



# ACTIVIDAD 011 - LEVANTAMIENTO DE LÍNEA BASE SOBRE CAPTURA DE CARBONO

CONVENIO INTERADMINISTRATIVO CVC No. 102 DE  
2021 CELEBRADO ENTRE LA CORPORACIÓN  
AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA -CVC  
Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE COLOMBIA

**Vigencia 2022**



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

**PROYECTO 1001 “CARACTERIZACIÓN DEL SUELO Y  
FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA  
RESTAURACIÓN DE COBERTURAS Y USO SOSTENIBLE”**

**RESULTADO 1 “SUELOS Y BOSQUES CARACTERIZADOS Y  
EVALUADOS”**

**ACTIVIDAD 011 “LEVANTAMIENTO DE LÍNEA BASE SOBRE  
CAPTURA DE CARBONO”**

**INFORME FINAL**

**CONVENIO INTERADMINISTRATIVO CVC No. 102 DE 2021  
CELEBRADO ENTRE LA CORPORACIÓN AUTÓNOMA  
REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA -CVC- Y LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA-  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE PALMIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN  
NOVIEMBRE DE 2022**

---

## **EQUIPO DE TRABAJO UNAL**

**Profesor Germán Rueda Saa**  
Director del Proyecto

**Ing. Ph.D Enrique A. Torres Prieto**  
Profesor Asociado

**Ing. M.Sc Liseth González Delgado**  
Coordinadora General

**Camilo Lemos Martínez**  
Ing. Agrónomo M.Sc.

**Luis Euseppe Ortiz**  
Ing. Agrónomo Esp.

**Richard Lasprilla**  
Ing. Agrícola.

## **EQUIPO DE TRABAJO CVC**

**Ing. Herbert Olaya Cuesta**  
Supervisor

**Claudia Martínez Herrera**  
Profesional DTA

**Ing. Gustavo Adolfo Romero**  
Profesional DTA

**Ing. Miguel Ángel Díaz**  
Profesional DTA

**Ing. Christian De Jesús Sánchez Elizalde**  
Profesional DTA

**Ing. Mary Loly Bastidas**  
Profesional DTA

**Ing. Clever Gustavo Becerra**  
Profesional DTA

---

## CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	8
2.	MARCO REFERENCIAL .....	9
3.	ÁREA DE ESTUDIO .....	13
3.1	CUENCA MORALES .....	14
3.2	CUENCA BUGALAGRANDE .....	17
3.3	CUENCA LA PAILA.....	19
3.4	CUENCA RUT .....	21
4.	METODOLOGÍA.....	23
4.1	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA .....	23
4.2	DISEÑO DE CAMPAÑAS DE MUESTREO .....	24
	<i>Localización de sitios de muestreo .....</i>	<i>29</i>
	<i>Rutas de intervención .....</i>	<i>30</i>
	<i>Reconocimiento de la zona de estudio .....</i>	<i>30</i>
4.3	CAMPAÑAS DE MUESTREO .....	31
	<i>Levantamiento de información en campo.....</i>	<i>34</i>
4.4	ANÁLISIS DE LABORATORIO .....	35
4.5	LÍNEA BASE DE COS EN EL SUELO .....	43
5.	DISEÑO CAMPAÑAS DE MUESTREO .....	44
5.1	LOCALIZACIÓN SITIOS DE MUESTREO .....	44
5.2	DISEÑO DE RUTAS DE MUESTREO DE SUELOS.....	47
5.3	ALCANCE DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO .....	50
6.	CAMPAÑAS DE MUESTREO DE SUELOS .....	51
6.1	CUENCA MORALES .....	53
6.2	CUENCA BUGALAGRANDE.....	60
6.3	CUENCA LA PAILA.....	67
6.4	CUENCA RUT .....	73
7.	LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS.....	78
7.1	LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA MORALES.....	78
7.1.1	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS .....	79

---

7.1.2	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS .....	85
7.1.3	ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS .....	87
7.1.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	94
7.2	LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA BUGALAGRANDE .....	97
7.2.1	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS .....	97
7.2.2	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS .....	108
7.2.3	ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS .....	110
7.2.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	118
7.3	LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA LA PAILA.....	120
7.3.1	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS .....	120
7.3.2	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS .....	128
7.3.3	ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS .....	130
7.3.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	137
7.4	LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA RUT.....	139
7.4.1	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS .....	139
7.4.2	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS .....	146
7.4.3	ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS .....	149
7.4.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	157
7.5	ANÁLISIS GENERAL .....	160
8.	ACTIVIDADES TEÓRICO- PRÁCTICAS .....	163
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	172
	BIBLIOGRAFÍA.....	173

---

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de las zonas de estudios por cuenca y municipio. ....	13
Tabla 2. Distribución de uso del suelo en la cuenca Morales. ....	15
Tabla 3. Distribución de uso del suelo en la cuenca Bugalagrande. ....	18
Tabla 4. Distribución de uso del suelo en la cuenca La Paila. ....	20
Tabla 5. Distribución de uso del suelo en la zona de interés de la cuenca RUT. ....	22
Tabla 6. Distribución cantidad de muestras por cuenca. ....	27
Tabla 7. Distribución de numero de muestras estratificado proporcional por orden y cobertura. ....	28
Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos determinados en laboratorio acreditados. ....	35
Tabla 9. Densidad aparente, cobertura y crecimiento radicular, en base a las texturas identificadas en la cuenca RUT. ....	38
Tabla 10. Interpretación del índice de estabilidad. ....	39
Tabla 11. Rangos de categorización de variables fisicoquímicas del suelo. ....	40
Tabla 12. Categorización de almacenamiento de COS. ....	43
Tabla 13. Distribución de campañas y sitios de muestreo por cuenca. ....	51
Tabla 14. Identificación y coordenadas de los puntos muestreados en la cuenca Morales. ....	54
Tabla 15. Cambios de cobertura identificados en la cuenca Morales. ....	59
Tabla 16. Identificación y coordenadas de los puntos muestreados en la cuenca Bugalagrande. ....	61
Tabla 17. Cambios de cobertura identificados en la cuenca Bugalagrande. ....	65
Tabla 18. Identificación y coordenadas de los puntos muestreados en la cuenca La Paila. ....	68
Tabla 19. Cambios de cobertura identificados en la cuenca La Paila. ....	71
Tabla 20. Identificación y coordenadas de los puntos muestreados en la cuenca RUT. ..	73
Tabla 21. Cambios de cobertura identificados en la cuenca RUT. ....	76
Tabla 22. Contenido de Agua aprovechable y lámina de agua aprovechable según textura y densidad aparente en la en la cuenca Morales. ....	82
Tabla 23. Densidad aparente, cobertura y crecimiento radicular, en base a las texturas identificadas en la cuenca Morales. ....	84
Tabla 24. Propiedades químicas del suelo en la cuenca Morales. ....	85
Tabla 25. Contenidos de COS calculado y nivel de concentración por sitio muestreado. .	90
Tabla 26. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS cuenca Morales. ....	95
Tabla 27. Contenido de Agua aprovechable y lámina de agua aprovechable según textura y densidad aparente en la en la cuenca Bugalagrande. ....	100
Tabla 28. Densidad aparente, cobertura y crecimiento radicular, en base a las texturas identificadas en la cuenca Bugalagrande. ....	104
Tabla 29. Propiedades químicas del suelo en la cuenca Bugalagrande. ....	108
Tabla 30. Contenidos de COS calculado y nivel de concentración por sitio muestreado. .	113
Tabla 31. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS cuenca Bugalagrande. .	118
Tabla 32. Contenido de Agua aprovechable y lámina de agua aprovechable según textura y densidad aparente en la en la cuenca La Paila. ....	123

---

Tabla 33. Densidad aparente, cobertura y crecimiento radicular, en base a las texturas identificadas en la cuenca La Paila. ....	126
Tabla 34. Propiedades químicas del suelo en la cuenca La Paila. ....	128
Tabla 35. Contenidos de COS calculado y nivel de concentración por sitio muestreado de la cuenca La Paila. ....	133
Tabla 36. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS cuenca La Paila. ....	138
Tabla 37. Contenido de Agua aprovechable y lámina de agua aprovechable según textura y densidad aparente en la en la cuenca RUT. ....	143
Tabla 38. Densidad aparente, cobertura y crecimiento radicular, en base a las texturas identificadas en la cuenca RUT. ....	145
Tabla 39. Propiedades químicas del suelo en la cuenca RUT. ....	147
Tabla 40. Contenidos de COS calculado y nivel de concentración por sitio muestreado. ....	152
Tabla 41. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS cuenca RUT. ....	157
Tabla 42. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS. ....	161
Tabla 43. Cronograma de socializaciones Actividad 011 “levantamiento de línea base sobre captura de carbono”. ....	163
Tabla 44. Esquema Horario de socialización Actividad 011 “levantamiento de línea base sobre captura de carbono”. ....	164

