me prepararon para la vida. A la Universidad por permitir convertirme en profesional. A mi tutor Ing. Daniel Ponce de León por proporcionarme los conocimientos necesarios para culminar la Universidad.

*Gabriela Estefanía Peña Alcívar.*

## **DEDICATORIA**

Esta Investigación está dedicada primordialmente a Dios por pues que sin el este extenso y arduo camino fuera imposible superar y recorrer, por haberme dado las fuerzas necesarias para lograr este objetivo. A mi mamá Janeth Alcívar Yagual y a mi papá Pompillo Peña Arias, que, debido a sus consejos y apoyo hasta en los instantes más difíciles, estuvieron conmigo por lo cual he podido salir constantemente adelante, por ser los pilares más importantes en mi vida, que con sus ejemplos y esfuerzos me enseñaron aprovechar esta oportunidad. A mis hermanos Marcos Peña y a Alejandro Peña, por todo su apoyo brindado a lo largo de mi carrera universitaria que fueron mi motivación para finalizar esta meta, Para que les sirva de ejemplo y en un futuro poder superarse.

*Gabriela Estefanía Peña Alcívar.*

## RESUMEN

Se evaluó la presencia y distribución de la RCOS con relación a los usos de la tierra y subgrupos de suelo. El estudio se realizó en el Centro de Apoyo Río Verde UPSE, zona representativa de la cuenca del río Zapotal. Se realizaron dos tipos de muestreos, espacial (0-30 cm; cien observaciones) y vertical (0- 10, 10-20, 20-40, 40-60 y 60-100 cm; diez observaciones). Se determinó el porcentaje de carbono orgánico del suelo (COS; por combustión húmeda) y la reserva de carbono (RCOS), mediante la extrapolación de curvas patrones de reserva, construidas a partir de ajustes de funciones *splines*. Se encontraron valores en un rango de 0.00 a 29.41 Mg/ha del suelo a 30 cm de profundidad, se concluye que los suelos de la zona de investigación de la cuenca poseen bajo contenido de materia orgánica, como resultado de las condiciones climáticas. El análisis estadístico de Kruskal-Wallis, determinó que no hay diferencias significativas en el contenido de carbono orgánico con los usos de la tierra; sin embargo, existen diferencias significativas en el contenido de carbono orgánico con relación a su distribución en profundidad. En las muestras a profundidad se observó que existen mayor cantidad de carbono orgánico en los primeros 30cm, por lo que se recomienda integrar la reposición del suelo por la regeneración de montes, bosques y mantener un manejo adecuado. Se obtuvo el mapa temático de distribución espacial de las reservas de COS (RCOS), por interpolación mediante el método IDW. Se establece la cuantía de las reservas de carbono como línea base para futuras evaluaciones.

**Palabras Claves:** carbono orgánico del suelo, uso de la tierra, Aridisol.

## ABSTRACT

The presence and distribution of RCOS was evaluated in relation to land use and soil subgroups. The study was carried out in the Rio Verde UPSE Support Center, a representative area of the Zapotal river basin. Two types of sampling were carried out, spatial (0-30 cm; 100 observations) and vertical (0-10, 10-20, 20-40, 40-60 and 60-100 cm; 10 observations). The percentage of soil organic carbon (COS; by wet combustion) and the carbon stock (RCOS) were determined by extrapolation of standard stock curves, constructed from spline function fits. Values ranging from 0.00 to 29.41 Mg/ha of soil at 30 cm depth were found, it is concluded that the soils of the research area of the basin have low organic matter content, as a result of climatic conditions. The Kruskal-Wallis statistical analysis determined that there are no significant differences in organic carbon content with land use; however, there are significant differences in organic carbon content in relation to its distribution at depth. In the depth samples, it was observed that there is a greater amount of organic carbon in the first 30 cm, so it is recommended that soil replenishment be integrated into the regeneration of woodlands and forests and that adequate management be maintained. The thematic map of spatial distribution of COS reserves (RCOS) was obtained by interpolation using the IDW method. The amount of carbon stocks was established as a baseline for future evaluations.

***Key words:*** soil organic carbon, land uses, Aridisol.

## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD**

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado “**RESERVA DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS DE LA CUENCA ZAPOTAL EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA**” y elaborado por **Gabriela Estefanía Peña Alcívar**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

### **Transferencia de derechos autorales.**

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

Handwritten signature of Gabriela Peña Alcívar in blue ink, written over a horizontal line.

Firma del estudiante



# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
Problema Científico: .....	2
Objetivos .....	2
Objetivo General .....	2
Objetivos Específicos.....	2
Hipótesis .....	2
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	3
1.1 El Suelo .....	3
1.1.1 Suelo de la provincia de Santa Elena .....	3
1.2 Ciclo del Carbono .....	4
1.2.1 Carbono orgánico .....	4
1.2.2 Formas de carbonos en el suelo.....	5
1.2.3 Fracciones de la Materia Orgánicas del Suelo .....	5
1.2.4 Acumulación y Mineralización de la Materia Orgánica del Suelo.....	5
1.2.5 Factores que influyen en la humificación.....	6
1.2.6 Captura y Fijación de Carbono en el Suelo .....	6
1.3 Método de Determinación del Carbono .....	7
1.3.1 Combustión seca mediante analizador elemental .....	7
1.3.2 Método Walkley-Black (oxidación húmeda) .....	7
1.3.3 Pérdida de carbono por Ignición .....	8
1.3.4 Análisis elemental del Carbono.....	8
1.4 Cambios de Uso de la tierra y Reserva de Carbono.....	9
1.4.1 Determinación de la Reserva de Carbono del Suelo .....	9
1.5 Evaluación de Efectos de los Cambios de Uso de la Tierra por el desplazamiento de la frontera agrícola .....	10
1.5.1 Uso de suelo .....	10
1.5.2 Cobertura vegetal .....	10
1.5.3 Procesos de cambio de uso de suelo.....	11
1.6 Características de la Cuenca del Río Zapotal.....	11
1.6.1 Localización Geográfica .....	11
1.6.2 Hidrografía .....	12
1.6.3 Geología .....	12
1.6.4 Características climáticas de la Cuenca Zapotal .....	12
1.6.5 Características de los suelos de la cuenca Zapotal .....	13
1.7 Utilización de un Sistema de Información Geográfica .....	13
1.8 Método de Interpolación .....	13
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS .....	14

2.1 Caracterización del área de estudio.....	14
2.1.1 Características climáticas del Centro de Apoyo Río Verde.....	15
2.1.2 Características de los suelos .....	15
2.2 Material biológico y condiciones experimentales.....	15
2.2.1 Usos de la tierra.....	15
2.2.2 Conservación Forestal .....	16
2.2.3 Agrícola.....	16
2.2.4 Esquema de muestreo .....	16
2.2.5 Muestreo 0 - 30 cm.....	17
2.2.6 Muestreo vertical.....	18
2.2.7 Tamizado.....	19
2.3 Materiales, equipos e insumos .....	19
2.3.1 Asignación de curvas patrones a perfiles de suelos.....	19
2.3.2 Clasificación taxonómica .....	20
2.4 Diseño Experimental.....	20
2.5 Conducción del experimento .....	21
2.5.1 Manejo del Experimento .....	21
2.5.2 Selección del sitio.....	21
2.6 Parámetros evaluados.....	21
2.6.1 Determinación del Carbono y Reserva de Carbono .....	21
2.6.2 Selección del método de interpolación.....	23
2.6.3 Generación del mapa .....	23
2.7 Análisis estadístico de los resultados .....	23
2.7.1 Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.....	23
2.7.2 Prueba Estadística Friedman .....	23
2.7.3. Análisis de la Distribución Espacial.....	24
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>25</b>
3.1 Características del área de estudio en relación con la presencia y distribución de Reserva de carbono orgánico .....	25
3.2 Análisis estadístico de Reserva de carbono orgánico a una profundidad de 30 cm... 27	27
3.3 Análisis de la estructura espacial de la Reserva de carbono orgánico a una profundidad de 30 cm.....	28
3.4 Análisis estadístico descriptivo de la RCOS a 30 cm con relación al Subgrupo del suelo .....	30
3.4.1 Subgrupo Arenic Haplargids .....	30
3.4.2 Subgrupo de suelo: Fluventic Haplocambids .....	32
3.5 Análisis estadístico descriptivo de carbono orgánico con relación al uso del suelo .. 34	34
3.5.1 Uso del suelo: Forestal .....	34
3.5.2 Uso del suelo: Agrícola .....	36
3.6. Prueba de contraste para los subgrupos y usos de suelo .....	38
3.7. Mapa temático de la reserva de carbono orgánico (RCOS, kg/m <sup>2</sup> ) a 30 cm de profundidad .....	40

3.8. Análisis de la estructura vertical y estadística de carbono orgánico en diferentes profundidades.....	43
3.9 Propuestas de sitios promisorios para la conservación y secuestro del carbono.....	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	49
Conclusiones .....	49
Recomendaciones .....	49
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50
ANEXOS .....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Almacenamiento de carbono orgánico de los suelos .....	9
<b>Tabla 2.</b> Características del suelo de Río Verde según INIAP, 2016 .....	15
<b>Tabla 3.</b> Subgrupos de suelos para Curvas Patrones basados en la Clave Taxonómica 2006 .....	20
<b>Tabla 4.</b> Orden y Suborden de la Curva Patrón según la Clave Taxonómica de Suelos ....	20
<b>Tabla 5.</b> Resumen estadístico de RCOS (kg/ha) en relación con el uso y el subgrupo de suelo.....	27
<b>Tabla 6.</b> Distribución de frecuencia de RCOS (kg/ha) a 30 cm en el subgrupo de suelo: Arenic Haplargids .....	30
<b>Tabla 7.</b> Distribución de frecuencia de RCOS en el subgrupo de suelo: Fluventic Haplocambids .....	32
<b>Tabla 8.</b> Distribución de frecuencia de RCOS en el Uso de suelo: Forestal.....	34
<b>Tabla 9.</b> Distribución de frecuencia de RCOS en el Uso de suelo: Agrícola .....	36
<b>Tabla 10.</b> Prueba de Kruskal-Wallis para datos de carbonos a una profundidad de 0 a 30 cm, agrupados por Subgrupos de suelo. ....	38
<b>Tabla 11.</b> Prueba de Kruskal-Wallis para datos de RCOS a una profundidad de 0 a 30 cm, agrupados por Usos de suelo. ....	39
<b>Tabla 12.</b> Prueba de Friedman para el análisis de carbono orgánico a diferentes profundidades .....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS.

<b>Figura 1.</b> Zona de estudio: Centro de Producción y Practicas Río Verde .....	14
<b>Figura 2.</b> Distribución de puntos de muestreo (horizontal) por profundidad para el establecimiento de funciones patrones de distribución de carbono y RCOS.....	17
<b>Figura 4</b> Análisis de porcentaje y orientación de la pendiente .....	26
<b>Figura 5.</b> Histogramas, densidad de probabilidades y boxplot de carbono orgánico y la reserva de carbono orgánico a 30 cm de profundidad, Río Verde, cuenca del río Zapotal, Santa Elena .....	28
<b>Figura 6.</b> Distribución espacial de la reserva de carbono orgánico del suelo (kg/ha) a 30 cm de profundidad, variación en el eje X de coordenadas, variación en el eje Y de coordenadas, y representación 2,5D .....	29
<b>Figura 7.</b> Histograma de frecuencia de RCOS en el Subgrupo de suelo: Arenic Haplargids. ....	31
<b>Figura 8.</b> Histograma de frecuencia de en el subgrupo de suelo: Fluventic Haplocambids. ....	33
<b>Figura 9.</b> Histograma de frecuencia de RCOS en el Uso de suelo: Forestal .....	35
<b>Figura 10.</b> Histograma de frecuencia de RCOS en el Uso de suelo: Agrícola .....	37
<b>Figura 11.</b> Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de RCOS (kg/ha) en los subgrupos de suelo.....	38
<b>Figura 12.</b> Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de RCOS en los Usos de suelo. ....	39
<b>Figura 13.</b> Semivariograma de la reserva de carbono orgánico (Mg/ha) a 30 cm, Río Verde, cuenca del río Zapotal, Santa Elena.....	40
<b>Figura 14.</b> Representación del mapa temático de RCOS (Mg/ha) a profundidad de 0 a 30 cm en el Centro de Producción y Prácticas Rio Verde, cuenca del río Zapotal, Santa Elena. Escala 1:5000.....	41
<b>Figura 15.</b> Representación del mapa de reservas de carbono del suelo (RCOS; kg/m <sup>2</sup> ) de la Cuenca Río Zapotal (áreas de interés agropecuario). ....	42
<b>Figura 16.</b> Función Patrón Carbono y Reserva de Carbono .....	45
<b>Figura 17.</b> Función Patrón Carbono y Reserva de Carbono en la profundidad por subgrupo de suelo. GEFJ – Fluventic Haplocambids.....	46
<b>Figura 18.</b> Mapa de uso de la tierra del Centro de Producción y Prácticas Río Verde	47

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Figura 1A.</b> Toma de muestras, forma espacial .....	55
<b>Figura 2A.</b> Muestreo Vertical .....	55
<b>Figura 3A.</b> Calculo de COS Horizontal.....	56
<b>Figura 4A.</b> Calculo de COS vertical.....	57
<b>Figura 5A.</b> Distribución de frecuencia de RCOS en el Uso de suelo: Forestal .....	58
<b>Figura 6A.</b> Distribución de frecuencia de RCOS en el Uso de suelo: Agrícola.....	58

# INTRODUCCIÓN

La pérdida de fertilidad y biodiversidad del suelo está relacionada con la pérdida de la materia orgánica, según (FAO, 2020), el 80% del carbono en el suelo ya se ha perdido en áreas con gran producción agrícola debido al arado destructivo que reducen los niveles de carbono. Las sustancias orgánicas ricas en carbono confieren al suelo su capacidad de retención de agua, así como su estructura y fertilidad. Por lo tanto, es esencial mantener o incorporar materia orgánica al suelo para conservar su fertilidad (Robert *et al.*, 2002).

Es evidente que la erosión, el crecimiento demográfico y los cambios en el uso del suelo para el desarrollo agrícola y ganadero han llevado a una degradación acelerada del suelo en Ecuador (Baquero, 2016), siendo las zonas costeras las más afectadas por ser zonas áridas y semiáridas con fuerte meteorización y menor contenido de materia orgánica (Narváez, 2020). La Península de Santa Elena es semiárida y presenta suelos con problemas de salinidad, lo que indica baja productividad y mala calidad del suelo (Proaño y Briones, 2008).

En la cuenca del río Zapotal, predominan los suelos de los órdenes taxonómicos del Aridisol y del Vertisol, la mayoría de ellos son a nivel del subgrupo Arenic Haplargids, Typic Haplotorrerts, Fluventic Haplocambid (Soil Taxonomy, 2006). Son suelos con profundidades efectivas que varían entre 10 y 50 cm, siendo este factor limitante para ciertos cultivos (Mapa de órdenes de suelos del Ecuador, 2017). Los contenidos de materia orgánica son bajos en todos los perfiles estos parámetros son indicadores de la baja fertilidad según Espinosa y Lima (2019).

La presente investigación busca determinar la presencia y distribución de las reservas de carbono orgánico de los suelos a 30 cm de profundidad en un sitio representativo de la cuenca Zapotal de la provincia de Santa Elena. Además, el propósito de esta investigación es evaluar la influencia del uso de la tierra en la reserva de carbono orgánico. Este proyecto brindará información útil en la toma de decisiones para la implementación de proyectos agrícolas en la zona y establecerá la línea base para futuras evaluaciones.

**Problema Científico:**

¿En qué medida el uso de la tierra influye en la reserva del carbono orgánico del suelo y su distribución en la cuenca Zapotal?

**Objetivos*****Objetivo General:***

Evaluar la influencia del uso de la tierra en la reserva de carbono orgánico del suelo en la cuenca Zapotal, provincia de Santa Elena.

***Objetivos Específicos:***

1. Determinar la presencia y distribución del carbono orgánico en un sitio representativo de la cuenca Zapotal de la Provincia de Santa Elena.
2. Valorar la influencia del uso de la tierra en la distribución de la reserva de carbono orgánico.
3. Proponer sitios promisorios para la conservación y el secuestro de carbono orgánico en la cuenca Zapotal.

**Hipótesis:**

El uso de la tierra influye de manera significativa en la reserva y distribución del carbono orgánico en la Cuenca Zapotal.



# **CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## **1.1 El Suelo**

Martínez *et al.* (2008) consideran que el suelo es la parte superior de la tierra y sirve como medio en el que crecen las plantas. Es capaz de proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas y el almacenamiento de agua de lluvia, dándosela a la planta cuando la necesita. Se compone de una fase sólida (donde encontramos materia orgánica), fases líquidas y gaseosas. La variedad de organismos que viven en el suelo es enorme.

El desempeño agrícola del suelo con uso exhaustivo de arado promueve la liberación de C hacia la atmósfera, en lo que la utilización conservacionista beneficia la acumulación de carbono en maneras orgánicas dentro del suelo. Un suelo adecuado tiene 4 elementos en proporciones bien definidas: material mineral (45%), materia orgánica (5%), aire (25%) y agua (25%) según Acosta (2012). El suelo está formado primordialmente de materiales minerales.

