



Universidad Estatal Península de Santa Elena

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Agropecuaria

**VARIACIÓN DE LA RESERVA DE CARBONO EN LAS
ZONAS SECAS Y SUBHÚMEDAS DE LA PENÍNSULA DE
SANTA ELENA**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Lesther Alexander Auria Cusme.

La Libertad, 2021



Universidad Estatal Península de Santa Elena

Facultad de Ciencias Agrarias

Carrera de Agropecuaria

**VARIACIÓN DE LA RESERVA DE CARBONO EN LAS
ZONAS SECAS Y SUBHÚMEDAS DE LA PENÍNSULA DE
SANTA ELENA**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Lesther Alexander Auría Cusme.

Tutor: Ing. Daniel Ponce de León Lima, PhD.

La Libertad, 2021

TRIBUNAL DE GRADO



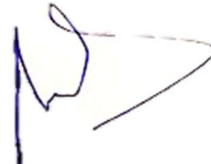
Ing. Nadia Quevedo Pinos, PhD.
**DIRECTORA DE CARRERA
DE AGROPECUARIA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



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



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



Ing. Andrés Drouet Candell, MSc.
**PROFESOR GUÍA DE LA UIC
SECRETARIO**

AGRADECIMIENTOS

Dios es el único que nos pone pruebas difíciles que nos hacen dudar de nosotros mismos, de nuestras capacidades y habilidades. Debemos saber que por más dura que sea la lucha, el seguir de pie es lo que nos convierte en guerreros únicos. Mis sinceros y profundos agradecimiento a Dios, por llenarme de fortaleza cada día, por enseñarme que en la vida nada es fácil, que la satisfacción nace cuando algo es correctamente hecho y que nunca se debe dar un paso atrás.

Mi mamá ha sido el mejor ejemplo de vida, el mejor ejemplo de lucha y el mejor ejemplo de mujer, sin ella no hubiese logrado nada hasta, sin ella me hubiese perdido y sin ella no existiera. La agradezco por ser mi primera maestra enseñándome lo necesario para caminar en esta vida, por el enorme sacrificio que hizo al criarme y por todo el amor que me entrego para ser la persona que soy ahora. Siempre estaré en deuda con mi mamá por el apoyo incondicional que me ha dado desde que era un niño, millón de gracias mi amada mamá, Eira Celeste Cusme Quiroz.

Agradezco a mi papá Nolberto Olmedo Auria Torres, quien en su largo trayecto de vida me ha demostrado el verdadero amor por la familia, que sus largas horas en su trabajo y la acumulación del cansancio de todos los días fueron recompensados. A mis hermanas Shirley Andrea Auria Cusme y Alisson Selena Auria Cusme por esos ánimos que me inyectaban para que no flaquee en este largo proceso estudiantil, por motivarme mediante los hermosos momentos que pasamos como hermanos. La Familia siempre será la más importante en la vida de cada persona, solo nos queda mantenerla unida y cuidarla de una manera extraordinaria.

Agradezco a mis verdaderos amigos, Francisco Quimí, José Quirumbay, Katherine Solano, Erika Panchana, Denisse Ricardo y Odalys Castillo por enseñarme que la amistad verdadera prevalece y se fortalece en el tiempo y que bueno de la universidad es compartir con personas que te quieren y te aprecian, sin los amigos el aprendizaje es completamente sin sentido. Y le doy millones de gracias a quien fue más que mi amiga, Yeraldin Tumbaco, una mujer maravillosa y única que estuvo siempre conmigo durante este proceso académico, quien se convirtió en mi pararrayos y me ayudó a crecer como profesional y persona.

Agradezco a los docentes que impartieron los conocimientos necesarios para ser un buen profesional, al Ing. Daniel Ponce de León Lima, PhD., por la dedicación prestada para culminar con éxito este trabajo. A mis compañeros, con quienes compartí un aula de clases y aprendí que la verdadera competencia se da entre nosotros mismos.

Gracias a cada uno de las personas que me acompañaron, que Dios siempre los cuide, guíe y proteja por donde se encuentren y vayan.

Lesther Alexander Auria Cusme

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico principalmente a Dios quien me brindó la oportunidad de cumplir mi meta anhelada, por la sabiduría y paciencia al entender y comprender los conocimientos necesarios.

Le dedico a mi mamá que es mi motor de vida, la chispa que enciende todas mis capacidades y destrezas, a ella quien es todo para mí, una guerrera sin capa ni espada, le dedico este trabajo.

Finalmente, a mi familia y amigos quienes estuvieron presente desde el momento que ingresé a la universidad, quienes me apoyaron incondicionalmente para seguir avanzando hasta la recta final.

Lesther Alexander Auria Cusme

RESUMEN

Se estimó la reserva de carbono orgánico en los suelos de las zonas secas y subhúmedas de la Península de Santa Elena, además, se evaluó la influencia que tienen las condiciones edafoclimáticas en la acumulación de carbono. Para ello, se partió de una base de datos de 308 perfiles de suelos, esta información se organizó y se agrupó en base a los siguientes criterios: clasificación taxonómica, acumulación de materia orgánica, régimen de humedad, entre otras. Se procedió a la realización de un análisis estadístico descriptivo de la información, donde, se determinó media, mediana, moda y varianza, además, se efectuó un análisis de distribución espacial y semivariogramas para la asignación de perfil al polígono a través de la utilización de los Software InfoStat y R-Studio. De esta manera, se obtuvo que las reservas de carbono orgánico fluctúan en un rango de 0.00 a 35.53 Mg ha⁻¹ y el contenido porcentual no supera el 2%. A las reservas estimadas se le determinó diferencia significativa por criterio de clasificación a través de la prueba de rango de Kruskal-Wallis, y no correlación entre los puntos de cada perfil con el análisis de distribución espacial. En conclusión, las condiciones edafoclimáticas como el clima, la aridez y el Régimen de Humedad limitan la acumulación de carbono orgánico en los suelos de zonas secas y subhúmedas de la Península, donde se estimó un valor total de 57 073 114.82 Mg de reserva de carbono orgánico a una profundidad de 30 cm.

Palabras Claves: *Carbono orgánico, condición edafoclimática, distribución espacial, estimación, zona seca y subhúmeda.*

ABSTRACT

It was estimated the organic carbon reserve in the soils of the dry and sub-humid areas of the Santa Elena Peninsula was estimated, in addition, the influence of edaphoclimatic conditions on carbon accumulation was evaluated. For this, we started from a database of 308 soil profiles, this information was organized and grouped based on the following criteria: taxonomic classification, accumulation of organic matter, humidity regime, among others. A descriptive statistical analysis of the information was carried out, where mean, median, mode and variance were determined, in addition, a spatial distribution analysis and semivariograms were carried out for the assignment of the profile to the polygon through the use of The InfoStat and R-Studio Software. In this way, it was obtained that the organic carbon reserves fluctuate in a range from 0.00 to 35.53 Mg ha⁻¹ and the percentage content does not exceed 2%. A significant difference was determined for the estimated reserves by classification criterion through the Kruskal-Wallis rank test, and no correlation between the points of each profile with the spatial distribution analysis. In conclusion, the edaphoclimatic conditions such as the climate, aridity and the Humidity Regime limit the accumulation of organic carbon in the soils of dry and sub-humid areas of the Peninsula, where a total value of 57 073 114.82 Mg of carbon reserve was estimated organic to a depth of 30 cm.

Keywords: *Organic carbon, dry zone, edaphoclimatic condition, estimation, spatial distribution and sub-humid zones.*

"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".

A handwritten signature in blue ink that reads "Auria Cusme Lester". The signature is written in a cursive style with a large initial 'A'.

Lester Auria Cusme

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Problema Científico	2
Objetivos	3
Objetivo general	3
Objetivos Específicos.....	3
Hipótesis	3
1. CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	4
1.1. El suelo	4
1.1.1. Generalidades del suelo	4
1.1.2. Componentes Básicos.....	4
1.1.3. Cobertura y uso del suelo	5
1.2. Alcalinización y acidificación del suelo	5
1.2.1. Acidificación	5
1.2.2. Alcalinización.....	5
1.3. Salinidad y sodificación del suelo	5
1.4. Materia Orgánica en el Suelo.....	6
1.4.1. Importancia de la MOS	6
1.4.2. Componentes de la MOS.....	6
1.4.3. Ciclo del carbono.....	7
1.5. Carbono Orgánico del Suelo.....	7
1.5.1. Acumulación de carbono orgánico en el suelo.....	7
1.5.2. Factores que influyen a la acumulación de CO en el suelo.....	8
1.6. Reservas Globales de Carbono	8

1.7.	Determinación de Reserva de COS	8
1.7.1.	Métodos de medición de carbono.....	8
1.7.2.	Métodos de estimación de reserva de carbono	9
1.8.	Caracterización Edafoclimática del Ecuador	9
1.8.1.	Clima	9
1.8.2.	Tipos de suelos	9
1.9.	Caracterización edafoclimática de la Península de Santa Elena.....	10
1.9.1.	Clima de la Península	10
1.9.2.	Tipos de suelos en la Península de Santa Elena	10
1.10.	Caracterización de Zonas Secas y Subhúmedas	11
1.10.1.	Zonas Secas	11
1.10.2.	Zonas Subhúmedas	11
2.	CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
2.1.	Ubicación del área de estudio	12
2.2.	Manejo del estudio.....	13
2.2.1.	Tipo de investigación	13
2.2.2.	Datos utilizados	13
2.3.	Determinación del carbono y reserva de carbono.....	14
2.4.	Asignación de curvas patrones a perfiles de suelos.....	15
2.4.1.	Clasificación taxonómica	16
2.4.2.	Régimen de humedad del suelo.....	16
2.4.3.	Acumulación de materia orgánica.....	17
2.4.4.	Contenido de sales.....	17
2.4.5.	Textura del suelo	17
2.5.	Análisis estadístico descriptivo del trabajo de investigación.....	18

2.5.1.	Análisis del porcentaje de carbono orgánico en el suelo.....	18
2.5.2.	Análisis de las reservas de carbono orgánico en el suelo.....	18
2.6.	Análisis de la Varianza	19
2.7.	Análisis de la Distribución Espacial	20
2.8.	Análisis de las condiciones edafoclimáticas y la reserva de carbono.....	20
3.	CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
3.1.	Análisis estadístico descriptivo del contenido porcentual de COS en el primer horizonte del suelo	21
3.1.1.	Análisis estadístico del COS con relación al Orden de Suelo	24
3.1.2.	Análisis estadístico del COS con relación al Régimen de Humedad del Suelo	26
3.1.3.	Análisis estadístico del COS con relación al Subgrupo de Curva Patrón Establecida	28
3.2.	Análisis estadístico descriptivo de las reservas de carbono orgánico en los suelos a una profundidad de 30 cm.....	32
3.2.1.	Análisis estadístico de la reserva de carbono orgánico en el suelo con relación al Orden de Suelo	36
3.2.2.	Análisis estadístico de la reserva de carbono orgánico en el suelo con relación al Régimen de Humedad del Suelo	38
3.2.3.	Análisis estadístico de la reserva de carbono orgánico en el suelo con relación a la Subcuenca.....	40
3.2.4.	Análisis estadístico de la reserva de carbono orgánico en el suelo con relación al Subgrupo de Curva Patrón	45
3.3.	Análisis de la varianza del porcentaje de carbono orgánico.....	49
3.4.	Análisis de la varianza de la reserva de carbono orgánica	53
3.5.	Análisis de la distribución espacial de la RCOS a 30 cm de profundidad.....	60
3.6.	Estimación de la reserva total de carbono orgánico en la Península	61
3.7.	Análisis de las condiciones edafoclimáticas en la reserva de carbono	62

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
Conclusiones.....	64
Recomendaciones	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Subgrupos de suelos para Curvas Patrones basados en la Clave Taxonómica 2006.	15
Tabla 2. Órdenes de suelos y subórdenes de los perfiles según la Clave Taxonómica 2006.	16
Tabla 3. Orden y Suborden de la Curva Patrón según la Clave Taxonómica de Suelos 2006.	16
Tabla 4. Identificación del Régimen de Humedad del suelo por Curva Patrón.....	17
Tabla 5. Cuencas y Sub Cuencas identificados en el territorio de la provincia de Santa Elena con su respectivo código.....	19
Tabla 6. Resumen estadístico del contenido porcentual de COS en el primer horizonte relacionado con los criterios analizados (continua).....	22
Tabla 7. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el Orden de Suelo: Alfisols.....	24
Tabla 8. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el Orden de Suelo: Aridisols.....	24
Tabla 9. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el orden de suelo: Entisols.....	25
Tabla 10. Distribución de frecuencia de porcentaje de COS en el Orden de Suelo: Inceptisols.	25
Tabla 11. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el Orden de Suelo: Mollisols.	26
Tabla 12. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el Orden de Suelo: Vertisols.	26
Tabla 13. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el Régimen de Humedad: Arídico.....	27
Tabla 14. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el Régimen de Humedad: Ústico.	27
Tabla 15. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el Régimen de humedad: Údico.....	28
Tabla 16. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: Fluventic Haplusteps.	28

Tabla 17. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: Typic Haplotorrerts.	29
Tabla 18. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: Fluventic Eutrudepts.	29
Tabla 19. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: Ustic Haplocambids.	30
Tabla 20. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: Typic Haplocambids.	30
Tabla 21. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: Arenic Haplargids.	31
Tabla 22. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: Typic Haplusteps.	31
Tabla 23. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: Fluventic Haplocambids.	32
Tabla 24. Resumen estadístico de la RCOS a 30 cm de profundidad de los diferentes perfiles analizados por parámetro evaluado (continua).	33
Tabla 25. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) en el Orden de Suelo: Alfisols.	36
Tabla 26. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) en el Orden de Suelo: Aridisols.	36
Tabla 27. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) en el Orden de Suelo: Entisols.	37
Tabla 28. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) en el Orden de Suelo: Inceptisols.	37
Tabla 29. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) en el Orden de Suelo: Mollisols.	38
Tabla 30. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) en el Orden de Suelo: Vertisols.	38
Tabla 31. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) en el Régimen de humedad: Arídico.	39
Tabla 32. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) en el Régimen de humedad: Ústico.	39

Tabla 33. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) en el Régimen de humedad: Údico.....	40
Tabla 34. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subcuenca: Río Ayampe.....	40
Tabla 35. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subcuenca: Río Manglaralto.....	41
Tabla 36. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subcuenca: Río Valdivia.....	41
Tabla 37. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subcuenca: Río Viejo.....	42
Tabla 38. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subcuenca: Río Javita.....	42
Tabla 39. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subcuenca: Río Grande.....	43
Tabla 40. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subcuenca: Río Salado.....	43
Tabla 41. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subcuenca: Río La Seca.....	44
Tabla 42. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subcuenca: Río Zapotal.....	44
Tabla 43. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subcuenca: Estero de Morro.....	45
Tabla 44. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subcuenca: Río Daular.....	45
Tabla 45. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Fluventic Haplusteps.....	46
Tabla 46. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Typic Haplotorrerts.....	46
Tabla 47. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Fluventic Eutrudepts.....	47
Tabla 48. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Ustic Haplocambids.....	47

Tabla 49. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Typic Haplocambids.	48
Tabla 50. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Arenic Haplargids.	48
Tabla 51. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Arenic Haplargids.	49
Tabla 52. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha ⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Fluventic Haplocambids.....	49
Tabla 53. Prueba de rango de Kruskal-Wallis para datos de porcentaje de carbono orgánico en el suelo del primer horizonte, agrupados por subgrupo de Curva Patrón asignada.	50
Tabla 54. Prueba de rango de Kruskal-Wallis para datos de reserva de carbono orgánico en el suelo a una profundidad de 30 cm, agrupados por Orden de Suelo...	53
Tabla 55. Prueba de suma de rangos de Wilcoxon para comparación de mediana en el Orden de Suelo.....	54
Tabla 56. Prueba de rango de Kruskal-Wallis para datos de reserva de carbono orgánico en el suelo a una profundidad de 30 cm, agrupados por Subcuenca Hidrográfica representativa.....	56
Tabla 57. Prueba de suma de rangos de Wilcoxon para comparación de mediana por Subcuenca Hidrográfica.....	58
Tabla 58. Prueba de rango de Kruskal-Wallis para datos de reserva de carbono orgánico en el suelo a una profundidad de 30 cm, agrupados por Régimen de Humedad de Suelo.....	58
Tabla 59. Prueba de suma de rangos de Wilcoxon para comparación de mediana por Régimen de Humedad.....	60
Tabla 60. Reserva total de Carbono Orgánico en el Suelo a 30 cm de profundidad y el área de representación en la Península de Santa Elena agrupadas por Orden de Suelo y Régimen de Humedad.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la Provincia de Santa Elena en el Ecuador.....	12
Figura 2. Ubicación geográfica de las zonas secas y subhúmedas dentro del territorio de la provincia de Santa Elena.....	13
Figura 3. Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico del porcentaje de COS en el primer horizonte para los Subgrupos de Curvas patrones establecidas.	51
Figura 4. Variación del porcentaje de carbono orgánico (C %) en la profundidad por subgrupo de suelo. GEFJ – Arenic Haplargids, GGDU – Ustic Haplocambids, GGDU – Ustic Haplocambids, GGDV – Typic Haplocambids, KEDO – Fluventic Haplusteps, KEDW – Typic Haplusteps, KGDP – Fluventic Eutrudepts, FDDF – Typic Haplotorrerts.	52
Figura 5. Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de la reserva de carbono orgánica en el suelo a 30 cm de profundidad para el Orden de Suelo.	54
Figura 6. Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de la reserva de carbono orgánica en el suelo a 30 cm de profundidad para Subgrupos de Suelos.	55
Figura 7. Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de la reserva de carbono orgánica en el suelo a 30 cm de profundidad para Subcuenca Hidrográficas.	57
Figura 8. Histograma, curva de densidad y diagrama de caja del análisis estadístico de la reserva de carbono orgánica en el suelo a 30 cm de profundidad para el Régimen de Humedad de Suelo: Arídico (A), Ústico (B) y Údico (C).	59
Figura 9. (A) Distribución espacial de carbono orgánico en el suelo, (B) Distribución de carbono orgánico en el eje X, (C) Distribución de carbono orgánico en el eje Y, y (D) Distribución espacial en tercera dimensión de carbono orgánico en el suelo.	60
Figura 10. Semivariogramas experimentales de la reserva de carbono orgánico en el suelo de la Península de Santa Elena.	61
Figura 11. Representación del mapa de reserva de carbono orgánico en los suelos (RCOS) a 30 cm de profundidad de la Península de Santa Elena.	63

ÍNDICE DE ANEXOS

Figura 1A. Histograma y diagrama de cajas para los datos generales del contenido (%) de carbono orgánico en el primer horizonte del suelo.

Figura 2A. Histograma, curva de densidad y diagrama de cajas para los datos generales de la reserva de carbono orgánica en el suelo (RCOS) a 30 cm de profundidad.

Figura 4A. Representación espacial de la estimación de la reserva de carbono orgánica (RCOS) en el suelo a 30 cm de profundidad en los sitios estudiados.

Figura 5A. Ejecución del Software QGIS en la representación espacial de las reservas de carbono orgánico en la Península de Santa Elena.

INTRODUCCIÓN

El suelo durante los últimos años se ha convertido en uno de los recursos más vulnerables a nivel mundial, a causa del cambio climático, degradación de tierras y pérdida de biodiversidad. El suelo es la principal reserva de carbono en comparación con la atmósfera y la vegetación terrestre, esto ha ocasionado que el carbono orgánico en el suelo sea dinámico, esta característica se ha convertido en una fuente neta de gases de efecto invernadero (GEI) debido a impactos antropogénicos sobre el suelo, que incrementa el cambio climático, el mismo que es una amenaza para las seguridad alimentaria por la afectación sobre la agricultura (FAO, 2017; Orjuela, 2018).