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cuencas hidrográficas de interés.....	14
Figura 2. Distribución de órdenes en la cuenca Morales.....	15
Figura 3. Distribución de órdenes en la cuenca Bugalagrande.....	17
Figura 4. Distribución de órdenes en la cuenca La Paila.....	19
Figura 5. Distribución de órdenes en la zona de interés de la cuenca RUT.....	21
Figura 6. Etapas ejecutadas para el desarrollo de la Actividad 011.....	23
Figura 7. Diagrama del diseño y ejecución de campañas de muestreo.....	24
Figura 8. Diagrama de distribución espacial de sitios de muestreo.....	29
Figura 9. Representación de ruta propuesta entre dos sitios de muestreo.....	30
Figura 10. Vista previa formulario de Qfield y atributos asociados a la capa de muestreo. .....	34
Figura 11. Distribución de puntos de referencia en la cuenca Morales.....	44
Figura 12. Distribución de puntos de referencia en la cuenca Bugalagrande.....	45
Figura 13. Distribución de puntos de referencia en la cuenca La Paila.....	46
Figura 14. Distribución de puntos de referencia en la zona de interés en la cuenca RUT.....	47
Figura 15. Rutas de muestreo realizadas en la cuenca Morales.....	48
Figura 16. Rutas de muestreo realizadas en la cuenca Bugalagrande.....	48
Figura 17. Rutas de muestreo realizadas en la cuenca La Paila.....	49
Figura 18. Rutas de muestreo realizadas en la en la zona de interés en la cuenca RUT.....	49
Figura 19. Personas socializadas por cuenca.....	50
Figura 20. Distribución de las zonas de reconocimiento y verificación por cuenca.....	53
Figura 21. Distribución de puntos muestreados en la cuenca Morales.....	54
Figura 22. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca Morales.....	59
Figura 23. Distribución de puntos muestreados en la cuenca Bugalagrande.....	60
Figura 24. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca Bugalagrande.....	67
Figura 25. Distribución de puntos muestreados en la cuenca La Paila.....	68
Figura 26. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca La Paila.....	72
Figura 27. Distribución de puntos muestreados en la cuenca RUT.....	73
Figura 28. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca RUT.....	77
Figura 29. Texturas en la cuenca Morales.....	79
Figura 30. Distribución de agregados en la cuenca Morales.....	80
Figura 31. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca Morales.....	81
Figura 32. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca Morales.....	86
Figura 33. Distribución de los valores de pH de la cuenca Morales.....	87
Figura 34. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general Cuenca Morales.....	88
Figura 35. Distribución de los contenidos de COS en la cuenca Morales (t/ha).....	89
Figura 36. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura, cuenca Morales.....	92
Figura 37. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico cuenca Morales.....	93
Figura 38. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS, cuenca Morales.....	96



---

Figura 39. Texturas en la cuenca Bugalagrande.....	97
Figura 40. Distribución de agregados en la cuenca Bugalagrande.....	98
Figura 41. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca Bugalagrande.....	99
Figura 42. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca Bugalagrande. ...	109
Figura 43. Distribución de los valores de pH de la cuenca Bugalagrande. ....	110
Figura 44. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general cuenca Bugalagrande. .....	111
Figura 45. Distribución de los contenidos de COS en la cuenca Bugalagrande (t/ha)...	112
Figura 46. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura, cuenca Bugalagrande. ....	116
Figura 47. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico, cuenca Bugalagrande. ....	117
Figura 48. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS en la cuenca Bugalagrande. .....	119
Figura 49. Texturas en la cuenca La Paila. ....	120
Figura 50. Distribución de agregados en la cuenca La Paila.....	121
Figura 51. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca La Paila.....	122
Figura 52. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca La Paila. ....	129
Figura 53. Distribución de los valores de pH de la cuenca La Paila. ....	130
Figura 54. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general Cuenca La Paila. ....	131
Figura 55. Distribución de los contenidos de COS en la fracción fina en la cuenca La Paila (t/ha). ....	132
Figura 56. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura, cuenca La Paila. ....	135
Figura 57. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico, cuenca La Paila. ....	136
Figura 58. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS en la cuenca La Paila.....	139
Figura 59. Texturas en la cuenca RUT.....	140
Figura 60. Distribución de agregados en la cuenca RUT. ....	141
Figura 61. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca RUT. ....	142
Figura 62. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca RUT.....	148
Figura 63. Distribución de los valores de pH de la cuenca RUT.....	149
Figura 64. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general de la cuenca RUT...	150
Figura 65. Distribución de los contenidos de COS en la cuenca RUT (t/ha).....	151
Figura 66. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura cuenca RUT. .....	154
Figura 67. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico. ....	155
Figura 68. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS en la cuenca RUT. ....	159
Figura 69. Comparación de almacenamiento de COS entre cuencas. ....	160
Figura 70. Distribución de categorías de COS por cuenca.....	161
Figura 71. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS. ....	162
Figura 72. Imágenes. A) Calicata, B) Barreno Adelma.....	165

---

## LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Diseño cilindro de muestreo.....	25
Fotografía 2. Jornadas de socialización <i>in situ</i> y solicitud de autorización para la toma de muestras.....	31
Fotografía 3. Implementos para la toma de muestras de suelo.....	32
Fotografía 4. Proceso de toma de muestra de cilindro, cajuela para evaluación de perfil del suelo y extracción de tajada para análisis de muestra disturbada.....	32
Fotografía 5. Embalaje y rotulado de muestras para envío a laboratorio.....	33
Fotografía 6. Acompañamiento de las DAR, DTA y policía en las campañas de muestreo. .....	52
Fotografía 7. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados.....	55
Fotografía 8. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de plátano. ....	56
Fotografía 9. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de maracuyá. ....	56
Fotografía 10. Reconocimiento punto de muestreo en Café - Plátano. ....	57
Fotografía 11. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de cítricos.....	57
Fotografía 12. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de caña de azúcar.....	58
Fotografía 13. Reconocimiento punto de muestreo en bosque natural y guadua intervenido. .....	58
Fotografía 14. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados.....	63
Fotografía 15. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos presentes.....	64
Fotografía 16. Reconocimiento punto de muestreo en café y plátano.....	65
Fotografía 17. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados, cuenca La Paila. .....	69
Fotografía 18. Reconocimiento punto de muestreo en café-banano y aguacate.....	70
Fotografía 19. Reconocimiento punto de muestreo en cítricos y caña de azúcar.....	70
Fotografía 20. Reconocimiento punto de muestreo en bosques y arbustos y matorrales.	71
Fotografía 21. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados.....	75
Fotografía 22. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos presentes, cuenca RUT. .	75
Fotografía 23. Reconocimiento punto de muestreo en bosques y guaduales intervenidos. .....	76
Fotografía 24. Socialización de actividades para la cuenca Morales.....	166
Fotografía 25. Socialización de actividades para la cuenca Bugalagrande. ....	168
Fotografía 26. Socialización de actividades para la cuenca La Paila. ....	170
Fotografía 27. Socialización de actividades para la cuenca RUT.....	171

---

## 1. INTRODUCCIÓN

En este documento se presenta el informe del Proyecto 1001 - Resultado 1 - Actividad 011 “*Levantamiento de línea base sobre captura de carbono*” contemplado en el marco del Convenio interadministrativo 102 de 2021, celebrado entre la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Para el desarrollo del estudio, en la vigencia 2022, la CVC priorizó 4 cuencas hidrográficas y municipios en el departamento del Valle del Cauca: Cuenca Morales (municipios: Andalucía y Tuluá), Cuenca Bugalagrande (municipios: Andalucía, Bugalagrande, Sevilla y Tuluá), Cuenca La Paila (municipios: Bugalagrande, Sevilla y Zarzal) y la Cuenca RUT (municipios: La Unión, Roldanillo y Toro).

El área de estudio donde se realizaron los muestreos corresponde a los suelos localizados en la delimitación cartográfica existente entre el límite geográfico del área de la cuenca de interés, con la división político-administrativa de cada municipio asignado. Este procedimiento se realizó para las 4 cuencas incluidas en esta vigencia. En el marco del convenio se estableció la actividad con el nombre de “*Levantamiento línea base sobre captura de carbono*”, sin embargo, el concepto de captura es utilizado cuando se comparan los contenidos de Carbono Orgánico en Suelos (COS), en al menos, dos momentos diferentes de tiempo y la actividad se orienta a establecer la línea base del carbono almacenado en el suelo actualmente. De modo que, en este informe se utilizará el término “*Línea base sobre almacenamiento de carbono*”.

Las etapas para el desarrollo del estudio son:

- Delimitación del área de estudio (cuenca/municipios), que incluyó la revisión de información existente en la CVC y otras fuentes. Esto permitió ajustar el enfoque metodológico para el desarrollo del estudio a nivel de cuenca/municipio.
- Análisis cartográfico y estadístico que permitió establecer el número de muestras representativo por cuenca. Esta etapa se desarrolló utilizando la metodología de muestreo estratificado proporcional, basado en los órdenes del suelo y su cobertura.
- Diseño de campañas de muestreo, incluyó priorización de áreas de muestreo representativas de orden de suelos y coberturas vegetales, trazado de rutas de muestreo (intervención).
- Campañas de muestreo, que incluyó el reconocimiento de la zona de estudio, socialización del proyecto con la comunidad local y toma de muestras.
- Metodología para la estimación de la línea base de almacenamiento de carbono (t/ha).

El proyecto tiene como objetivo establecer los niveles de carbono (stocks de carbono, t/ha) en suelos agrícolas priorizados en 4 cuencas hidrográficas del Valle del Cauca para la vigencia 2022. Esta información de línea base permitirá: i) conocer los niveles actuales de almacenamiento de carbono en diferentes suelos del Valle del Cauca; ii) generar la línea base de captura de carbono que permita a la autoridad ambiental (CVC) hacer seguimiento a las prácticas agrícolas y su influencia en la captura y disminución de las emisiones de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes. iii) proponer estrategias que permitan mejorar la captura de carbono en suelos agrícolas del Valle del Cauca.

---

## 2. MARCO REFERENCIAL

El carbono (C) es un elemento vital en la faz del planeta Tierra, que circula a través de la atmósfera, océanos y el suelo. El ciclo del carbono es necesario para la renovación, recomposición, alimentación y sobrevivencia de todos los seres y materias no vivas en la Tierra. En su forma de dióxido de carbono es el gas que contribuye a retener el calor en la atmósfera y evita que el planeta Tierra se congele. Sin embargo, debido al aumento acelerado de las emisiones en los últimos años, en más de 30%, junto con otros gases conocidos como Gases de Efecto Invernadero "GEI" (óxidos de nitrógeno-NO<sub>x</sub>, metano-CH<sub>4</sub>, clorofluorocarbonados-CFC's, principalmente), han aportado al Cambio Climático, uno de los principales problemas ambientales globales que enfrentamos a nivel mundial. Este problema se agudiza ante la dificultad para la reducción de la emisión de estos gases (Benjamín et al., 2001).

Los contenidos de carbono orgánico en el suelo están influenciados por muchas propiedades (químicas, físicas y biológicas), y están estrechamente relacionados con las características edafoclimáticas del sitio, además pueden afectar directa e indirectamente la estabilidad del sistema de producción, dado su rol como reservorio de nutrientes y en la estabilización de la estructura edáfica. Actualmente, el carbono orgánico es considerado una de las variables más importantes para definir la "calidad del suelo" (Diovisal et al, 2008). El cambio en el uso del suelo a nivel mundial, principalmente en zonas tropicales, genera una deforestación de alrededor de 17 millones de hectáreas por año, que liberan cerca de 1.8 GtC, lo cual representa el 20% de las emisiones antropogénicas totales (Benjamín et al., 2001).