### ***1.1.1 Suelo de la provincia de Santa Elena***

La provincia de Santa Elena posee seis clases de suelo de acuerdo con la categorización taxonómica del Departamento de Agricultura de USA. El suelo más exuberante en la zona de análisis es el Aridisol. Se localizan en las cuencas altas de los ríos Zapotal y Javita, y del valle del río Valdivia, que cubren la mayoría del área de cada una de las cuencas del norte (Espinosa, 2019).

En los suelos del Centro de Producción y Prácticas Río Verde se destaca la clase textural franco-arcillo-arenosa, que está clasificados en el Grupo I de textura y la Clase IV de capacidad de uso de las tierras (Mapa de órdenes de suelos del Ecuador, 2017). Poseen suelos con profundidades efectivas que van a partir de 10 y 50 cm, este componente es limitante para ciertos cultivos; el drenaje, tanto superficial como interno, se cataloga como bueno a moderado, lo que concuerda con las clases texturales que predominan (Espinosa y Lima, 2019).

## **1.2 Ciclo del Carbono**

Según Guerrón (2020), en las plantas, el ciclo del carbono empieza con la fijación del dióxido de carbono atmosférico por medio de procesos fotosintéticos llevados a cabo por plantas y determinados microorganismos. En este proceso, el dióxido de carbono y el agua reaccionan para conformar carbohidratos y simultáneamente liberan oxígeno a la atmósfera.

Las plantas y los animales cuando mueren son descompuestos mecánicamente y transformados por la fauna edáfica y degradados por microorganismos en el suelo, lo cual provoca que una parte del carbono de sus tejidos se oxide a dióxido de carbono y regrese a la atmósfera, otra parte se reduce y forma compuestos húmicos más o menos complejos gracias a la actividad microbiana. El proceso de humificación es uno de los más importantes en la estabilidad de los ecosistemas terrestres, el tiempo de descomposición del humus varía con el clima, el tipo de vegetación y la calidad de los aportes orgánicos caracterizado por un tiempo de vida media en condiciones naturales, la actividad antrópica influye de manera decisiva en las condiciones de humificación y en el balance del carbono edáfico modificando las tasas de descomposición (Rosa, 2008).

### **1.2.1 Carbono orgánico**

Según Orjuela (2018), el Carbono Orgánico del Suelo (COS), es la fuente de nutrición para la mayoría de los microorganismos que habitan en el suelo, que a su vez sostiene a las plantas superiores que existen como parte de sistemas ecológicos terrestres más complejos.

Es el componente principal de la materia orgánica, la misma que afecta la reacción del suelo (pH), debido a que en su composición química puede afectar el grado de acidez, cambio de base y contenido de nitrógeno total, ya que los grupos de carboxilo y compuestos fenólicos que se comportan como los ácidos débiles tienden a disminuir el pH del suelo (Martínez *et al.*, 2008).

Orjuela (2018) plantea que el COS está directamente relacionado con la agregación de partículas: cuanto más grandes son los agregados y su estabilidad, mayor es el contenido de carbono del suelo. Sin embargo, a medida que aumenta la densidad aparente, aumenta la compactación, disminuye el área específica del suelo, lo que daña el desarrollo de las raíces y da como resultado rendimientos más bajos. Existe una relación entre la densidad del suelo y el contenido de materia orgánica.

### ***1.2.2 Formas de carbonos en el suelo***

La fertilidad de los suelos es dependiente de la MO y, en específico, del carbono que añade, debido a que inciden de manera positiva sobre diversas características de estos suelos, así como sobre su funcionalidad.

Martínez *et al.* (2008) plantean que las principales fuentes de carbono para el suelo son los residuos vegetales, los residuos de animales y microorganismos que también contribuyen al carbono orgánico del suelo, pero en menor cantidad. De acuerdo Iglesias (2021) y con (Martínez *et al.*, 2008) el secuestro de carbono en el suelo es la remoción del carbono de la atmósfera por medio de la fotosíntesis de las plantas y su almacenamiento como formas de materia orgánica estables y de extensa vida en el suelo.

### ***1.2.3 Fracciones de la Materia Orgánicas del Suelo***

Según Julca Otiniano *et al.* (2006), la transformación que padecen los restos vegetales y animales en el suelo es provocada por la acción de diversos microorganismos, así como de diversos representantes de la micro fauna edáfica como son los ácaros, insectos, lombrices, etc. Estas desintegraciones mecánicas tienen la posibilidad de aparecer bajo la acción directa de las precipitaciones atmosféricas, de los cambios de temperatura, etc.

### ***1.2.4 Acumulación y Mineralización de la Materia Orgánica del Suelo***

Según Julca Otiniano *et al.* (2006), la mineralización es la transformación de la materia orgánica del suelo por medio de un proceso que conduce a la formación de sales minerales, en compuestos asimilables para las plantas.

La mineralización de N tiende a incrementarse una vez que la humedad del suelo está próxima a la capacidad de campo y disminuye con el decrecimiento de la humedad. La actividad de los organismos del suelo sigue un modelo de desarrollo estacional, así como, además, un modelo de comportamiento diario. No todos los organismos muestran actividad al mismo tiempo (Reboratti, 2015).

### ***1.2.5 Factores que influyen en la humificación***

Los factores que influyen en el proceso de humificación tienen la posibilidad de clasificar en internos y externos. Los Factores internos están determinados por la naturaleza de los residuos que se incorporan tales como: carbohidratos, ligninas, proteínas, etc. Los Factores externos están relacionados al medio como son: Suelo y el Clima (Carvajal y Pabón, 2016). Agüero (2014) manifiestan que las temperaturas medias del suelo, con correcta humedad, incrementa la acumulación de humus. Cuando aumenta la temperatura, la mineralización se aumenta y reduce la síntesis de humus. Un pH cercano al neutro, con una proporción suficiente de elementos alcalinotérreos optimiza la acumulación de humus.

### ***1.2.6 Captura y Fijación de Carbono en el Suelo***

El aumento del carbono orgánico en el suelo de los sistemas de cultivo depende del aporte y características del material orgánico agregado al suelo y su razón de descomposición por microorganismos (Martínez *et al.*, 2008).

El contenido de materia orgánica del suelo es generalmente más bajo donde la degradación es más severa. La proporción de carbono que podría ser capturada mediante la rehabilitación de tierras degradadas va a ser, por consiguiente, fundamental en superficies donde es técnica y socioeconómicamente una alternativa posible (Robert *et al.*, 2020).

Las ventajas incluirán el mejoramiento de las características químicas, la biodisponibilidad de recursos -mayor fertilidad- y la resiliencia contra la degradación física, en especial de la erosión (Martínez *et al.*, 2008). Por consiguiente, el secuestro de carbono contribuirá a restablecer la calidad de los suelos degradados.

### **1.3 Método de Determinación del Carbono**

#### ***1.3.1 Combustión seca mediante analizador elemental***

El carbono es el constituyente común en toda materia orgánica. La mayor parte de la energía que recibe la fauna y la flora en el suelo proviene de la oxidación de compuestos orgánicos. El estudio y cuantificación del carbono total del suelo es necesario para estimar el contenido de materia orgánica del suelo, que es un parámetro efectivo para evaluar la productividad. Este análisis se puede utilizar para monitorear las reservas de carbono del suelo y evaluar el papel y la eficacia del secuestro de carbono en la mitigación del calentamiento global según Tech (2019).

Kloster *et al.* (2016) argumentan que el procedimiento de combustión seca establece el carbono total, el cual representa cada una de las maneras químicas de carbono en el suelo, se usa un analizador químico automático, habitualmente conocido como autoanalizador. Los beneficios del uso son el incremento de la precisión y su versatilidad. Este procedimiento está con base en el inicio de combustión seca Dumas. La muestra es quemada a alta temperatura (entre 900 y 1000 °C o 1400 y 1600 °C) en una atmósfera de oxígeno puro.

#### ***1.3.2 Método Walkley-Black (oxidación húmeda)***

De acuerdo con Bautista y Hernández (2021), este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo mediante una solución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se desprende al mezclarlo con ácido sulfúrico concentrado. Después de algún tiempo de espera, la mezcla se diluye, se añade ácido fosfórico para evitar la interferencia del  $\text{Fe}^{3+}$ , y el residuo de dicromato de potasio se titula con sulfato ferroso (técnica volumétrica) o se construye una curva patrón de glucosa.

Existen las dos vías de cuantificación analítica indirecta: la valoración volumétrica o titulación posee una gigantesca virtud con respecto al estudio gravimétrico: su velocidad y por espectrofotometría UV/Visible.

### ***1.3.3 Pérdida de carbono por Ignición***

Barrezueta *et al.* (2020) plantean que el procedimiento de pérdida de peso por ignición se usa para estimar la materia orgánica del suelo (MOS), sin embargo tiene sus ventajas y limitaciones en comparación con otros procedimientos que se calculan a partir del carbono orgánico (CO). Para establecer la MOS por el procedimiento gravimétrico, las muestras se secan al horno a 105°C a lo largo de 3h, se enfrían en una desecadora y se deben pesar previo a ser calcinadas a 350, 430 y 600°C a lo largo de 2h en un horno de mufla. No es aconsejable hacer este método en suelos con presencia de carbonatos, ya que la combustión llevaría a una sobreestimación de la MOS.

### ***1.3.4 Análisis elemental del Carbono***

Según Álvarez (2016), el estudio elemental investiga cuáles son los elementos de una sustancia pura y la proporción en que se encuentran combinados. Es cualitativo y cuantitativo: El estudio cuantitativo tiene por objeto decidir las proporciones en que se encuentran combinados los elementos de una sustancia dada. Este análisis proporciona la composición química en cuanto a los elementos que lo conforman como es el: Carbono, Oxígeno, Nitrógeno, Hidrógeno y azufre.

## 1.4 Cambios de Uso de la tierra y Reserva de Carbono

Santos *et al.* (2012) indican que el uso del suelo se refiere al tipo de actividad que se desarrolla en un terreno, como bosque, tierra cultivable o pastizal. Es uno de los principales impulsores del cambio climático global, que interrumpe los ciclos biogeoquímicos como el agua y el carbono. También es una de las principales razones de la pérdida de biodiversidad en todo el mundo. y, sin duda, son el medio por el cual la sociedad experimenta cambios en el medio ambiente (Cusme, 2021).

**Tabla 1.** Almacenamiento de carbono orgánico de los suelos.

<b>Orden</b>	<b>Carbono Mg/ha</b>	<b>Área 1000 Km<sup>2</sup></b>	<b>Almacén de COS</b>
<b>Histosoles</b>	2050	1745	357
<b>Andisoles</b>	310	2552	78
<b>Spodosoles</b>	140	4878	71
<b>Molisoles</b>	130	5480	72
<b>Vertisoles</b>	60	3287	19
<b>Ultisoles</b>	90	11330	105
<b>Alfisoles</b>	70	18283	127
<b>Oxisoles</b>	100	111772	119
<b>Aridisoles</b>	30	31743	110
<b>Inceptisoles</b>	160	21580	352
<b>Entisoles</b>	100	14921	148
<b>Otros</b>	20	7644	18
<b>Total</b>	3170	135215	1576

Fuente: Martínez *et al.*, (2008)

Los suelos que acumulan la mayor cantidad de carbono orgánico corresponde al orden Histosol que se observa en la Tabla 1. Aunque el orden Histosol es el que tiene menor superficie con respecto a otros órdenes, es el que tiene la mayor relación cantidad/superficie de COS.

### 1.4.1 Determinación de la Reserva de Carbono del Suelo

Lancho (2013) menciona que la materia orgánica forma el reservorio de carbono edáfico; su cooperación con las moléculas, que tienen una estructura diferenciada y características físicas, químicas, enzimáticas, estructurales y biológicas, la hacen responsable de las principales actividades en las que se incluye la cooperación de los seres vivos, como elemento de formación del suelo que ayuda a la conservación, fertilidad, productividad y biodiversidad.

## **1.5 Evaluación de Efectos de los Cambios de Uso de la Tierra por el desplazamiento de la frontera agrícola**

Los cambios en el uso de la tierra se están produciendo en gran medida en respuesta a las presiones del rápido crecimiento de la población en todo el mundo, con diversas implicaciones ambientales. Sin embargo, el crecimiento urbano y los cambios en el uso/cobertura del suelo son procesos que forman parte del desarrollo urbano (Cotler *et al.*, 2015).

Según Muñoz *et al.* (2018), los cambios en el uso del suelo están provocando principalmente un crecimiento acelerado de la población a nivel mundial, lo que tiene diversos impactos en el medio ambiente. En la actualidad, con el aumento de la densidad de población, los sistemas naturales se han desestabilizado, convirtiendo la agricultura migratoria en una causa posterior o inmediata que ha llevado a la deforestación, pérdida de hábitat, biodiversidad y degradación de los recursos naturales por la aceleración de los procesos de erosión, la pérdida de nutrientes y la reducción de la función de retención de agua.

Los procesos de deforestación y fragmentación de los bosques inciden en el aumento del riesgo de pérdida de biodiversidad, es posible realizar un grupo de propuestas que parten desde el inicio del mantenimiento de los matorrales, ya que esté en condiciones semiáridas lleva a cabo un papel defensor tan eficaz o más que el bosque, así como reordenar paulatinamente la zona de predominación. También se sugiere que las actividades de integración de cultivos se realicen mediante labranza limitada o nula, lo que ayuda a conservar el suelo y el agua (Reyes, 2020).

### ***1.5.1 Uso de suelo***

El análisis de uso del suelo es un procedimiento mediante el cual se determina la distribución de varios usos del suelo y los cambios que se pueden desarrollar para un mejor aprovechamiento. El uso del territorio es en gran medida el uso humano del suelo, ya sea con fines agrícolas, urbanos o forestales (García, 2012).

### ***1.5.2 Cobertura vegetal***

Se denomina cobertura vegetal a la cubierta de vegetación que existe en una zona determinada del territorio y depende de las características físicas de diversos sitios.



Según Origgi (1993), la cubierta vegetal se compone de diferentes niveles de elevación, como árboles, arbustos y pastos. Este revestimiento es capaz de capturar el agua de lluvia y extender el flujo de las corrientes de agua para uso agrícola.

### ***1.5.3 Procesos de cambio de uso de suelo***

Para comprender el fenómeno del cambio de usos de suelos, es importante describir en detalle el proceso correspondiente a la conformidad para mantener una perspectiva más amplia. (Seingier y Espejel, 2009) mencionan que existen dos procesos dentro de los cambios de uso que son:

#### **❖ Deforestación**

La deforestación pertenece a los principales inconvenientes del ambiente, esta tala masiva de los árboles empieza a deteriorar la existencia de la diversidad biológica en el mundo, perjudica en gigantes proporciones la biodiversidad (García Marín, 2016).

#### **❖ Fragmentación**

La fragmentación puede ser el resultado de procesos naturales que cambian el medio ambiente, perturbaciones y procesos de sucesión resultantes, produciendo un mosaico de hábitats con sociedades diversas, manifestado principalmente en la reducción del área total de hábitat disponible (Fahrig, 2003).

## **1.6 Características de la Cuenca del Río Zapotal**

### ***1.6.1 Localización Geográfica***

Según Ayala (2014) la cuenca del río Zapotal engloba una superficie aproximada de 1070 km<sup>2</sup>, en la región litoral o Costa del Ecuador, que pertenece a la provincia de Santa Elena, limita por el Norte la cuenca del río Javita, al Sur por el estuario del río Guayas, al Este por el Golfo de Guayaquil y al Oeste por la comuna Baños de San Vicente.

### ***1.6.2 Hidrografía***

Pin (2015) plantea que la cuenca hidrográfica del río Zapotal está formada por pequeños ríos y pequeños arroyos, poco profundos, angostos y estacionales, que desembocan en el Océano Pacífico, cuyo caudal depende de la estación invernal regional y de la confluencia de pequeños afluentes que se originan en la parte alta de las montañas de la cordillera Chongon-Colonche delimitando la zona de influencia de la cuenca del río Zapotal con una superficie de 1034.48 km<sup>2</sup>.

### ***1.6.3 Geología***

Ayala (2014) indica que la cuenca se define geomorfológicamente como una meseta costera representada por una planicie o llanura semiondulada. Se caracteriza por las siguientes formaciones geológicas: Conjunto Sacarosa (Paleoceno-Eoceno Medio). Consta de 3 unidades principales: Estancia (inferior), Chanduy (intermedio) y Engabao (superior).

### ***1.6.4 Características climáticas de la Cuenca Zapotal***

Ayala (2014) asegura que los principales factores que influyen en las condiciones climáticas de la cuenca Zapotal son: la corriente fría de Humboldt, las corrientes cálidas de El Niño y el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical. La corriente cálida de El Niño se mueve al sur de Panamá a lo largo de la franja costera y cerca de la Península de Santa Elena y es influenciada por la corriente fría de Humboldt, creando una corriente de aire húmedo que pierde humedad a medida que avanza hacia el interior, principalmente por efecto de la topografía.