El carbono orgánico (COS) es considerado un indicador de la salud y calidad del suelo, debido que por ser el componente principal de la materia orgánica (MOS) en distintas proporciones, contribuye a una mejor producción de alimentos en los suelos y a la mitigación y cambio climático. Esto se debe a que proporciona nutrientes a las plantas, estabilización en la estructura de suelo y mejora la disponibilidad de agua (Galicia *et al.*, 2016; FAO, 2017).

La acumulación de carbono en el suelo depende de muchos factores, el principal es la modificación de la cobertura natural del suelo relacionada con la materia orgánica, donde, el contenido de carbono orgánico en cada fracción de la MO se ve influenciado por el material parental, vegetación, manejo del suelo y el clima. Además, la mecanización de tierras causa pérdidas de CO y un aumento en las emisiones de CO₂ (Valenzuela and Visconti, 2018).

En los modelos de dinámica del carbono orgánico en el suelo se distinguen tres compartimentos: carbono lábil con un tiempo de residencia de días o años en forma de macroagregados (250 – 2 000 mm), el carbono intermedio con un tiempo de residencia de decenios en microagregados (53 – 250 mm) y el carbono estable con un tiempo de residencia de siglos a millares de años en microagregados (<53 mm) (Sales Dávila, 2006; Romero Fernández, 2016).

Desde hace varias décadas se ha prestado atención e importancia al carbono orgánico en suelo (COS), el conocimiento a nivel mundial es escaso y pobre sobre la línea base de carbono y sus cambios en la biosfera terrestre. En el Ecuador se cuenta con insuficiente información sobre las reservas de carbono en los suelos (RCOS), a pesar

de las capacidades y esfuerzos de instituciones nacionales en actualizar y completar la información edáfica del territorio.

Por su parte la Península de Santa Elena por presentar en su mayoría áreas secas y subhúmedas, representan gran interés en el contexto nacional, debido a que en zonas áridas los ecosistemas son frágiles y tienen una estrecha relación con la distribución y contenido del carbono orgánico en el suelo, el cual, presenta valores muy bajos en contraste con los tiempos de reciclaje de la materia orgánica (Ramirez Rodriguez, 2020).

La provincia de Santa Elena consta de seis tipos de suelo según la Clave Taxonómica de Suelos 2006, donde predominan los suelos del Orden Aridisol e Inceptisols con textura franco arenosa y franco arcillosa (Koupermann Kuperman, 2014; Cortéz Pozo, 2021). En la zona prevalecen los climas áridos, secos y subhúmedos, en que la evapotranspiración supera las precipitaciones en todos los meses del año y en algunas superficies presentan suelos erosionados a causa de la baja cobertura vegetal, pedregosidad alta, intensidad de lluvias y rasgos de exceso de sales que limitan el crecimiento y desarrollo del cultivo. Estos factores influyen en la cantidad de residuos orgánicos que afectan a la naturaleza y por tanto a la acumulación de carbono orgánico en el suelo. Sin embargo, son condiciones favorables para la acumulación de carbonatos secundarios en el perfil de suelo (INAMHI, 2006; SINAGAP and IEE, 2012).

El propósito de esta investigación es la evaluación de la reserva y distribución del carbono orgánico en las zonas secas y subhúmedas de la provincia de Santa Elena, relacionado con las diferentes zonas climáticas y tipos de suelos, de esta manera, brindar información útil en la toma de decisiones para la implementación de proyectos agrícolas en la Península. Se recalca que no hay un conocimiento sobre la cuantía y distribución de las reservas de carbono orgánico exacta del territorio provincial.

Problema Científico

¿Cómo varían las reservas de carbono en las zonas secas y subhúmedas de la Península de Santa Elena y qué factores condicionan su distribución?

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la reserva de carbono orgánico en las zonas secas y subhúmedas de la Península de Santa Elena a partir de la información de perfiles del Mapa Geopedológico.

Objetivos Específicos

- Estimar las reservas de carbono de las zonas secas y subhúmedas en la Península de Santa Elena a partir de la información de perfiles del Mapa Geopedológico.
- Elaborar el mapa de la reserva de carbono de las zonas secas y subhúmedas de la Península de Santa Elena.
- Analizar la influencia de las condiciones edafoclimáticas en la reserva de carbono.

Hipótesis

Las condiciones edafoclimáticas influyen en la cuantía y distribución de las reservas de carbono orgánico en la Península de Santa Elena.

1. CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. El suelo

1.1.1. Generalidades del suelo

Según INIA (2015), el suelo es la capa superficial de la tierra, donde se desarrolla los seres vivos. Se caracteriza por aportar con nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas y la capacidad de almacenar agua de lluvias; dentro de su aspecto consta de horizontes que difieren en propiedades físicas y químicas.

Orjuela (2018) añade que el suelo es el componente principal en el sistema climático del planeta, debido a que es un suministro de carbono en la naturaleza. Se caracteriza por participa activamente en la dinámica de generación y fijación de gases de efecto invernadero que modifican el clima de las diferentes regiones.

1.1.2. Componentes Básicos

El suelo está conformado en su totalidad por componentes minerales, producidos por la descomposición de la roca madre de la corteza terrestre y por individuos bióticos: plantas, animales y microorganismos. Sin embargo, el suelo ideal está constituido por cuatro componentes en partes bien equilibradas: 45% de materia orgánica, 45% de materia mineral, 25% de agua y 25% de aire (Acosta, 2007).

SACSA (2015) describe que los componentes básicos del suelo son:

- Aire: elemento gaseoso que facilita el paso del agua en el suelo a través de bolsillos aireados a las especies verdes.
- Agua: elemento líquido que proporciona un ambiente húmedo a las plantas en la superficie del suelo.
- Minerales: la mayoría de suelos constan de arena, limo y arcillo, y algunos casos estos minerales se encuentran en mayor porción.
- Materiales orgánicos: se originan mediante la descomposición de plantas y animales que se encuentran en el suelo, que genera la creación de la materia orgánica que proporciona nutrientes a las plantas.
- Materiales biológicos: representado por el mundo microscópico que contribuyen con elementos orgánicos importantes para el suelo.

1.1.3. Cobertura y uso del suelo

MAG (2019) describe de manera general que la cobertura del suelo es la cubierta biofísica que se observa en la superficie del globo terráqueo, y que el uso del suelo representa la labor del hombre en los diferentes tipos de cobertura dando como resultado de la interacción entre los factores biofísicos y culturales de un espacio geográfico específico.

1.2. Alcalinización y acidificación del suelo

1.2.1. Acidificación

Barettino et al. (2005) menciona que la acidificación del suelo es consecuencia de una variedad de procesos naturales como los edáficos, climáticos y biológicos; y antropogénicos que son derivados del acción del ser humano.

Campillo and Sadzawka (2006) agregan que los suelos ácidos se generan por una pérdida de cationes básicos y una acumulación de cationes ácidos, como consecuencia limita el crecimiento de las plantas por toxicidad de aluminio, hidrógeno y manganeso.

1.2.2. Alcalinización

Clavijo Narváez (2020) cita a Blaya and García (2003) que explican que la alcalinización es un proceso contrario a la acidez en el suelo, es decir, la alcalinización es la reducción de la acidez debido a la adición de cales agrícolas que son compuestos que no dejan residuos o restos contaminantes en el suelo, entre los más utilizados están los carbonatos e hidróxidos de calcio o magnesio.

1.3. Salinidad y sodificación del suelo

La salinización y la sodificación son los principales procesos de degradación de suelos que afectan las tierras bajo riego, debido a que afectan negativamente las propiedades físicas y químicas del suelo, así como la producción de cultivos y la salud del ser humano y animales (Pla Sentís, 2014).

Los suelos salinos se caracterizan por tener grandes cantidades de sales con una conductividad eléctrica $>4\text{dS/m}$, esto limita el crecimiento de cultivos; entre las causas naturales está la meteorización del material original del suelo, característico de zonas

áridas, semiáridas y secas, y entre causas antrópicas está la utilización en exceso de fertilizantes y el mal uso de agua de riego (Courel, 2019).

1.4. Materia Orgánica en el Suelo

El término materia orgánica en el suelo (MOS) representa la descripción de constituyentes orgánicos en diversas fases de descomposición, tales como tejidos de animales muertos y plantas, materiales con tamaño >2 mm y organismos del suelo (FAO, 2017).

Julcan Otiniano et al. (2006) comenta que la materia orgánica (MO) constituye el 95 al 99% del peso total seco de seres vivos, a pesar que el contenido en los suelos rara vez supera el 2%; está formado por 5% de nitrógeno y otros elementos importantes para las plantas.

INTAGRI (2020) agrega que la descomposición de la MOS es el proceso biológico que se desarrolla naturalmente en el suelo, su velocidad depende de la cantidad y composición de organismos que se encuentren superficie terrestre, el entorno físico y calidad de la materia orgánica.

1.4.1. Importancia de la MOS

La materia orgánica del suelo está formada por constituyentes orgánicos de diversas fases de descomposición, los cuales desempeñan un funcionamiento importante en el ecosistema de la tierra y el calentamiento global; además, colabora con la estabilización de la estructura del suelo, en la retención y liberación de nutrientes esenciales a las plantas, y la capacidad de retención de agua (FAO, 2017).

1.4.2. Componentes de la MOS

Según Brady and Weil (2002) citado por Alvarado Ochoa (2008), la materia orgánica en el suelo incluye entre sus componentes orgánicos:

- Biomasa viviente que son partes de tejidos de plantas y animales descompuesto por los microorganismos.
- Restos de raíces muertas y residuos de plantas en el suelo.
- Mezcla amorfa y coloidal de sustancias orgánicas denominadas sustancias húmicas, las cuales comprenden alrededor del 60 a 80% de la MOS.

1.4.3. Ciclo del carbono

Castells (2012) describe de forma esquemática el ciclo del carbono:

- Parte del CO₂ atmosférico se disuelve en el agua, donde es absorbido por los organismos acuáticos que lo transforma a componente orgánica. Parte de este carbono retorna a la atmósfera a causa de los procesos de respiración, mientras otra parte queda disuelta en el agua.
- Otra parte del dióxido de carbono presente en la atmósfera es absorbida por las plantas terrestres durante la fotosíntesis, con lo que el carbono pasa a formar parte de sustancias orgánicas. Una parte es devuelta a la atmósfera durante los procesos de respiración de los seres vivos.
- Una parte de los átomos de carbono han quedado retenidos en el subsuelo, transformándose en combustibles fósiles: lignito, carbón, petróleo y gas natural. Cuando estas sustancias se someten a combustión en las centrales térmicas, el carbono se devuelve a la atmósfera en forma de CO₂.

1.5. Carbono Orgánico del Suelo

El carbono orgánico del suelo (COS) dentro del ciclo global de carbono es una pequeña parte implicada a través del suelo, la vegetación, el océano y la atmósfera; en el planeta tierra se estima que el COS tiene una reserva de 1 500 Pg en el primer metro de profundidad del suelo, esto supone más carbono en comparación al contenido de atmósfera (800 PgC) y vegetación terrestre (500 PgC) (FAO, 2017).

1.5.1. Acumulación de carbono orgánico en el suelo

Según Luís Mejía et al. (2007), la acumulación de carbono orgánico en el suelo es un proceso esencial para contrarrestar los efectos del cambio climático, debido a que el suelo es un sumidero y un reservorio de carbono estabilizado.

Hernández (2010) añade que en el suelo se encuentra la principal reserva de carbono, que juega un importante papel en el ciclo de este elemento; se estima que CO en el suelo es 2.1 veces más que el contenido que tiene la atmósfera y 2.7 veces más de la reserva biótica comprendida en la vegetación terrestre.

1.5.2. Factores que influyen a la acumulación de CO en el suelo

Orjuela (2018) menciona que la acumulación de carbono orgánico en el suelo tiende a disminuir con la profundidad, esto se debe a las diversas modificaciones en la cobertura de la tierra; es notorio que los cambios en el uso del suelo aportan con pérdidas de CO en el suelo y generan emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático, además, las acciones faltantes del hombre en la reforestación de suelos desnudos y degradados aporta a largo plazo con el secuestro de carbono en la biomasa y suelo.

1.6. Reservas Globales de Carbono

Baede et al. (2001) citado por Gallego et al. (2012) comenta que existen cuatro reservas principales de carbono:

- La atmosfera con unas reservas de $730 \cdot 10^9$ toneladas de carbono, donde el CO₂ es la sustancia mayoritaria.
- La biosfera que incluye a los seres vivos y el carbono orgánico almacenado en el suelo constituye una reserva de $2\ 000 \cdot 10^9$ toneladas de carbono.
- La hidrosfera incluye los océanos y aguas superficiales y subterráneas, contienen alrededor de $38\ 000 \cdot 10^9$ toneladas de carbono, principalmente de forma inorgánica.
- La geosfera formada por las rocas de la corteza terrestre, contiene reservas de carbono aún no determinados.

1.7. Determinación de Reserva de COS

1.7.1. Métodos de medición de carbono

Según FAO (2017), el monitoreo de la reserva de COS se debe realizar mediante un método rentable y eficaz para cubrir una gran variedad de suelos; el método que aún se conserva la utilización es la oxidación en húmedo y en seco, a pesar, que en la actualidad se ha desarrollado otros métodos para obtener resultados bueno en la predicción del contenido de COS de forma rápida y económica como es el método de infrarrojo medio (MIR) y el espectroscopia de reflectancia de infrarrojo cercano (Vis-NIR).

1.7.1.1. Método de Walkley – Black

García and Ballesteros (2005) explican que el método de Walkley – Black consiste en el cálculo de la cantidad de carbono, mediante la oxidación del suelo con una solución de dicromato de potasio estandarizada, y expuesta al calor producto de la disolución de ácido sulfúrico concentrado; posteriormente, con una solución de sulfato ferroso se valora el retroceso de la cantidad de dicromato que no ha sido reducido por la materia orgánica para la determinación de carbono, y también, la colorimetría cuantifica el color verde del ácido crómico reducido a $\lambda_{\max} = 585 \text{ nm}$, el mismo que es proporcional a la MO que reacciona.

1.7.2. Métodos de estimación de reserva de carbono

Las estimaciones de COS de zonas regionales o nacionales tienen como requerimiento la modelación de la distribución espacial, vertical y horizontal para reducir la incertidumbre de los valores obtenidos; se enfatiza que la modelación de la distribución vertical del carbono orgánico en el suelo se utiliza por la mayoría de autores para conseguir mejores ajustes estadísticos a través de análisis con funciones matemáticas como: función exponencial, función potencial, función logarítmica y función inversa polinómica de primer grado (Paz and Etchevers, 2016).

1.8. Caracterización Edafoclimática del Ecuador

1.8.1. Clima

El clima en el Ecuador es influenciado por la topografía del lugar, debido a que el rango altitudinal ocasiona una que las temperaturas estén entre 0 a 26 °C como promedio anual. Además, la estacionalidad durante el año se limita a dos estaciones, invierno y verano, esto se da por la ubicación del país sobre la línea ecuatorial (Ron and Varela, 2020).

1.8.2. Tipos de suelos

Según SIGTIERRAS (2017), el Ecuador tiene registrado doce órdenes de suelo establecidos en Soil Taxonomy, los cuales se mencionan a continuación: Inceptisoles, Entisoles, Gelisoles, Espodosoles, Alfisoles, Molisoles, Andisoles, Aridisoles, Vertisoles, Histosoles, Ultisoles y Oxisoles.

1.9. Caracterización edafoclimática de la Península de Santa Elena

1.9.1. Clima de la Península

El clima de la provincia de Santa Elena varía de zona geográfica debido a factores de ubicación en la zona ecuatorial, la cercanía al Océano Pacífico y la presencia de la cordillera de Chongón-Colonche, según el SINAGAP and IEE (2012).

SINAGAP (2012) añade que la provincia consta bioclimáticamente de dos pisos altitudinales: el tropical con regímenes desérticos, sub desérticos y muy seco, en que las temperaturas fluctúan de 23 a 26 °C y las precipitaciones son inferiores a 200 mm; y el subtropical con regímenes seco y subhúmedos, en que las temperaturas oscilan de 18 a 22 °C y las precipitaciones entre 200 a 1000 mm anuales.

1.9.2. Tipos de suelos en la Península de Santa Elena

Rivera (2015) menciona que en la provincia de Santa Elena se muestra los siguientes órdenes de suelos:

- **Inceptisols:** Los suelos desarrollan horizontes débiles (suelos volcánicos).
- **Aridisols:** Pertenecientes a climas áridos y los suelos son secos que acumulan sales, yeso o carbonatos, representan el 29% del territorio de la Península con una extensión de más de 166 000.
- **Entisoles:** Los suelos son arenosos sin diferencia entre horizontes. Representan el 22% del territorio de la superficie con una superficie 127 819 ha.
- **Mollisols:** Los suelos son de color oscuro con horizonte superficial limoso y presentan buen porcentaje de materia orgánica. En la Península tienen una extensión de 36 840 ha, que representan el 6% del territorio.
- **Alfisoles:** Son suelos jóvenes con horizontes arcillosos formados por iluviación, caracterizados por encontrarse bajo la biomasa de bosques deciduos, no superan el 3% de la superficie del territorio.
- **Vertisoles:** Son suelos muy arcillosos caracterizados por expandirse al hidratarse y agrietarse al secarse, ocupan territorios al pie de montes húmedos a zonas áridas. En la Península tienen una proporción del 0.4% de la superficie.

1.10. Caracterización de Zonas Secas y Subhúmedas

1.10.1. Zonas Secas

Según FAO (2021), las zonas secas son suelos con baja fertilidad y vulnerabilidad a la erosión hídrica y eólica, caracterizados por una combinación de bajas precipitaciones, sequías y olas de calor.

En la provincia de Santa Elena las zonas secas se caracterizan por constar de climas áridos y secos con índices hídricos seco D”) y áridos (E), un régimen térmico cálido (A') y una variación estacional de la humedad nulo o pequeño exceso hídrico (d) (INAMHI, 2006).

1.10.2. Zonas Subhúmedas

Según UNCCD (2017) las zonas subhúmedas son suelos con índice de aridez de 0.5 a 0.65, donde las precipitaciones favorecen el crecimiento abundante de pastos largos o cortos.

INAMHI (2006) menciona que en la provincia de Santa Elena las zonas subhúmedas son territorios con climas subhúmedos con índice hídrico subhúmedo (C₂), régimen térmico cálido (A') y una variación estacional de la humedad de gran déficit hídrico en época seca (s₂).

2. CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del área de estudio

El trabajo se desarrolló en la provincia de Santa Elena, la cual, representa el 1.46% del territorio nacional con una superficie de 3 762.8 km². El área de estudio se encuentra al centro oeste del Ecuador a una altura entre 4 y 400 msnm, con coordenadas de longitud entre 81°0'40.6" y 80°10'56.1" Oeste y latitud entre 1°40'7.8" y 2°30'26.7" Sur. Limita al norte con la provincia de Manabí, al este y sur con la provincia del Guayas y al oeste con el Océano Pacífico, como se observa en la Figura 1.