Es por esto, que el COS es un componente importante del ciclo global del C, ocupando 69,8% del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001). El suelo puede actuar como fuente o reservorio de C, dependiendo de su uso y manejo, se estima que, desde la incorporación de nuevos suelos a la agricultura hasta establecer sistemas intensivos de cultivo, se producen pérdidas de COS que fluctúan entre 30 y 50% del nivel inicial.

El suelo proporciona una gran variedad de servicios ecosistémicos esenciales incluyendo el aprovisionamiento de comida, regulación hídrica y climática, hábitat para organismos (biodiversidad), servicios culturales y retención de carbono entre otros (Lefevre et al., 2017). Por lo que es muy importante mantener sus coberturas y conservar la salud del mismo, teniendo en cuenta que la vegetación tiene la capacidad de asimilar el carbono e incorporarlo a su estructura, es decir, lo fija y lo mantiene almacenado por largos periodos.

En este sentido, el desarrollar intervenciones humanas sin control, relacionadas con el cambio de uso del suelo, reduce la capacidad de almacenamiento de COS, por lo tanto, aumenta significativamente la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera. La agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés) son una fuente neta significativa de emisiones de GEI, que contribuye a aproximadamente el 23% de las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). AFOLU produce tanto emisiones como absorciones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O hacia y

---

desde la atmósfera, afectadas por la falta de sincronización entre la demanda de elementos de los cultivos y el suministro disponible en el suelo, por ejemplo, aproximadamente el 50% del nitrógeno aplicado a las tierras agrícolas no es absorbido por el cultivo. La reducción en la disponibilidad de nutrientes (p. Ej., Nitrógeno, fósforo) puede limitar el crecimiento futuro de las plantas y la liberación de carbono con aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, las investigaciones sugieren que la adaptación del ecosistema a través de simbiosis planta-microbio podría aliviar alguna limitación de estos nutrientes (Gia et al, 2019).

Por todo lo anterior, el Protocolo de Kyoto definió la necesidad de una mayor comprensión de la dinámica del CO en los suelos y las medidas para potencializar la estabilización y captura en el suelo para contribuir al control del cambio climático y su relación con las emisiones de GEI, con el seguimiento y control a las reservas de COS en suelos y la definición de políticas de mejoramiento de la calidad del medio edáfico que permitan compensar significativamente las emisiones de CO<sub>2</sub>, con medidas de control que regulen los cambios en los usos del suelo y la alteración de las coberturas naturales. La intervención antrópica (cambio del uso del suelo y cambio de la cobertura terrestre) se convierte en la segunda fuente de emisión de carbono atmosférico (IPCC, 2014).

Con relación al conocimiento de las reservas de COS en suelos a nivel mundial, se vienen adelantando investigaciones acerca de la influencia de la vegetación en el mejoramiento de la calidad del suelo. En la India, en la región de la costa occidental, se realizó un experimento a largo plazo (13 años) para evaluar el impacto de las medidas de conservación del suelo y el agua en el secuestro de carbono del suelo y la calidad del suelo, a tres profundidades diferentes bajo el cultivo de anacardos, con una pendiente del 19%. Se evaluaron cinco medidas de conservación del suelo y el agua: trincheras de contorno continuo, trincheras de contorno escalonadas, terrazas en forma de medialuna, trincheras semielípticas y trincheras escalonadas, todas con barreras vegetativas de *Stylosanthes scabra* y *Vetiveria zizanioides*. El control se evaluó por su influencia en las propiedades del suelo, el secuestro de carbono y la calidad del suelo. Las medidas de conservación del suelo y el agua mejoraron significativamente el COS, la reserva de carbono, la tasa de secuestro y la actividad microbiana en comparación con el tratamiento control. Los resultados del estudio evidenciaron que las medidas aplicadas fueron una estrategia potencial para mejorar el secuestro de carbono del suelo y la Calidad del suelo junto con la mejora de la productividad de los cultivos y la reducción de las pérdidas por erosión (Mahajan et al, 2021).

Por otro lado, en Japón se realizaron experimentos de campo durante 5 años, en nueve sitios con pastizales, para investigar los efectos de la aplicación de estiércol de corral (FYM por sus siglas en inglés) y las condiciones ambientales sobre los cambios en las existencias de COS; anualmente se recolectaron muestras de suelo hasta 30 cm de profundidad para determinar las existencias de carbono. Los resultados indican que la aplicación de FYM conduce a un aumento de 1,9 a 10,4 Mg C ha/año (4,8 en promedio) de COS en el suelo. Los efectos aleatorios de los cambios anuales en las existencias de COS no se correlacionaron con el tipo de suelo (ándico vs no ándico), sino que se correlacionaron positivamente con la duración, lo que implica que el mantenimiento de los pastizales sin renovación contribuyó más al secuestro de COS que el tipo de suelo. Los resultados indican

---

que los pastizales en Japón con el nivel recomendado de aplicación de FYM, pueden contribuir a la mitigación del cambio climático a través del secuestro de COS (Matsuura et al, 2021).

La densidad de COS y el potencial de secuestro de COS, desempeñan un papel importante en el ciclo del carbono y la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero (Sun et al, (2021). El almacenamiento de COS a profundidades entre 20 y 40 cm se estimó en  $13,12 \times 10^{11}$  kg y  $22,28 \times 10^{11}$  kg. El secuestro COS se estimó en  $0,95 \times 10^{11}$  kg, considerado como sumidero de carbono en la capa de suelo de 20 a 40 cm. Esta investigación tiene importantes valores para el uso científico de los recursos del suelo y la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Estudios en caña de azúcar en cambios de carbono y nitrógeno en el suelo, han concluido que el cambio en el almacenamiento de C y N del suelo puede afectar significativamente para mitigar el cambio climático a nivel mundial y perturbar el flujo de servicios ecosistémicos a escala local. La limpieza de los ecosistemas nativos para conversión de tierra en cultivo de la caña de azúcar ha resultado en una pérdida sustancial C del suelo. Sin embargo, los resultados muestran una gran implicación en el potencial de secuestro de C del suelo de la caña de azúcar a largo plazo. Este potencial puede depender de las opciones de uso de la tierra disponibles que se convertirán para el cultivo de la caña de azúcar y las prácticas de manejo durante el periodo de posconversión (Beza et al., 2016).

En Colombia, CENICAÑA (2015), estudió la fijación de carbono por el cultivo de caña de azúcar, cultivo que tiene la mayor tasa de captura comparado con otros como soya, algodón u hortalizas. Si se comparan otras especies como las arbóreas (tradicionalmente asociadas a la captura de CO<sub>2</sub>) con la tasa de fijación de carbono de la caña de azúcar, esta última presenta una mayor tasa (18,9 t/ha), en comparación con especies como la *Gmelina arbórea* (12 t/ha) o la especie siempre verde de Chile (17,10 t/ha). Una hectárea cultivada con caña de azúcar podría capturar el CO<sub>2</sub> emitido anualmente por 12 personas en Colombia.

Actualmente los cambios en la vegetación natural y los cultivos generan información diferente en el almacenamiento de C del suelo, aunque se sabe poco sobre los signos y magnitudes de estos, a nivel del Valle del Cauca es necesario dar un manejo sostenible a cada uno de estos adaptados a las condiciones locales del suelo (cobertura y uso), y mitigar el cambio climático a escala regional a través de inventarios de C del suelo.

Los suelos constituyen la mayor reserva de carbono terrestre y desempeñan un papel crucial en el balance global del carbono mediante la regulación de los procesos biogeoquímicos dinámicos y el intercambio de gases de efecto invernadero (GEI) con la atmósfera (FAO, 2017a).

Se estima que la reserva de carbono orgánico en el suelo (COS) es de 1500 PgC aproximadamente al primero metro de profundidad que es más carbono que el contenido en la atmósfera (aproximadamente 800 PgC) y la vegetación terrestre (500 PgC) combinados (Lefevre et al., 2017).

---

La intervención antrópica en el cambio del uso del suelo y cambio de la cobertura terrestre se convierte en la segunda fuente de emisión de carbono atmosférico (IPCC, 2014). En principio, por la alteración del equilibrio entre la cantidad de C que ingresa al suelo y la cantidad de C que sale del suelo como gases de respiración basados en carbono que resultan de la mineralización microbiana y en menor medida la lixiviación del suelo (Lefevre et al., 2017).

La aplicación de técnicas de sistema de información geográfica para la estimación de contenido de COS no es nuevo y sus fundamentos teóricos preceden desde los años 40 (IGAC, 2018) con la evolución y conceptualización de factores formadores de suelo, bajo el modelo SCORPAN (s=suelo, c=clima, o=organismos, r=relieve, p=material parental, a=edad, n=posición en el espacio) (MacBratney et al 2003).

A nivel mundial el uso de esta técnica para la predicción de variables del suelo es reconocida como mapeo digital de suelos (MDS), siendo una subdisciplina de la ciencia del suelo que toma y moderniza el enfoque tradicional del mapeo de suelos, haciendo uso de técnicas cuantitativas sofisticadas (Minasny y McBratney, 2016).

Iniciativas a nivel global como *GSOCMap* se han desarrollado para generar mapas de contenido COS liderado por la FAO e ITPS (2020), como estrategia al contra el cambio climático, la degradación de la tierra y la pérdida de biodiversidad o predicciones de *SoilGrids* que incluye el contenido de SOC a 6 profundidades con resolución espacial entre 1 Km y 250 m, desarrollado por Hengl et al., (2014).

A nivel nacional, la FAO a través de la Alianza Global por el Suelo y la Alianza Suramericana por el Suelo y colaboración de entidades como el IGAC, se generó el mapa de contenido de COS a 30 cm de profundidad para Colombia a escala 1:100.000 para todo el territorio nacional con un  $R=0.66$  y  $RMSE=58.41$  basado en 4.329 perfiles de suelos y covariables ambientales relacionadas principalmente con la temperatura, el brillo solar y la elevación del terreno (Bolívar et al., 2021).