### ***1.6.5 Características de los suelos de la cuenca Zapotal***

La cuenca Zapotal en su conjunto ocupa un área de 12297,9 ha, que cuenta como centro administrativo la parroquia Chanduy del cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena.

La profundidad real varía de superficial a profunda según la ubicación. Los niveles de fertilidad varían de bajos a altos, siendo más altos principalmente en ambientes aluviales; en terrazas bajas y cauces, terrazas medias y valles fluviales. Tienen un desarrollo pedológico emergente. Se caracteriza por la presencia de dos grandes clases de suelos; como Aridisol y Vertisol donde Aridisol tiene una cobertura más amplia (Narváez, 2020).

### **1.7 Utilización de un Sistema de Información Geográfica**

Generalmente, un Sistema de Información (SI) se basa en la alianza de información digital y herramientas informáticas para administrarla con fines específicos dentro de una organización, es un instrumento que permite combinar bases de datos espaciales y utilizar varios métodos de exploración de datos.

Por consiguiente, cualquier actividad relacionada con el espacio, puede beneficiarse del trabajo con SIG. Se han convertido en la tecnología que posibilita no solo generar, ordenar, y manipular en forma simultánea bases de datos gráficas y descriptivas (Tomalá, 2020), sino que muestran una secuencia de maneras orientadas hacia la investigación, con el propósito de convertirla en recursos de juicio para contribuir a la toma de decisión (Sáenz Saavedra, 1992).

### **1.8 Método de Interpolación**

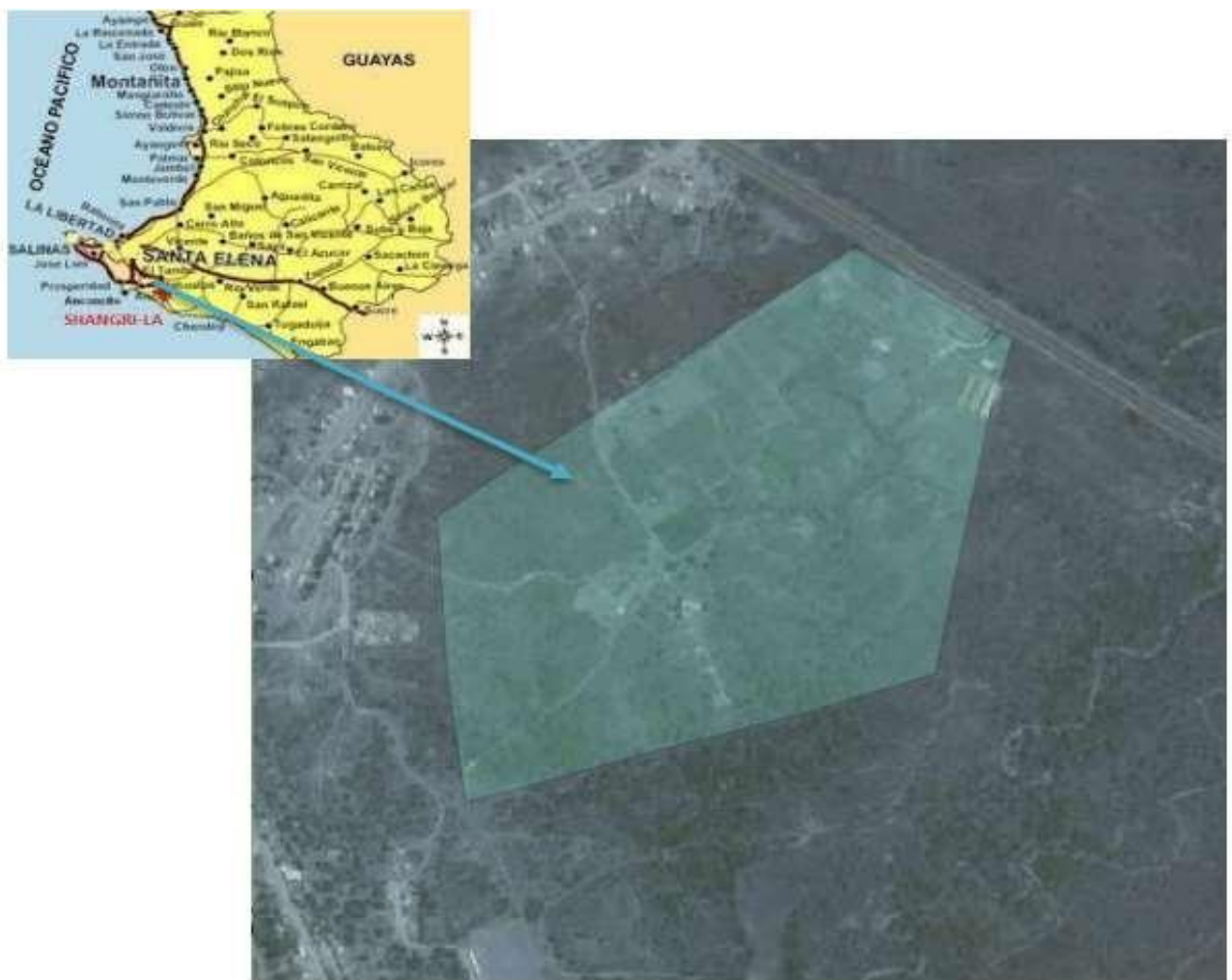
La interpolación de datos espacial es una sección de la geo estadística que se fundamenta en la estimación en localizaciones no medidas de una variable espacial a partir de otros valores cuyo valor es conocido (Reyes, 2020).

El objetivo primordial de la interpolación es generar información en sitios no medidos a partir de datos incompletos en el dominio espacial, a fin de generar mapas temáticos, que muestren la conducta espacial de las variables investigadas, es de amplia aplicación en el estudio de suelos (Narváez, 2020).

## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Caracterización del área de estudio

El Centro de Producción y Prácticas Río Verde de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), está localizado en la comunidad Río Verde, a 25 km del cantón Santa Elena, a una elevación de 54 msnm aproximadamente, con topografía plana y pendiente mayor al 1%; la zona total es de 40 ha. Sus coordenadas geográficas centrales son: Latitud-2.304865 y Longitud-80.698966 (Tomalá, 2019). Por el alto grado de similitud geofísica que tiene con respecto a su cuenca y por las facilidades de ingreso y permisos. El presente trabajo se realizó en las instalaciones del Centro de Producción y Prácticas de Río Verde de la UPSE.



*Figura 1.* Zona de estudio: Centro de Producción y Practicas Río Verde. Fuente: Google maps

### **2.1.1 Características climáticas del Centro de Apoyo Río Verde**

La comuna de Río Verde se caracteriza por la presencia de dos estaciones a lo largo de todo el año, la estación lluviosa que comienza desde diciembre hasta abril con precipitaciones entre 125 a 150 mm/ anuales y la estación seca, que inicia desde mayo hasta noviembre con lluvias ligeras de 0,2 mm/mes que acompañan a la corriente gélida de Humboldt (Narváez, 2020). No hay suficiente agua en el sitio para el riego de cultivos, solo hay un pozo y un reservorio.

**Tabla 2.** Características del suelo de Río Verde según INIAP, 2016.

<b>Clase textural</b>	<b>Franco -Arenoso</b>
Arena	78%
Limo	12 %
Arcilla	10 %
pH	6.3
Fósforo	46 µg/ml
Potasio	477 µg/ml
Materia Orgánica	1.00 µg/ml

Fuente: INIAP (2016)

### **2.1.2 Características de los suelos**

Los suelos del Centro de Producción y Prácticas Río Verde están determinados por la clase textural franco-arcillo-arenosa, los cuales pertenecen al Grupo I de textura y la clase IV de capacidad de uso de las tierras. Son suelos con una profundidad efectiva de 10 y 50 cm, lo cual es un factor limitante para algunos cultivos; el drenaje, tanto superficial como interno, se clasifica como bueno o moderado, dependiendo de las clases texturales predominantes. No hay presencia de piedras, ni rocosidad (Espinosa y Lima, 2019).

## **2.2 Material biológico y condiciones experimentales**

### **2.2.1 Usos de la tierra**

El Centro de Producción y Prácticas Río Verde de la UPSE posee un área aproximada de 50 ha, las cuales son utilizadas para diversas actividades como: agricultura, ganadería menor, conservación forestal e infraestructura.

### **2.2.2 Conservación Forestal**

El área de conservación forestal engloba aproximadamente 34 ha, caracterizadas por presentar una vegetación tropical semidesértica, árboles, arbustos, hiervas y especies xerofitas. Las especies observadas durante el muestreo incluyeron: el muyuyo (*Cordia lutea*), el algarrobo (*Ceratonia siliqua L.*), el cascol (*Libidibia corimbo*), el ciruelo (*Prunus domestica*), cactus (*Acanthocalycium sp.*).

### **2.2.3 Agrícola**

El área destinada a usos agrícolas tiene una extensión de alrededor de 16 ha, la topografía es de pequeñas pendientes, frecuentemente se siembra cebolla (*Allium cepa*), maíz (*Zea mays*), pimiento (*Capsicum annum*), sandía (*Citrullus lanatus*), tomate (*Solanum lycopersicum*), existen plantaciones de limón (*Citrus lemon*), mango (*Mangifera indica*), cacao (*Theobroma cacao*) y plátano (*Musa paradisiaca*) con sistema de riego por goteo y se manejan con fertilización química, presenta una cubierta de hojarasca en el suelo y áreas de sombra debido a la presencia de varios árboles.

### **2.2.4 Esquema de muestreo**

El esquema de muestreo cumple con los objetivos del proyecto al que acredita este análisis, dirigido a la estimación de las reservas de carbono orgánico.

Como parte del proyecto, se realizaron dos muestreos con la intención de investigar el reparto espacial del carbono orgánico a grado de finca y su cambio en profundidad. Para la selección de los sitios de muestreo se empleó el método aleatorio, teniendo en cuenta el tipo de uso.

El muestreo superficial (0 – 30 cm) en la zona de uso agrícola, y el muestreo en profundidad en sitios conservados con presencia de bosque tropical seco o en regeneración.

Para aquello, y de acuerdo con los objetivos, interesa la distribución horizontal de la RCOS en la zona de las raíces (muestreo superficial) y su distribución en profundidad (muestreo vertical).

### 2.2.5 Muestreo 0 - 30 cm

Se recogieron muestras de suelo al azar mediante una barrena edafológica, se seleccionó una pequeña cantidad de suelo de los primeros 30 cm de profundidad, y con una separación entre puntos de 50 a 100 m en áreas que tenga mayor frecuencia e intensidad de uso del suelo. Las muestras se colocaron en bolsas de plástico con la identificación respectiva. Se registraron características generales, coordenadas GPS y uso del suelo. El muestreo se realizó en un área total de 50 ha, que es la extensión territorial del Centro de Producción Prácticas y Río Verde, en los dos tipos de usos de la tierra: Agrícola, Forestal.

Se tomaron un total de 100 muestras horizontales, de las cuales se seleccionaron 95 por considerarse datos representativos en la población de estudio, estas muestras se colocaron en bolsas selladas con etiquetas para identificar la ubicación y el número de muestra; luego se trasladan al laboratorio de suelo y agua de la UPSE para su respectivo análisis.



**Figura 2.** Distribución de puntos de muestreo (horizontal) por profundidad para el establecimiento de funciones patrones de distribución de carbono y RCOS.

### 2.2.6 Muestreo vertical

Se seleccionó un sitio con vegetación no perturbada, con predominio del tipo de suelo Arenic Ustic Haplargids del Orden Aridisol.

El muestreo aleatorio compuesto se realizó en la zona natural de bosques secos de la cuenca del Zapotal, Río Verde. Este tipo de muestreo se basó en repetir el mismo punto tres veces en un radio de 1 m para profundidades de 0 a 10, 10 a 20, 20 a 40, 40 a 60 y 60 cm a 1 m. En total se obtuvo 10 muestras de suelo inalteradas en cilindros de  $100\text{ cm}^3$ , por cada punto marcado a una distancia mínima de 50 m.

Las muestras fueron pesadas, etiquetadas y colocadas en bolsas selladas apropiadas para su posterior traslado al laboratorio de suelo y agua para el análisis de la RCOS. Para el procesamiento de la información se usó el software Statgraphics Versión 6. 1, InfoStat y RStudio Versión 1. 2. 5033 (R Core Team, 2020). La ubicación de los puntos del muestreo se puede observar en la Figura 3.



**Figura 3.** Distribución de puntos de muestreo (vertical) por profundidad para el establecimiento de funciones patrones de distribución de carbono y RCOS.



### **2.2.7 Tamizado**

El secado de la muestra se hace al ambiente. Una vez este seco el material, se desmenuza, desglosando con mortero hasta obtener un material de aspecto uniforme que permita pasar por un tamiz de 2 mm, por lo que se debe separar las gravas o vidrio, elementos, que por lo general no debe suponer más del 5% de la masa total. Si superan este contenido, se deben pesar y expresar el resultado en % de grava. Cuando se obtiene el peso que queda en los tamices, el porcentaje que queda en cada tamiz se calcula de la siguiente manera.

$$\% \text{Retenido} = \frac{M_{\text{Tamiz}}}{M_1} \times 100\%$$

## **2.3 Materiales, equipos e insumos**

Para el desarrollo del análisis se empleó la documentación de los diferentes perfiles de suelo de la Península de Santa Elena, conseguidos de la información del “Proyecto de Generación de Geoinformación para la administración de la región Nacional a escala 1:25 000”. Además, se logró uso de curvas patrones generadas del proyecto “Propuesta de sitios promisorios para la conservación y secuestro de carbono en la Península de Santa Elena” para la estimación general de la distribución reserva de carbono.

### **2.3.1 Asignación de curvas patrones a perfiles de suelos**

Para la asignación de curvas patrones, en primer lugar, se organizó la información de archivos de los perfiles de suelo de la cuenca Zapotal perteneciente a Río Verde de la provincia de Santa Elena, en hojas de cálculo de Microsoft Office Excel.

Los subgrupos de Suelo a los que pertenecen las curvas patrones obtenidas en el Proyecto " Propuesta de sitios promisorios para la conservación y secuestro de carbono en la Península de Santa Elena" se presenta en la siguiente Tabla.

**Tabla 3.** Subgrupos de suelos para Curvas Patrones basados en la Clave Taxonómica 2006.

<b>Id</b>	<b>Código</b>	<b>Subgrupos</b>
1	GEFJ	Arenic Haplargids
2	GEFG	Ustertic Haplargids
3	GGDS	Fluventic Haplocambids
4	FDDF	Typic Haplotorrerts

Posteriormente, se establecieron los criterios de clasificación fundamentales para la asignación de curvas patrones a perfiles de suelos de la Cuenca.

### **2.3.2 Clasificación taxonómica**

En este criterio de clasificación se partió de la identificación a qué Orden y Suborden de la Clave Taxonómica de Suelos 2006 pertenece cada uno de los perfiles, donde se determinaron cuatro subgrupos de suelo como se muestra en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Orden y Suborden de la Curva Patrón según la Clave Taxonómica de Suelos.

<b>Id</b>	<b>Código</b>	<b>Curva patrón</b>
<b>1</b>	GEFG	Ustertic Haplargids
<b>2</b>	GEFJ	Arenic Haplargids
<b>3</b>	GGDS	Fluventic Haplocambids
<b>4</b>	FDDF	Typic Haplotorrerts

### **2.4 Diseño Experimental**

Se realizó un análisis estadístico exploratorio en el que se determinaron las tablas e histogramas de frecuencia, los estadísticos de posición y dispersión para el total de datos y los grupos formados. Por incumplimiento de los supuestos iniciales para el análisis de dispersión paramétrica.

Se utilizó la prueba no paramétrica de rango de Kruskal-Wallis para la comparación de las medianas entre los diferentes grupos poblacionales formados por la población de datos y la prueba no paramétrica de Friedman que permite comparar los contenidos de RCOS a diferentes profundidades en el Centro de Apoyo Río Verde de la UPSE.

## **2.5 Conducción del experimento**

### ***2.5.1 Manejo del Experimento***

La selección de los puntos de muestreo para el estudio de RCOS del suelo en la cuenca cumple con los criterios de muestreo aleatorio estratificado.

### ***2.5.2 Selección del sitio***

Para la selección de los sitios de investigación del proyecto se aplicó un método aleatorio estratificado, los criterios de estratificación en la selección de los sitios fueron:

- ❖ Delimitación de la cuenca. Mapa hidrogeológico (IEE, 2012).
- ❖ Subgrupo del suelo. Mapa Geopedológico. Proyecto de generación de información geográfica para la administración del Territorio Nacional a escala 1: 25000.
- ❖ El uso de suelo y vegetación (IEE, 2012).
- ❖ Muestreo vertical con el fin de analizar la distribución de la RCOS de la profundidad.

Para la selección de los sitios de muestreo y el procesamiento de información geográfica se utilizó el programa QGIS, versión LTR 3.4.0 Madeira (QGIS, 2019).