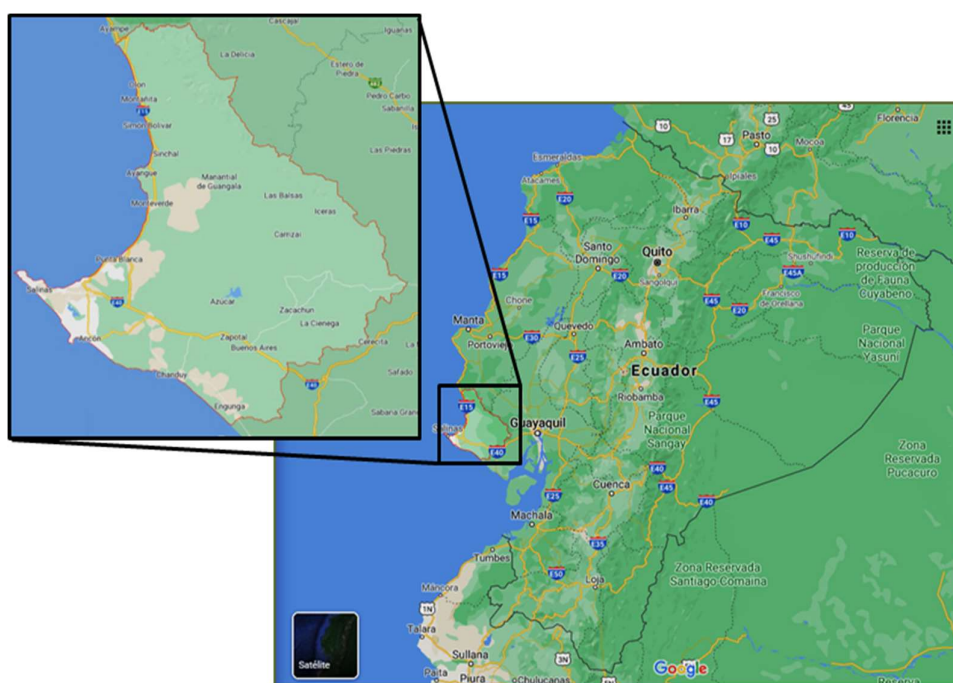


Figura 1. Ubicación geográfica de la Provincia de Santa Elena en el Ecuador.

La provincia de Santa Elena por su ubicación geográfica en la región costanera central del Ecuador, es influenciada por diferentes factores climáticos y edafológicos, que intervienen con el desarrollo de la agricultura, ganadería y producción avícola y acuícola.

Dentro de estos factores se encuentran los dos pisos altitudinales, tropical y subtropical, y la corriente fría de Humboldt que definen una zona con climas áridos, secos y subhúmedos. La presencia de la cordillera Chongón Colonche, cuencas y microcuencas hidrográficas permiten la delimitación de zonas secas, húmedas y subhúmedos en el territorio de la provincia (SINAGAP and IEE, 2012).

Además, la provincia consta de una variedad de perfiles de suelos distribuidos en toda su amplia área, estos están relacionados directamente con las características que posee el clima en las zonas secas y subhúmedas, como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Ubicación geográfica de las zonas secas y subhúmedas dentro del territorio de la provincia de Santa Elena.

Fuente: Adaptación de INAMHI (2006).

2.2. Manejo del estudio

2.2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación realizado es no experimental transversal, orientada a la estimación de las reservas de carbono orgánico en el primer horizonte del suelo a una profundidad de 30 cm, distribuidas en las zonas secas y subhúmedas de la Península de Santa Elena.

2.2.2. Datos utilizados

Para el desarrollo del estudio se empleó la documentación de los diferentes perfiles de suelo de la Península de Santa Elena, obtenidos de la información del “Proyecto de Generación de Geoinformación para la gestión del Territorio Nacional a escala 1:25 000”. Además, se hizo 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 y reserva de carbono.

Finalmente, se empleó el Mapa Geopedológico de la Península a escala 1:25 000, y la utilización de las diferentes variantes del mapa para la representación geográfica de las reservas, como:

- Mapa de uso de la tierra
- Mapa de cuencas hidrográficas
- Mapa geomorfológico

El Mapa Geopedológico se caracterizan por constar de unidades geomorfológicas que contiene información geopedológica a partir de perfiles de suelos ubicados en áreas representativas en base a criterios edafológicos.

2.3. 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 que tengan información sobre la densidad de los suelos en algunos de sus horizontes se determinará la RCOS según:

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

Dónde:

- RCOS - Reserva de Carbono Orgánico del Suelo (Mg ha-1).
- 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-3.
- 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.

2.4. Asignación de curvas patrones a perfiles de suelos

Para la asignación de curvas patrones, primero, se organizó la información de archivos de los 308 perfiles de suelos de la Península de Santa Elena, en hojas de cálculo de Microsoft Office Excel. Finalizada la organización digital se comprobó qué perfiles constaban con los datos necesarios para proseguir con la asignación, de lo que resultaron 299 perfiles de suelos seleccionados para el estudio.

Los subgrupos de suelos 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 presentan en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1. Subgrupos de suelos para Curvas Patrones basados en la Clave Taxonómica 2006.

Id.	Código	Curva Patrón
1	KEDO	Fluventic Haplusteps
2	FDDF	Typic Haplotorrerts
3	KGDP	Fluventic Eutrudepts
4	GGDU	Ustic Haplocambids
5	GGDV	Typic Haplocambids
6	GEFJ	Arenic Haplargids
7	KEDW	Typic Haplusteps
8	GGDS	Fluventic Haplocambids

Posteriormente, se establecieron los criterios de clasificación fundamentales para la asignación de curvas patrones a los 299 perfiles de suelos. Tales criterios se describen en cada apartado a continuación.

2.4.1. 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 seis tipos de órdenes de suelo y 16 subórdenes como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Órdenes de suelos y subórdenes de los perfiles según la Clave Taxonómica 2006.

Id.	Código	Orden	Suborden
1	JA	Alfisols	Ustalfs
2	GA	Aridisols	Argids, Calcids, Cambids, Gypsidis y Salids
3	LA	Entisols	Fluvents, Orthents y Psamments
4	KA	Inceptisols	Ustepts
5	IA	Mollisols	Ustolls
6	FA	Vertisols	Usterts, Torrerts y Uderts

De esta manera, se lograron asignar curvas patrones a 64 perfiles, que coincidían con el orden y suborden perteneciente al subgrupo de la Curva Patrón, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Orden y Suborden de la Curva Patrón según la Clave Taxonómica de Suelos 2006.

Id.	Código	Curva Patrón	Orden	Suborden
1	KEDO	Fluventic Haplusteps	Inceptisols	Ustepts
2	FDDF	Typic Haplotorrerts	Vertisols	Torrerts
3	KGDP	Fluventic Eutrudepts	Inceptisols	Udepts
4	GGDU	Ustic Haplocambids	Aridisols	Cambids
5	GGDV	Typic Haplocambids	Aridisols	Cambids
6	GEFJ	Arenic Haplargids	Aridisols	Argids
7	KEDW	Typic Haplusteps	Inceptisols	Ustepts
8	GGDS	Fluventic Haplocambids	Aridisols	Cambids

2.4.2. Régimen de humedad del suelo

Este parámetro de asignación se aplicaba con los perfiles que fueron excluidos por no tener una coincidencia con el orden y suborden del subgrupo de las curvas patrones.

Para ello, se tomó en cuenta el tipo de Régimen de Humedad del Suelo (RHS) que tiene cada perfil en su ficha de descripción edafológica y el subgrupo de la curva patrón, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Identificación del Régimen de Humedad del suelo por Curva Patrón.

Id.	Régimen de Humedad	Curva Patrón
1	Árido	FDFF, GGDU, GGDV, GEFJ y GGDS
2	Ústico	KEDO y KEDW
3	Údico	KGDP

2.4.3. Acumulación de materia orgánica

En este criterio de clasificación se especificó que el perfil con un contenido >3% de materia orgánica en el primer horizonte, se le asignaba la curva patrón con mayor contenido, en este caso la perteneciente al Orden Vertisols.

2.4.4. Contenido de sales

Para este criterio se tomó en cuenta la conductividad eléctrica (CE), el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y la relación de adsorción de sodio (RAS). Los perfiles con características salinas y sódicas se le asignaba la curva patrón Arenic Haplargids, es decir, que los suelos debían tener una CE >4 dSm⁻¹, un PSI igual o >15% y un RAS >13%.

2.4.5. Textura del suelo

La textura del suelo contribuía a la clasificación de los perfiles de suelo a la curvas patrones. En este aspecto, se consideraba la clase de textura que tuviera el primer horizonte, además, el contenido de arena y arcilla.

Para aquellos perfiles con una textura franco arcillosa y con más del 30% de arcilla, se les atribuía la curva patrón del Orden Vertisols. Sin embargo, los perfiles con el contenido de arena mayor al 30% y una textura arenosa o franco arenosa se le asignaba la curva patrón del orden Aridisols y suborden Argids.

2.5. Análisis estadístico descriptivo del trabajo de investigación

2.5.1. Análisis del porcentaje de carbono orgánico en el suelo

El porcentaje de carbono orgánico en el suelo (COS) es un componente utilizado en la obtención de las reservas de carbono orgánico en el suelo (RCOS), mediante estimaciones realizadas de curvas patrones establecidas de subgrupos de suelos en la Península de Santa Elena, como se mostró anteriormente en la Tabla 1.

Para la obtención del porcentaje COS se consideró el valor del porcentaje de materia orgánica (MOS) de los 308 perfiles de suelos del proyecto de la provincia, de los cuales, 299 perfiles constaban con dicho dato.

El análisis estadístico descriptivo del porcentaje de carbono orgánico en el suelo, se clasificaron los diferentes perfiles por: Orden de Suelo, Régimen de Humedad y Curva Patrón asignada. Dicho análisis consistió en la elaboración de tablas de frecuencias e histogramas de frecuencias, donde se tomó en cuenta el valor de porcentaje COS en el primer horizonte de cada perfil.

2.5.2. Análisis de las reservas de carbono orgánico en el suelo

Para el análisis estadístico descriptivo de las reservas de carbono orgánico en el suelo (RCOS) se estableció una profundidad de 30 cm, profundidad que es referencia para el *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) en la demanda de valoración de las reservas. Se debe mencionar que, de los 299 perfiles se analizaron 285 debido a que algunos puntos estaban localizados fuera de los límites provinciales.

Las estimaciones de la RCOS realizadas de cada uno de los perfiles a través de las curvas patrones establecidas, se analizaron en función de los siguientes criterios de evaluación: Orden de Suelo, Régimen de humedad, Curva Patrón asignada, Cuenca y Subcuenca. En el caso de los dos últimos criterios, cuenca y subcuenca coinciden espacialmente, como se muestra en la Tabla 5, por lo que se decidió hacer el análisis por Subcuenca.

Tabla 5. Cuencas y Sub Cuencas identificados en el territorio de la provincia de Santa Elena con su respectivo código.

Cuenca		Sub Cuenca	
Código	Denominación	Código	Denominación
40	Río Ayampe	4001	Río Ayampe
41	Río Manglaralto	4101	Río Manglaralto
42	Río Valdivia	4201	Río Valdivia
43	Río Viejo	4301	Río Viejo
44	Río Javita	4401	Río Javita
45	Río Grande	4501	Río Grande
46	Río Salado	4601	Río Salado
47	Río La Seca	4701	Río La Seca
48	Río Zapotal	4801	Río Zapotal
49	Estero de Morro	4901	Estero de Morro
50	Río Daular	5001	Río Daular
51	Río Chongón	5101	Río Chongón

2.6. Análisis de la Varianza

Para el Análisis de la Varianza (ANOVA) se utilizaron técnicas no paramétricas donde la medida de tendencia central es la mediana. Tales técnicas se usaron debido a que los datos estudiados, contenido en porcentaje (%) y reserva (Mg ha^{-1}) de carbono orgánico en el suelo, no siguen una distribución normal y se puede presumir la existencia de autocorrelación, por lo que los datos no se podrían considerar independientes.

Los métodos empleados fueron: la prueba de rango de Kruskal-Wallis que determina si existen o no diferencia estadísticamente significativa a través del p-valor, el cual, si es mayor a su límite se acepta la hipótesis nula y todos los datos son de la misma distribución; y la prueba de suma de rangos de Wilcoxon que consiste comparar dos muestras independientes para evaluar si los rangos medios de su población difieren (King and Eckersley, 2019).

Cada método utilizado se aplicó a cada uno de los criterios de clasificación del contenido porcentual (%) y reserva (Mg ha^{-1}) del carbono orgánico en el suelo: Orden de Suelo, Régimen de Humedad, Curva Patrón asignada y Subcuenca Hidrográfica.

2.7. Análisis de la Distribución Espacial

Para la generación de mapas de reservas de carbono orgánico en el suelo (RCOS) a una profundidad de 30 cm en 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 (ESRI, 2016).

Se calculó el semivariograma experimental isotrópico omnidireccional con dirección 0° y tolerancia 90° , y semivariogramas direccionales con un incremento cada 45° y tolerancia 22.5° . De esta manera, se obtuvo el mapa de reserva de la Península generado a partir de los datos de los perfiles de suelos estudiados.

2.8. Análisis de las condiciones edafoclimáticas y la reserva de carbono

El análisis se basa en la influencia que tiene las condiciones edafoclimáticas de las zonas secas y subhúmedas de la Península de Santa Elena en la acumulación de carbono orgánico en el suelo, con el fin de argumentar los resultados obtenidos en la estimación de la reserva.

3. CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis estadístico descriptivo del contenido porcentual de COS en el primer horizonte del suelo

El contenido en porcentaje de carbono orgánico de los diferentes perfiles de suelo se analizó por los siguientes criterios: Orden y Subgrupo Taxonómico de Suelo y Régimen de Humedad.

En la Tabla 6 se presenta el resumen estadístico del porcentaje de COS en el primer horizonte de los 299 perfiles de suelo estudiados en la Península, en general presentan un predominio de valores bajos que varían entre 0.06% a 5.97% de COS, con una mediana de 1.04% y una moda de 0.41%.

El contenido de COS depende de factores bióticos y abióticos que benefician o perjudican la acumulación en los diferentes horizontes del suelo, entre los principales están la velocidad de descomposición (dado por el coeficiente de mineralización) de la MOS determinado por las condiciones climáticas (FAO, 2017).

La importancia del COS está relacionado con la mitigación del cambio climático, esto es debido a que al ser componente de la MOS contribuye a la disponibilidad y cantidad de nutrientes al suelo y la descomposición del material húmico es fuente de emisiones de CO₂ (g) e incremento de gases de efecto invernadero a la atmósfera (Martínez *et al.*, 2008; Mesías-Gallo *et al.*, 2018).

Tabla 6. Resumen estadístico del contenido porcentual de COS en el primer horizonte relacionado con los criterios analizados (continua).

General	Orden de Suelo						Régimen de Humedad			
	Alfisols	Aridisols	Entisols	Inceptisols	Mollisols	Vertisols	Árido	Ústico	Údico	
Total	299	15	103	35	77	13	56	135	147	17
Media	1.32	2.07	0.78	1.15	1.72	2.60	1.37	0.79	1.59	3.17
Mediana	1.04	1.86	0.70	0.93	1.57	2.55	1.04	0.75	1.45	3.02
Moda	0.41	2.49	0.41	0.41	1.04	2.55	0.70	0.41	1.04	0.00
Varianza	1.02	0.78	0.23	0.89	1.29	1.33	0.85	0.22	0.96	1.55
Desviación Estándar	1.01	0.92	0.48	0.96	1.14	1.20	0.93	0.47	0.98	1.28
Valor Mín.	0.06	0.75	0.17	0.06	0.17	0.93	0.23	0.06	0.17	1.39
Valor Max.	5.97	4.35	2.78	5.10	5.97	4.46	4.70	2.78	5.10	5.97

Tabla 6. Continuación.

Curva Patrón								
	Fluentic Haplusteps	Typic Haplotorrerts	Fluentic Eutrudepts	Ustic Haplocambids	Typic Haplocambids	Arenic Haplargids	Typic Haplusteps	Fluentic Haplocambids
Total	18	62	6	13	54	51	86	9.00
Media	1.26	1.70	2.87	1.11	0.92	0.70	1.66	0.81
Mediana	1.11	1.22	2.44	1.28	0.82	0.58	0.97	0.75
Moda	0.41	1.04	0.00	1.57	0.75	0.41	1.04	0.93
Varianza	0.72	1.32	2.35	0.20	0.29	0.55	0.94	0.14
Desviación Estándar	0.91	1.16	1.68	0.47	0.55	0.75	0.17	0.39
Valor Min.	0.23	0.35	1.39	0.23	0.23	0.06	4.70	0.26
Valor Max.	3.60	5.13	5.97	1.74	2.78	5.10	1.62	1.62

3.1.1. Análisis estadístico del COS con relación al Orden de Suelo

El análisis estadístico de frecuencias sobre la base de los datos obtenidos del porcentaje de carbono orgánico en el primer horizonte del suelo es analizado en los siguientes ordenes: Alfisols, Aridisols, Entisols, Inceptisols, Mollisols y Vertisols.

3.1.1.1. Orden Alfisols

En la Tabla 7 se indica que los valores con una frecuencia mayor se centran en un rango de 0.87 a 2.61% de COS que corresponden el 66%, mientras que, los valores con frecuencia menor están entre 2.61 a 4.35% que representan el 20% y en 0.00 a 0.87% de carbono que figuran el 13% de los datos.

Tabla 7. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el Orden de Suelo: Alfisols.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	0.87	0.44	2	0.13	2	0.13
2	0.87	1.74	1.31	5	0.33	7	0.47
3	1.74	2.61	2.18	5	0.33	12	0.80
4	2.61	3.48	3.05	2	0.13	14	0.93
5	3.48	4.35	3.92	1	0.07	15	1.00

3.1.1.2. Orden Aridisols

En la Tabla 8 se observa que el 81% de los valores tienen un intervalo de 0.00 a 1.11% de COS, el 15% se sitúa entre 1.11 a 1.67% y el 3% entre 1.67 a 2.78% de carbono.

Tabla 8. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el Orden de Suelo: Aridisols.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	0.56	0.28	38	0.37	38	0.37
2	0.56	1.11	0.83	45	0.44	83	0.81
3	1.11	1.67	1.39	15	0.15	98	0.95
4	1.67	2.22	1.95	4	0.04	102	0.99
5	2.22	2.78	2.50	1	0.01	103	1.00

3.1.1.3. Orden Entisols

En la Tabla 9 se señala que el 54% de los valores se sitúan en un rango de 0.00 a 1.02% de COS, el 37% se sitúa entre 1.02 a 2.04%, el 6% se centra en 2.04 a 3.06% y el 3% restante entre 4.08 a 5.10% de carbono.

Tabla 9. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el orden de suelo: Entisols.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	1.02	0.51	19	0.54	19	0.54
2	1.02	2.04	1.53	13	0.37	32	0.91
3	2.04	3.06	2.55	2	0.06	34	0.97
4	3.06	4.08	3.57	0	0.00	34	0.97
5	4.08	5.10	4.59	1	0.03	35	1.00

3.1.1.4. Orden Inceptisols

En la Tabla 10 se presenta a los valores con mayor frecuencia que están en un rango de 0.00 a 2.39% de COS que corresponden el 78%, mientras que, los valores con menor frecuencia se sitúan en 2.39 a 3.58% que representan el 20% y entre 3.58 a 5.97% de carbono que figuran el 7% de los datos.

Tabla 10. Distribución de frecuencia de porcentaje de COS en el Orden de Suelo: Inceptisols.

Clase	Lim inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	1.19	0.60	30	0.39	30	0.39
2	1.19	2.39	1.79	30	0.39	60	0.78
3	2.39	3.58	2.99	12	0.16	72	0.94
4	3.58	4.78	4.18	3	0.04	75	0.97
5	4.78	5.97	5.37	2	0.03	77	1.00

3.1.1.5. Orden Mollisols

En la Tabla 11 se muestra que el 62% de los valores se centran en un intervalo de 0.00 a 2.68% de COS, el 31% se sitúa en 3.57 a 4.46% y el 8% restante entre 2.68 a 3.57% de carbono.