Iniciativas regionales se han presentado sobre la región de los llanos orientales, en el noreste de los departamentos de Arauca, Casanare, Meta y Vichada, donde predicciones empleando técnicas de random forest lograron obtener  $R=0,503$  y  $RMSE=325,42\%$  con puntos de muestreo de validación de campo.

### 3. ÁREA DE ESTUDIO

De acuerdo con los requerimientos definidos en el Convenio, las zonas de estudio corresponden a la delimitación cartográfica existente entre el límite geográfico del área de la cuenca de interés con la división político-administrativa de cada municipio asignado. Para la vigencia 2022, se tendrá en cuenta el área aferente de las 4 cuencas de interés (Morales, Bugalagrande, La Paila y RUT), con la intersección de área de 8 municipios, esto equivale a un área total de 198.608 ha, distribuidas como se presenta en la Tabla 1.

**Tabla 1. Distribución de las zonas de estudios por cuenca y municipio.**

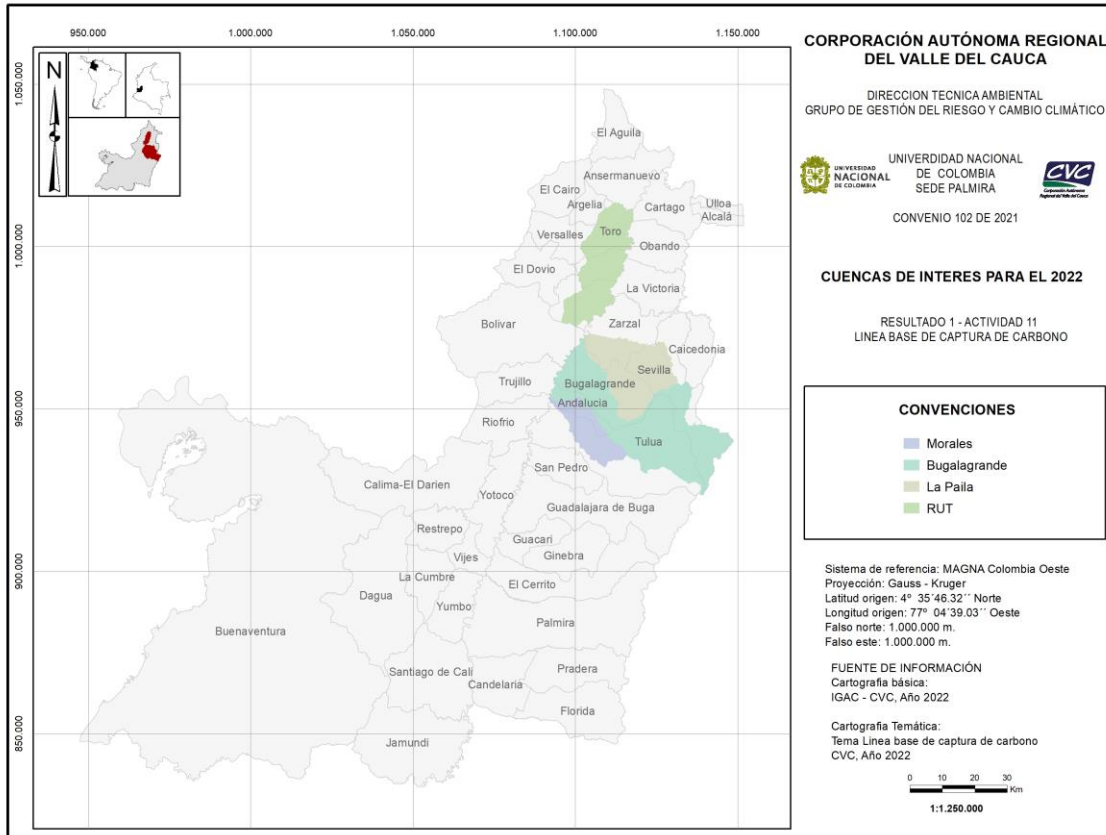
CUENCA	MUNICIPIO	ÁREA (ha)	% CUENCA
Morales	Andalucía	5.836	28,6%
	Tuluá	14.559	71,4%
	<b>Subtotal Morales</b>	<b>20.395</b>	<b>10,3%</b>
Bugalagrande	Andalucía	5.161	5,6%
	Bugalagrande	25.223	27,6%
	Caicedonia	20	0,0%
	Sevilla	22.443	24,6%
	Tuluá	38.509	42,2%
	<b>Subtotal Bugalagrande</b>	<b>91.357</b>	<b>46,0%</b>
La Paila	Bugalagrande	16.787	38,2%
	Sevilla	15.211	34,6%
	Zarzal	11.979	27,2%
	<b>Subtotal La Paila</b>	<b>43.977</b>	<b>22,1%</b>
RUT	La Unión	11.086	25,9%
	Roldanillo	14.798	34,5%
	Toro	16.995	39,6%
	<b>Subtotal RUT</b>	<b>42.879</b>	<b>21,6%</b>
<b>ÁREA TOTAL*</b>		<b>198.608</b>	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

Al interior de los cruces se identificó el 2,2% del área total (4.286 ha) en superficies urbanizadas y superficies con cuerpos de agua que fueron excluidas para este estudio, por representar superficies no aptas para muestreo de suelos y determinación de COS.

De acuerdo con la Figura 1, las cuencas Morales, Bugalagrande y La Paila son contiguas y se localizan en el centro del del departamento del Valle del Cauca, limitando con el departamento del Tolima, mientras que la cuenca RUT se localiza hacia el norte del departamento.





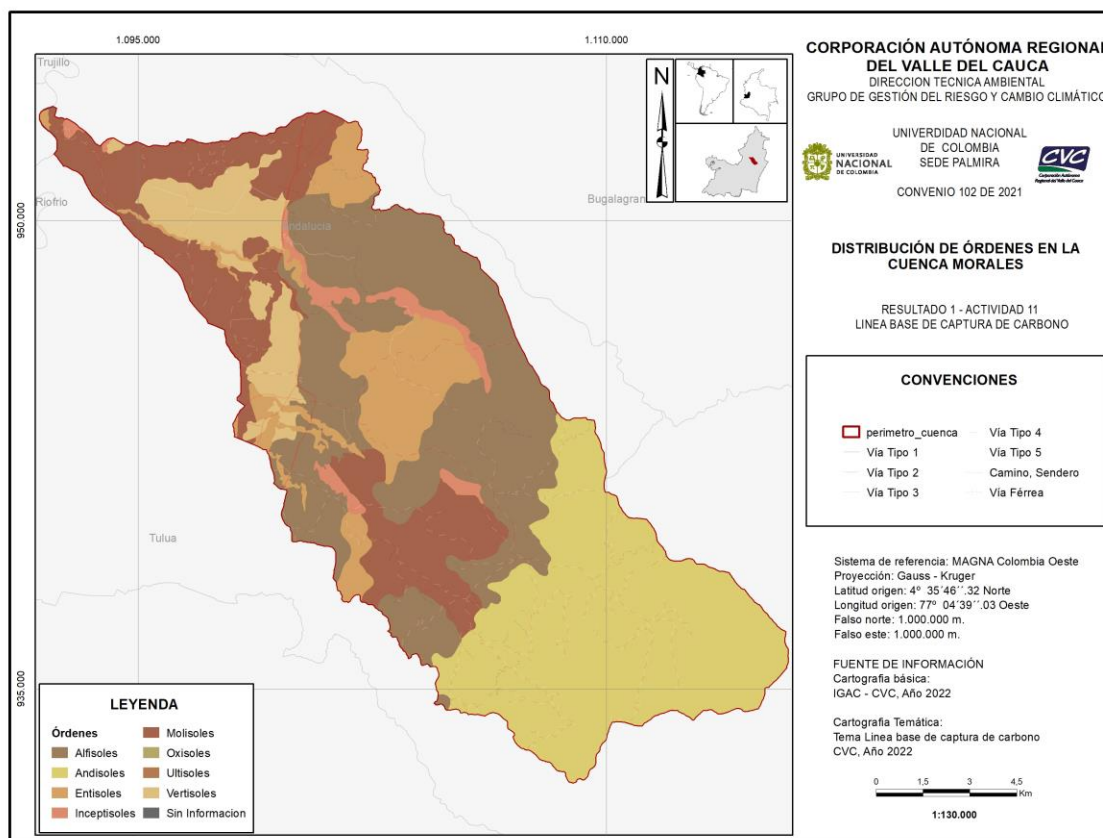
**Figura 1. Cuencas hidrográficas de interés.**  
 Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

A continuación, se incluye la descripción del área de estudio para cada una de las cuencas/municipios incluidas en la vigencia 2022.

### 3.1 CUENCA MORALES

El Río Morales nace en el corregimiento de Venus, a una altura aproximada de 2.800 msnm. La cuenca hidrográfica Morales posee una superficie de 20.395 ha; limita al norte con la cuenca del Río Bugalagrande, al oriente y al sur con la cuenca del Río Tuluá y al occidente con el Río Cauca.

Del área de la cuenca el 50,7% corresponden a terreno escarpado (50-75%), el 23,6% a terreno plano (< 3%), el 10% a terreno fuertemente quebrado (25-50%) y el 15,6% restante se distribuye en diferentes condiciones de inclinación del terreno. Con respecto al piso térmico, el 71,5% de la cuenca es de clima medio, el 24% cálido y el 4,6% clima frío; por otra parte, el orden de suelo más dominante de la superficie son los Andisoles con una representación del 30,7%, seguido de los Alfisoles con un 29,7%, Molisoles 19,1%, Entisoles 10,8% y el restante 9,7% distribuido en Vertisoles y Inceptisoles (CVC, 2015).



**Figura 2. Distribución de órdenes en la cuenca Morales.**  
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

El uso y cobertura de suelo de la zona está representado principalmente por cultivos herbáceos plantados densos con un 39,4% en los que intervienen los pastos (cultivados, enmalezados y de corte), arroz y soya, seguidamente, se encuentran los cultivos arbustivos densos con un 18,6% correspondiente a caña de azúcar, café-plátano, maíz, mora y cacao (Tabla 2) (CVC, 2018).