En la cuenca de la presente investigación se desarrolló en dos niveles de escalas, por una parte, la información colectada en el proyecto al nivel de finca (ver acápite de esquema de muestreo) y la información disponible en el Mapa Geopedológico (SIGTIERRAS, 2017), información de perfiles representativos de unidades geomorfológicas a una escala 1:25000.

## **2.6 Parámetros evaluados**

### ***2.6.1 Determinación del Carbono y Reserva de Carbono***

Se determina la MOS a partir del COS extraído por métodos analíticos de combustión húmeda (Tiurin y Walkley – Black), según la estimación  $\%COS = \%MO/1,724$ . No se tuvo en cuenta la capa de hojarasca, solamente el tipo mull o moder.

Para los perfiles (muestreo en profundidad) la RCOS se determinó según:

$$RCOS = \sum_{i=1}^{i=n} COS(i) * d_s(i) * h(i) * (1 - I(i))$$

Dónde:

- **RCOS** - Reserva de Carbono Orgánico del Suelo (t. ha<sup>-1</sup>).
- **COS (i)** - es el contenido de carbono orgánico de cada capa u horizonte de suelo considerada, expresada en porcentaje del peso seco al aire
- **ds (i)** - es la densidad del suelo en el horizonte *i*, expresado en Mg.m<sup>-3</sup>.
- **h(i)** - es la potencia del horizonte *i*, expresado en cm.
- **I(i)** - es el contenido de inclusiones, expresado en partes de la unidad.

La RCOS estimada a partir de los datos de COS superficial se obtiene por extrapolación de curvas patrones de reserva, construidas a partir de ajustes de funciones polinómicas (*spline* cúbicos) a las variables de interés en la profundidad *h*: *COS*, *ds* e *i*.

La RCOS para un perfil de suelo, será entonces el área bajo la curva patrón de la función ajustada resultante del producto de la evaluación de las funciones anteriores, para incrementos de espesores (5 cm, 10 cm, etc).

La extrapolación se consigue al desplazar los límites de integración en la curva patrón sobre el eje de las abscisas (*h*). De esta manera la estimación toma en cuenta las pérdidas relativas en el contenido de carbono del suelo actual, por efecto de la degradación, con respecto al predicho por la función teórica de distribución del carbono con la profundidad, para una especie de suelo específica.

### ***2.6.2 Selección del método de interpolación***

Para la elaboración de los mapas temáticos, el método de interpolación es adecuado para facilitar la comprensión del comportamiento espacial y vertical de la Reserva de Carbono Orgánico en los suelos de la cuenca del río Zapotal, ya que mediante el uso del programa (R Core Team, 2020), se estableció el semivariograma experimental, para los conjuntos de datos del muestreo en superficie, colaborando a identificar la existencia o no de estructura espacial en los datos, es decir, si están o no espacialmente correlacionados a la escala de medida (Rodríguez, 2020).

### ***2.6.3 Generación del mapa***

El software que se utilizó para la elaboración de los mapas de las áreas estudiadas de la cuenca del río Zapotal fue QGIS versión LTR 3.4.0 Madeira (QGIS, 2019), a fin de estudiar la presencia y distribución de carbono de forma espacial en los primeros 30 cm.

## **2.7 Análisis estadístico de los resultados**

### ***2.7.1 Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis***

Se utilizó para decidir si existen diferencias estadísticamente significativas de la existencia de RCOS del suelo en interacción con los diferentes usos de suelo estudiados: Conservación Forestal, Agrícola, posibilita entablar entre si numerosas muestras independientes provienen de una misma población comparando sus medias.

### ***2.7.2 Prueba Estadística Friedman***

Se realizó una prueba de Friedman, una prueba de comparación no paramétrica de tres o más muestras relacionadas, para comparar los contenidos de RCOS a profundidades de 30 cm, 50 cm y 80 cm.

### ***2.7.3. Análisis de la Distribución Espacial***

Para la generación de mapas de reservas de carbono orgánico en el suelo (RCOS) a una profundidad de 30,50 y100 cm en la Cuenca Zapotal de la Península de Santa Elena, se calcularon semivariogramas experimentales con el fin de evaluar la existencia de autocorrelación espacial de los puntos de muestra medidos.

## **CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### ***3.1 Características del área de estudio en relación con la presencia y distribución de Reserva de carbono orgánico***

El Centro de Producción y Prácticas Río Verde tiene un área que se considera representativa de la cuenca Zapotal, en la cual se realizó este estudio, en esa área se encontraron propiedades en general del lugar que concuerdan con las diversas particularidades de la cuenca, referente a su formación y usos del suelo asociados con el reparto de los carbonos orgánicos.

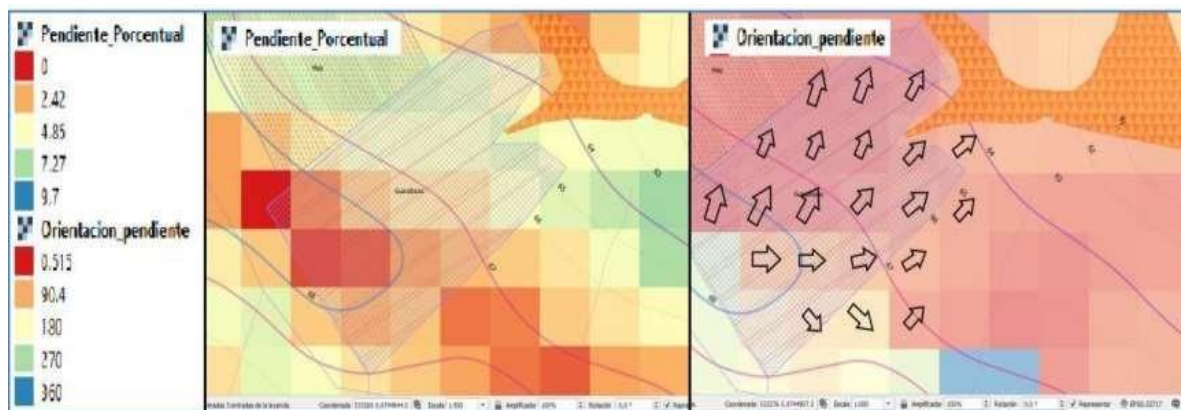
Según al mapa geopedológico, la unidad geomorfológica de la comuna predominan suelos del orden Aridisol (IEE, 2012), lo cual coincide con (Espinosa y Lima, 2019) en su investigación de las propiedades de los suelos de Río Verde, clasificándolos en el orden de taxonomía de los Aridisoles, subgrupos: Arenic Haplargids – Tipic Haplocambliids), con base a sus propiedades morfológicas y las características fisicoquímicas (Tomalá, 2019).

Espinosa y Lima (2019) indican que los suelos de la cuenca presentan degradación más acelerada, observándose como resultado de la relación entre los procesos de erosión hídrica y eólica, la dinámica de la vegetación y el clima.

Reyes (2020) explica que la erosión genera pérdidas económicas difíciles de ver, ya que además de reducir el potencial útil del suelo, existe la posibilidad de producir perjuicios a las infraestructuras, por lo cual se debería tomar medidas para asegurar la sostenibilidad. El proceso de erosión pasa por 3 fases, separación y remoción del material, donde esta es facilitada por la energía del impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo descubierto, el traslado de partículas por escorrentía superficial y la sedimentación.

Ciertos de los componentes que conducen a la erosión hídrica son la pendiente y la longitud del sitio, la cobertura del suelo y las prácticas de conservación. Los procesos erosivos pueden ser provocados por razones naturales o antropogénicas que aceleran el proceso, alterando estas últimas el ecosistema y provocando su degradación (Reyes, 2020).

Por medio de la Figura 4, se observa que en la Comuna Río Verde hay rangos de pendientes de 0 a 9.7%, que se corresponde a suelos a partir de planos a inclinados por lo cual es fundamental registrar estas variaciones para estudios de erosión, riego y drenaje. Se puede revisar además mediante la orientación de la pendiente, como el río se direcciona hacia la cárcava (Reyes, 2020).



**Figura 4** Análisis de porcentaje y orientación de la pendiente.



### 3.2 Análisis estadístico de Reserva de carbono orgánico a una profundidad de 30 cm

A continuación, se presenta el resumen de resultados estadísticos de RCOS en forma general, divididos en los usos y subgrupos de suelo, encontrados dentro de la zona de muestreo, a una profundidad de 30 cm.

**Tabla 5.** Resumen estadístico de RCOS (kg/ha) en relación con el uso y el subgrupo de suelo.

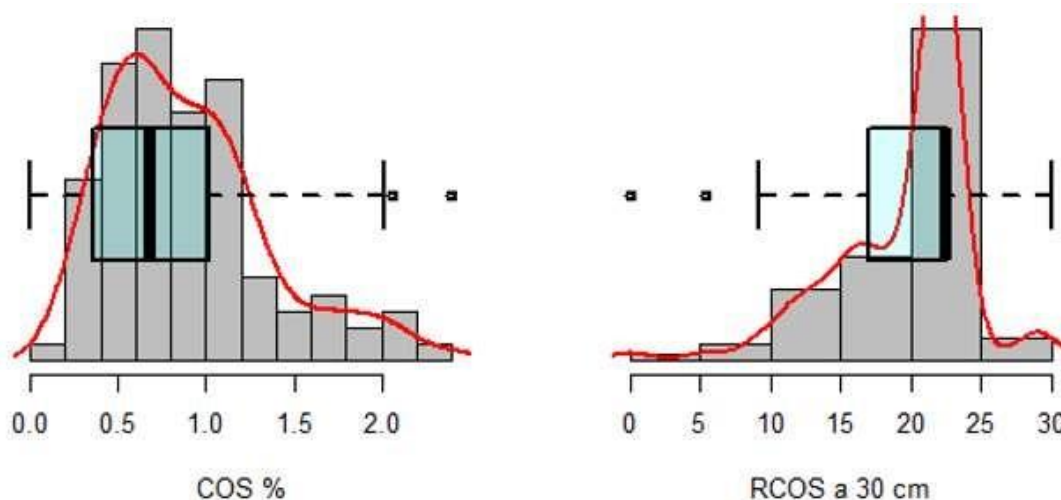
	Usos de suelo			Subgrupos	
	General	Forestal	Agrícola	Arenic Haplargids	Fluventic Haplocambis
<b>N</b>	100	72	27	98	2
<b>Media</b>	19,60	19,51	19,97	40,86	41,39
<b>Mediana</b>	22,17	22,17	22,17	48,24	41,39
<b>Moda</b>	22,17	22,17	22,17	48,24	27,36
<b>Varianza</b>	22,81	24,50	19,46	134,58	393,68
<b>Desviación Estándar</b>	4,77599	4,95035	4,41239	11,6011	19,8414
<b>Coefficiente de Variación</b>	24,36%	25,37%	22,09%	28,39%	47,94%
<b>Mínimo</b>	0	0	5,35	0	27,36
<b>Máximo</b>	29,49	29,49	23,66	48,35	55,42

La cuenca del río Zapotal poseen bajos contenidos de materia orgánica, resultado de las condiciones climáticas y la vegetación semidesértica (Rodríguez, 2020), De acuerdo con Narváez (2020), los suelos de la zona estudiada están sujetos a una degradación más rápida, debido a los procesos de erosión hídrica y eólica, dinámica de la vegetación y del clima.

A partir de los análisis realizados, se identificó que la presencia de RCOS se encuentra distribuida dentro de toda la zona de estudio, los resultados generales que se muestran en la Tabla 5, cuyos valores oscilan en un rango de 0,0 a 29,42 Mg/ha de suelo y presenta una mediana y moda de 22,17 Mg/ha de suelo, están relacionado principalmente por los factores edafoclimáticas, vegetativas, animal y microbiana.

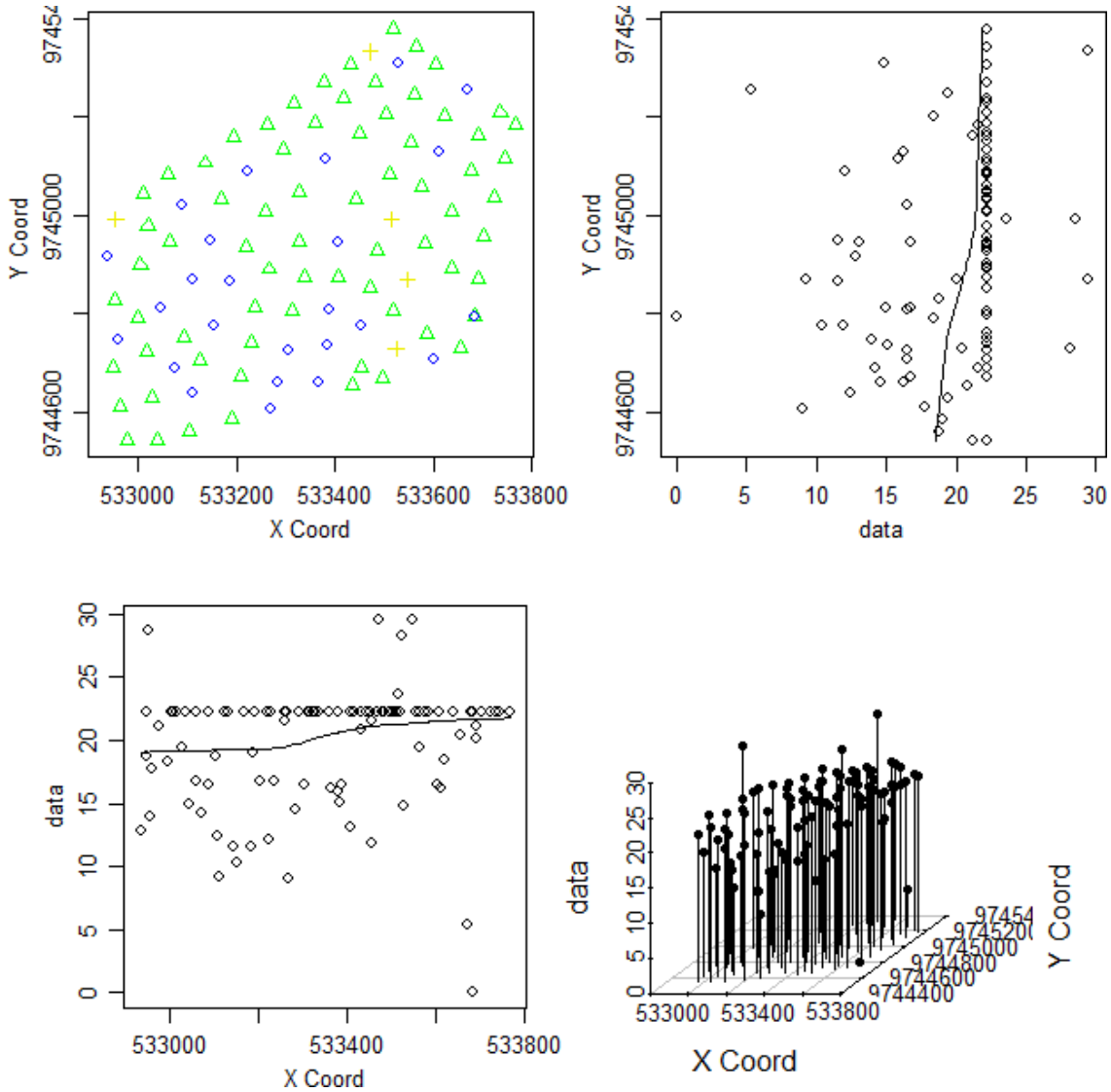
### 3.3 Análisis de la estructura espacial de la Reserva de carbono orgánico a una profundidad de 30 cm

El reparto espacial de las reservas de carbono orgánico y su variabilidad, así como las diferentes características edáficas, son controladas principalmente por las condiciones del medio ambiente, cobertura vegetal y la utilización del suelo (Acevedo *et al.*, 2015). Martínez *et al.* (2008) indican que dichos componentes influyen en la rapidez de desarrollo y transformación del COS, proceso que juega un papel fundamental en el incremento o disminución de las concentraciones de gases en la atmósfera (Serrano *et al.*, 2015).



**Figura 5.** Histogramas, densidad de probabilidades y boxplot de carbono orgánico y la reserva de carbono orgánico a 30 cm de profundidad, Río Verde, cuenca del río Zapotal, Santa Elena.

En la Figura 6 se muestra el gráfico de distribución espacial de carbono orgánico expresados en Mg/ha de suelo, para los primeros 30 cm de profundidad en el Centro de Apoyo Río Verde UPSE, en la Cuenca Zapotal.



**Figura 6.** Distribución espacial de la reserva de carbono orgánico del suelo (kg/ha) a 30 cm de profundidad, variación en el eje X de coordenadas, variación en el eje Y de coordenadas, y representación 2,5D.

Se puede apreciar que en la Figura 6, se refleja el análisis exploratorio de la distribución espacial de la reserva de carbono orgánico, en donde no hay tendencias, es decir ninguna preponderancia de distribución de los valores con relación a las coordenadas (X y Y) con ligera tendencia a valores más bajos hacia la zona norte y este de la Cuenca Zapotal, Provincia de Santa Elena.