Tabla 11. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el Orden de Suelo: Mollisols.

Clase	Lim inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	0.89	0.45	0	0.00	0	0.00
2	0.89	1.78	1.34	4	0.31	4	0.31
3	1.78	2.68	2.23	4	0.31	8	0.62
4	2.68	3.57	3.12	1	0.08	9	0.69
5	3.57	4.46	4.01	4	0.31	13	1.00

3.1.1.6. Orden Vertisols

En la Tabla 12 se indica que los valores con una frecuencia mayor tienen un rango de 0.00 a 2.82% de COS que corresponden el 93%, mientras que, los valores con frecuencia menor se centran entre 2.82 a 4.70% que figuran el 7% de los datos.

Tabla 12. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el Orden de Suelo: Vertisols.

Clase	Lim inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0,00	0,94	0,47	24	0,43	24	0,43
2	0,94	1,88	1,41	17	0,30	41	0,73
3	1,88	2,82	2,35	11	0,20	52	0,93
4	2,82	3,76	3,29	2	0,04	54	0,96
5	3,76	4,70	4,23	2	0,04	56	1,00

3.1.2. Análisis estadístico del COS con relación al Régimen de Humedad del Suelo

El análisis estadístico de frecuencias con base en los datos obtenidos del porcentaje de carbono orgánico en el primer horizonte del suelo es analizado en los siguientes regímenes de humedad: Arídico, Údico y Ústico.

3.1.2.1. Régimen de humedad: Arídico

En la Tabla 13 se observa que los valores con mayor frecuencia se sitúan en un rango de 0.00 a 1.11% de COS que corresponden el 81% y los valores con menor frecuencia

están entre 1.11 a 1.67% que representan el 14% y en 1.67 a 2.78% de carbono que figuran el 5% de los datos.

Tabla 13. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el Régimen de Humedad: Árido.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	0.56	0.28	46	0.34	46	0.34
2	0.56	1.11	0.83	63	0.47	109	0.81
3	1.11	1.67	1.39	19	0.14	128	0.95
4	1.67	2.22	1.95	6	0.04	134	0.99
5	2.22	2.78	2.50	1	0.01	135	1.00

3.1.2.2. Régimen de humedad: Ústico

En la Tabla 14 se señala que el 71% de los valores están entre un intervalo de 0.00 a 2.04% de COS, el 21% se sitúa entre 2.04 a 3.06%, el 6% se centra en 3.06 a 4.08% y el 2% restante entre 4.08 a 5.10% de carbono.

Tabla 14. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el Régimen de Humedad: Ústico.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	1.02	0.51	47	0.32	47	0.32
2	1.02	2.04	1.53	58	0.39	105	0.71
3	2.04	3.06	2.55	30	0.20	135	0.92
4	3.06	4.08	3.57	9	0.06	144	0.98
5	4.08	5.10	4.59	3	0.02	147	1.00

3.1.2.3. Régimen de humedad: Údico

En la Tabla 15 se presentan los valores con frecuencia mayor están centrados en un rango de 1.19 a 3.58% de COS que corresponden el 65%, mientras que, los valores con frecuencia menor están entre 3.58 a 5.97% de carbono que representan el 35% de los datos.

Tabla 15. Distribución de frecuencia del porcentaje de COS en el Régimen de humedad: Údico.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	1.19	0.60	0	0.00	0	0.00
2	1.19	2.39	1.79	6	0.35	6	0.35
3	2.39	3.58	2.99	5	0.29	11	0.65
4	3.58	4.78	4.18	4	0.24	15	0.88
5	4.78	5.97	5.37	2	0.12	17	1.00

3.1.3. *Análisis estadístico del COS con relación al Subgrupo de Curva Patrón asignada.*

El análisis estadístico de frecuencias con base en los datos obtenidos del porcentaje de carbono orgánico en el primer horizonte del suelo es analizado en los siguientes subgrupos taxonómicos pertenecientes a la curva patrón asignada: Fluventic Haplusteps, Typic Haplotorrerts, Fluventic Eutrudepts, Ustic Haplocambids, Arenic Haplargids Typic Haplusteps y Fluventic Haplocambids.

3.1.3.1. *Subgrupo Fluventic Haplusteps*

En la Tabla 16 se muestran los valores con mayor frecuencia que tienen un intervalo de 0.00 a 2.16% de COS correspondiente al 89% y los valores con menor frecuencia se centran en 2.16 a 3.60% que representan el 11% de los datos.

Tabla 16. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: Fluventic Haplusteps.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	0.72	0.36	6	0.33	6	0.33
2	0.72	1.44	1.08	4	0.22	10	0.56
3	1.44	2.16	1.80	6	0.33	16	0.89
4	2.16	2.88	2.52	1	0.06	17	0.94
5	2.88	3.60	3.24	1	0.06	18	1.00

3.1.3.2. *Subgrupo Typic Haplotorrerts*

En la Tabla 17 se indica que el 68% de los valores se sitúan en un rango de 0.00 a 2.05% de COS, el 19% se centra en 2.05 a 3.08% y el 13% restante entre 3.08 a 5.13% de carbono.

Tabla 17. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: Typic Haplotorrerts.

Clase	Lim inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	1.03	0.51	21	0.34	21	0.34
2	1.03	2.05	1.54	21	0.34	42	0.68
3	2.05	3.08	2.57	12	0.19	54	0.87
4	3.08	4.10	3.59	5	0.08	59	0.95
5	4.10	5.13	4.62	3	0.05	62	1.00

3.1.3.3. *Subgrupo Fluventic Eutrudepts*

En la Tabla 18 se observa que los valores con frecuencia mayor están entre un intervalo de 1.19 a 3.58% de COS que corresponden el 83%, mientras que, los valores con frecuencia menor se centran entre 4.78 a 5.97% de carbono que representan el 17% de los datos.

Tabla 18. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: Fluventic Eutrudepts.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	1.19	0.60	0	0.00	0	0.00
2	1.19	2.39	1.79	3	0.50	3	0.50
3	2.39	3.58	2.99	2	0.33	5	0.83
4	3.58	4.78	4.18	0	0.00	5	0.83
5	4.78	5.97	5.37	1	0.17	6	1.00

3.1.3.4. Subgrupo *Ustic Haplocambids*

En la Tabla 19 se señala que el 62% de los valores tienen un intervalo de 1.04 a 1.74% de COS, el 30% se sitúa entre 0.35 a 1.04% y el 8% restante entre 0.00 a 0.35% de carbono.

Tabla 19. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: *Ustic Haplocambids*.

Clase	Lim inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	0.35	0.17	1	0.08	1	0.08
2	0.35	0.70	0.52	2	0.15	3	0.23
3	0.70	1.04	0.87	2	0.15	5	0.38
4	1.04	1.39	1.22	4	0.31	9	0.69
5	1.39	1.74	1.57	4	0.31	13	1.00

3.1.3.5. Subgrupo *Typic Haplocambids*

En la Tabla 20 se presentan los valores con mayor frecuencia que tienen un intervalo de 0.00 a 1.11% de COS correspondiente al 69%, mientras que, los valores con menor frecuencia están entre 1.11 a 1.67% que representan el 21% y en 1.67 a 2.78% de carbono que figuran el 10% de los datos.

Tabla 20. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: *Typic Haplocambids*.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	0.56	0.28	16	0.31	16	0.31
2	0.56	1.11	0.83	19	0.37	35	0.69
3	1.11	1.67	1.39	11	0.22	46	0.90
4	1.67	2.22	1.95	4	0.08	50	0.98
5	2.22	2.78	2.50	1	0.02	51	1.00

3.1.3.6. *Arenic Haplargids*

En la Tabla 21 se muestra que el 92% de los valores tienen un intervalo de 0.00 a 1.02% de COS, el 6% se sitúa entre 1.02 a 2.04% y el 2% restante se centra en 4.08 a 5.10% de carbono.

Tabla 21. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: Arenic Haplargids.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	1.02	0.51	44	0.92	44	0.92
2	1.02	2.04	1.53	2	0.04	46	0.96
3	2.04	3.06	2.55	1	0.02	47	0.98
4	3.06	4.08	3.57	0	0.00	47	0.98
5	4.08	5.10	4.59	1	0.02	48	1.00

3.1.3.7. *Subgrupo Typic Haplusteps*

En la Tabla 22 se indica que los valores con una frecuencia mayor están entre un intervalo de 0.00 a 2.82% de COS que corresponden el 88% y los valores con una frecuencia menor se centran en 2.82 a 4.70% de carbono que representan el 12% de los datos.

Tabla 22. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: Typic Haplusteps.

Clase	Lim inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	0.94	0.47	25	0.29	25	0.29
2	0.94	1.88	1.41	27	0.32	52	0.61
3	1.88	2.82	2.35	23	0.27	75	0.88
4	2.82	3.76	3.29	7	0.08	82	0.96
5	3.76	4.70	4.23	3	0.04	85	1.00

3.1.3.8. Subgrupo Fluventic Haplocambids

En la Tabla 23 se observa que el 62% de los valores se centran en un rango de 0.32 a 0.65% de COS, el 25% está en 0.97 a 1.62% y el 13% entre 0.00 a 0.32% de carbono.

Tabla 23. Distribución de la frecuencia del porcentaje de COS en la Curva Patrón asignada del Subgrupo: Fluventic Haplocambids.

Clase	Lim inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	0.32	0.16	1	0.13	1	0.13
2	0.32	0.65	0.49	2	0.25	3	0.38
3	0.65	0.97	0.81	3	0.38	6	0.75
4	0.97	1.30	1.13	1	0.13	7	0.88
5	1.30	1.62	1.46	1	0.13	8	1.00

3.2. Análisis estadístico descriptivo de las reservas de carbono orgánico en los suelos a una profundidad de 30 cm

Las reservas de carbono orgánico estimadas de los diferentes perfiles de suelo se analizaron por los siguientes criterios: Orden y Subgrupo Taxonómico de Suelo, Régimen de Humedad y Subcuenca.

Las RCOS se obtuvieron mediante estimaciones que se basaron en curvas patrones de subgrupos de suelos realizadas de la Península, las cuales contribuyeron a estimar un aproximado de la cantidad en Mg ha^{-2} de COS en los primeros 30 cm de profundidad en los diferentes perfiles analizados de la Península de Santa Elena.

En la Tabla 24 se muestra el resumen estadístico de la RCOS de los 285 perfiles analizados por criterio, donde, se estima un valor medio de 20.81 Mg ha^{-1} de carbono orgánico y un rango que varía de 4.70 a 35.53 Mg ha^{-1} en los suelos peninsulares.

La estimación de la reserva de carbono a una profundidad de 0 a 30 cm es una recomendación muestral en la mayoría de las prácticas actuales para inventarios del carbono orgánico en los suelos, en base a las directrices del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) 2006 (Paz and Etchevers, 2016).

Tabla 24. Resumen estadístico de la RCOS a 30 cm de profundidad de los diferentes perfiles analizados por parámetro evaluado (continua).

General	Orden de Suelo						Régimen de Humedad			
	Alfisols	Aridisols	Entisols	Inceptisols	Mollisols	Vertisols	Arídico	Ústico	Údico	
Total	285	15	96	30	76	13	55	95	173	17
Media	20.94	27.31	15.45	19.57	24.27	28.63	23.13	15.37	23.09	30.25
Mediana	20.68	28.63	15.40	22.17	28.21	28.63	27.27	15.40	22.62	28.63
Moda	28.63	28.63	15.40	15.40	35.37	28.63	28.63	15.40	28.63	28.63
Varianza	79.70	28.41	23.78	68.84	100.49	0.00	88.44	23.53	87.49	7.69
Desviación Estándar	8.94	5.52	4.90	8.44	10.09	0.00	9.49	4.88	9.38	2.86
Valor Min.	4.70	12.26	6.18	4.70	9.16	28.63	7.05	6.18	4.70	26.85
Valor Max.	35.53	35.37	22.30	35.37	35.53	28.63	35.37	22.30	35.53	34.59

Tabla 24. Continuación (continua).

Curva Patrón								
	Fluentic Haplusteps	Typic Haplotorrerts	Fluentic Eutrudepts	Ustic Haplocambids	Typic Haplocambids	Arenic Haplargids	Typic Haplusteps	Fluentic Haplocambids
Total	18	61	6	13	49	46	84	8
Media	22.05	25.23	33.22	20.48	12.96	16.88	23.92	18.31
Mediana	18.78	28.63	34.59	22.30	15.40	18.73	22.59	18.68
Moda	35.53	28.63	34.59	22.30	15.40	22.17	35.37	20.56
Varianza	109.23	6.61	8.15	12.64	12.34	27.70	107.67	42.24
Desviación Estándar	10.75	25.23	3.13	3.70	3.55	5.32	10.44	6.95
Valor Min.	10.27	7.05	26.85	11.11	6.18	4.70	9.16	7.90
Valor Max.	35.53	28.63	34.59	22.30	15.40	22.17	35.37	29.49

Tabla 24. Continuación.

	Subcuenca											
	Río Ayampe	Río Manglaralto	Río Valdivia	Río Viejo	Río Javita	Río Grande	Río Salado	Río La Seca	Río Zapotal	Estero de Morro	Río Daular	Río Chongón
Total	9.00	19.00	17.00	16.00	47.00	28.00	34.00	6.00	58.00	6.00	6.00	1.00
Media	29.53	30.20	21.03	20.37	20.98	17.29	15.94	13.51	19.63	16.93	25.23	28.63
Mediana	28.63	28.63	22.30	17.11	20.68	15.40	15.40	12.16	19.87	11.95	26.63	28.63
Moda	28.63	28.63	28.63	15.40	35.37	15.40	15.40	-	22.17	-	35.37	28.63
Varianza	17.70	24.56	59.35	41.88	97.36	61.94	32.72	22.17	63.59	98.05	105.97	0.00
Desviación Estándar	4.46	5.09	7.94	6.68	9.97	8.01	5.81	5.16	8.04	10.85	11.28	0.00
Valor Min.	22.17	13.49	9.62	12.75	6.18	6.18	6.18	8.50	9.16	7.05	11.80	28.63
Valor Max.	35.37	35.37	35.37	35.37	35.53	35.37	28.94	22.17	35.53	35.37	35.37	28.63

3.2.1. Análisis estadístico de la reserva de carbono orgánico en el suelo con relación al Orden de Suelo

El análisis estadístico de frecuencias sobre la base de los datos obtenidos de la reserva de carbono orgánico en los primeros 30 cm de profundidad del suelo es analizado en los siguientes ordenes: Alfisols, Aridisols, Entisols, Inceptisols, Mollisols y Vertisols.

3.2.1.1. Orden Alfisols

En la Tabla 25 se indica que el 67% de los valores se centran en un rango de 28.30 a 35.37 Mg ha⁻¹ de COS, el 27% se sitúa entre 21.22 a 28.30% y el 7% restante entre 7.07 a 14.15 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 25. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) en el Orden de Suelo: Alfisols.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.07	3.54	0	0.00	0	0.00
2	7.07	14.15	10.61	1	0.07	1	0.07
3	14.15	21.22	17.69	0	0.00	1	0.07
4	21.22	28.30	24.76	4	0.27	5	0.33
5	28.30	35.37	31.83	10	0.67	15	1.00

3.2.1.2. Orden Aridisols

En la Tabla 26 se observa que los valores con una frecuencia mayor tienen un intervalo de 13.38 a 22.30 Mg ha⁻¹ de COS que corresponden el 73% y los valores con frecuencia menor están entre 4.46 a 13.38 Mg ha⁻¹ que representan el 27% de los datos.

Tabla 26. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) en el Orden de Suelo: Aridisols.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	4.46	2.23	0	0.00	0	0.00
2	4.46	8.92	6.69	13	0.14	13	0.14
3	8.92	13.38	11.15	13	0.14	26	0.27
4	13.38	17.84	15.61	41	0.43	67	0.70
5	17.84	22.30	20.07	29	0.30	96	1.00

3.2.1.3. Orden Entisols

En la Tabla 27 se señala que el 44% de los valores se sitúan en un rango de 7.07 a 21.22 Mg ha⁻¹ de COS, el 36% se está en 21.22 a 28.30 Mg ha⁻¹, el 17% se centra en 28.30 a 35.37 Mg ha⁻¹ y el 3% restante entre 0.00 a 7.07 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 27. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) en el Orden de Suelo: Entisols.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.07	3.54	1	0.03	1	0.03
2	7.07	14.15	10.61	8	0.27	9	0.30
3	14.15	21.22	17.69	5	0.17	14	0.47
4	21.22	28.30	24.76	11	0.37	25	0.83
5	28.30	35.37	31.83	5	0.17	30	1.00

3.2.1.4. Orden Inceptisols

En la Tabla 28 se presentan los valores con mayor frecuencia que están entre un intervalo de 28.42 a 35.53 Mg ha⁻¹ de COS que corresponden el 49%, mientras que, los valores con menor frecuencia se centran en 7.11 a 14.21 Mg ha⁻¹ que representan el 26% y en 14.21 a 28.42 Mg ha⁻¹ de carbono que figuran el 25% de los datos.

Tabla 28. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) en el Orden de Suelo: Inceptisols.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.11	3.55	0	0.00	0	0.00
2	7.11	14.21	10.66	20	0.26	20	0.26
3	14.21	21.32	17.77	12	0.16	32	0.42
4	21.32	28.42	24.87	7	0.09	39	0.51
5	28.42	35.53	31.98	37	0.49	76	1.00

3.2.1.5. Orden Mollisols

En la Tabla 29 se muestra que el 100% de los valores se centran en un rango de 22.90 a 28.63 Mg ha⁻¹ de carbono en el suelo.

Tabla 29. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) en el Orden de Suelo: Mollisols.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	5.73	2.87	0	0.00	0	0.00
2	5.73	11.45	8.59	0	0.00	0	0.00
3	11.45	17.80	14.63	0	0.00	0	0.00
4	17.80	22.90	20.35	0	0.00	0	0.00
5	22.90	28.63	25.77	13	1.00	13	1.00

3.2.1.6. Orden Vertisols

En la Tabla 30 se indica que el 58% de los valores tienen un intervalo de 21.22 a 35.37 Mg ha⁻¹ de COS, que el 37% se centra en 7.07 a 21.22 Mg ha⁻¹ y el 5% restante es menor a 7.07 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 30. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) en el Orden de Suelo: Vertisols.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.07	3.54	3	0.05	3	0.05
2	7.07	14.15	10.61	11	0.20	14	0.25
3	14.15	21.22	17.69	9	0.16	23	0.42
4	21.22	28.30	24.76	5	0.09	28	0.51
5	28.30	35.37	31.83	27	0.49	55	1.00

3.2.2. Análisis estadístico de la reserva de carbono orgánico en el suelo con relación al Régimen de Humedad del Suelo

El análisis estadístico de frecuencias con base en los datos obtenidos de la reserva de carbono orgánico en los primeros 30 cm de profundidad del suelo es analizado en los siguientes regímenes de humedad: Arídico, Údico y Ústico.

3.2.2.1. Régimen de Humedad Arídico

En la Tabla 31 se observa que los valores con una frecuencia mayor se sitúan en un rango de 13.38 a 17.84 Mg ha⁻¹ de COS que corresponden el 43% y los valores con

una frecuencia menor están entre 17.84 a 22.30 Mg ha⁻¹ que representan el 29% y en 4.46 a 13.38 Mg ha⁻¹ de carbono que figuran el 28% de los datos.