**Tabla 2. Distribución de uso del suelo en la cuenca Morales.**

COBERTURA	ÁREA (ha)	% ÁREA
<b>2 - Superficies plantadas</b>	<b>12.928</b>	<b>63,4%</b>
231 - Cultivos herbáceos plantados densos	8.038	39,4%
221 - Cultivos arbustivos plantados densos	3.794	18,6%
212 - Cultivos arbóreos plantados abiertos	328	1,6%
241 - Misceláneos de superficies plantadas	276	1,4%
211 - Cultivos arbóreos plantados densos	275	1,3%
252 - Áreas de cultivo con suelo desnudo	127	0,6%
232 - Cultivos herbáceos plantados abiertos	49	0,2%

COBERTURA	ÁREA (ha)	% ÁREA
222 - Cultivos arbustivos plantados abiertos	37	0,2%
234 - Cultivos confinados	3	0,0%
<b>3 - Superficies naturales y seminaturales</b>	<b>6.189</b>	<b>30,3%</b>
311 - Bosque natural denso	1.817	8,9%
313 - Bosque natural fragmentado	1.526	7,5%
312 - Bosque natural abierto	1.281	6,3%
322 - Arbustal y matorral abierto	717	3,5%
321 - Arbustal y matorral denso	589	2,9%
352 - Áreas naturales sin vegetación	172	0,8%
323 - Vegetación secundaria o transición	75	0,4%
331 - Herbazal natural denso	9	0,0%
332 - Herbazal natural abierto	2	0,0%
<b>1 - Superficies construidas</b>	<b>987</b>	<b>4,8%</b>
121 - Otras superficies artificiales con construcción	333	1,6%
111 - Zonas urbanas continuas	333	1,6%
122 - Otras superficies artificiales sin construcción	185	0,9%
112 - Zonas urbanas discontinuas	136	0,7%
<b>4 - Superficies de agua</b>	<b>290</b>	<b>1,4%</b>
411 - Aguas continentales naturales	112	0,6%
412 - Aguas continentales artificiales	107	0,5%
413 - Superficies inundables continentales	63	0,3%
423 - Superficies sedimentarias marítimas	8	0,0%
<b>Total general</b>	<b>20.395</b>	<b>100,0%</b>

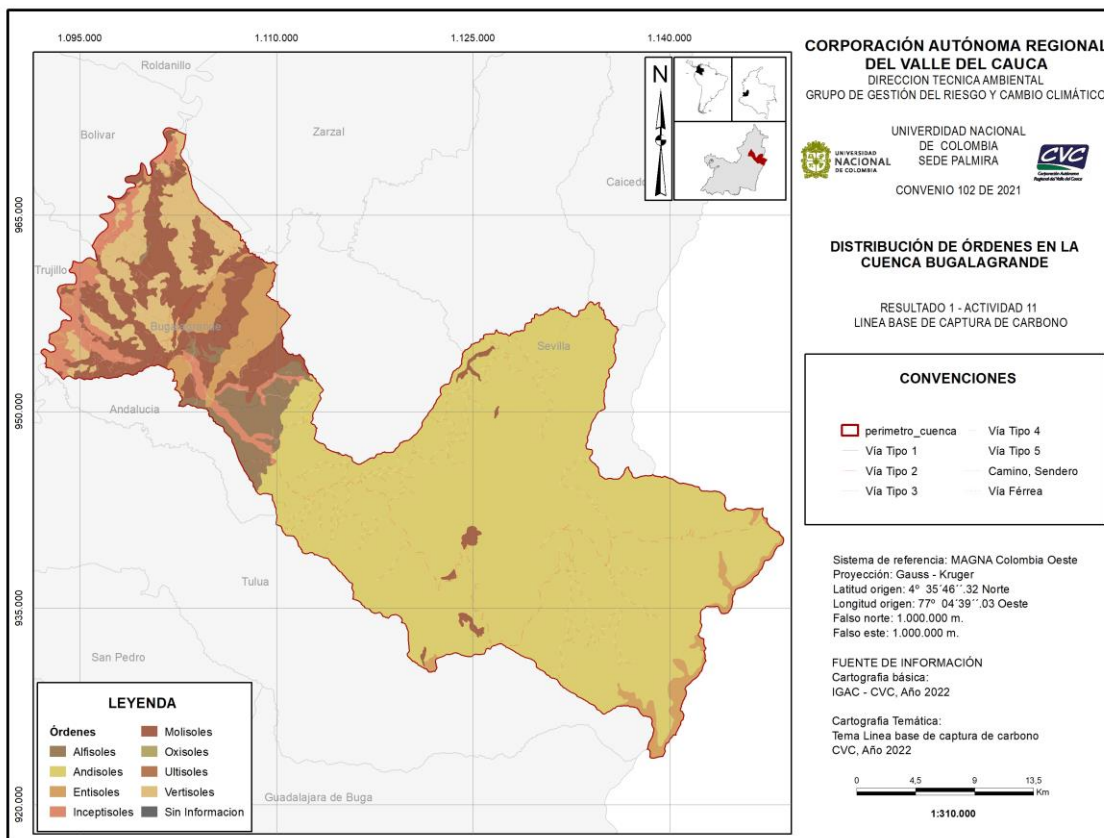
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

La Cuenca hidrográfica del Río Morales se encuentra en conflicto alto del suelo en 6.567,5 ha. De estas áreas la zona de piedemonte en la cual se desarrolla la actividad ganadera presenta problemáticas como erosión y movimientos en masa especialmente. En cuanto a la zona plana, se estima que es un área sin conflicto, pero de acuerdo con la experticia y a los estudios técnicos, realizados por la CVC, esta área presenta un conflicto de manejo alto, generado básicamente por el cultivo de la caña de azúcar. Esta actividad agroindustrial en el área del valle geográfico ha afectado todos los ecosistemas estratégicos, lo que ha traído consigo la pérdida de la biodiversidad al igual que la destrucción paulatina de bosques. Los problemas de conflicto en el uso de los suelos, se refleja también en los cambios de las condiciones físicas y químicas, derivados de la mecanización intensa, los regímenes de riego, la Calidad de las aguas utilizadas y el déficit de materia orgánica disponible. Sobre los conflictos del uso del suelo, es importante resaltar el hecho de que una de las causas por las cuales este se origina, es debido al cambio del uso del suelo de vocación forestal a uso agrícola y ganadero, además de los incendios forestales y los procesos de colonización (POMCH Morales, 2013).

### 3.2 CUENCA BUGALAGRANDE

El Río Bugalagrande nace en la cordillera central a una altura aproximada 4.000 msnm. La cuenca Río Bugalagrande posee una superficie de 91.357 has; limita al norte con las cuencas de Río La Paila y La Vieja, al sur con los Ríos Morales y Tuluá, al oriente con el departamento del Tolima y al occidente con el Río Cauca.

De la extensión de la cuenca, el 63,9% corresponden a terreno escarpado (50-75%), el 17,2% en terreno plano (< 3%) y 11,2% a terreno muy escarpado (>75%), el 7,7% restante se distribuye en diferentes condiciones de inclinación del terreno. El piso térmico predominante en la cuenca es el clima frío con un área correspondiente de 34,6%, seguido del clima medio con un 28,4%. En cuanto a órdenes de suelo, el 69,4% de la cuenca se encuentra en suelos Andisoles, el 11% en suelos Molisoles, el 6,6% en suelos Vertisoles, 5,8% en Entisoles y el restante 7,1% en suelos Inceptisoles, Alfisoles o sin información (CVC, 2015).



**Figura 3. Distribución de órdenes en la cuenca Bugalagrande.**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

Los terrenos de la cuenca del Río Bugalagrande son dedicados principalmente a la ganadería y a la agricultura. Como se puede observar en la Tabla 3, el 44,5% corresponde

a cultivos herbáceos plantados densos, entre los cuales se encuentra los pastos cultivados, pasto de corte, soya y papa, y cultivos arbustivos plantados densos, entre los que se encuentra la caña de azúcar, café-plátano, maíz, papayo y cacao. Sin embargo, las coberturas naturales también tienen una representación importante en la cuenca con una extensión del 33,8% representado principalmente por bosque natural denso con una participación del 21,6% (CVC, 2006).

**Tabla 3. Distribución de uso del suelo en la cuenca Bugalagrande.**

COBERTURA	ÁREA (ha)	% ÁREA
<b>2 - Superficies plantadas</b>	<b>59.580</b>	<b>65,2%</b>
231 - Cultivos herbáceos plantados densos	40.664	44,5%
221 - Cultivos arbustivos plantados densos	13.710	15,0%
211 - Cultivos arbóreos plantados densos	4.274	4,7%
232 - Cultivos herbáceos plantados abiertos	444	0,5%
212 - Cultivos arbóreos plantados abiertos	403	0,4%
241 - Misceláneos de superficies plantadas	85	0,1%
222 - Cultivos arbustivos plantados abiertos	0	0,0%
<b>3 - Superficies naturales y seminaturales</b>	<b>30.860</b>	<b>33,8%</b>
311 - Bosque natural denso	19.706	21,6%
321 - Arbustal y matorral denso	6.158	6,7%
331 - Herbazal natural denso	4.756	5,2%
313 - Bosque natural fragmentado	143	0,2%
352 - Áreas naturales sin vegetación	97	0,1%
312 - Bosque natural abierto	0	0,0%
322 - Arbustal y matorral abierto	0	0,0%
323 - Vegetación secundaria o transición	0	0,0%
<b>4 - Superficies de agua</b>	<b>584</b>	<b>0,6%</b>
411 - Aguas continentales naturales	515	0,6%
412 - Aguas continentales artificiales	69	0,1%
414 - Superficies sedimentarias continentales	0	0,0%
<b>1 - Superficies construidas</b>	<b>313</b>	<b>0,3%</b>
111 - Zonas urbanas continuas	294	0,3%
122 - Otras superficies artificiales sin construcción	17	0,0%
121 - Otras superficies artificiales con construcción	1	0,0%
112 - Zonas urbanas discontinuas	0	0,0%
<b>Total general</b>	<b>91.337</b>	<b>100,0%</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