### 3.4 Análisis estadístico descriptivo de la RCOS a 30 cm con relación al Subgrupo del suelo

#### 3.4.1 Subgrupo Arenic Haplargids

Los resultados obtenidos muestran que cerca del 18.18% de los valores se encuentran entre 8.00 y 12.0 Mg/ha de suelo, así como entre 12.0 y 16 Mg/ha de suelo que representa cerca del 9%, mientras que el 27% se centra entre 16 y 20 Mg/ha de suelo, solo el 45% esta entre 20 hasta 32 Mg/ha de suelo.

**Tabla 6.** Distribución de frecuencia de RCOS (kg/ha) a 30 cm en el subgrupo de suelo: Arenic Haplargids.

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Rel. Acum.
1	0	8,0	0	0	0,0000	0	0,0000
2	8,0	12,0	10,0	2	0,1818	2	0,1818
3	12,0	16,0	14,0	1	0,0909	3	0,2727
4	16,0	20,0	18,0	3	0,2727	6	0,5455
5	20,0	24,0	22,0	1	0,0909	7	0,6364
6	24,0	28,0	26,0	0	0,0000	7	0,6364
7	28,0	32,0	30,0	4	0,3636	11	1,0000

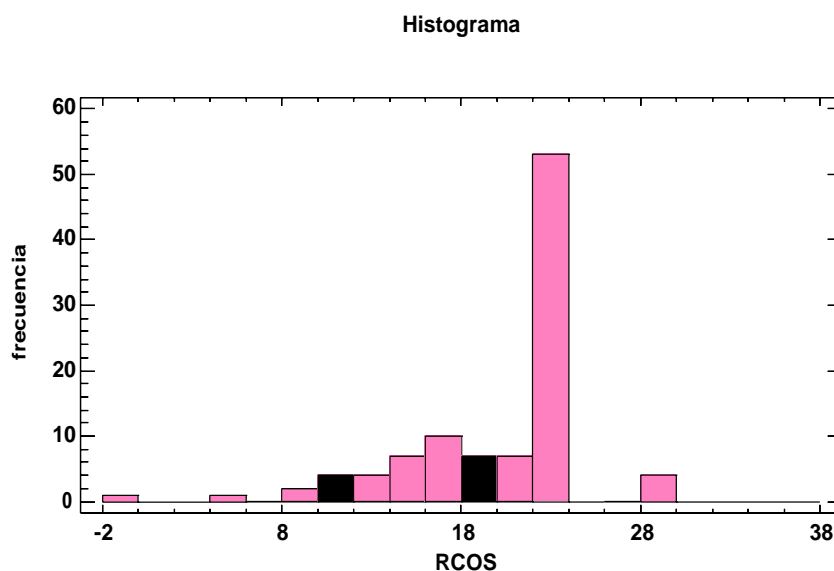
La pérdida de la fertilidad y la variabilidad biológica del suelo está directamente relacionadas con la pérdida natural de carbono, se estima que el 80% del carbono del suelo ya se está perdiendo en zonas de gran producción agrícola debido al arado destructivo, el pastoreo desproporcionado y el uso excesivo de la tierra con la utilización de fertilizantes y pesticidas químicos que disminuyen los niveles de carbono orgánico (Paz, 2013).

Loayza *et al.* (2020) explican que la capacidad de los suelos en Ecuador y la provincia de Santa Elena para absorber carbono orgánico (COS) en general puede verse afectada por prácticas agrícolas no sostenibles que provocan la pérdida del contenido de COS y, por lo tanto, la degradación del suelo y erosión.

En el estudio de Loayza *et al.* (2020) se determinó que los resultados de COS en suelos del Ecuador a una profundidad superficial de 0 a 30 cm fueron de  $1,63 \text{ Pg} \pm 0,38 \text{ Pg}$ , en estos rangos se encuentran suelos con niveles bajos (41%) y datos medios (43%), a través de prácticas sostenibles de manejo del suelo que incluyen fertilización y riego eficientes y controlados, cobertura orgánica, siembra de cultivos basada en la idoneidad y labranza reducida, entre otros, se puede conservar COS para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y reducir el impacto del cambio climático.

La Tabla 6 muestra que los valores medios de RCOS con mayores frecuencias se encuentran por encima de 10 Mg/ha del suelo, está estrechamente relacionado con el Uso Forestal debido a que el subgrupo de este suelo está claramente limitado en cuanto a la productividad de cultivo.

Cuando se riegan pueden proporcionar una buena productividad, pero pueden presentar algunos problemas cuando es necesario nivelarlos para someterlos a riego superficial, ya que pueden quedar expuestos subsuelos desfavorables como los horizontes calcáreos (Narváez, 2020).



**Figura 7.** Histograma de frecuencia de RCOS en el Subgrupo de suelo: Arenic Haplargids.

Las estrategias para incrementar la RCOS del suelo pueden incluir la reposición del suelo a través de la reforestación, el uso de cultivos de cobertura, la siembra directa, la gestión de los nutrientes del suelo, la estabilización y recuperación de pastizales naturales, la conservación del agua en condiciones secas y de regadío, la introducción de sistemas agroforestales, la recuperación de residuos orgánicos y la conversión en sustratos que puedan ser incorporados al suelo, entre otras técnicas (FAO, 2015).

Reguerin *et al.* (2019) manifiestan que los Aridisoles son suelos franco limosos, carentes de arcilla, con baja capacidad de intercambio y excesivamente drenados, con muy poca retención de humedad. Los autores han mencionado que los valores de COS son bajos. En la Cuenca del Río Zapotal se comprobó lo que indicaron anteriormente los autores, primordialmente porque en la zona de Investigación, el contenido de MO es bajo.

En otras palabras, se trata de suelos pobres, subdesarrollados, de baja estructura y muy propensos a la erosión cuando están desprovistos de cobertura. Presentan un horizonte superficial grueso, alta saturación con bases, materia orgánica superior al 1% y estructural en bloques finos (Narváez, 2020).

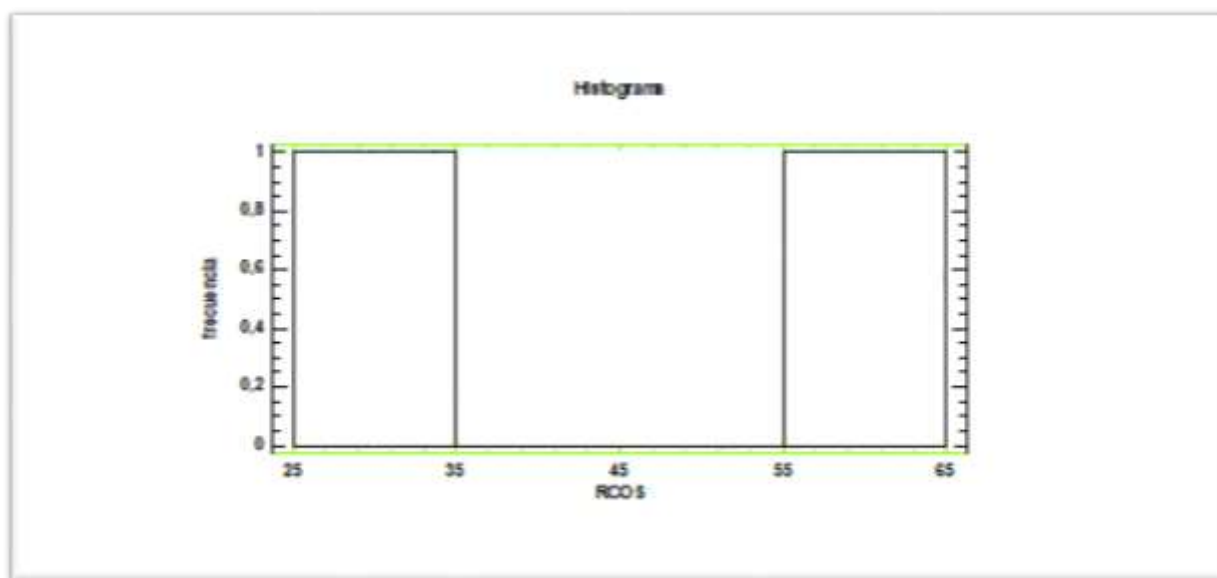
### 3.4.2 Subgrupo de suelo: *Fluventic Haplocambids*

En la distribución de frecuencia del RCOS para subgrupo Fluventic (Tabla 7), los valores que corresponden al 50% que se sitúan entre 25,0 a 30,0 Mg/ha del suelo, mientras que el 55,0 a 65 Mg/ha representa cerca del 50%.

**Tabla 7.** Distribución de frecuencia de RCOS en el subgrupo de suelo: Fluventic Haplocambids.

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Rel. Acum
1	0	25,0		0	0,0000	0	0,0000
2	25,0	35,0	30,0	1	0,5000	1	0,5000
3	35,0	45,0	40,0	0	0,0000	1	0,5000
4	45,0	55,0	50,0	0	0,0000	1	0,5000
5	55,0	65,0	60,0	1	0,5000	2	1,0000

El Histograma de Frecuencia para el subgrupo de suelo Fluventic Haplocambids que se observa en la Figura 8 muestra un crecimiento gradual de RCOS para los primeros 30 cm de suelo (Narváez, 2020), lo que concuerda con Reguerin *et al.* (2019) ya que al existir grandes diferencias en la estructura del horizonte superficial, los suelos son importantes para múltiples actividades agrícolas, por su alto contenido de arcillas, la cual, se expanden con la humedad y se contraen con la sequía, lo que puede ocasionar grietas en esta última temporada. Esta propiedad hace que, aunque son muy fértiles, también sean difíciles de trabajar debido a su dureza durante el estiaje y a que son muy pegajosos en las lluvias (Iglesias, 2021).



**Figura 8.** Histograma de frecuencia de en el subgrupo de suelo: Fluventic Haplocambids.

Los altos contenidos de RCOS y su acumulación están relacionados fundamentalmente con los usos del suelo de la zona de investigación. El contenido de materia orgánica en el subgrupo tiene valores de moderadamente alto, el pH es de extremadamente ácido a ligeramente ácido, la capacidad de intercambio catiónico es de muy alto a medio. Las características químicas son indicadores de la calidad del suelo, como pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, así como el contenido de macro y micronutrientes que son propiedades relevantes para la interacción suelo-planta e dirigidas al impacto por el cambio de uso de suelo.

En la cuenca del río Zapotal, se comprobó lo que citaron los autores, ya que en la zona de estudio como es el caso del Centro de Apoyo Río Verde, el clima es árido, Con contenido en materia orgánica mayor de 3.0, posiblemente debido a la acción de los pastos en la acumulación de la materia orgánica durante mucho tiempo. El subgrupo Fluventic son suelos representativos del Centro de Río Verde, por sus características morfológicas y propiedades físicas químicas, hacen de este suelo preferible para desarrollar actividades de Conservación forestal.

### **3.5 Análisis estadístico descriptivo de carbono orgánico con relación al uso del suelo**

#### **3.5.1 Uso del suelo: Forestal**

La Tabla 8 muestra los valores que menor frecuencia se encuentran distribuido en los suelos de uso forestal, el 12.40 % está en 0.00 a 14.00 Mg/ha de suelo, mientras, el 26.39% parte de los 14.00 a 20.00 Mg/ha de suelo y a partir de los 20.00 hasta 32.00 equivalen al 61.12 % de los datos totales.

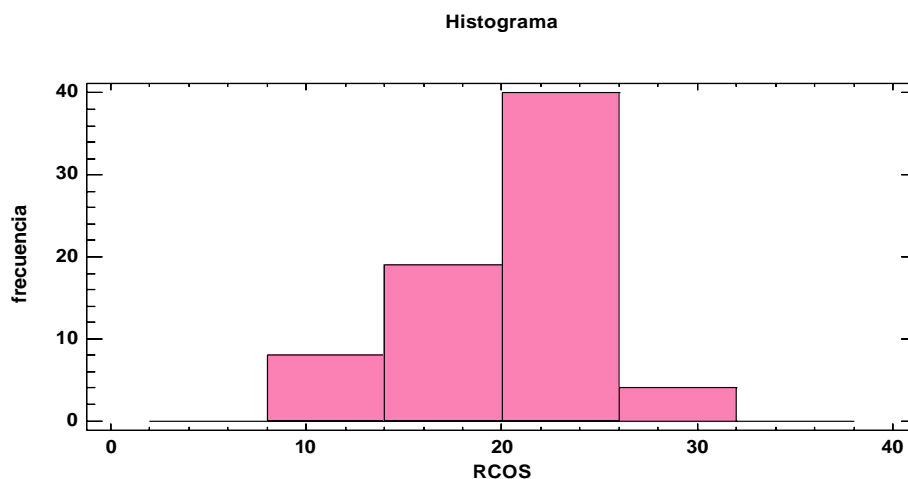
**Tabla 8.** Distribución de frecuencia de RCOS en el Uso de suelo: Forestal.

<b>Clase</b>	<b>Límite Inferior</b>	<b>Límite Superior</b>	<b>Punto Medio</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia Relativa</b>	<b>Frecuencia Acumulada</b>	<b>Frecuencia Rel. Acum</b>
<b>1</b>	0	2,0		1	0,0139	1	0,0139
<b>2</b>	2,0	8,0	5,0	0	0,0000	1	0,0139
<b>3</b>	8,0	14,0	11,0	8	0,1111	9	0,1250
<b>4</b>	14,0	20,0	17,0	19	0,2639	28	0,3889
<b>5</b>	20,0	26,0	23,0	40	0,5556	68	0,9444
<b>6</b>	26,0	32,0	29,0	4	0,0556	72	1,0000
<b>7</b>	32,0	38,0	35,0	0	0,0000	72	1,0000

Según Duarte (2014), los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de uso de la tierra y sus suelos, que contienen cerca del 40% del total del carbono, son de importancia cuando se considera el manejo de los bosques. En condiciones secas existe más carbono bajo cultivo, por una mayor producción y aporte de biomasa.



En este sentido los bosques actúan como depósitos, almacenando carbono en la biomasa y los suelos actúan como sumideros de carbono cuando se aumenta su superficie o su productividad, dando origen a un incremento de la absorción de CO<sub>2</sub> atmosférico (Duarte, 2014).



**Figura 9.** Histograma de frecuencia de RCOS en el Uso de suelo: Forestal.

Food *et al.* (2017) argumentan que la biodiversidad del suelo (incluidos organismos como bacterias, hongos, protozoos, insectos, gusanos, otros invertebrados y mamíferos) en combinación con el COS determina la capacidad metabólica de los suelos. Ahora bien, los terrenos forestales que padecen una lenta descomposición, por causa de deforestación/reforestación o hasta quema de la biomasa, etcétera., tienen la posibilidad de ofrecer sitios para que se libere dióxido de carbono a la atmósfera, esto provoca, que ocurran cambios en el periodo del carbono, generando, un profundo desequilibrio en el clima (Robert *et al.*, 2002).

No hay duda de que los bosques son el principal medio de secuestro de carbono. Es importante aumentar su capacidad de captura, obviamente aquellas especies que capturan más carbono y liberan más oxígeno a la atmósfera crecen más rápido. A largo plazo, la cantidad de absorción de emisiones por parte del ecosistema forestal depende de la capacidad de la zona de estudio (Duarte, 2014) y las características intrínsecas del suelo.

La capacidad de los bosques para capturar y almacenar carbono ayuda a mitigar el cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera (Laban *et al.*, 2018).

### 3.5.2 Uso del suelo: Agrícola

La distribución de Frecuencia de carbono orgánico en el uso agrícola expuestos en la tabla 9, indica que el 7.410% del total de valores están desde 0.00 a 13.5 Mg/ha de suelo, el 3.70% esta desde 13.5 a 21.16 Mg/ha de suelo, mientras que el 74.7% se encuentra desde 21.16 a 25.0 Mg/ha de suelo.

**Tabla 9.** Distribución de frecuencia de RCOS en el Uso de suelo: Agrícola.

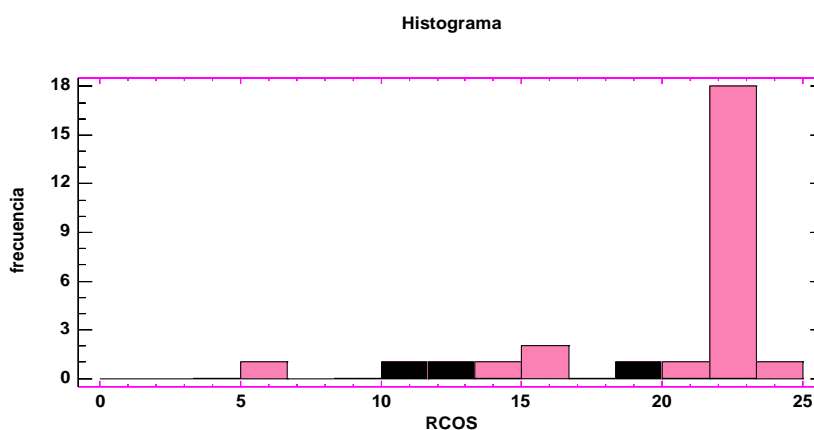
Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Rel. Acum.
1	0	2,0	0	0	0,0000	0	0,0000
2	2,0	5,83	3,91	1	0,0370	1	0,0370
3	5,83	9,66	7,75	0	0,0370	1	0,0370
4	9,66	13,5	11,58	2	0,0741	3	0,1111
5	13,5	17,33	15,41	3	0,1111	6	0,2222
6	17,33	21,16	19,25	1	0,0370	7	0,2593
7	21,16	25,0	23,08	20	0,7407	27	1,000

Como se puede apreciar, en la Figura 10, los valores del Histograma de frecuencia correspondiente al uso agrícola están dispersas en dos grupos determinados, el primero y de mayor frecuencia están en un punto medio de 3,91 Mg/ha de suelo, así como también, el segundo grupo y de menor frecuencia presenta valores desde 15.41 a 19.25 Mg/ha de suelo, pues estas cantidades están relacionadas con los diferentes manejos que se aplique a los cultivos predominantes de la Cuenca del Río Zapotal.