Tabla 31. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) en el Régimen de humedad: Árido.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	4.46	2.23	0	0.00	0	0.00
2	4.46	8.92	6.69	13	0.14	13	0.14
3	8.92	13.38	11.15	13	0.14	26	0.28
4	13.38	17.84	15.61	41	0.43	67	0.71
5	17.84	22.30	20.07	28	0.29	95	1.00

3.2.2.2. Régimen de Humedad Ústico

En la Tabla 32 se señala que el 44% de los valores tienen un intervalo de 28.42 a 35.53 Mg ha⁻¹ de COS, el 30% se está entre 14.21 a 28.42 Mg ha⁻¹, el 24% se centra en 7.11 a 14.21 Mg ha⁻¹ y el 2% restante menor a 7.11 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 32. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) en el Régimen de humedad: Ústico.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.11	3.55	4	0.02	4	0.02
2	7.11	14.21	10.66	41	0.24	45	0.26
3	14.21	21.32	17.77	25	0.14	70	0.40
4	21.32	28.42	24.87	27	0.16	97	0.56
5	28.42	35.53	31.98	76	0.44	173	1.00

3.2.2.3. Régimen de Humedad Údico

En la Tabla 33 se presentan los valores con mayor frecuencia que se centran en un rango de 27.67 a 34.59 Mg ha⁻¹ de COS que corresponden el 94% y los valores con menor frecuencia están entre 20.75 a 27.67 Mg ha⁻¹ que representan el 6% de los datos.

Tabla 33. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) en el Régimen de humedad: Údico.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	6.92	3.46	0	0.00	0	0.00
2	6.92	13.84	10.38	0	0.00	0	0.00
3	13.84	20.75	17.30	0	0.00	0	0.00
4	20.75	27.67	24.21	1	0.06	1	0.06
5	27.67	34.59	31.13	16	0.94	17	1.00

3.2.3. *Análisis estadístico de la reserva de carbono orgánico en el suelo con relación a la Subcuenca*

El análisis estadístico de frecuencias con base en los datos obtenidos de la reserva de carbono orgánico en los primeros 30 cm de profundidad del suelo es analizado en las siguientes subcuencas hidrográficas: Río Ayampe, Río Manglaralto, Río Valdivia, Río Viejo, Río Javita, Río Grande, Río Salado, Río La Seca, Río Zapotal, Estero de Morro, Río Daular y Río Chongón.

3.2.3.1. *Subcuenca Río Ayampe*

En la Tabla 34 se muestra que los valores con una frecuencia mayor se centran en un intervalo de 28.30 a 35.37 Mg ha⁻¹ de COS que corresponden el 67%, mientras que, los valores con frecuencia menor están entre 21.22 a 28.30 Mg ha⁻¹ de carbono que representan el 33% de los datos

Tabla 34. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subcuenca: Río Ayampe.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.07	3.54	0	0.00	0	0.00
2	7.07	14.15	10.61	0	0.00	0	0.00
3	14.15	21.22	17.69	0	0.00	0	0.00
4	21.22	28.30	24.76	3	0.33	3	0.33
5	28.30	35.37	31.83	6	0.67	9	1.00

3.2.3.2. Subcuenca Río Manglaralto

En la Tabla 35 se indica que el 89% de los valores se sitúan en un intervalo de 28.30 a 35.37 Mg ha⁻¹ de COS, el 6% está entre 21.22 a 28.30 Mg ha⁻¹ y el 5% restante entre 7.07 a 14.15 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 35. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subcuenca: Río Manglaralto.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.07	3.54	0	0.00	0	0.00
2	7.07	14.15	10.61	1	0.05	1	0.05
3	14.15	21.22	17.69	0	0.00	1	0.05
4	21.22	28.30	24.76	1	0.05	2	0.11
5	28.30	35.37	31.83	17	0.89	19	1.00

3.2.3.3. Subcuenca Río Valdivia

En la Tabla 36 se observa que los valores con una frecuencia mayor tienen un intervalo de 7.07 a 21.22 Mg ha⁻¹ de COS que corresponden el 47% y los valores con una frecuencia menor están entre 21.22 a 28.30 Mg ha⁻¹ que representan el 18% y en 28.30 a 35.37 Mg ha⁻¹ de carbono que figuran el 35% de los datos.

Tabla 36. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subcuenca: Río Valdivia.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.07	3.54	0	0.00	0	0.00
2	7.07	14.15	10.61	4	0.24	4	0.24
3	14.15	21.22	17.69	4	0.24	8	0.47
4	21.22	28.30	24.76	3	0.18	11	0.65
5	28.30	35.37	31.83	6	0.35	17	1.00

3.2.3.4. Subcuenca Río Viejo

En la Tabla 37 se señala que el 56% de los valores se centran en un rango de 14.15 a 21.22 Mg ha⁻¹ de COS, el 25% se sitúa entre 28.30 a 35.37 Mg ha⁻¹, el 13% están en 21.22 a 28.30 Mg ha⁻¹ y el 6% restante entre 7.07 a 14.15 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 37. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subcuenca: Río Viejo.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.07	3.54	0	0.00	0	0.00
2	7.07	14.15	10.61	1	0.06	1	0.06
3	14.15	21.22	17.69	9	0.56	10	0.63
4	21.22	28.30	24.76	2	0.13	12	0.75
5	28.30	35.37	31.83	4	0.25	16	1.00

3.2.3.5. Subcuenca Río Javita

En la Tabla 38 se presenta que el 44% de los valores tienen un intervalo de 7.11 a 21.32 Mg ha⁻¹ de COS, el 32% se sitúa entre 28.42 a 35.53 Mg ha⁻¹, el 15% se centra en 21.32 a 28.42 Mg ha⁻¹ y el 9% restante es menor a 7.11 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 38. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subcuenca: Río Javita.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.11	3.55	4	0.09	4	0.09
2	7.11	14.21	10.66	11	0.23	15	0.32
3	14.21	21.32	17.77	10	0.21	25	0.53
4	21.32	28.42	24.87	7	0.15	32	0.68
5	28.42	35.53	31.98	15	0.32	47	1.00

3.2.3.6. Subcuenca Río Grande

En la Tabla 39 se muestra que los valores con una frecuencia mayor se sitúan en un rango de 14.15 a 28.30 Mg ha⁻¹ de COS correspondiente al 46% y en 7.07 a 14.15 Mg ha⁻¹ que representan el 32%, mientras que, los valores con una frecuencia

menor están entre 28.30 a 35.37 Mg ha⁻¹ que corresponde el 14% y los valores menores a 7.07 Mg ha⁻¹ de carbono que figuran el 13% de los datos.

Tabla 39. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subcuenca: Río Grande.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.07	3.54	2	0.07	2	0.07
2	7.07	14.15	10.61	9	0.32	11	0.39
3	14.15	21.22	17.69	7	0.25	18	0.64
4	21.22	28.30	24.76	6	0.21	24	0.86
5	28.30	35.37	31.83	4	0.14	28	1.00

3.2.3.7. Subcuenca Río Salado

En la Tabla 40 se indica que los valores con una frecuencia mayor se centran en un rango de 5.79 a 23.15 Mg ha⁻¹ de COS que corresponden el 91%, mientras que, los valores con frecuencia menor están entre 23.15 a 28.94 Mg ha⁻¹ de carbono que representan el 9% de los datos.

Tabla 40. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subcuenca: Río Salado.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	5.79	2.89	0	0.00	0	0.00
2	5.79	11.58	8.68	8	0.24	8	0.24
3	11.58	17.36	14.47	15	0.44	23	0.68
4	17.36	23.15	20.26	8	0.24	31	0.91
5	23.15	28.94	26.05	3	0.09	34	1.00

3.2.3.8. Subcuenca Río La Seca

En la Tabla 41 se observa que el 50% de los valores se centran en un rango de 8.87 a 13.30 Mg ha⁻¹ de COS, el 34% se sitúa entre 13.30 a 22.17 Mg ha⁻¹ y el 17% restante entre 4.43 a 8.57 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 41. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subcuenca: Río La Seca.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	4.43	2.22	0	0.00	0	0.00
2	4.43	8.87	6.65	1	0.17	1	0.17
3	8.87	13.30	11.09	3	0.50	4	0.67
4	13.30	17.74	15.52	1	0.17	5	0.83
5	17.74	22.17	19.95	1	0.17	6	1.00

3.2.3.9. Subcuenca Río Zapotal

En la Tabla 7 se señala que los valores con mayor frecuencia tienen un intervalo de 14.21 a 35.53 Mg ha⁻¹ de COS que corresponden el 66%, mientras que, los valores con menor frecuencia están entre 7.11 a 14.21 Mg ha⁻¹ de carbono que figura el 34% de los datos.

Tabla 42. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subcuenca: Río Zapotal.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.11	3.55	0	0.00	0	0.00
2	7.11	14.21	10.66	20	0.34	20	0.34
3	14.21	21.32	17.77	10	0.17	30	0.52
4	21.32	28.42	24.87	16	0.28	46	0.79
5	28.42	35.53	31.98	12	0.21	58	1.00

3.2.3.10. Subcuenca Estero de Morro

En la Tabla 43 se presenta que el 67% de los valores tienen un intervalo de 0.00 a 14.15 Mg ha⁻¹ de COS, y el 33% restante se centra en 21.22 a 35.37 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 43. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subcuenca: Estero de Morro.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.07	3.54	1	0.17	1	0.17
2	7.07	14.15	10.61	3	0.50	4	0.67
3	14.15	21.22	17.69	0	0.00	4	0.67
4	21.22	28.30	24.76	1	0.17	5	0.83
5	28.30	35.37	31.83	1	0.17	6	1.00

3.2.3.11. Subcuenca Río Daular

En la Tabla 44 se muestra que el 50% de los valores están en un intervalo de 28.30 a 35.37 Mg ha⁻¹ de COS, el 33% se sitúa entre 14.15 a 21.22 Mg ha⁻¹ y el 17% restante en 4.08 a 5.10 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 44. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subcuenca: Río Daular.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.07	3.54	0	0.00	0	0.00
2	7.07	14.15	10.61	1	0.17	1	0.17
3	14.15	21.22	17.69	2	0.33	3	0.50
4	21.22	28.30	24.76	0	0.00	3	0.50
5	28.30	35.37	31.83	3	0.50	6	1.00

3.2.3.12. Subcuenca Río Chongón

La Subcuenca Río Chongón no consta de distribución frecuencial, debido a que solo hay un valor, 28.63 Mg ha⁻¹ en la reserva de COS.

3.2.4. Análisis estadístico de la reserva de carbono orgánico en el suelo con relación a los subgrupos de Curva Patrón

El análisis estadístico de frecuencias con base en los datos obtenidos de la reserva de carbono orgánico en los primeros 30 cm de profundidad del suelo es analizado en los

siguientes subgrupos taxonómicos pertenecientes a la curva patrón asignada: Fluventic Haplusteps, Typic Haplotorrerts, Fluventic Eutrudepts, Ustic Haplocambids, Arenic Haplargids Typic Haplusteps y Fluventic Haplocambids.

3.2.4.1. *Fluventic Haplusteps*

En la Tabla 45 se indica que el 39% de los valores se centran en un rango de 28.42 a 35.53 Mg ha⁻¹ de COS, el 33% se sitúa entre 7.11 a 14.21 Mg ha⁻¹ y el 28% restante entre 14.21 a 28.42 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 45. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Fluventic Haplusteps.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.11	3.55	0	0.00	0	0.00
2	7.11	14.21	10.66	6	0.33	6	0.33
3	14.21	21.32	17.77	3	0.17	9	0.50
4	21.32	28.42	24.87	2	0.11	11	0.61
5	28.42	35.53	31.98	7	0.39	18	1.00

3.2.4.2. *Typic Haplotorrerts*

En la Tabla 46 se observa que el 75% de los valores tienen un intervalo de 22.90 a 28.63 Mg ha⁻¹ de COS y el 25% restante está entre 5.73 a 22.90 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 46. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Typic Haplotorrerts.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	5.73	2.86	0	0.00	0	0.00
2	5.73	11.45	8.59	5	0.08	5	0.08
3	11.45	17.18	14.32	4	0.07	9	0.15
4	17.18	22.90	20.04	6	0.10	15	0.25
5	22.90	28.63	25.77	46	0.75	61	1.00

3.2.4.3. *Fluventic Eutrudepts*

En la Tabla 47 se señala que el 83% de los valores se sitúan en un rango de 27.67 a 34.59 Mg ha⁻¹ de COS y el 17% restante se centra en 20.75 a 27.67 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 47. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Fluventic Eutrudepts.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	6.92	3.46	0	0.00	0	0.00
2	6.92	13.84	10.38	0	0.00	0	0.00
3	13.84	20.75	17.30	0	0.00	0	0.00
4	20.75	27.67	24.21	1	0.17	1	0.17
5	27.67	34.59	31.13	5	0.83	6	1.00

3.2.4.4. *Ustic Haplocambids*

En la Tabla 48 se presenta que el 77% de los valores están en un intervalo de 17.84 a 22.30 Mg ha⁻¹ de COS, el 15% se sitúa entre 13.38 a 17.84 Mg ha⁻¹ y el 8% restante en 8.92 a 13.38 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 48. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Ustic Haplocambids.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	4.46	2.23	0	0.00	0	0.00
2	4.46	8.92	6.69	0	0.00	0	0.00
3	8.92	13.38	11.15	1	0.08	1	0.08
4	13.38	17.84	15.61	2	0.15	3	0.23
5	17.84	22.30	20.07	10	0.77	13	1.00

3.2.4.5. *Typic Haplocambids*

En la Tabla 49 se muestra que el 65% de los valores se centran en un rango de 12.32 a 15.40 Mg ha⁻¹ de COS, el 24% se sitúa entre 6.16 a 9.24 Mg ha⁻¹ y el 11% restante está en 9.24 a 12.32 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 49. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Typic Haplocambids.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	3.08	1.54	0	0.00	0	0.00
2	3.08	6.16	4.62	0	0.00	0	0.00
3	6.16	9.24	7.70	12	0.24	12	0.24
4	9.24	12.32	10.78	5	0.10	17	0.35
5	12.32	15.40	13.86	32	0.65	49	1.00

3.2.4.6. *Arenic Haplargids*

En la Tabla 50 se indica que el 52% de los valores constan de un intervalo de 17.74 a 22.17 Mg ha⁻¹ de COS, el 24% está en 13.30 a 17.74 Mg ha⁻¹, el 17% se centra en 8.87 a 13.30 Mg ha⁻¹ y el 7% restante entre 4.43 a 8.87 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 50. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Arenic Haplargids.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	4.43	2.22	0	0.00	0	0.00
2	4.43	8.87	6.65	3	0.07	3	0.07
3	8.87	13.30	11.09	8	0.17	11	0.24
4	13.30	17.74	15.52	11	0.24	22	0.48
5	17.74	22.17	19.95	24	0.52	46	1.00

3.2.4.7. *Typic Haplusteps*

En la Tabla 51 se observa que el 43% de los valores se sitúa en un intervalo de 0.00 a 1.02 Mg ha⁻¹ de COS, el 31% está entre 14.15 a 28.30 Mg ha⁻¹ y el 26% restante en 7.07 a 14.15 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 51. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Arenic Haplargids.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	7.07	3.54	0	0.00	0	0.00
2	7.07	14.15	10.61	22	0.26	22	0.26
3	14.15	21.22	17.69	15	0.18	37	0.44
4	21.22	28.30	24.76	11	0.13	48	0.57
5	28.30	35.37	31.83	36	0.43	84	1.00

3.2.4.8. *Fluventic Haplocambids*

En la Tabla 52 se observa que el 50% de los valores están entre un intervalo de 17.69 a 29.49 Mg ha⁻¹ de COS, el 37% se sitúa entre 11.80 a 17.59 Mg ha⁻¹ y el 13% restante se centra en 5.90 a 11.80 Mg ha⁻¹ de carbono.

Tabla 52. Distribución de frecuencia de la RCOS (Mg ha⁻¹) por Subgrupo de Curva Patrón: Fluventic Haplocambids.

Clase	Límite inferior	Límite superior	Punto medio	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0.00	5.90	2.95	0	0.00	0	0.00
2	5.90	11.80	8.85	1	0.13	1	0.13
3	11.80	17.69	14.75	3	0.38	4	0.50
4	17.69	23.59	20.64	2	0.25	6	0.75
5	23.59	29.49	26.54	2	0.25	8	1.00

3.3. Análisis de la varianza del porcentaje de carbono orgánico

En la prueba de rango de Kruskal-Wallis se mostró que existen diferencias significativas entre los subgrupos de curvas patrones que fueron asignadas a los 299 perfiles de suelos, con un 95% de confianza. En la Tabla 53 se presentan los valores de la prueba de rango de Kruskal-Wallis con p-valor menor a 0.0001.

Tabla 53. Prueba de rango de Kruskal-Wallis para datos de porcentaje de carbono orgánico en el suelo del primer horizonte, agrupados por subgrupo de Curva Patrón asignada.

Id.	Curva Patrón	N	Media	Mediana	D.E.	p<0.05
1	Fluventic Haplusteps	18	1.26	1.11	0.91	<0.0001
2	Typic Haplotorrerts	62	1.70	1.22	1.16	
3	Fluventic Eutrudepts	6	2.87	2.44	1.68	
4	Ustic Haplocambids	13	1.11	1.28	0.47	
5	Typic Haplocambids	54	0.92	0.82	0.55	
6	Arenic Haplargids	51	0.70	0.58	0.75	
7	Typic Haplusteps	86	1.66	1.62	0.97	
8	Fluventic Haplocambids	9	0.81	0.75	0.39	

N: Número de datos

D.E.: Desviación estándar

En la Figura 3 se presenta el diagrama de caja y bigote, donde el 50% de los valores mayores con respecto al porcentaje de COS corresponden a los subgrupos: Typic Haplusteps (KEDW) con 0.28 a 1.49%, Fluventic Haplusteps (KEDO) con 0.39 a 1.46% y Fluventic Eutrudepts (KGDP) con 0.32 a 1.15%. Al contrario, de los subgrupos de suelo con el 50% de los valores menores en porcentaje: Arenic Haplargids (GEFJ) con 0.29 a 0.6%, Ustic Haplocambids (GGDU) 0.36 a 0.63% y Typic Haplocambids (GGDV) con 0.14 a 0.50%.

En el diagrama de caja y bigotes se realizó la identificación y tratamiento de outliers a través del software R-Studio, con el fin de eliminar valores atípicos que se encuentran extremos de la muestra de datos asignados a los subgrupos de curvas patrones. En este proceso se ejecutó el método Hampel filter, método que consiste en la identificación y reemplazo de valores atípicos en una serie determinada, donde, se usa la mediana y la desviación estándar (D.E.) (Lewinson, 2019).

Los valores atípicos que se obtuvieron en los subgrupos de las curvas patrones establecidas se deben a errores de clasificación de los perfiles de suelos. Estos errores se cometieron en la asignación de la curva a un perfil en base a los criterios de clasificación mencionados en el Capítulo 2.