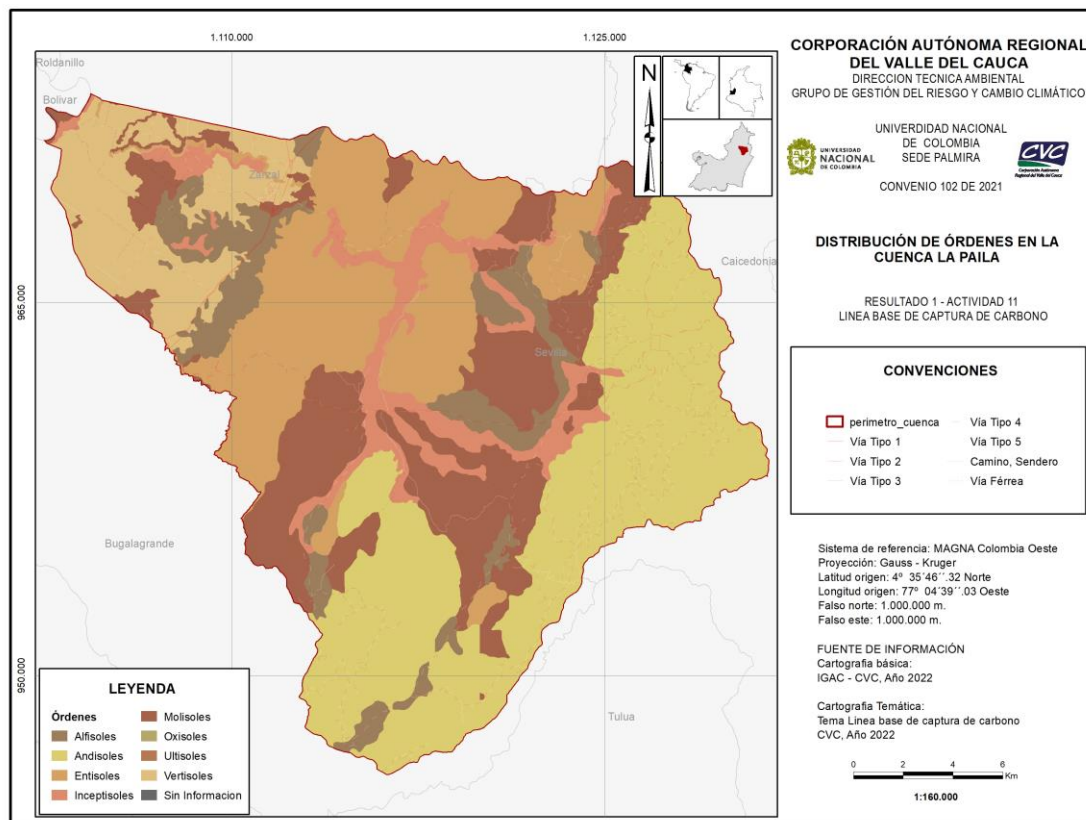
La Cuenca del Río Bugalagrande presenta una cobertura boscosa en estado natural de 7.573,3 ha que corresponden aproximadamente al 40,62% de la superficie total. De ellas,

6.577 ,0 ha se encuentran en el PNN Farallones. Adicionalmente, la CVC registra 6.921,0 ha de bosques fragmentados por ganadería extensiva y rastrojos con cerca de un 37,13% del área total. Estas áreas se encuentran localizadas en la parte alta y media de la cuenca, coincidiendo con la zona montañosa de los Farallones y en la zona de transición a la llanura del Río Cauca (POMCH Bugalagrande, 2011).

### 3.3 CUENCA LA PAILA

La extensión de la cuenca Río La Paila es de 43.977 ha, limita al norte con la cuenca del río las Cañas, al sur con el Río Bugalagrande, al oriente con el Río La Vieja y al occidente con el Río Cauca. El Río La Paila nace aproximadamente a una altura de 1.320 msnm en el corregimiento de Ceylan.

Del área de la cuenca el 49,7% corresponde a terreno escarpado (50-75%), el 20,3% a terreno plano (<3%), el 18,3% a terreno fuertemente quebrado (25-50 %) y el 11,7% restante se distribuye en diferentes condiciones de inclinación del terreno. El piso térmico predominante en la cuenca Río La Paila es el clima medio con un área de 82,6% seguido del clima cálido con el 17%. Por otra parte, el orden del suelo de la cuenca se distribuye con el 32,3% en Andisoles, el 21,8% en Entisoles, el 20% en Molisoles, el 9,7% en Vertisoles y el 16,2% restante representados en Alfisoles y Inceptisoles (CVC, 2015).



**Figura 4. Distribución de órdenes en la cuenca La Paila.**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

En la Tabla 4 se observa que la principal cobertura representativa de la cuenca son las superficies plantadas con un 72,7% entre los cuales se encuentran los cultivos herbáceos plantados densos con una participación del 42,3% correspondientes a pastos cultivados, enmalezados, de corte y piña, seguido de los cultivos arbustivos plantados densos con el 20,2% en los que se encuentran la caña de azúcar, café-plátano, café-banano y maíz. Siendo la caña de azúcar la de mayor influencia en el territorio (CVC, 2016).

**Tabla 4. Distribución de uso del suelo en la cuenca La Paila.**

COBERTURA	ÁREA (ha)	% ÁREA
<b>2 - Superficies plantadas</b>	<b>31.977</b>	<b>72,7%</b>
231 - Cultivos herbáceos plantados densos	18.613	42,3%
221 - Cultivos arbustivos plantados densos	8.866	20,2%
241 - Misceláneos de superficies plantadas	1.863	4,2%
211 - Cultivos arbóreos plantados densos	925	2,1%
252 - Áreas de cultivo con suelo desnudo	861	2,0%
212 - Cultivos arbóreos plantados abiertos	696	1,6%
222 - Cultivos arbustivos plantados abiertos	136	0,3%
232 - Cultivos herbáceos plantados abiertos	12	0,0%
234 - Cultivos confinados	5	0,0%
<b>3 - Superficies naturales y seminaturales</b>	<b>10.968</b>	<b>24,9%</b>
313 - Bosque natural fragmentado	3.363	7,6%
312 - Bosque natural abierto	2.888	6,6%
311 - Bosque natural denso	2.286	5,2%
322 - Arbustal y matorral abierto	1.632	3,7%
321 - Arbustal y matorral denso	553	1,3%
323 - Vegetación secundaria o transición	153	0,3%
331 - Herbazal natural denso	48	0,1%
352 - Áreas naturales sin vegetación	43	0,1%
332 - Herbazal natural abierto	3	0,0%
<b>1 - Superficies construidas</b>	<b>583</b>	<b>1,3%</b>
111 - Zonas urbanas continuas	284	0,6%
122 - Otras superficies artificiales sin construcción	134	0,3%
121 - Otras superficies artificiales con construcción	123	0,3%
112 - Zonas urbanas discontinuas	42	0,1%
<b>4 - Superficies de agua</b>	<b>448</b>	<b>1,0%</b>
414 - Superficies sedimentarias continentales	175	0,4%
412 - Aguas continentales artificiales	145	0,3%
411 - Aguas continentales naturales	87	0,2%
413 - Superficies inundables continentales	42	0,1%
<b>Total general</b>	<b>43.977</b>	<b>100,0%</b>

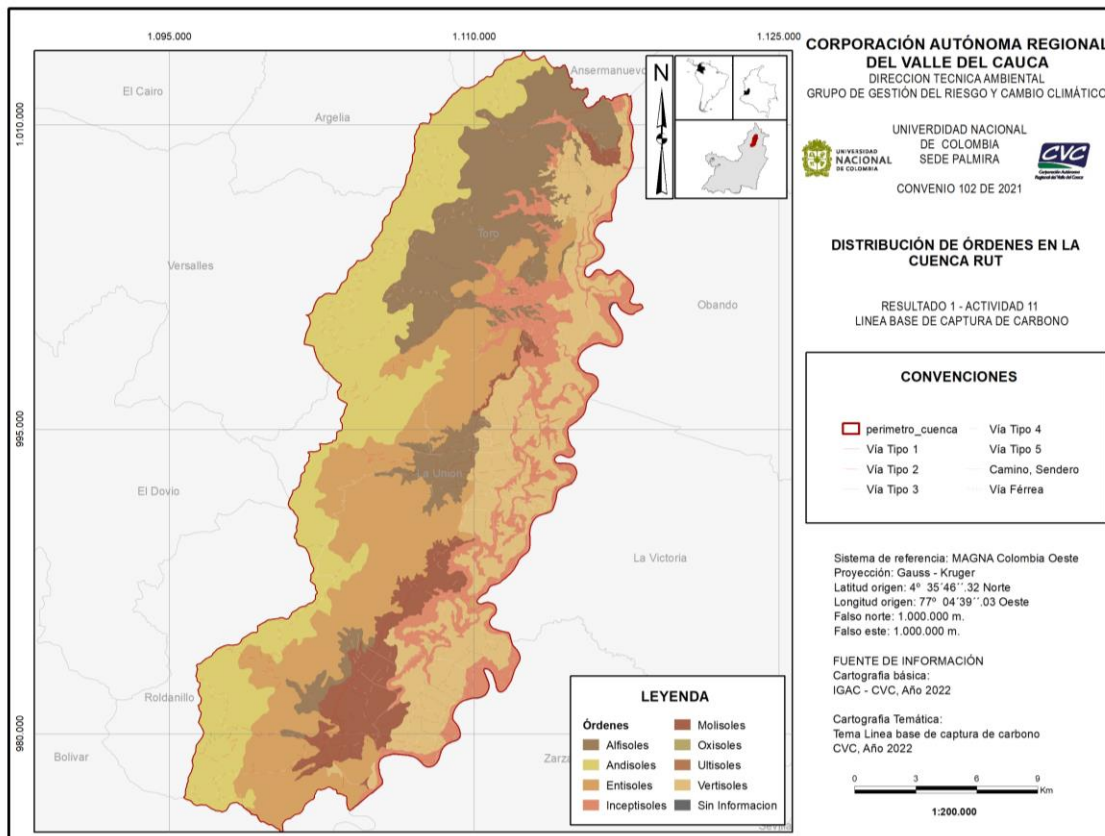
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

Los resultados obtenidos del estudio de conflicto por uso del suelo muestran el 14,8% para la cuenca en conflicto alto. Si se relaciona el conflicto alto solamente con la zona de ladera (50.054, 7 ha), éste aumenta a un 34,4% siendo una porción grande de la cuenca. Además, el conflicto más frecuente corresponde a las existencias de ganadería extensiva en pastos naturales donde el uso potencial debe ser de recuperación (CVC, 2008).