Como ya se explicó, la intervención humana al cambiar el uso del suelo, los sistemas agrícolas, el manejo del suelo y los cultivos relacionados provoca cambios en las propiedades y procesos de formación del suelo (Serrano *et al.*, 2015).

La presencia y distribución de RCOS en el uso agrícola está relacionado con el riego constante y las altas temperaturas del Centro de Apoyo Río Verde (UPSE). El agua asociada a las altas temperaturas y la presión del CO<sub>2</sub> que proviene de la respiración de las raíces que contribuyen a la acumulación de COS, según Narváez (2020).

Según Laban *et al.* (2018), la existencia de carbono orgánico presente en la zona de estudio representa un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la descomposición. La materia orgánica del suelo es el principal determinante de su actividad biológica, la cantidad, diversidad y actividad de la fauna y los microorganismos del suelo están directamente relacionados con ella. La MO y la actividad biológica que esta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos.



**Figura 10.** Histograma de frecuencia de RCOS en el Uso de suelo: Agrícola.

En general, los cultivos agrícolas y los árboles, por su capacidad fotosintética, cumplen la función de retirar CO<sub>2</sub> de la atmósfera, almacenarlo y absorber carbono orgánico. Algunas especies de interés agrícola tienen altas tasas de crecimiento, incluso más rápidas que algunos tipos de vegetación natural, lo cual se traduce en una más grande tasa de fijación de CO<sub>2</sub>.

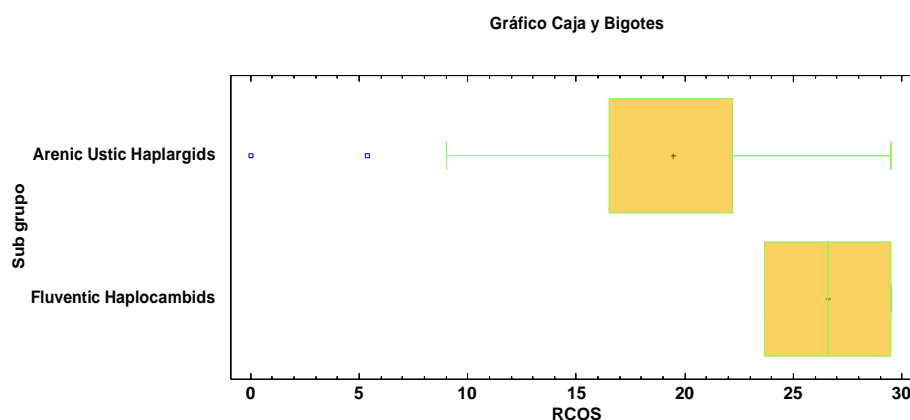
### 3.6. Prueba de contraste para los subgrupos y usos de suelo

En la Tabla 10 se reflejan los resultados estadísticos de carbono orgánico para los diferentes subgrupos de suelo que existen en Río Verde, se determinó mediante una prueba de Kruskal-Wallis con una significancia asociada a la prueba  $p < 0,0120739$ , que indica una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel del 95,0% de confianza.

**Tabla 10.** Prueba de Kruskal-Wallis para datos de carbonos a una profundidad de 0 a 30 cm, agrupados por Subgrupos de suelo.

Subgrupo	N	Media	Mediana	Desviación Estándar	p <0.05
<b>Arenic Ustic Haplargids</b>	98	19,53	22,17	4,73	0,0120739
<b>Fluventic Haplocambids</b>	2	26,57	26,49	4,12	

En el diagrama de caja y bigote que se refleja en la Figura 11 muestra que el 50 % de los valores en el subgrupo Arenic Ustic Haplargids están comprendidos entre 20 a 23 Mg/ha de suelo y en el subgrupo Fluventic Haplocambids los valores llegan a 27 y 30 Mg/ha de suelo.



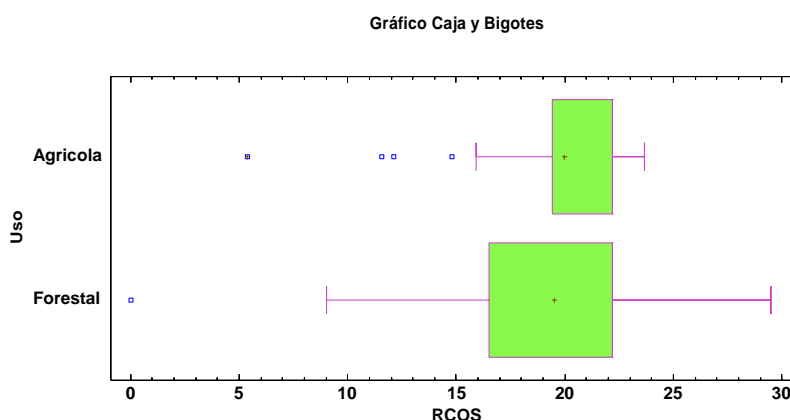
**Figura 11.** Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de RCOS (kg/ha) en los subgrupos de suelo.

En la Tabla 11 se muestran los resultados Estadísticos de la reserva de carbono orgánico para los diferentes usos, se identificó a partir de la prueba de Kruskal-Wallis con una significancia relacionada a la prueba  $p < 0,286266$  que señala que no existe una diferencia significativa entre los diferentes usos de suelo.

**Tabla 11.** Prueba de Kruskal-Wallis para datos de RCOS a una profundidad de 0 a 30 cm, agrupados por Usos de suelo.

Uso	N	Media	Mediana	Desviación Estándar	p<0.05
Agrícola	27	19,97	22,17	4,41239	0,286266
Forestal	72	19,51	22,17	4,95035	

En el diagrama de caja y bigote que se observa en la Figura 12 en donde se aprecia que el 50% del uso agrícola es de 20.3 Mg/ha de suelo y en la Zona Forestal es de 20.23 Mg/ha de suelo.



**Figura 12.** Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de RCOS en los Usos de suelo.

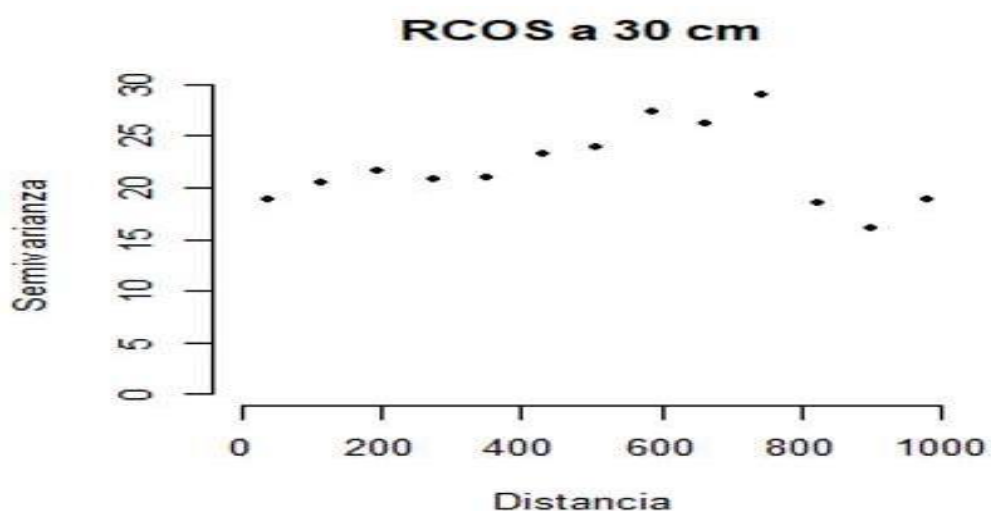
Según Reyes (2020), el cambio de uso de suelo puede alterar, extremadamente, la cubierta vegetal aun en periodos de tiempo breves, lo cual causa alteraciones en las características físicas, químicas y microbianas del suelo. El monocultivo de especies que aportan poco volumen de rastrojos, quemas, sobrepastoreo, favorecen la existencia de suelos desnudos o con escasa cobertura, ocasionando la compactación y el crecimiento de la escorrentía frente a la disminución de infiltración, que conlleva a una baja fertilidad de suelos y con ello el desarrollo de la erosión hídrica laminar, en surcos y cárcavas

Se sugiere la reposición de la vegetación suele ser bastante positiva a mediano y extenso plazo (Rodríguez, 2020). En los ambientes áridos y semiáridos, la recuperación en forma natural es reducida, siendo elemental la mediación de las personas para precipitar dicho proceso, se debería recobrar la vegetación con especies originarias, que implementadas no requieran energía extra, las especies leñosas perennes facilitan la instalación de otras especies, ya que trabajan como trampa de restos orgánicos y semillas transportadas por el aire, que se acumulan abajo de ellas y le dan un sustrato para su germinación (Reyes, 2020).

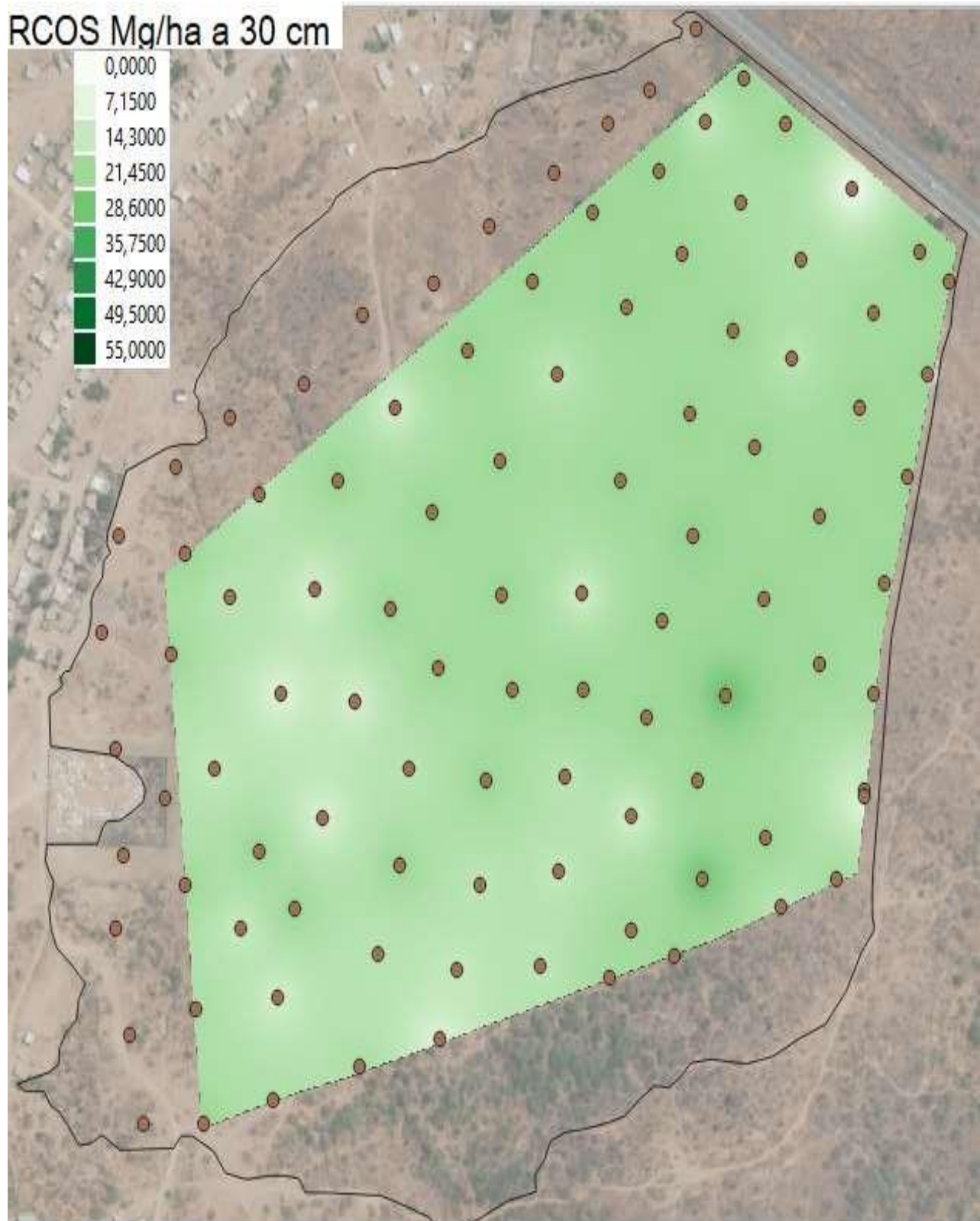
Laban *et al.* (2018) plantean que los aportes consecutivos de materia orgánica, disminuyen la densidad aparente y la erosión, aumentan la fertilidad, la tasa de infiltración y la retención de agua; de modo que, la biomasa vegetal se preserva. Por igual, conduce a una pérdida de carbono en el suelo, resultado de diferentes grados de perturbación humana directa o indirecta, que constituye un fundamental componente de cambio universal.

### 3.7. Mapa temático de la reserva de carbono orgánico (RCOS, $\text{kg/m}^2$ ) a 30 cm de profundidad

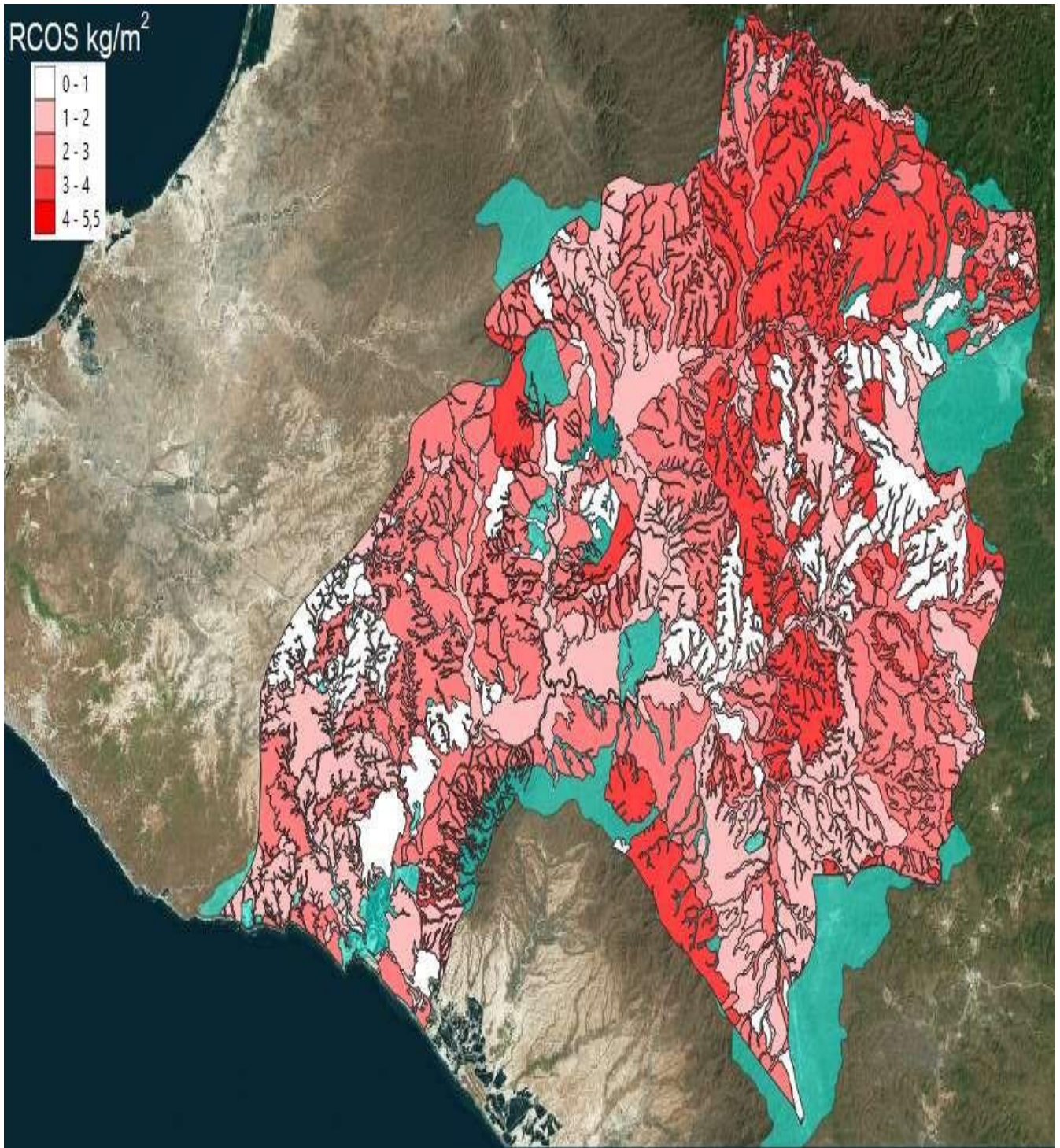
El semivariograma empírico de RCOS que se puede apreciar en la figura 13, muestra la inexistencia de estructura espacial donde los valores de semivarianzas se distribuyen cercanos a la varianza total de la población, tal comportamiento es determinante para la calidad de la estimación con el procedimiento de interpolación IDW en la generación del mapa temático, ya que el procedimiento tiene como principio a la media como estimador local (Correia *et al.*, 2014).