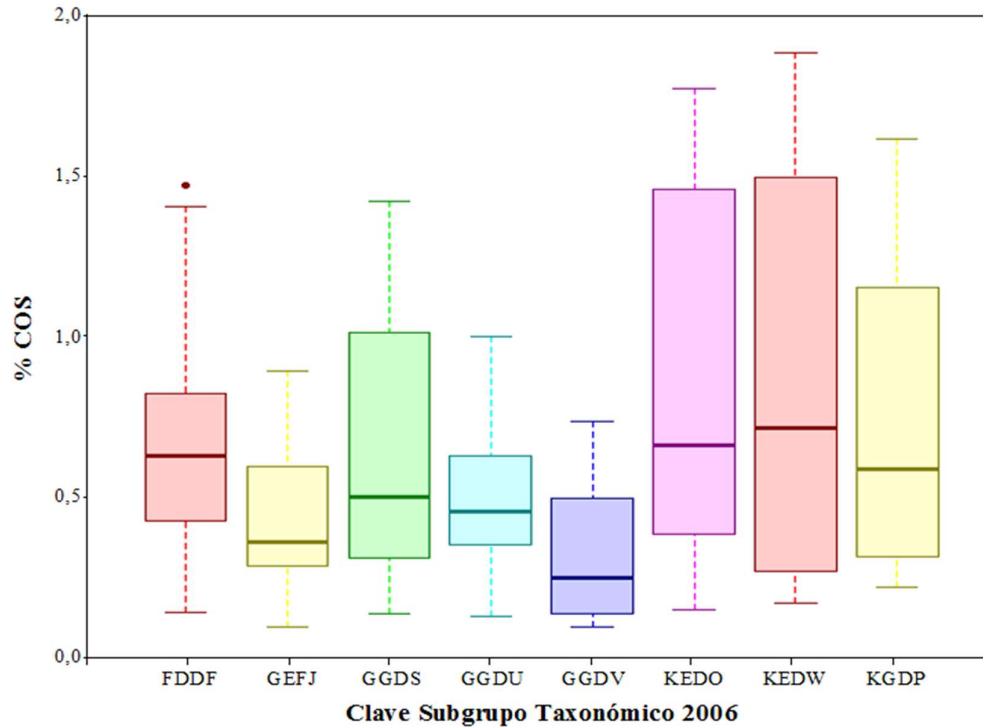


Figura 3. Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico del porcentaje de COS en el primer horizonte para los Subgrupos de Curvas patrones establecidas.

En base al análisis del contenido porcentual de carbono orgánico a través de los subgrupos de curvas patrones, se observa que en la provincia de Santa Elena el porcentaje de COS no supera el 2% en el primer horizonte, esto se debe a la presencia en gran cantidad de suelos del Orden Aridisols donde la media de sus datos tiene un valor de 0.78% y 1.72% de COS. Con lo expuesto se reafirma lo anterior expuesto por (Koupermann Kuperman, 2014) que menciona que los suelos Aridisols con niveles bajos a medios en MOS representan el 32% de la superficie y los Inceptisols con niveles bajos a altos en MOS son el 37%.

Esto es así, dado que en la provincia predominan zonas secas con climas áridos, caracterizados por tener un periodo seco de 285 días, donde el déficit hídrico es superior a 820 mm año⁻¹ y la evapotranspiración supera las precipitaciones, además, la presencia de suelos erosionados por la intensidad de lluvias y la baja cobertura vegetal (INAMHI, 2006; SINAGAP and IEE, 2012). Esto se refleja en los regímenes de humedad del suelo, los cuales se desarrollan en base al tipo de clima. En el caso del régimen de humedad arídico, se limita la retención del agua y el desarrollo vegetal en el horizonte superficial (Monteverde Miranda, 2014).

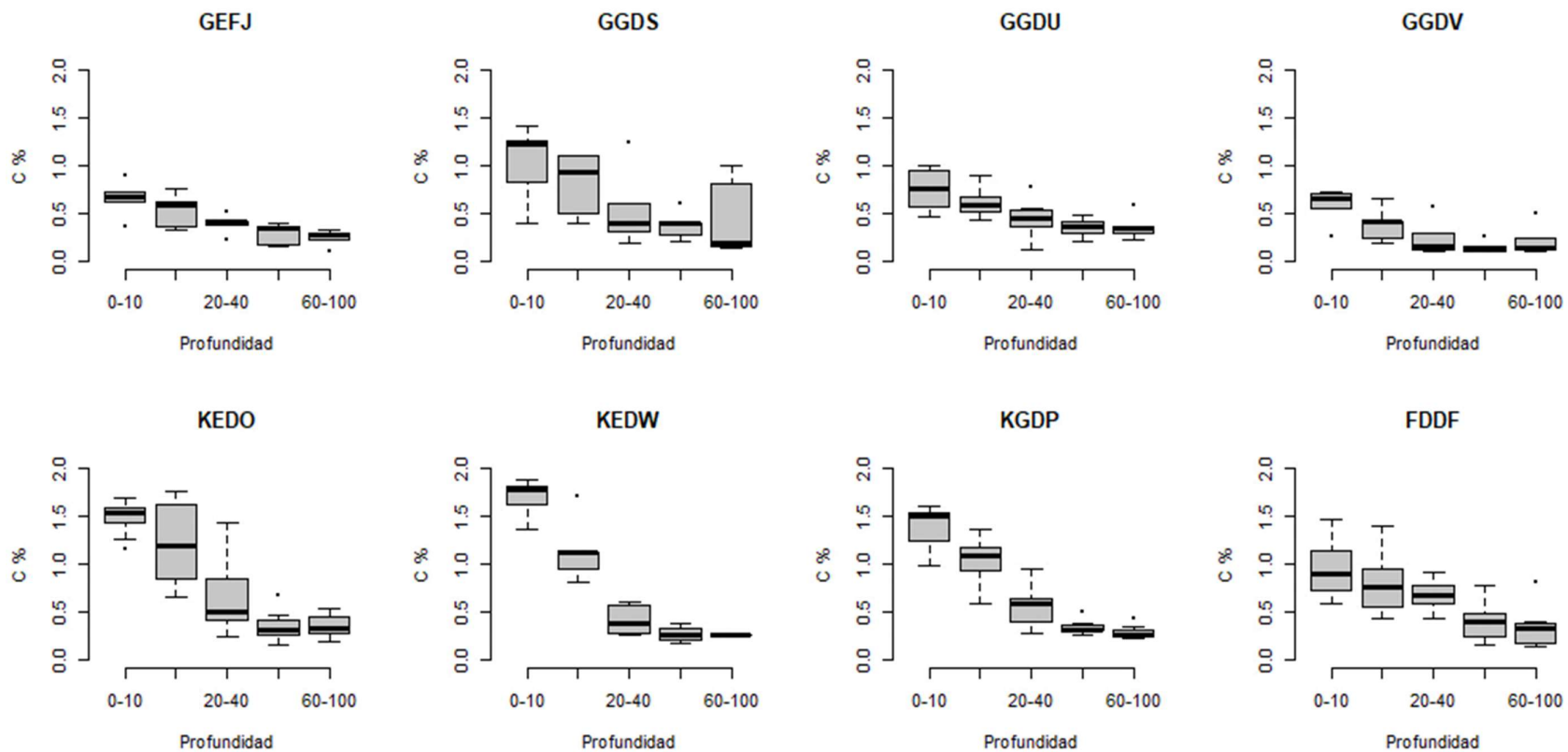


Figura 4. Variación del porcentaje de carbono orgánico (C %) en la profundidad por subgrupo de suelo. GEFJ – Arenic Haplargids, GGDU – Ustic Haplocambids, GGDU – Ustic Haplocambids, GGDV – Typic Haplocambids, KEDO – Fluventic Haplusteps, KEDW – Typic Haplusteps, KGDP – Fluventic Eutrudepts, FDDF – Typic Haplotorrerts.

El clima, suelo y vegetación son algunos de los factores limitantes en el almacenamiento y absorción del contenido de COS; entre otros factores, está la profundidad del perfil debido a que más profundo se encuentre el carbono es más antigua y más estable donde forma parte de macro y micro agregados (Fernández Romero, 2016). Esto se puede observar en la Figura 4, donde existe variación en el porcentaje de COS de 0 hasta 100 cm de la profundidad entre los subgrupos de las curvas patrones asignadas.

3.4. Análisis de la varianza de la reserva de carbono orgánica

3.4.1.1. Orden de Suelo

En el análisis de la prueba de rango de Kruskal-Wallis mostró que existe diferencias significativas entre los Ordenes de Suelo con un 95% de confianza, como se presenta en la Tabla 54.

Tabla 54. Prueba de rango de Kruskal-Wallis para datos de reserva de carbono orgánico en el suelo a una profundidad de 30 cm, agrupados por Orden de Suelo.

Id.	Orden Suelo	N	Media	Mediana	D.E.	p<0.05
1	Alfisols	15	27,31	28,63	5,52	<0,0001
2	Aridisols	96	15,45	15,40	4,90	
3	Entisols	30	19,57	22,17	8,44	
4	Inceptisols	76	24,27	28,21	10,09	
5	Mollisols	13	28,63	28,63	0,00	
6	Vertisols	55	23,13	27,27	9,49	

En el siguiente diagrama representado en la Figura 5, se indica que el 50% de los valores menores con respecto a la RCOS corresponden al Orden Aridisols con una mediana de 15.40 Mg ha⁻¹. Esto se afirma en el diagrama de la Figura 6, donde se observa que las tendencias de las medianas de los subgrupos de perfiles pertenecientes al Orden Aridisols se agrupan con valores que no superan los 22.00 Mg ha⁻¹.

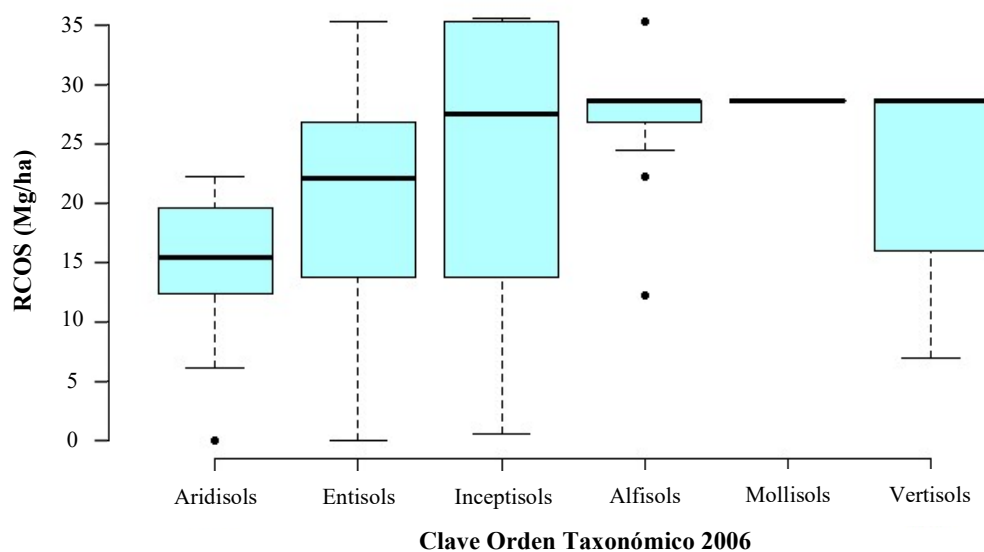


Figura 5. Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de la reserva de carbono orgánica en el suelo a 30 cm de profundidad para el Orden de Suelo.

Al saber que existe diferencia significativa en los órdenes de suelos se procedió a determinar a través de la prueba de suma de rangos de Wilcoxon, que órdenes diferían significativamente del otro. En la Tabla 55 se observa que el Orden Aridisols con menor reserva de COS presenta diferencias significativas con todos los órdenes, a excepción del Orden Entisols, debido a las características de este orden de ser suelos muy incipientes en su evolución y desarrollo (Soil Survey Staff, 2014).

Tabla 55. Prueba de suma de rangos de Wilcoxon para comparación de mediana en el Orden de Suelo.

Orden de Suelo	Aridisols	Alfisols	Mollisols	Entisols	Inceptisols
Alfisols	1.2e-05	-	-	-	-
Mollisols	3.4e-05	1.00000	-	-	-
Entisols	1.00000	0.03541	0.02261	-	-
Inceptisols	0.00014	1.00000	1.00000	0.21177	-
Vertisols	0.00130	0.45277	0.10503	0.50439	1.00000

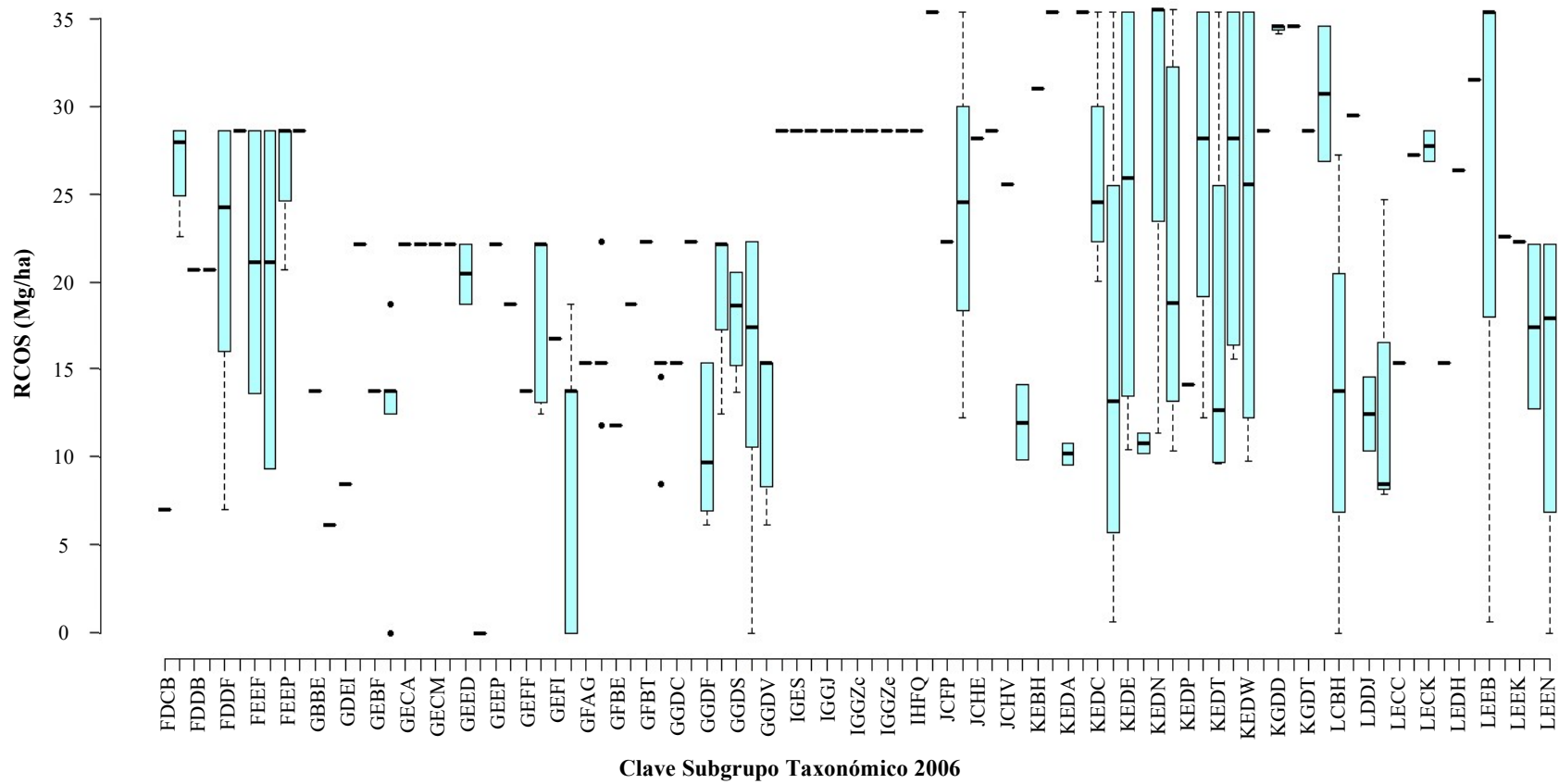


Figura 6. Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de la reserva de carbono orgánica en el suelo a 30 cm de profundidad para Subgrupos de Suelos.

3.4.1.2. Subcuenca hidrográfica

Para realizar el análisis se consideró las subcuencas hidrográficas de mayor representación muestral, es decir, aquellas que tuvieron entre 15 o más perfiles en la base de datos. La Tabla 56 muestra el análisis de la prueba de rango de Kruskal-Wallis al 95% de confianza para los valores de RCOS de las Subcuencas Hidrográficas representativas con un p-valor de <0.0001 , que indica que existe diferencia significativa entre las subcuencas hidrográficas.

Sin embargo, se decidió realizar de nuevo el análisis de las subcuencas hidrográficas sin incluir a la Subcuenca Río Manglaralto, y se obtuvo un p-valor de 0.1046, que demuestra que no existe diferencia significativa entre las subcuencas. Esto demuestra la influencia que tiene el clima y el régimen de humedad del suelo en la acumulación de carbono orgánico en los suelos de la Península.

Tabla 56. Prueba de rango de Kruskal-Wallis para datos de reserva de carbono orgánico en el suelo a una profundidad de 30 cm, agrupados por Subcuenca Hidrográfica representativa.

Id.	Subcuenca Hidrográfica	N	Medias	Medianas	D.E.	p-valor
1	Río Grande	28	17.29	15.40	8.01	<0.0001
2	Río Javita	47	20.98	20.68	9.97	
3	Río Manglaralto	19	30.20	28.63	5.09	
4	Río Salado	34	15.94	15.40	5.81	
5	Río Valdivia	17	21.03	22.30	7.94	
6	Río Viejo	16	20.37	17.11	6.68	
7	Río Zapotal	58	19.63	19.87	8.04	

El diagrama de caja de bigote representado en la Figura 7, se muestra que el 50% de los valores menores representados por la mediana con respecto a la RCOS corresponden a: Subcuenca Estero de Morro (4901) con 11.44 Mg ha^{-1} y Subcuenca Río La Seca (4701) con 11.90 Mg ha^{-1} como las subcuencas no representativas de la zona, y Subcuenca Río Salado y Río Grande con una mediana igual de 15.40 Mg ha^{-1} como las más representativas.

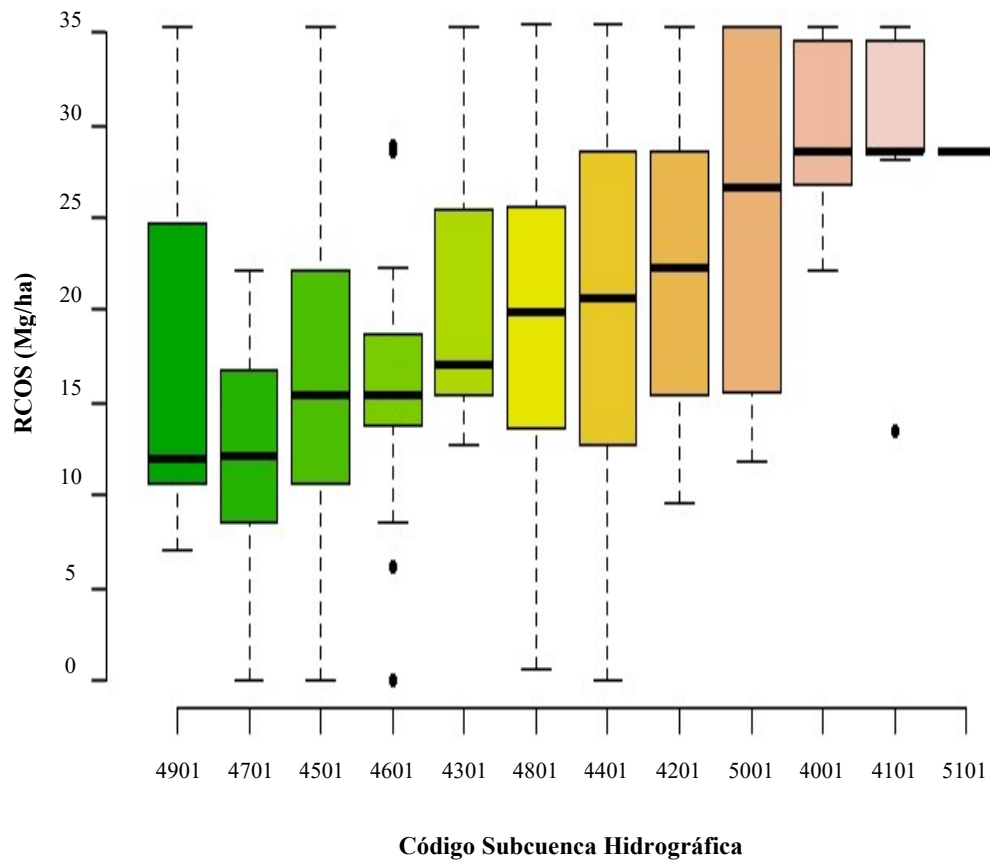


Figura 7. Diagrama de caja y bigote del análisis estadístico de la reserva de carbono orgánica en el suelo a 30 cm de profundidad para Subcuenca Hidrográficas.