### 3.4 CUENCA RUT

La cuenca hidrográfica de Roldanillo, La Unión y Toro, denominada cuenca del RUT, posee una superficie de 42.879 ha; limita con la cuenca del Río Chanco, al sur con la cuenca del Río pescador, al oriente con el Río Cauca y al occidente con el Río Garrapatas.

De la extensión de la cuenca, el 52,3% corresponden a terreno escarpado (50-75%), el 32,1% en terreno plano (< 3%) y 15,6% restante se distribuye en diferentes condiciones de inclinación del terreno. El piso térmico predominante en la cuenca es el clima templado o medio con un área correspondiente de 57,2%, seguido del clima cálido con un 40,7%. En cuanto a órdenes de suelo, el 24% de la cuenca se encuentra en suelos Entisoles, el 23% en suelos Andisoles, el 17,6% en suelos Vertisoles, 17,6% en Alfisoles y el restante 17,8% en suelos Inceptisoles, Molisoles o sin información (CVC, 2015).



**Figura 5. Distribución de órdenes en la zona de interés de la cuenca RUT.**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.



Los terrenos de la cuenca RUT son dedicados principalmente a la ganadería y a la agricultura. Como se puede observar en la Tabla 5, el 39,6% corresponde a cultivos herbáceos plantados densos, entre los cuales se encuentra los pastos cultivados, pasto de corte, soya, melón, sorgo y ají, y cultivos arbustivos plantados densos con un 29,9%, entre los que se encuentra la caña de azúcar, café-plátano, maíz, papayo, cacao, algodón y vid. Sin embargo, las coberturas naturales también tienen una representación importante en la cuenca con una extensión del 21,9% representado principalmente por arbustal y matorral denso con una participación del 8,5% (CVC, 2008).

**Tabla 5. Distribución de uso del suelo en la zona de interés de la cuenca RUT.**

COBERTURA	ÁREA (ha)	% ÁREA
<b>2 - Superficies plantadas</b>	<b>32.424</b>	<b>75,6%</b>
231 - Cultivos herbáceos plantados densos	16.991	39,6%
221 - Cultivos arbustivos plantados densos	12.825	29,9%
212 - Cultivos arbóreos plantados abiertos	1.282	3,0%
211 - Cultivos arbóreos plantados densos	925	2,2%
232 - Cultivos herbáceos plantados abiertos	322	0,8%
241 - Misceláneos de superficies plantadas	57	0,1%
222 - Cultivos arbustivos plantados abiertos	21	0,0%
<b>3 - Superficies naturales y seminaturales</b>	<b>9.375</b>	<b>21,9%</b>
321 - Arbustal y matorral denso	3.642	8,5%
311 - Bosque natural denso	3.127	7,3%
322 - Arbustal y matorral abierto	2.436	5,7%
313 - Bosque natural fragmentado	118	0,3%
352 - Áreas naturales sin vegetación	52	0,1%
332 - Herbazal natural abierto	0	0,0%
<b>1 - Superficies construidas</b>	<b>717</b>	<b>1,7%</b>
111 - Zonas urbanas continuas	619	1,4%
121 - Otras superficies artificiales con construcción	66	0,2%
122 - Otras superficies artificiales sin construcción	32	0,1%
<b>4 - Superficies de agua</b>	<b>364</b>	<b>0,8%</b>
411 - Aguas continentales naturales	310	0,7%
412 - Aguas continentales artificiales	54	0,1%
<b>Total general</b>	<b>42.879</b>	<b>100,0%</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

## 4. METODOLOGÍA

Para la elaboración de la línea base de almacenamiento de carbono en suelos del Valle del Cauca se adelantaron las siguientes etapas que incluyeron: la revisión de información secundaria, diseño de muestreo, planeación y preparación logística y operativa para el desarrollo de campañas de campo, campañas de muestreo de suelos, análisis de laboratorio y elaboración de la línea base del almacenamiento de carbono en el suelo (Figura 6).



**Figura 6. Etapas ejecutadas para el desarrollo de la Actividad 011.**

Fuente: Elaboración propia.

### 4.1 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

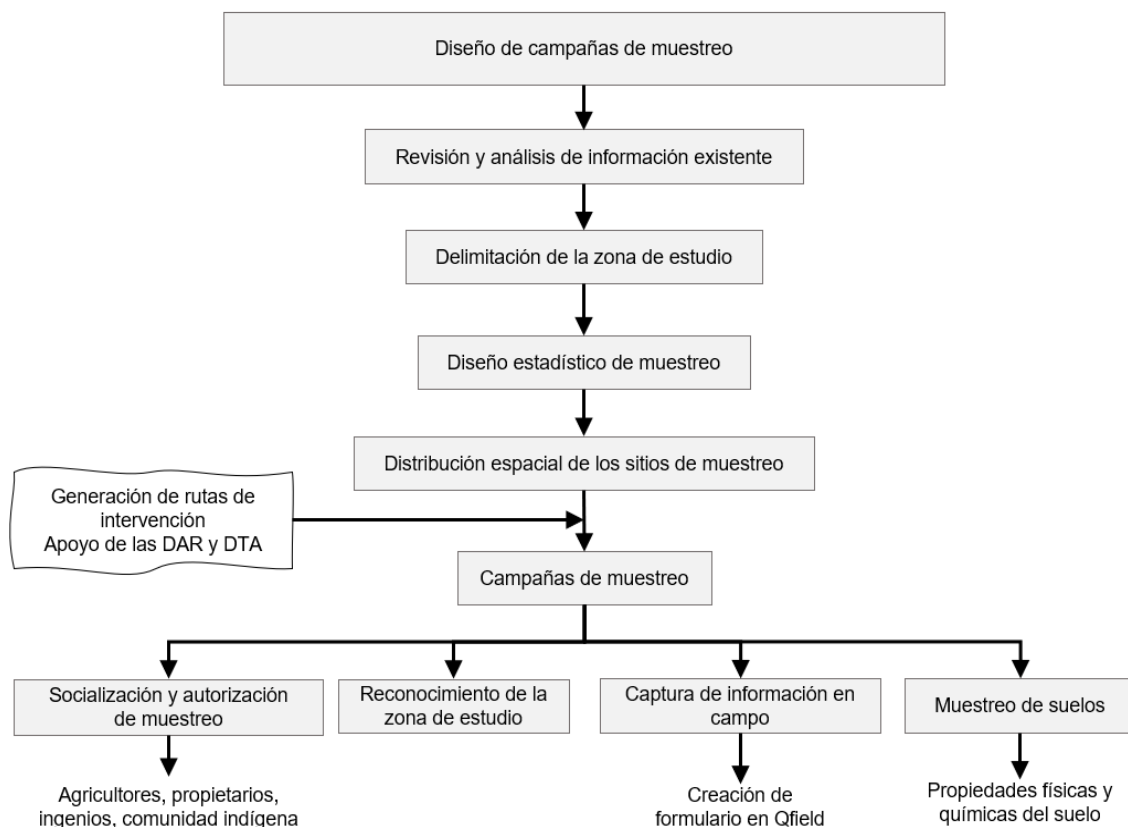
La revisión y análisis de información secundaria se desarrolló para establecer el enfoque metrológico y cartográfico en el área de estudio y la construcción de la línea base de almacenamiento de COS.

La información recopilada se basó en la información disponible en la geodatabase (GDB) de la CVC, soportada por diferentes estudios en la línea de suelos y de cobertura, considerados los ejes temáticos centrales de la Actividad 011. Para el componente de suelos se utilizó información de 3 estudios: (1) el levantamiento de suelos y zonificación de departamento del Valle del Cauca (IGAC-CVC. 2004), (2) el levantamiento semidetallado de suelos escala 1:25.000 de las cuencas priorizadas para el Valle del Cauca (IGAC-CVC, 2014) y (3) la guía rápida temática para el usuario SIG corporativo suelos (CVC, 2021a). Para el componente de cobertura se utilizó información de la guía rápida temática para el usuario SIG corporativo cobertura y uso del suelo (CVC, 2021b). El análisis se centró en la caracterización del Departamento del Valle del Cauca, con identificación del panorama general de los tipos de suelos (Orden y Suborden) y la cobertura (Nivel 1).

## 4.2 DISEÑO DE CAMPAÑAS DE MUESTREO

Para el diseño de las campañas de muestreo se tuvo en cuenta el análisis de información secundaria relacionado con los órdenes de suelo y coberturas, y la delimitación de las áreas de estudio (cuenca/municipios). El número de muestras a partir del análisis estadístico y el diseño de muestreo se soportan en la información de las cuencas y la cartografía digital. En la Figura 7 se detalla la metodología para el diseño de las campañas de muestreo.

Con el equipo de profesionales se definieron rutas de intervención (muestreo) para los sitios priorizados, que posteriormente fueron ajustadas con el apoyo de los profesionales de la Dirección Técnica Ambiental (DTA) y las Direcciones Ambientales Regionales (DAR) que hacen presencia en el territorio. Paralelamente, durante el desarrollo de las campañas de muestreo, se desarrollaron actividades de socialización y solicitud de permisos con diferentes actores del sector agropecuario, así como, el reconocimiento de las zonas de estudio.



**Figura 7. Diagrama del diseño y ejecución de campañas de muestreo.**

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó análisis estadístico para la definición del diseño de muestreo, basado en la unidad muestral, determinación de la población, márgenes de confianza dentro del marco muestral, entre otros parámetros estadísticos, como se detalla a continuación:

### **Unidad muestral**

Se define como el objeto sobre el que se realiza una medición de una variable bajo estudio, para este caso, la unidad muestral son los cilindros metálicos de 5 cm de diámetro y 2,5 cm de altura, al presentar un volumen definido que permite analizar suelo no disturbado (Fotografía 1).



Fotografía 1. Diseño cilindro de muestreo.  
Fuente: Elaboración propia.