**Figura 13.** Semivariograma de la reserva de carbono orgánico ( $\text{Mg/ha}$ ) a 30 cm, Río Verde, cuenca del río Zapotal, Santa Elena.



**Figura 14.** Representación del mapa temático de RCOS (Mg/ha) a profundidad de 0 a 30 cm en el Centro de Producción y Prácticas Río Verde, cuenca del río Zapotal, Santa Elena. Escala 1:5000.



**Figura 15.** Representación del mapa de reservas de carbono del suelo (RCOS;  $\text{kg/m}^2$ ) de la Cuenca Río Zapotlán (áreas de interés agropecuario).



En el mapa temático de Reserva de carbono orgánico que se puede apreciar en la figura 14 en donde se visualiza que los valores más representativos (716,54 Mg/ha) en el área de la finca se hallan en las zonas de Conservación Forestal y en la Representación del mapa de reservas de carbono del suelo (RCOS; kg/m<sup>2</sup>) de la Cuenca Río Zapotal que se refleja en la figura 15, en donde indica que la Reserva total del área cartografiada de la cuenca es de 2034968 Mg/ha en áreas de interés agropecuario.

### ***3.8. Análisis de la estructura vertical y estadística de carbono orgánico en diferentes profundidades***

En la Tabla 12 se muestra el resultado estadístico de RCOS para las diferentes profundidades, se determinó por medio de la prueba de Friedman con una significancia de  $p < 0.0001$ , se deduce que existe una diferencia significativa en la presencia y distribución de Carbono orgánico a diferentes profundidades.

**Tabla 12.** Prueba de Friedman para el análisis de carbono orgánico a diferentes profundidades.

<b>Profundidad</b>	<b>Suma</b>	<b>Media</b>	<b>N</b>			
<b>0-10 cm</b>	35,00	2,69	13	A	B	C
<b>10-20 cm</b>	25,00	1,92	13	A		
<b>20-40 cm</b>	57,00	4,38	13			D
<b>40-60 cm</b>	29,00	2,23	13	A	B	
<b>60-100 cm</b>	49,00	3,77	13			D

Los valores son altos en la zona a una profundidad de 30 cm esto puede estar relacionado con perfiles desarrollados en la cuenca Zapotal. En donde coincide con Laban, Metternicht *et al.* (2018), el horizonte superficial es, normalmente, el que contiene un mayor contenido en materia orgánica, mientras que el contenido va disminuyendo progresivamente con la profundidad. Solamente bajo determinadas condiciones de precipitación y drenaje del suelo puede acumularse materia orgánica en profundidad a causa del intenso lavado de los horizontes más superficiales.

Las grandes diferencias en la realidad de reserva de carbono orgánico en la cuenca se muestran respecto a la temperatura y la lluvia de la zona de estudio. La deforestación provoca la pérdida casi total de la biomasa vegetal y entre 40 y 50% del carbono contenido dentro del suelo (Serrano *et al.*, 2015).

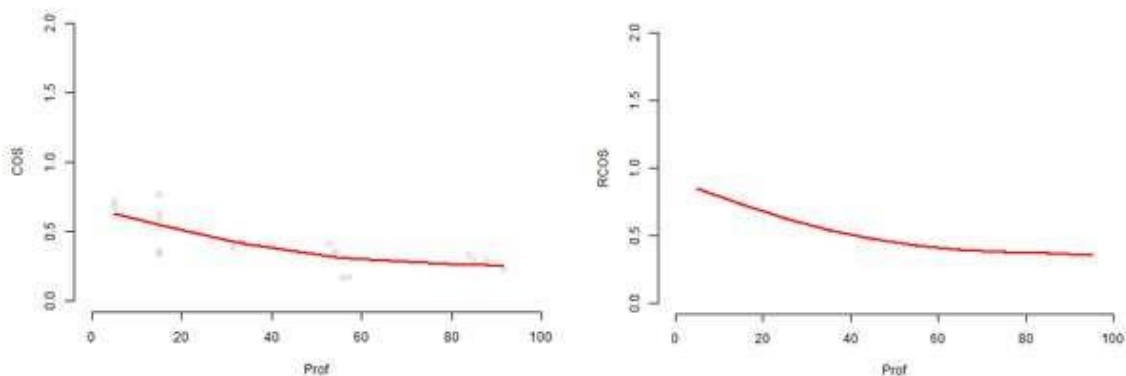
La predominación del relieve es determinante tanto en la porción como en la calidad de la MO, ya que, en varios casos, con la altitud se expresan cambios en las propiedades del suelo (pH, humedad, contenido de macro y micro elementos, textura), en la precipitación, la temperatura y el tipo de vegetación, lo que influye además en la biomasa microbiana y por ende en la actividad microbiana del suelo, el carbono orgánico del suelo es fundamental debido a que como parte de la materia orgánica influye en las características del suelo como la composición, la función de trueque catiónico, la densidad aparente, la porosidad y la infiltración.

La presencia y distribución del contenido de RCOS , en donde se muestra que es asimétrico en profundidad, o sea, hay una más grande acumulación en la parte superficial de cada muestra, la cual cambia mientras se profundiza como se refleja en la Figura 16 y17 (Martínez *et al.*, 2008).

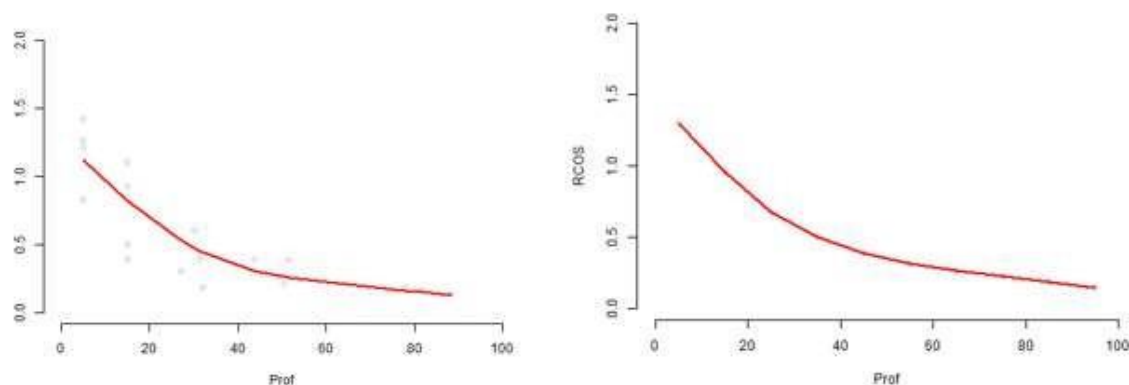
Según Pin (2015), la cuenca del Río Zapotal al ser una zona semiárida tiene suelos Aridisoles con Suborden Arenic Ustic Haplargids, una de las propiedades de dichos suelos es la presencia de períodos húmedos cortos, deficiencia recurrente de agua, bajo contenido de materia orgánica y bajo contenido de nutrientes. El contenido de carbono orgánico en un suelo de bosque va a permitir no solo una optimización en las características físico-químicas y biológicas del suelo, sino además al ecosistema forestal, ya que el aumento de otras especies vegetales (pastizal, arbustos, hongos, dentro del bosque), incrementa la retención de agua y coopera a la formación del suelo (Robert *et al.*, 2002).

En especial, los suelos forestales conforman relevantes reservorios de carbono orgánico y presentan diferencias en relación a los suelos agrícolas: en particular, la conservación de los horizontes superficiales (Food *et al.*, 2017). Los tipos funcionales de vegetación están afectando de manera significativa a el reparto vertical del carbono en el suelo, de manera que los niveles más superficiales tienen dentro una parte variable, y con frecuencia minoritaria, del carbono que puede encontrarse en el subgrupo del suelo Fluventic Haplocambids; de esta forma, valores medios conseguidos en suelos de matorrales, pastizales y bosques, indican (Loayza *et al.*, 2020) que los primeros 20 centímetros aportan un 33%, un 42% y un 50%, respectivamente, del contenido total en 100 centímetros de espesor según Guerrón (2020).

#### GEFJ – Arenic Haplargids



**Figura 16.** Función Patrón Carbono y Reserva de Carbono en la profundidad por subgrupo de suelo. GEFJ – Arenic Haplargids.



**Figura 17.** Función Patrón Carbono y Reserva de Carbono en la profundidad por subgrupo de suelo. GEFJ – Fluventic Haplocambids.

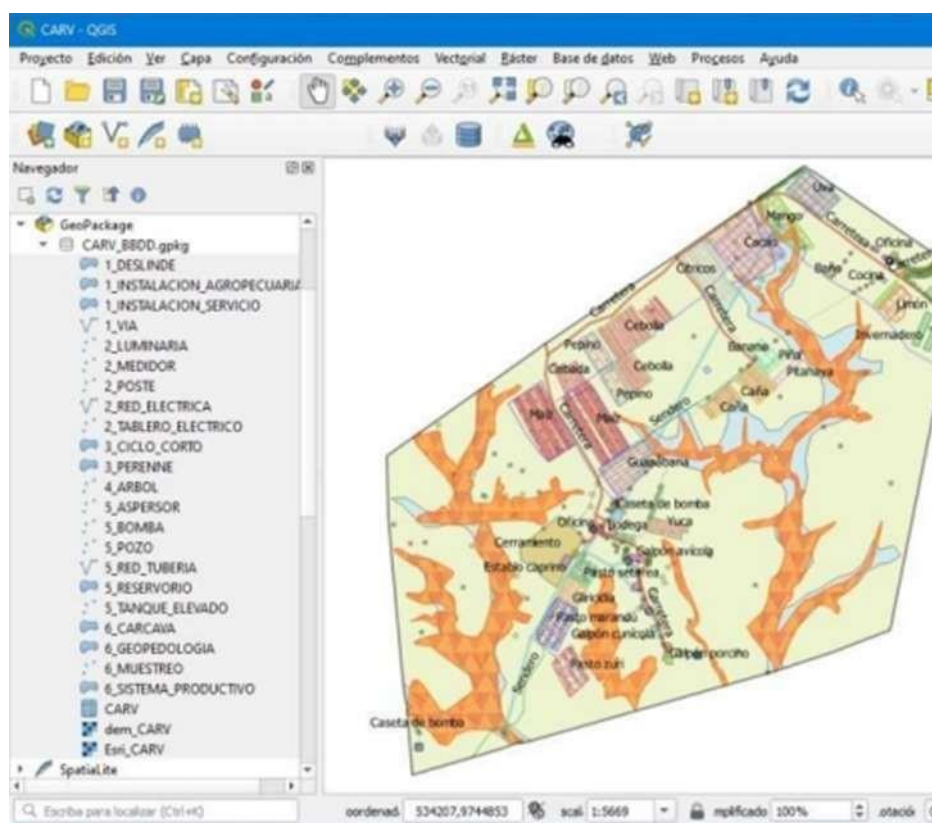
Tomalá (2019) explica que los límites que presentan estos suelos nos permiten proponer prácticas de manejo e conservación, para evitar el deterioro o mejorar las condiciones si se cultiva de forma continua e intensiva. La gestión de estos suelos debe centrarse en la incorporación de materia orgánica, ya sean residuos de cultivos, compost, abonos verdes, fertilizantes nitrogenados orgánicos o minerales, en dosis adecuadas según las necesidades de los cultivos adaptados y establecido por un sistema de fertilización.

Los esfuerzos para manejar y conservar esta clase de suelos deben enfocarse en métodos de control de erosión, como surcos en contorno y terrazas. Mediante la incorporación de material orgánico y leguminosas inmersas en un plan de rotación de cultivos es otra práctica recomendada.

En general, los suelos de la comuna son porosos, muy sueltos y tienen buena capacidad de retención de agua; Gracias a un trabajo agrícola adecuado, es posible mantener el balance hídrico en buenas condiciones, especialmente durante la época de cosecha. La principal limitante de uso se debe principalmente a la naturaleza de la pendiente del terreno, lo que les genera serios riesgos por erosión hídrica. Razón por la cual sería conveniente utilizarlos para el cultivo de pastos mejorados y el desarrollo de la ganadería semiintensiva (Tomalá, 2019).

### *3.9 Propuestas de sitios promisorios para la conservación y secuestro del carbono*

Se puede apreciar que en la Figuras 18 muestra el mapa de uso de suelo y lugares con función hidrorreguladora que, a nivel de finca, son las zonas restrictivas, correspondientes al bosque como áreas de conservación, y a nivel de cuenca, los sitios con franjas hidrorreguladoras que corresponden a las causas de las franjas reforestables, estos sitios son de fundamental importancia para el estudio, debido a la acumulación de carbono orgánico.



*Figura 18.* Mapa de uso de la tierra del Centro de Producción y Prácticas Río Verde.

Resultado del estudio se realizaron un conjunto de propuestas que parten del principio de conservar el matorral, debido a que éste en ambientes semiáridos desempeña un papel protector tan eficaz o más que el bosque, así como reordenar paulatinamente el área de influencia (Reyes, 2020).

Se recomienda además que las acciones que incluyen cultivos se ejecuten mediante labranza reducida o labranza cero, que ayudan a conservar el suelo y el agua, la labor de arar con tractores es costosa y el laboreo excesivo contribuye a que la erosión se acelere, provocando mayor compactación.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### *Conclusiones*

- ✓ Los análisis desarrollados en la cuenca de río Zapotal mostraron pruebas claras de que en los dos usos de suelo valorados no hay diferencias significativas de carbono orgánico en los primeros 30 centímetros, debido a las condiciones climáticas de la Zona de investigación. Las actuaciones humanas tienen la posibilidad de originar enormes cambios en el funcionamiento de los sistemas agrícolas, pecuarias y forestales como fuente de sumidero de C orgánico.
- ✓ La caracterización del contenido de carbono orgánico del suelo a diferentes profundidades del suelo, permitió obtener información de los suelos, aprovechamiento forestal y agrícola bajo las condiciones de análisis, esto permite realizar propuestas de optimización en la etapa inicial o de exploración, por ejemplo, si se recibe baja materia orgánica, recomendar su incremento.
- ✓ Por medio de análisis estadístico de Kruskal Wallis, en donde se puede apreciar la distribución espacial a 30 centímetros de profundidad donde tenemos la posibilidad de constatar que la presencia de COS es uniforme.

### *Recomendaciones*

- ✓ Siendo esta uno de los primeros estudios de Reserva de carbono orgánico en la cuenca del río Zapotal en el perfil costero y la provincia de Santa Elena se necesita explotar este nuevo campo investigativo científico con el objetivo de generar y recopilar información que aún es escasa.
- ✓ Es recomendable sensibilizar a la población de lo que se pierde en cuanto a calidad y salud del ambiente con dichos procesos de cambio de uso del suelo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, D.C., Acosta, E.H. and Torres, R.M. (2015) 'Variabilidad espacial del carbono en un suelo después de 10 años de retiro e incorporación de residuos de cosecha', p. 10.

Acosta, C. (2012) 'El suelo agrícola, un ser vivo', p. 6.

Agüero, D.R. (2014) 'Nutricional para suelos y plantas', 35(4), p. 8.

Álvarez, C.A.M. (2016) 'Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa guía didáctica', p. 217.

Ayala, C.M.R. (2014) 'Caracterización hidrogeológica de las cuencas de los Río Javita y Zapotal de la península de Santa Elena', p. 228.

Baquero, widman (2016) 'Elaboración de una propuesta de manejo para la conservación de suelos en la hacienda CADET, utilizando herramientas SIG.' Available at: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/10071> (Accessed: 16 December 2021).

Barrezueta-Unda, S. *et al.* (2020) 'Evaluación del método de ignición para determinar materia orgánica en suelos de la provincia el oro-ecuador', *FAVE Sección Ciencias Agrarias*, 19(2), pp. 25–36. doi:10.14409/fa.v19i2.9747.

Bautista, J.I. and Hernández, J.J.A. (2021) 'Determinación del carbono orgánico por el método químico y por calcinación', *Ingeniería y Región*, 26, pp. 20–28. doi:10.25054/22161325.2527.

Carvajal, A.F. and Pabón, J.D. (2016) 'Transformación de la superficie terrestre por la actividad humana y su relación con el cambio climático', *Sociedade & Natureza*, 28(2), pp. 185–198. doi:10.1590/1982-451320160201.