Al conocer que existen diferencias significativas entre las subcuencas hidrográficas con más de 15 perfiles, se empleó la prueba de suma de rangos de Wilcoxon para contrastar las subcuencas entre sí. La Tabla 57 presenta que existe diferencia significativa de la Subcuenca Río Manglaralto (4101) con el resto de las subcuencas hidrográficas de mayor representación muestral y que la Subcuenca Río Zapotal (4801) solo difiere significativamente con las Subcuencas Río Manglaralto (4101) y Río Salado (4601).

La relevancia de la subcuenca Río Manglaralto se explica por las características climáticas e hidrográficas de dicha cuenca, que le confieren condiciones más húmedas, mientras que Río Zapotal tiene un comportamiento intermedio (Araque Arellano *et al.*, 2019).

Tabla 57. Prueba de suma de rangos de Wilcoxon para comparación de mediana por Subcuenca Hidrográfica.

Código	4101	4201	4301	4401	4501	4601
4201	0.02449	-	-	-	-	-
4301	0.00749	1.00000	-	-	-	-
4401	0.03841	1.00000	1.00000	-	-	-
4501	5.5e-05	0.87157	0.90777	1.00000	-	-
4601	5.6e-06	0.64890	0.59012	0.43690	1.00000	-
4801	0.00028	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	0.64890

3.4.1.3. Régimen de Humedad

En la Tabla 58 se muestra mediante el análisis de la prueba de rango de Kruskal-Wallis que existe diferencias significativas entre el Régimen de Humedad de Suelo con un 95% de confianza.

Tabla 58. Prueba de rango de Kruskal-Wallis para datos de reserva de carbono orgánico en el suelo a una profundidad de 30 cm, agrupados por Régimen de Humedad de Suelo.

Id.	Régimen Humedad	N	Media	Mediana	D.E.	p>0.05
1	Árido	95	15,26	15,40	4,88	<0,0001
2	Údico	17	21.85	22.19	2,86	
3	Ústico	173	29.98	28.63	9,38	

La Figura 8 presenta el histograma, la curva de densidad y el diagrama de caja de bigote para contrastar las diferencias entre cada régimen de humedad de suelo con respecto a la RCOS, donde se observa que el 50% de los valores en el Régimen de Humedad Árido es 13.78 a 21.77 Mg ha⁻¹ de reserva, para el Régimen de Humedad Ústico corresponde 13.78 a 28.63 Mg ha⁻¹ y en el Régimen de Humedad Údico es de 28.63 a 30.00 Mg ha⁻¹.

Al comparar las medianas de cada criterio, se logra distinguir que el Régimen de Humedad Árido consta con el menor valor de reserva, 15,40 Mg ha⁻¹, de esta manera, se corrobora que el Régimen de Humedad es un factor determinante en la acumulación del carbono orgánico en el suelo, fundamentalmente en zonas secas y subhúmedas de la provincia.

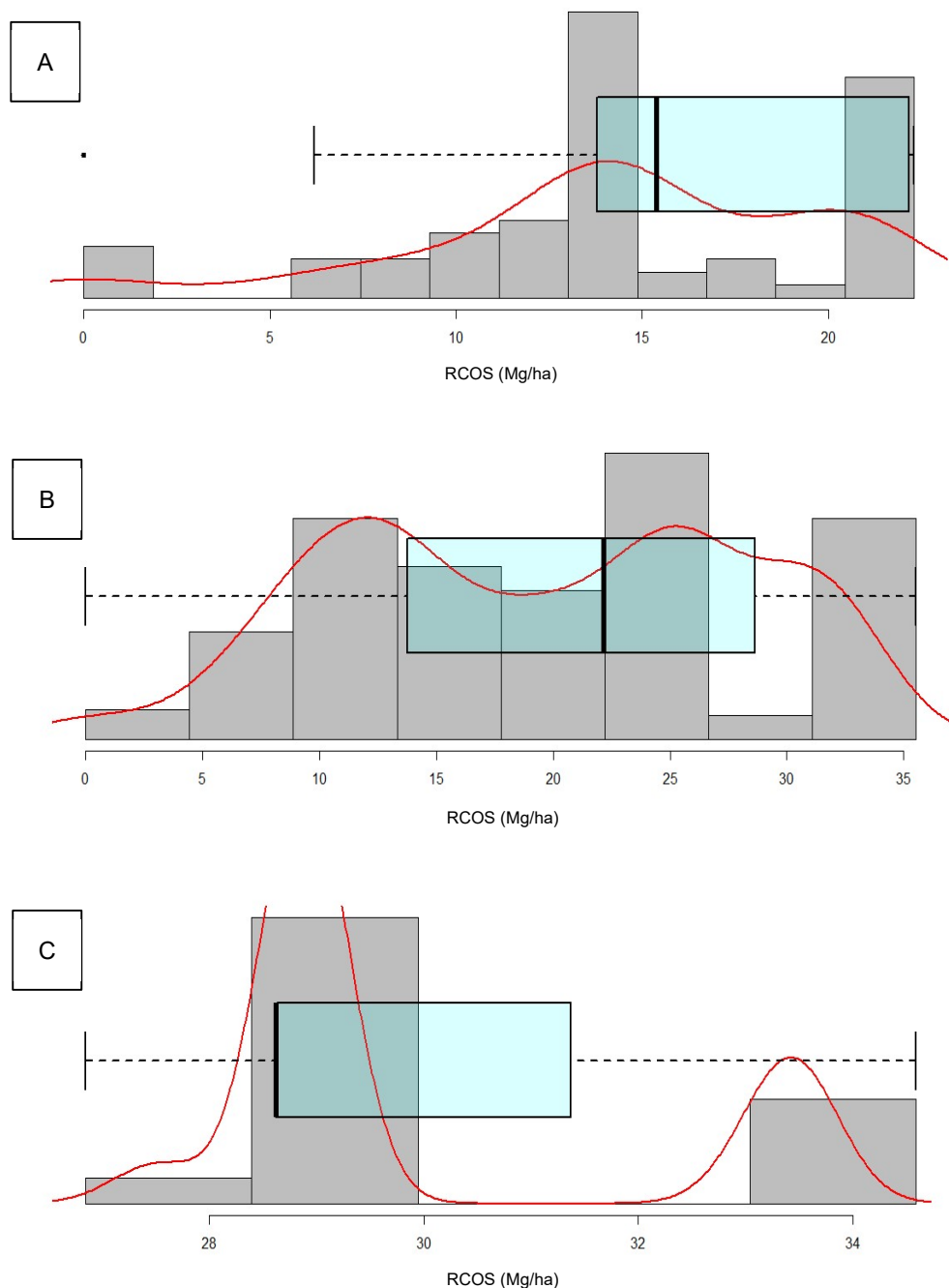


Figura 8. Histograma, curva de densidad y diagrama de caja del análisis estadístico de la reserva de carbono orgánica en el suelo a 30 cm de profundidad para el Régimen de Humedad de Suelo: Arídico (A), Ústico (B) y Údico (C).

Al saber que existen diferencia estadística significativa, se procede a identificar qué régimen difiere del otro a través de la prueba de suma de rangos de Wilcoxon. En la Tabla 59 se observa que hay diferencia significativa entre cada una de las medianas de los regímenes de humedad del suelo.

Tabla 59. Prueba de suma de rangos de Wilcoxon para comparación de mediana por Régimen de Humedad.

Régimen de Humedad	Árido	Údico
Údico	3.4e-06	-
Ústico	0.0016	0.0099

3.5. Análisis de la distribución espacial de la RCOS a 30 cm de profundidad

La Figura 9 se muestra el análisis exploratorio de la distribución espacial de la reserva de carbono orgánico, en ella se observa una distribución homogénea en las coordenadas X y Y (B – C) con ligera tendencia a valores más altos hacia la zona norte y este de la Península de Santa Elena lo cual se aprecia en A.

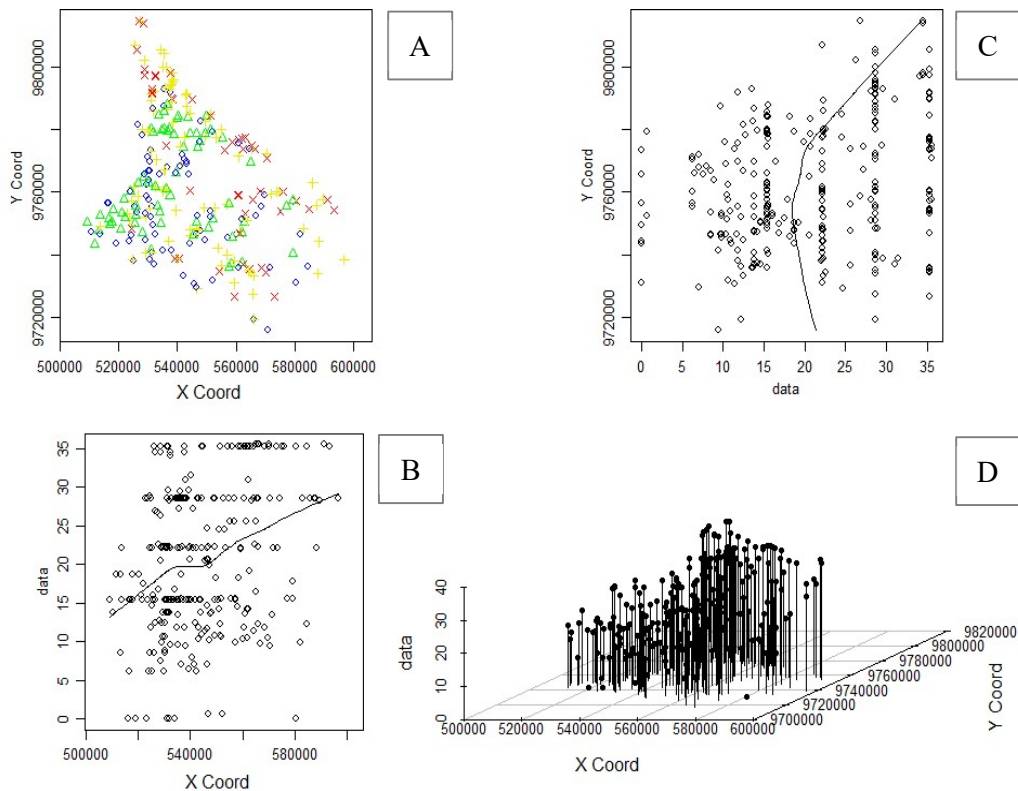


Figura 9. (A) Distribución espacial de carbono orgánico en el suelo, (B) Distribución de carbono orgánico en el eje X, (C) Distribución de carbono orgánico en el eje Y, y (D) Distribución espacial en tercera dimensión de carbono orgánico en el suelo.

3.6. Estimación de la reserva total de carbono orgánico en la Península

Uno de los aspectos importantes en la estimación de la reserva de carbono de un territorio, es la interpolación de los valores obtenidos de observaciones puntuales como son los perfiles de suelos, lo que depende de la existencia o no de autocorrelación espacial.

En la Figura 10 se presenta el semivariograma experimental omnidireccional y los semivariogramas direccionales de la reserva de carbono orgánico en el suelo, donde se observa que no hay una estructura espacial, cuyo comportamiento permite considerar el punto del perfil como representativo para la asignación de polígonos, de esta manera generar mapas temáticos.

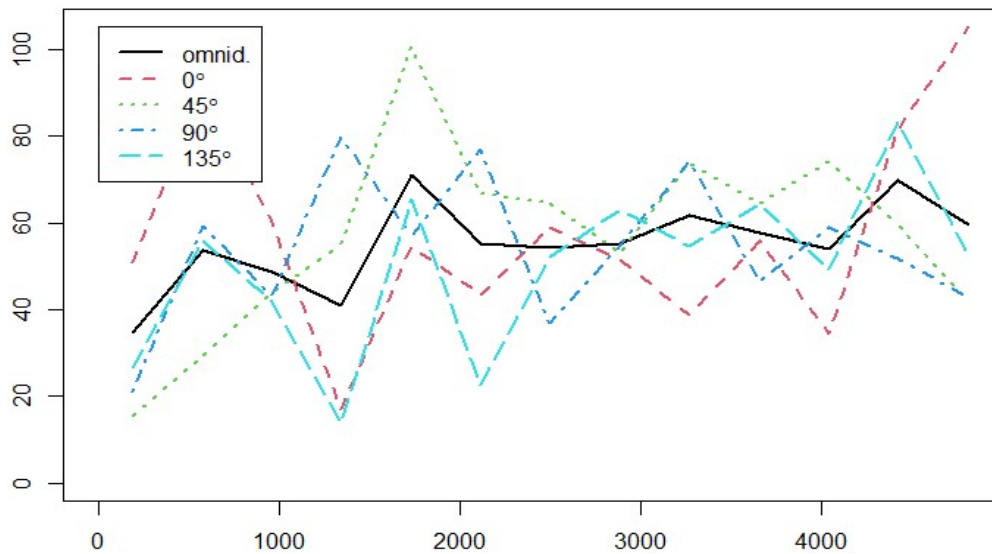


Figura 10. Semivariogramas experimentales de la reserva de carbono orgánico en el suelo de la Península de Santa Elena.

Las estimaciones realizadas de la RCOS contribuyen a tener una referencia del estado en que se encuentran los suelos en la Península. En la Tabla 60 se presenta el resumen de las reservas estimadas por Orden de Suelo y Régimen de Humedad y el área total que ocupan en el territorio.

De toda la superficie de 360 795.92 hectáreas cartografiadas edafológicamente en la Península, se estimó 57 073 114.82 Mg de RCOS, donde, los órdenes Aridisols e Inceptisols constan con mayor reserva de carbono orgánico en el suelo a una profundidad de 30 cm, debido a la extensión de área que ocupan, así mismo con el Régimen de Humedad Arídico y Ústico

Tabla 60. Reserva total de Carbono Orgánico en el Suelo a 30 cm de profundidad y el área de representación en la Península de Santa Elena agrupadas por Orden de Suelo y Régimen de Humedad.

Descripción	Área Total (ha)	RCOS Total (Mg)
Territorio Total	360 795.92	57 073 114.82
Territorio No aplicable	71 095.03	0.00
Orden de Suelo Alfisols	16 185.41	445 221.18
Orden de Suelo Aridisols	90 613.98	1 347 508.16
Orden de Suelo Entisols	40 638.94	653 638.28
Orden de Suelo Inceptisols	107 997.37	2 478 330.64
Orden de Suelo Mollisols	6 780.00	189 084.31
Orden de Suelo Vertisols	27 485.20	593 532.26
Régimen Humedad de Suelo Arídico	111 100.74	1 767 901.38
Régimen Humedad de Suelo Ústico	169 760.51	3 679 915.93
Régimen Humedad de Suelo Údico	8 839.64	259 497.51

A continuación, se muestra en la Figura 11 una representación del mapa de las reservas de carbono orgánico en los suelos de la Península medidos en kg m^{-2} , en que se observa la mayor distribución de COS hacia la zona norte y este, donde se localizan climas subhúmedos como resultado de la presencia de la cordillera Chongón Colonche.

3.7. Análisis de las condiciones edafoclimáticas en la reserva de carbono

La acumulación de carbono orgánica en los suelos (COS) ocurre a través del proceso de humificación microbiana de la materia orgánica, el cual, es afectado por las condiciones de aridez en climas secos que limitan la producción de biomasa y la calidad de los materiales orgánicos que se incorporan al suelo. Por ende, los organismos de la fauna y mesofauna edáfica, así como la microbiota, se ven afectados por las condiciones climáticas que dificulta la descomposición de los residuos orgánicos (Martínez, *et al.*, 2008; Paz and Etchevers, 2016).

Los suelos con un contenido medio de arcilla y régimen de humedad údico favorecen el proceso de humificación de la materia orgánica, esto se debe a que en la arcilla actúa como una capa protectora al tener cargas positivas que atraen los cationes orgánicos, impidiendo la fácil mineralización; también los pH neutros favorecen la humificación. Estas características son de zonas con climas húmedos y subhúmedos, donde, la

acumulación de materia orgánica es mayor que favorece la condensación de las sustancias húmicas (FAO, 2017; INTAGRI, 2020).

La distribución de reservas de COS en la Península responde a las condiciones descritas, las mismas, que se pueden encontrar en la Subcuenca Río Manglaralto, lo que demuestra que la zona norte y este de la Península es la más propicia para usos de la tierra orientado a la captura de carbono.

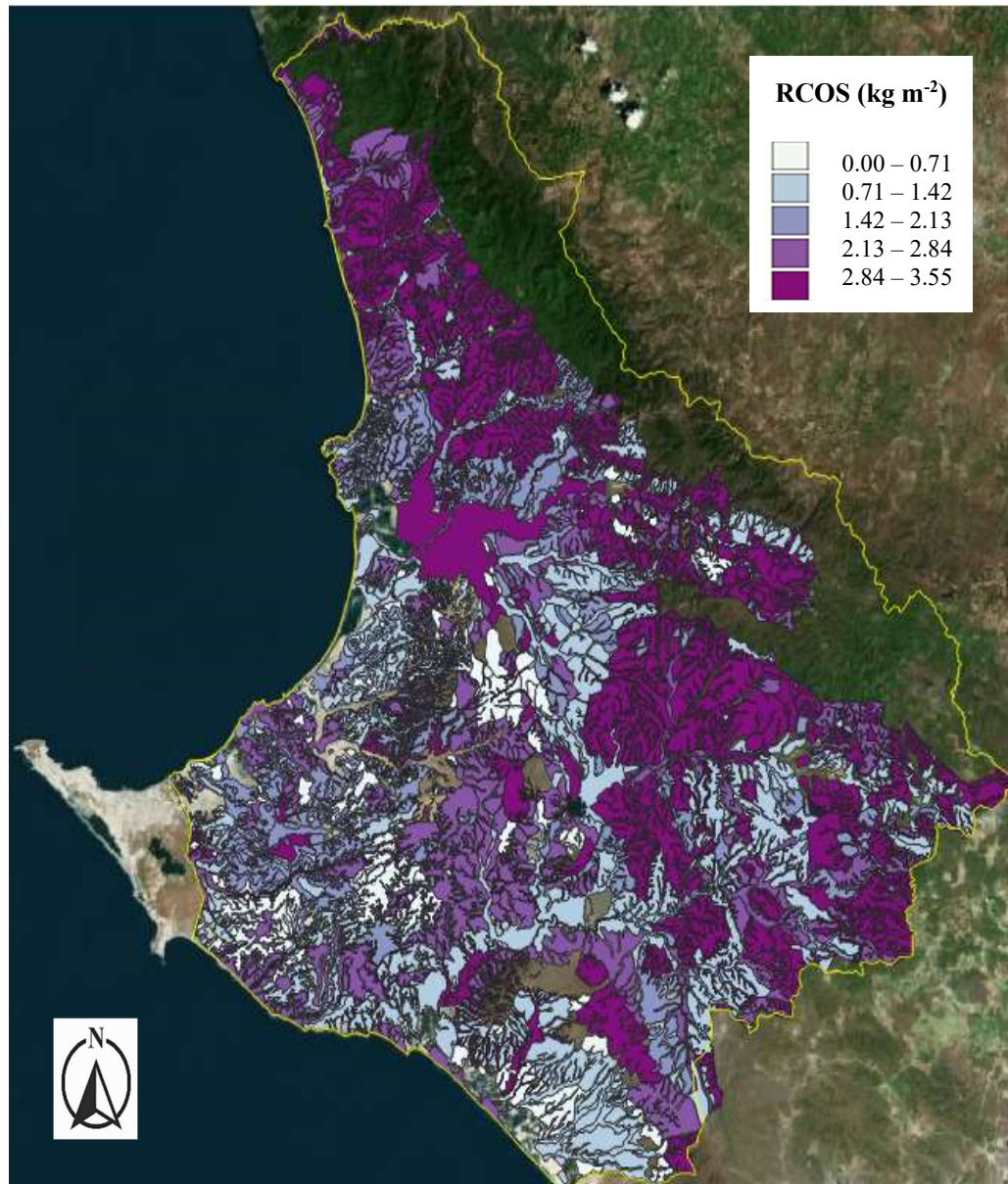


Figura 11. Representación del mapa de reserva de carbono orgánico en los suelos (RCOS) a 30 cm de profundidad de la Península de Santa Elena.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En la Península de Santa Elena la estimación que se obtuvo de la reserva total de carbono orgánico en el suelo (RCOS) a una profundidad de 30 cm es de 57 073 114.82 Mg en toda su área cartografiada geoespacialmente, donde las zonas subhúmedas constan con la mayor parte de la reserva en comparación de las zonas secas.
- La representación del mapa con relación a las reservas de carbono orgánico en el suelo (RCOS) estimadas de las zonas secas y subhúmedas, presenta una distribución espacial uniforme en el eje norte y este de la Península.
- Las condiciones edafoclimáticas influyen en el contenido y acumulación de carbono orgánico en el suelo. Los análisis realizados muestran diferencias significativas entre los criterios de clasificación, donde el Orden de Suelo presenta un valor más elevado de diferencia, esto se debe a la estructura del suelo y degradación fácil en las zonas secas.

Recomendaciones

- Incentivar a los estudiantes a la participación en proyectos de esta índole para la recopilación y generación de información de suelos en la Península.
- Efectuar investigaciones en el levantamiento y análisis de perfiles de suelo en diferentes sitios de la región peninsular con el fin de generar más curvas patrones de otros subgrupos taxonómicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, C. (2007) 'El suelo agrícola, un ser vivo', *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, 3(5), pp. 55–60.

Alvarado Ochoa, S. (2008) 'Dinámica de la materia orgánica en los suelos agrícolas', *XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*, p. 10.

Araque Arellano, M. *et al.* (2019) *Cuencas hidrográficas*. Primera. Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. Available at: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf> (Accessed: 26 July 2021).

Barettino, D., Loredó, J. and Pendás, F. (2005) *Acidificación de suelos y aguas: problemas y soluciones*. Instituto Geológico y Minero de España (Medio Ambiente, 7). Available at: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=y1O6N0Q48iEC&oi=fnd&pg=PA3&q=acidificaci%C3%B3n+en+suelos&ots=xMxhb479YY&sig=SxMaZaDJKi22GFquXNxYV9B8674#v=onepage&q=acidificaci%C3%B3n%20en%20suelos&f=false>.

Campillo, R. and Sadzawka, A. (2006) 'La acidificación de los suelos. Origen y mecanismos involucrados'. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Available at: <https://inia.prodigioconsultores.com/bitstream/handle/123456789/8536/NR33853.pdf?sequence=1> (Accessed: 16 May 2021).

Castells, X. E. (2012) *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Primera. Madrid: Ediciones Díaz de Santos. Available at: https://books.google.com.ec/books?id=qYmL8Q10TYcC&printsec=frontcover&dq=Tratamiento+y+valorizaci%C3%B3n+energ%C3%A9tica+de+residuos&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiQ54nS6_vuAhXEFVvKFHQZvCM0Q6AEwAHoECAMQAg#v=onepage&q=Tratamiento%20y%20valorizaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica%20de%20residuos&f=false.

Clavijo Narváez, K. R. (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 Río Verde, Provincia de Santa Elena*. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5646/1/UPSE-TIA-2020-0020.pdf>.

Cortéz Pozo, E. (2021) *Evaluación de la influencia del uso de la tierra en la presencia y distribución de carbonatos edáficos en la cuenca del río Javita, provincia de Santa Elena*. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5733> (Accessed: 18 June 2021).

Courel, G. (2019) 'Guía de estudio Suelos Salinos y Sódicos'. Universidad Nacional de Tucumán.

ESRI (2016) *Comprender un semivariograma: rango, meseta y nugget, ArcMap*. Available at: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.4/extensions/geostatistical->

analyst/understanding-a-semivariogram-the-range-sill-and-nugget.htm (Accessed: 17 June 2021).

FAO (2017) *Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto*. Primera. Roma: FOOD & AGRICULTURE ORG. Available at: <http://www.fao.org/3/i6937s/i6937s.pdf>.

FAO (2021) *¿Qué son las zonas secas?, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Available at: <http://www.fao.org/dryland-forestry/background/what-are-drylands/es/> (Accessed: 22 February 2021).

Fernández Romero, M. L. (2016) *Efectos en el carbono orgánico del suelo en función del manejo, del uso y de las variables geográficas en climas Mediterráneo y Templado*. Universidad de Córdoba. Available at: <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/13208>.

Galicia, L. *et al.* (2016) ‘Almacén y dinámica del carbono orgánico del suelo en bosques templados de México’, *Terra Latinoamericana*, 34(1), pp. 1–29.

Gallego Picó, A. *et al.* (2012) *Contaminación atmosférica*. Primera. Madrid: Editorial UNED. Available at: https://books.google.com.ec/books?id=7xYvtMyRP7EC&printsec=frontcover&dq=Contaminaci%C3%B3n+Atmosf%C3%A9rica+gallego&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjEpJO_8_vuAhWVF1kFHZ71DTwQ6AEwAHoECAMQA#v=onepage&q=Contaminaci%C3%B3n%20Atmosf%C3%A9rica%20gallego&f=false.

García Galvis, J. G. and Ballesteros González, M. I. B. (2005) ‘Evaluación de parámetros de calidad para la determinación de carbono orgánico en suelos’, *Revista Colombiana de Química*, 34(2), pp. 201–209.

Hernández, M. E. (2010) ‘Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes de metano’, *Terra Latinoamericana*, 28(2), pp. 139–147.

IEE and SINAGAP (2012) ‘Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional, escala 1:25 000. Sistemas Productivos’. Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. Available at: http://www.geoportalmg.gob.ec/geodescargas/santa_elena/mt_santa_elena_sistemas_productivos.pdf.

INAMHI (2006) ‘Climas del Ecuador’. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Available at: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/gisweb/TIPO_DE_CLIMAS/PDF/CLIMAS%20DEL%20ECUADOR%202016.pdf (Accessed: 12 February 2021).

INIA (2015) ‘Semana de la Ciencia y Tecnología’. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Available at: <http://inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/El%20Suelo%2020%20de%20mayo.pdf> (Accessed: 20 February 2021).

INTAGRI (2020) *Importancia de la Materia Orgánica (MO) en la Actividad Biológica en el suelo* | Intagri S.C. Available at:

<https://www.intagri.com/articulos/suelos/importancia-de-la-materia-organica-en-la-actividad-biologica-en-el-suelo> (Accessed: 21 February 2021).

Julca-Otiniano, A. *et al.* (2006) 'La Materia Orgánica, importancia y experiencia de sus uso en la agricultura', *Idesia (Arica)*, 24(1), pp. 49–61. doi: 10.4067/S0718-34292006000100009.

King, A. P. and Eckersley, R. J. (2019) 'Chapter 6: Inferential Statistics III: Nonparametric Hypothesis Testing', in King, A. P. and Eckersley, R. J. (eds) *Statistics for Biomedical Engineers and Scientists*. Academic Press, pp. 119–145. doi: 10.1016/B978-0-08-102939-8.00015-3.

Koupermann Kuperman, J. I. (2014) *Determinación y mapeo de las áreas potencialmente incorporables al desarrollo sustentable a partir de la implementación del plan hidráulico en la provincia de Santa Elena*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Available at: <http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/10918> (Accessed: 20 February 2021).

Lewinson, E. (2019) *Outlier Detection with Hampel Filter, Towards Data Science*. Available at: <https://towardsdatascience.com/outlier-detection-with-hampel-filter-85ddf523c73d> (Accessed: 13 June 2021).

Luis-Mejía, S. *et al.* (2007) 'Acumulación de carbono orgánico en el suelo en reforestaciones de Pinus michoacana', *Agrociencia*, 41(7), pp. 711–721.

MAG (2019) *Cobertura y uso de la tierra, Sistema Nacional de Informacion de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica*. Available at: <http://www.sigtierras.gob.ec/cobertura-y-uso-de-la-tierra/> (Accessed: 21 February 2021).

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.

Mesías-Gallo, F. W. *et al.* (2018) 'Reservas de carbono orgánico en suelos de la llanura fluvial Calceta-Tosagua, Manabí, Ecuador', *Cultivos Tropicales*, 39(4), pp. 27–33.

Monteverde Miranda, C. A. (2014) *Contribución al conocimiento de los regímenes de humedad de los suelos de la isla de Tenerife*. Universidad de la Laguna. Available at: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/54> (Accessed: 14 June 2021).

Orjuela, H. B. (2018) 'El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático', *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), pp. 82–96.

Paz, F. and Etchevers, J. (2016) 'Distribución a profundidad del carbono orgánico en los suelos de México', *Revista Terra Latinoamericana*, 34, p. 17.

Pla Sentís, I. (2014) 'Nuevas experiencias en la evaluación y diagnóstico de procesos de salinización y sodificación de suelos en América Latina', *Suelos Ecuatoriales*, 44(2), pp. 125–137. doi: <https://doi.org/10.47864>.

Ramirez Rodriguez, E. S. (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*. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/5398> (Accessed: 6 February 2021).

Rivera Maridueña, J. (2015) *Propuesta de plan de zonificación para el mejoramiento económico y ambiental de la zona de la cuenca baja del río Javita, sectores Cerezal de Bellavista, San Marcos y sus recintos*. Universidad de Guayaquil. Available at: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8642/1/TESIS%20FINAL%20TRIBUNAL%20Arq.%20RIVERA%2c%20julio%202030.pdf> (Accessed: 21 February 2021).

Romero Fernández, L. M. (2016) *Efectos del carbono orgánico en función del manejo, del uso y de las variables geográficas en climas Mediterráneo y Templado*. Universidad de Córdoba. Available at: <http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/13208> (Accessed: 17 June 2021).

Ron, S. and Varela, A. (2020) *Geografía y clima, Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. Available at: <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/GeografiaClima/> (Accessed: 10 February 2021).

SACSA (2015) 'Los cinco componentes del suelo', *Grupo SACSA*. Available at: <http://www.gruposacs.com.mx/los-cinco-componentes-del-suelo/> (Accessed: 7 February 2021).

Sales Dávila, B. (2006) *Caracterización de la materia orgánica de suelos representativos de ecosistema amazónicos del Perú, Departamento de Ucayali, e influencia de su uso y manejo en el secuestro de carbono*. Universidad de Sevilla. Available at: <https://digital.csic.es/handle/10261/66313> (Accessed: 17 June 2021).

SINAGAP and IEE (2012) 'Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional, escala 1: 25 000. Clima e Hidrología'. Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. Available at: http://www.geoportaligm.gob.ec/geodescargas/santa_elena/mt_santa_elena_sistemas_productivos.pdf (Accessed: 18 February 2021).

Soil Survey Staff (2014) *Claves para la Taxonomía de Suelos*. Décima segunda. Estados Unidos: NRCS. Available at: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf.

UNCCD (2017) *Perspectiva Global de la Tierra*. Primera. Bonn: Cocoon Gloss. Available at: https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-09/GLO_Full_Report_low_res_Spanish.pdf (Accessed: 20 February 2021).

Valenzuela, I. G. and Visconti, E. F. (2018) 'Influencia del clima, uso del suelo y profundidad sobre el contenido de carbono orgánico en dos pisos altitudinales andinos del departamento Norte de Santander, Colombia', *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1), pp. 233–243. doi: 10.17584/rcch.2018v12i1.7349.

ANEXOS

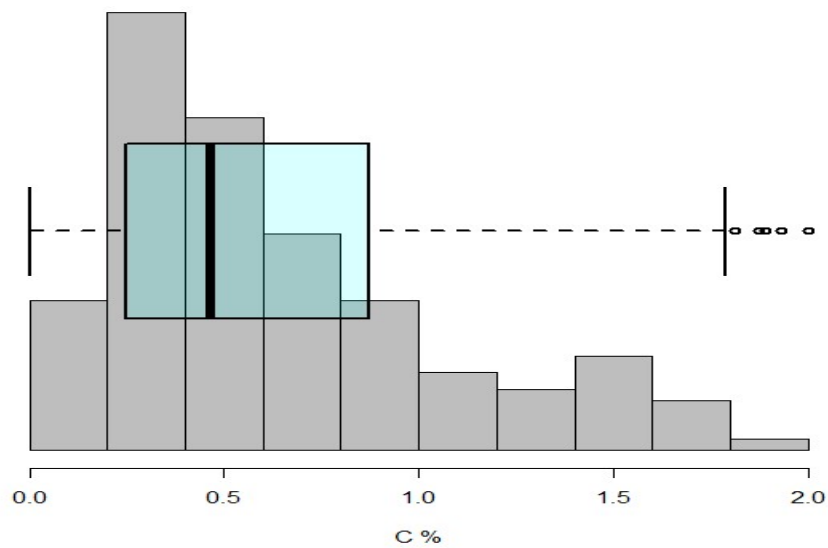


Figura 1A. Histograma y diagrama de cajas para los datos generales del contenido (%) de carbono orgánico en el primer horizonte del suelo.

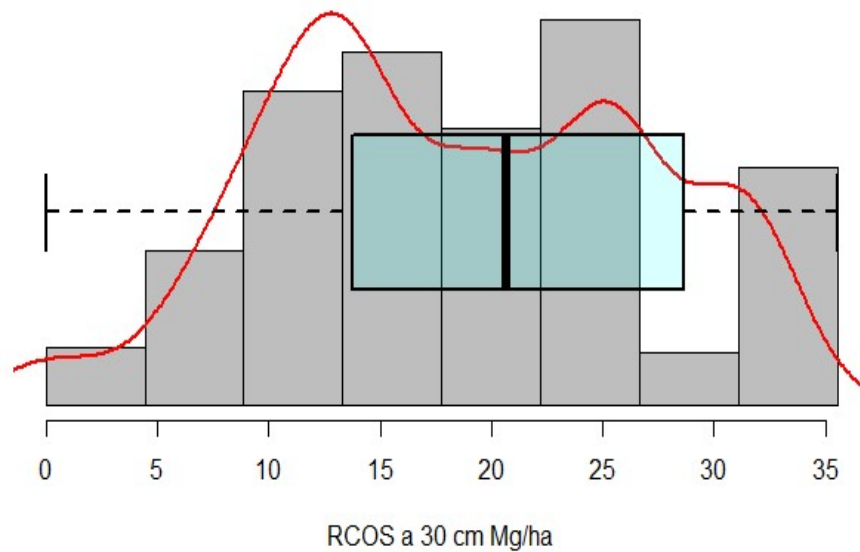


Figura 2A. Histograma, curva de densidad y diagrama de cajas para los datos generales de la reserva de carbono orgánica en el suelo (RCOS) a 30 cm de profundidad.

RCOS Mg/ha 30 cm

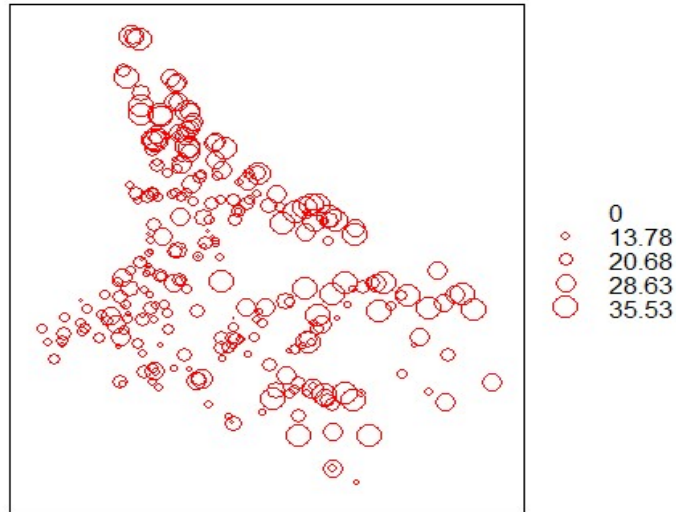


Figura 3A. Representación espacial de la estimación de la reserva de carbono orgánica (RCOS) en el suelo a 30 cm de profundidad en los sitios estudiados.

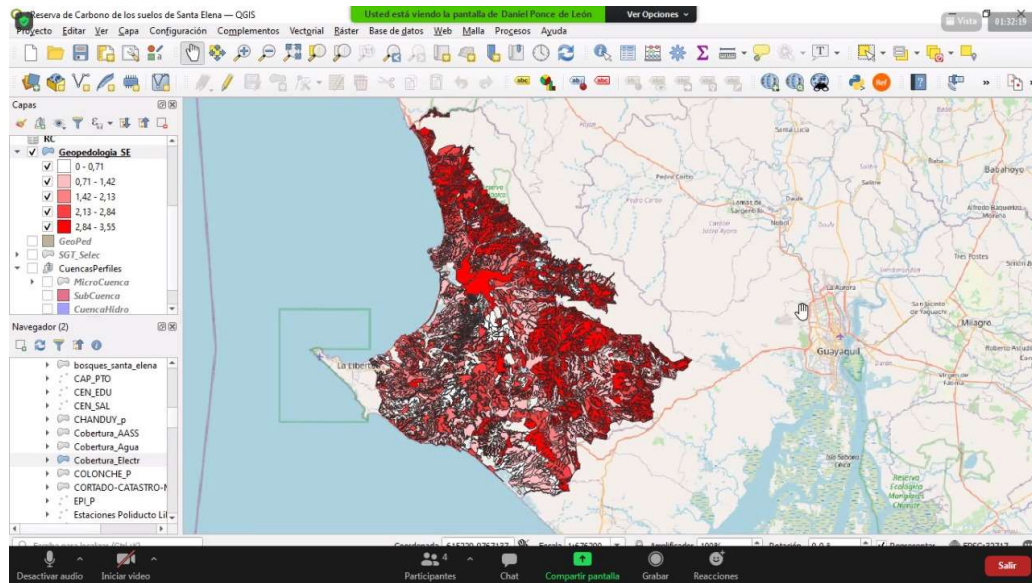


Figura 4A. Ejecución del Software QGIS en la representación espacial de las reservas de carbono orgánico en la Península de Santa Elena.