Correia, M.D., Menezes, R.S.C. and de OLINDA, R.A. (2014) 'Modelagem geoestatística da distribuição de carbono do solo e biomassa de herbáceas em sistema silvopastoril na região nordeste do brasil', *São Paulo*, p. 14.



- Cotler, H. *et al.* (2015) ‘La conservación de suelos: un asunto de interés público’, p. 68.
- Cusme, L.A.A. (2021) ‘Variación de la reserva de carbono en las zonas secas y subhúmedas de la península de santa elena’, p. 89.
- Duarte, C. (2014) ‘Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra’, p. 170.
- Espinosa, C.B. and Lima, D.P.D.L. (2019) ‘Características de los suelos del centro de producción y prácticas río verde, santa elena, ecuador’. doi:10.5281/ZENODO.3279873.
- Fahrig, L. (2003) ‘Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity’, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), pp. 487–515. doi:10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419.
- FAO (2015) ‘El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas’, p. 33.
- FAO (2020) *La biodiversidad de los suelos es ignorada, pero es fundamental para alimentar al planeta* | *Noticias ONU*. Available at: <https://news.un.org/es/story/2020/12/1485132> (Accessed: 16 January 2022).
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2017) *Carbono organico del suelo: el potencial oculto*. Place of publication not identified: FOOD & AGRICULTURE ORG.
- García Marín, M.E. (2016) ‘La deforestación: una práctica que agota nuestra biodiversidad’, *Producción + Limpia*, 11(2), pp. 161–168. doi:10.22507/pml.v11n2a13.
- García, Y. (2012) ‘Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso Soil quality indicators: A new way to evaluate this resource’, 35(2), p. 14.
- Guerrón, J.F.R. (2020) ‘Estimación del potencial de almacenamiento de carbono del bosque protector “los arrayanes”, sector monte verde, provincia del carchi’, p. 59.
- Iglesias, H.I.P. (2021) ‘Por el suelo y sus fracciones en agroecosistemas tropicales de la región costa ecuatoriana’, p. 9.

Julca-Otiniano, A. *et al.* (2006) ‘La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura’, p. 13.

Laban, P., Metternicht, G. and Davies, J. (2018) *Biodiversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas*. 1st edn. IUCN, International Union for Conservation of Nature. doi:10.2305/IUCN.CH.2018.03.es.

Lancho, J.F.G. (2013) ‘El agotamiento de la reserva orgánica del suelo y su relación con el secuestro de carbono atmosférico’, p. 6.

Loayza, N.V. *et al.* (2020) ‘Digital mapping of organic carbon in Ecuador soils’, *Ecosistemas*, 29(2). doi:10.7818/ECOS.1852.

*Mapa de órdenes de suelos del Ecuador* (2017). Quito, Ecuador: SIGTIERRAS - Memoria explicativa del Mapa de Órdenes de Suelos del Ecuador. Available at: [http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/MEMORIA\\_MAPA\\_DE\\_ORDENES\\_DE\\_SUELOS\\_MAG\\_SIGTIERRAS.pdf](http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/MEMORIA_MAPA_DE_ORDENES_DE_SUELOS_MAG_SIGTIERRAS.pdf).

Martínez, E., Fuentes, J.P. and Acevedo, E. (2008) ‘Carbono orgánico y Propiedades del suelo’, *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), pp. 68–96. doi:10.4067/S0718-27912008000100006.

Muñoz Gómez, F.A., Galicia Sarmiento, L. and Pérez, E.H. (2018) ‘Agricultura migratoria conductor del cambio de uso del suelo de ecosistemas alto-andinos de Colombia’, *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 16(1), p. 15. doi:10.18684/BSAA(16)15-25.

Narváez, K.R.C. (2020) *Evaluación de la presencia y distribución de carbonatos edáficos y su relación con el uso de la tierra en el centro de producción y prácticas Rio Verde, provincia Santa Elena*. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5646/1/UPSE-TIA-2020-0020.pdf>.

Origg, L.F. (1993) *Recursos naturales*. EUNED.

Orjuela, H.B. (2018) ‘El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático’, p. 15.

Paz, L. (2013) ‘XXXVIII Congreso de la SMCS, AC’, (1), p. 373.

Pin, J.L.V. (2015) ‘Vulnerabilidad, del sistema vial principal de la zona suroeste de la cuenca zapotal (prov. De santa elena), relacionada con la red drenaje ante la ocurrencia de un fenomeno “el niño”’, p. 79.

Proaño, J. and Briones, C. (2008) *Gestión de riego y la salinidad en los cultivos de la península de Santa Elena y la cuenca baja del Río Guayas*. Quito - Ecuador. Available at: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/5.-Jaime-Proano.-Riego.pdf>.

QGIS (2019) *Bienvenido al proyecto QGIS!* Available at: <https://www.qgis.org/es/site/> (Accessed: 16 January 2022).

R Core Team (2020) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Available at: <https://www.R-project.org/>.

Reboratti, C. (2015) ‘agricultura, sociedad y ambiente’, p. 184.

Reguerin, Marta, L.-A., CLARET, ROSA M, P. and CASANELLAS, JAIME, P. (2019) *Edafología: uso y protección de suelos*. Mundi-Prensa Libros.

Reyes, D.A.T. (2020) ‘Sistema de información geográfica del centro de apoyo río verde de la universidad estatal península de santa elena’, p. 83.

Robert, M. and Organizaci??n de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentaci??n (2002) *Captura de carbono en suelos para un mejor manejo de la tierra*. Roma: Organizaci??n de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentaci??n.

Rodríguez Ayala, C.M. (2014) *Caracterización hidrogeológica de las cuencas de los ríos Javita y Zapotal de la península de Santa Elena*. Universidad Central del Ecuador. Available at: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2325>.

Rodríguez, E.S.R. (2020) ‘Evaluación de la presencia y distribución de carbonatos edáficos y su relación con los cambios de usos de la tierra en el centro de apoyo manglaralto upse’, p. 73.

Rosa, D.D. la (2008) *Evaluación agro-ecológica de suelos*. Mundi-Prensa Libros.

Sáenz Saavedra, N. (1992) 'Los sistemas de información geográfica (SIG) una herramienta poderosa para la toma de decisiones', *Ingeniería e Investigación*, (28), pp. 31–40. doi:10.15446/ing.investig.n28.20790.

Santos, F. *et al.* (2012) 'Capítulo 20 Integración de los impulsores directos de cambio', p. 66.

Seingier, G. and Espejel, I. (2009) 'Cobertura vegetal y marginación en la costa mexicana', p. 17.

Serrano, J.I.B. *et al.* (2015) 'Cambios en las reservas de carbono orgánico del suelo bajo diferentes coberturas', 36(4), p. 7.

SIGTIERRAS (2017) *Mapa Digital, Órdenes de Suelos del Ecuador. Escala 1:4 300.000. Quito, Ecuador., Ministerio de Agricultura y Ganadería. Available at: <https://www.agricultura.gob.ec/sigtierras/> (Accessed: 31 May 2020).*

Soil Taxonomy (2006) 'Keys to Soil Taxonomy', p. 341.

Tech. W.G (2019) 'Procedimiento operativo estándar para la determinación de carbono total del suelo - Método de combustión seca Dumas', p. 12.

Tomalá, M.M.C. (2019) 'Capacidad de uso de las tierras del centro de producción y prácticas río verde', p. 90.

## ANEXOS



Figura 1A. Toma de muestras, forma espacial.



Figura 2A. Muestreo Vertical

ID_PUNTO	Lon	Lat	USO	%I	Orden	NoMuestra_Lab_UAE	Peso Inicial	# del cilindro	Peso del ped	Peso en sec	Peso final	%Humedad	M1	V1	MCaCO3	MCaCo3	V2	V3	M2
RCSE-RV-001	#####	-2,306210	Cebolla		262		5,559	6	43,388	48,921	5,533	0,47	10,523	1,2	0,204	0,305	62,8	0	0,2545
RCSE-RV-002	#####	-2,306718	Maiz		245		5,063	65	43,017	47,966	4,949	2,25	10,513	1,2	0,204	0,305	62,8	0	0,2545
RCSE-RV-003	#####	-2,307473	Arado		76		5,411	1	43,160	48,488	5,328	1,53	10,037	0,2	0,204	0,393	73	0	0,2985
RCSE-RV-004	#####	-2,307606	Maiz		36		5,968	42	43,281	49,111	5,830	2,31	10,399	10	0,204	0,393	73	0	0,2985
RCSE-RV-005	#####	-2,306939	Cebolla		218		5,332	42	43,281	48,518	5,237	1,78	10,142	1,4	0,204	0,305	62,8	0	0,2545
RCSE-RV-006	#####	-2,306576	Maiz		145		5,088	32	42,835	47,736	4,901	3,68	10,741	0,6	0,204	0,393	73	0	0,2985
RCSE-RV-007	#####	-2,305815	Arado		140		5,009	28	43,447	48,286	4,839	3,39	10,342	4,6	0,204	0,393	73	0	0,2985
RCSE-RV-008	#####	-2,305330	Arado		80		5,804	14	43,350	49,051	5,701	1,77	10,519	1,2	0,204	0,393	73	0	0,2985
RCSE-RV-009	#####	-2,305979	Arado		133		5,105	10	42,836	47,840	5,004	1,98	10,073	1,4	0,204	0,393	73	0	0,2985
RCSE-RV-010	#####	-2,305507	Limón		47		5,662	69	43,246	48,891	5,645	0,30	10,203	0,6	0,204	0,393	73	0	0,2985
RCSE-RV-011	#####	-2,304863	Limón		50		5,176	48	43,216	48,284	5,068	2,09	10,159	1,4	0,204	0,393	73	0	0,2985
RCSE-RV-012	#####	-2,304565	Cacao		157		5,430	2	43,118	48,529	5,411	0,35	10,173	1,6	0,204	0,393	73	0	0,2985
RCSE-RV-013	#####	-2,305146	Cacao		286		5,001	67	43,063	47,994	4,931	1,40	10,361	1,2	0,204	0,305	62,8	0	0,2545
RCSE-RV-014	#####	-2,304783	Mango		279		5,788	14	43,350	48,929	5,579	3,61	10,633	1,4	0,204	0,305	62,8	0	0,2545
RCSE-RV-015	#####	-2,304235	Mango		290		5,283	60	43,052	48,162	5,110	3,27	10,562	1,6	0,204	0,305	62,8	0	0,2545
RCSE-RV-016	#####	-2,303929	Uva		297		5,520	52	43,504	48,895	5,391	2,34	10,723	1,4	0,204	0,305	62,8	0	0,2545
RCSE-RV-017	#####	-2,304247	Uva		235		5,117	28	43,447	48,459	5,012	2,05	10,266	1,6	0,204	0,305	62,8	0	0,2545
RCSE-RV-018	#####	-2,304700	Arado		280		5,491	46	43,394	48,769	5,375	2,11	10,895	2	0,204	0,305	62,8	0	0,2545
RCSE-RV-019	#####	-2,305133	Neem		185		5,041	6	43,388	48,374	4,986	1,09	11,647	1,4	0,204	0,305	62,8	0	0,2545
RCSE-RV-020	#####	-2,305337	Neem		92		5,305	32	42,835	48,092	5,257	0,90	10,121	0,8	0,204	0,393	73	0	0,2985
RCSE-RV-021	#####	-2,305970	Invernadero		59		6,183	29	43,225	49,301	6,076	1,73	10,397	2	0,204	0,393	73	0	0,2985
RCSE-RV-022	#####	-2,305557	Limón		268		5,481	15	43,248	48,602	5,354	2,32	10,417	0,8	0,204	0,305	62,8	0	0,2545
RCSE-RV-023	#####	-2,305190	Maleza		24		5,627	68	42,944	48,431	5,487	2,49	10,342	0,4	0,204	0,393	73	0	0,2985
RCSE-RV-024	#####	-2,305671	Maleza		200		5,112	27	43,237	48,297	5,060	1,02	10,325	1	0,204	0,305	62,8	0	0,2545
RCSE-RV-025	#####	-2,305864	Neem		186		5,666	11	43,405	48,998	5,593	1,29	10,362	1	0,204	0,305	62,8	0	0,2545
RCSE-RV-026	#####	-2,306207	Maleza		210		5,047	40	42,888	47,873	4,985	1,23	10,502	2	0,204	0,305	62,8	0	0,2545
RCSE-RV-027	#####	-2,306687	Maleza		150		5,544	46	43,394	48,825	5,431	2,04	10,960	1,4	0,204	0,393	73	0	0,2985
RCSE-RV-028	#####	-2,307421	Maleza		142		5,452	67	43,063	48,293	5,230	4,07	10,634	1,2	0,204	0,393	73	0	0,2985
RCSE-RV-029	#####	-2,306958	Maleza		177		5,272	61	43,350	48,601	5,251	0,40	10,778	1	0,204	0,305	62,8	0	0,2545

Figura 3A. Calculo de COS Horizontal

ID_PUNTO	Peso Inicia	# del cilindro	Peso del pe	Peso en sec	Peso final	%Humedad	M1	V1	MCaCO3	MCaCo3	V2	V3	M2
RCEc_GEFJ_1_1	5,240	22	43,428	48,620	5,192	0,92	10,172	2,6	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_1_2	5,703	53	43,374	49,019	5,645	1,02	10,099	2	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_1_3	5,005	69	43,246	48,188	4,942	1,26	10,061	1,4	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_1_4	5,267	71	43,278	48,465	5,187	1,52	10,742	1,6	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_1_5	5,598	12	43,185	48,696	5,511	1,55	10,899	1,4	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_2_1	5,039	13	43,678	48,663	4,985	1,07	10,119	1,6	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_2_2	5,693	28	43,447	48,969	5,522	3,00	10,059	0,6	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_2_3	5,623	73	43,526	48,857	5,331	5,19	10,276	1,2	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_2_4	5,625	50	43,365	48,744	5,379	4,37	10,431	0,8	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_2_5	5,065	51	43,194	48,148	4,954	2,19	10,232	1,2	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_3_1	5,466	58	43,583	48,942	5,359	1,96	10,818	2	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_3_2	5,572	45	43,500	48,943	5,443	2,32	10,415	2,4	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_3_3	5,471	49	43,395	48,684	5,289	3,33	10,323	2,8	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_3_4	5,625	34	43,427	48,953	5,526	1,76	10,304	1,8	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_3_5	5,297	55	42,809	47,958	5,149	2,79	10,234	1,6	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_4_1	5,631	38	43,075	48,606	5,531	1,78	10,937	2	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_4_2	5,850	3	43,095	48,835	5,740	1,88	10,227	1,8	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_4_3	5,209	54	43,171	48,208	5,037	3,30	10,315	1	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_4_4	5,198	26	43,192	48,162	4,970	4,39	10,725	0	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_4_5	5,756	57	43,660	49,171	5,511	4,26	10,715	0,2	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_5_1	5,257	30	43,318	48,540	5,222	0,67	10,170	1,2	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_5_2	5,763	42	43,281	48,871	5,590	3,00	10,317	1,2	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_5_3	5,296	24	43,119	48,195	5,076	4,15	10,524	1,6	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_5_4	5,093	17	43,251	48,138	4,887	4,04	10,448	1,2	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255
RCEc_GEFJ_5_5	5,298	4	43,103	48,090	4,987	5,87	10,188	0,6	0,208	0,302	58,7	0,1	0,255

Figura 4A. Calculo de COS vertical

<b>Clase</b>	<b>Límite Inferior</b>	<b>Límite Superior</b>	<b>Punto Medio</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia Relativa</b>	<b>Frecuencia Acumulada</b>	<b>Frecuencia Rel. Acum</b>
<b>1</b>	0	2,0		1	0,0139	1	0,0139
<b>2</b>	2,0	8,0	5,0	0	0,0000	1	0,0139
<b>3</b>	8,0	14,0	11,0	8	0,1111	9	0,1250
<b>4</b>	14,0	20,0	17,0	19	0,2639	28	0,3889
<b>5</b>	20,0	26,0	23,0	40	0,5556	68	0,9444
<b>6</b>	26,0	32,0	29,0	4	0,0556	72	1,0000
<b>7</b>	32,0	38,0	35,0	0	0,0000	72	1,0000

Figura 5A. Distribución de frecuencia de RCOS en el Uso de suelo: Forestal.

<b>Clase</b>	<b>Límite Inferior</b>	<b>Límite Superior</b>	<b>Punto Medio</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia Relativa</b>	<b>Frecuencia Acumulada</b>	<b>Frecuencia Rel. Acum.</b>
<b>1</b>	0	2,0	0	0	0,0000	0	0,0000
<b>2</b>	2,0	5,83	3,91	1	0,0370	1	0,0370
<b>3</b>	5,83	9,66	7,75	0	0,0370	1	0,0370
<b>4</b>	9,66	13,5	11,58	2	0,0741	3	0,1111
<b>5</b>	13,5	17,33	15,41	3	0,1111	6	0,2222
<b>6</b>	17,33	21,16	19,25	1	0,0370	7	0,2593
<b>7</b>	21,16	25,0	23,08	20	0,7407	27	1,000

Figura 6A. Distribución de frecuencia de RCOS en el Uso de suelo: Agrícola.