### **Población**

Es el conjunto de unidades muestrales posibles que se puede extraer en el área de estudio, es decir, es la cantidad total de unidades muestrales que se pueden tomar del área de las 4 cuencas sin tener en consideración las superficies construidas y superficies de agua. Bajo ese análisis, dentro del área priorizada se pueden extraer un total de 989.672.834.015 (Novecientos ochenta y nueve mil seiscientos setenta y dos millones ochocientos treinta y cuatro mil quince) muestras. Este cálculo se ha obtenido de la división entre el área total de las cuencas y el área del cilindro.

$$\text{Población} = \frac{\text{área total de las cuencas}}{\text{área del cilindro}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Población} = \frac{1.943.218.065,5}{0,001963495}$$

$$\text{Población} = 989.672.834.015 \text{ unidades}$$

### **Marco muestral**

Se definió como el área geográfica donde se puede extraer las muestras. Para este caso se consideraron 2 criterios en orden jerárquico, de acuerdo con el objetivo de estudio: (1) orden (taxonomía del suelo) y (2) cobertura de la tierra (uso del suelo).

### **Piloto**

En estudio pasados se han tomado muestras de suelo en las 4 cuencas analizadas. Esto ha permitido conocer el terreno y definir las áreas en las que es posible acceder para la toma de muestras. Así como las áreas dentro de las cuencas delimitadas por el orden y la cobertura.

### **Metodología de muestreo**

Se propuso realizar un plan de muestreo estratificado proporcional a 2 etapas para cada una de las cuencas. Inicialmente se calculó la cantidad de muestras totales a recolectar en cada una de las cuencas, mediante un muestreo aleatorio simple utilizando el cálculo de tamaño muestral presentado por Cordón (2012). Para ese cálculo se consideró:

- Margen de error del 5,8%
- Nivel de confianza del 95%
- Tamaño de la población: 989.672.834.015 muestras (área del cilindro)
- Proporción esperada desconocida, por lo tanto, será de 0,5.

ochocientos treinta y cuatro mil quince) muestras. Este cálculo se ha obtenido de la división entre el área total de las cuencas y el área del cilindro.

$$n = \frac{N * z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + z_{\alpha}^2 * p * q} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$n = \frac{989.672.834.015 * 1,96 * 1,96 * 0,5 * 0,5}{0,57747043 * 0,57747043 * (989.672.834.015 - 1) + (1,96 * 1,96) * 0,5 * 0,5}$$

$$n = \frac{950.481.789.787,7}{330.028.275.421,6}$$

$$n = 288$$

Del total de 288 muestras obtenidas, se distribuyeron proporcionalmente en cada una de las cuencas como se presenta en la Tabla 6.

**Tabla 6. Distribución cantidad de muestras por cuenca.**

<b>CUENCA</b>	<b>ÁREA (ha)*</b>	<b>% ÁREA</b>	<b>MUESTRAS</b>
Bugalagrande	90.440	47%	134
La Paila	42.946	22%	64
RUT	41.799	22%	62
Morales	19.117	10%	28
<b>TOTAL</b>	<b>194.302*</b>	<b>100%</b>	<b>288</b>

\* Sin tener en cuenta áreas urbanizadas ni con cuerpos de agua.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 se observa el número de muestras desagregada por cuenca, orden de suelo y tipo de superficie plantada y no plantada. Los estratos de la primera etapa están definidos por los órdenes que aparecen en todas las cuencas y son comparables: Andisoles, Entisoles, Inceptisoles y Otros. Los órdenes que no presentan coincidencia en todas las cuencas, por ejemplo, los molisoles que no tienen participación en la cuenca Bugalagrande, se incluyen en la categoría de otros de cada cuenca.

Se ha definido el orden como variable estratificadora en el primer nivel (metodología Corine Land Cover), dado que es el nivel superior taxonómico para evaluar propiedades del suelo. Para la segunda etapa del muestreo estratificado, se eligió la cobertura, debido a que es una variable con la capacidad de modificar el contenido del carbono, ya sea positiva o negativamente. Se han elegido 2 niveles de cobertura: superficies plantadas y superficies naturales y seminaturales; estos niveles responden al nivel macro de clasificación (nivel 1 metodología Corine Land Cover), con el objetivo de que se encuentren en todos los órdenes anteriormente mencionados.

**Tabla 7. Distribución de numero de muestras estratificado proporcional por orden y cobertura.**

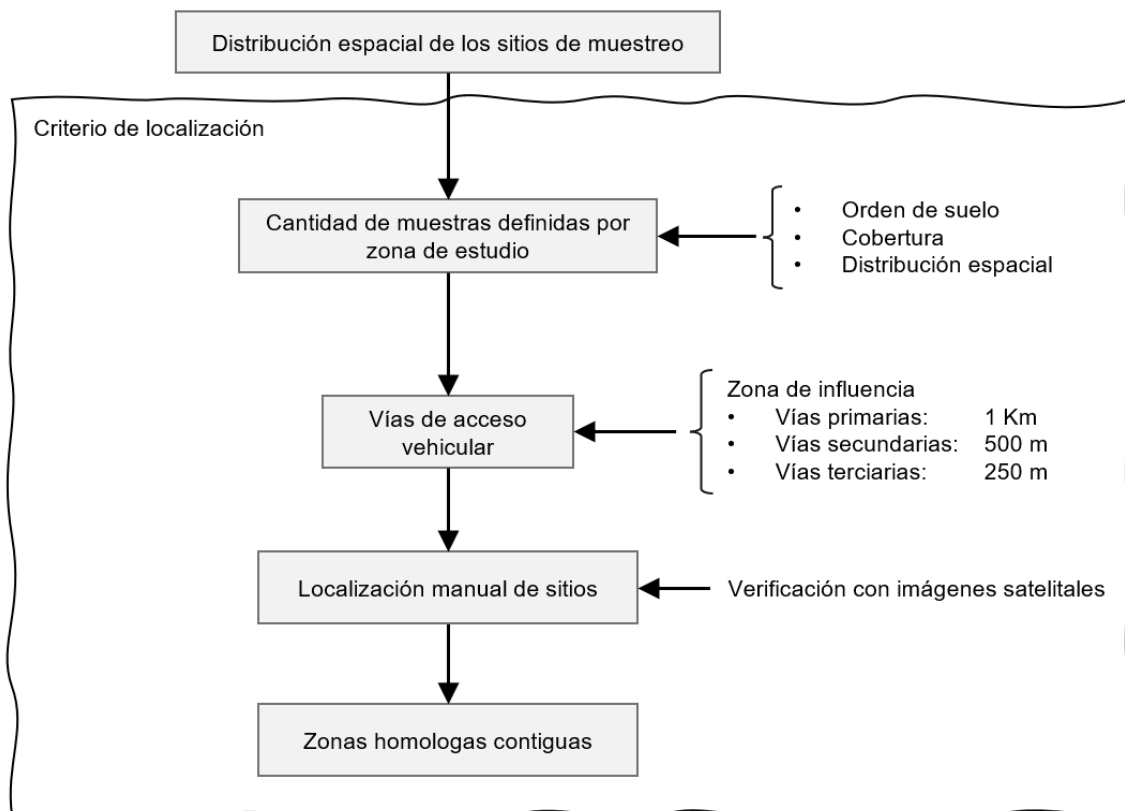
		BUGALAGRANDE			LA PAILA			MORALES			RUT		
Andisoles	<b>Total Andisoles</b>	<b>63.089,6</b>	<b>69,8%</b>	<b>93</b>	<b>13.886,5</b>	<b>32,3%</b>	<b>21</b>	<b>6.144,4</b>	<b>32,1%</b>	<b>9,0</b>	<b>9.806,1</b>	<b>23,5%</b>	<b>15</b>
	2 - Superficies plantadas	36.570,2	58%	54	9.879,8	71%	15	2.888,6	47%	4,2	6.542,3	67%	10
	3 - Superficies naturales y seminaturales	26.519,4	42%	39	4.006,8	29%	6	3.255,8	53%	4,8	3.263,8	33%	5
Molisoles	<b>Total Molisoles</b>	<b>9.836,1</b>	<b>10,9%</b>	<b>15</b>	<b>8.723,7</b>	<b>20,3%</b>	<b>13</b>	<b>3.413,6</b>	<b>17,9%</b>	<b>5,0</b>	<b>2.588,7</b>	<b>6,2%</b>	<b>4</b>
	2 - Superficies plantadas	9.017,1	92%	14	6.967,1	80%	10	2.908,1	85%	4,3	2.486,4	96%	4
	3 - Superficies naturales y seminaturales	819,0	8%	1	1.756,6	20%	3	505,5	15%	0,7	102,3	4%	0
Vertisoles	<b>Total Vertisoles</b>	<b>5.891,2</b>	<b>6,5%</b>	<b>9</b>	<b>3.982,7</b>	<b>9,3%</b>	<b>6</b>	<b>1.319,2</b>	<b>6,9%</b>	<b>2,0</b>	<b>7.464,3</b>	<b>17,9%</b>	<b>11</b>
	2 - Superficies plantadas	5.869,4	100%	9	3.800,3	95%	6	1.253,5	95%	1,9	7.371,5	99%	11
	3 - Superficies naturales y seminaturales	21,8	0%	0	182,4	5%	0	65,7	5%	0,1	92,8	1%	0
Entisoles	<b>Total Entisoles</b>	<b>5.251,0</b>	<b>5,8%</b>	<b>8</b>	<b>9.523,7</b>	<b>22,2%</b>	<b>14</b>	<b>2.046,4</b>	<b>10,7%</b>	<b>3,0</b>	<b>10.114,8</b>	<b>24,2%</b>	<b>15</b>
	2 - Superficies plantadas	2.543,4	48%	4	5.981,3	63%	9	1.346,1	66%	2,0	6.668,0	66%	10
	3 - Superficies naturales y seminaturales	2.707,6	52%	5	3.542,4	37%	5	700,3	34%	1,0	3.446,8	34%	5
Inceptisoles	<b>Total Inceptisoles</b>	<b>3.377,8</b>	<b>3,7%</b>	<b>5</b>	<b>3.161,7</b>	<b>7,4%</b>	<b>5</b>	<b>486,8</b>	<b>2,5%</b>	<b>1,0</b>	<b>4.597,4</b>	<b>11,0%</b>	<b>7</b>
	2 - Superficies plantadas	3.102,7	92%	5	2.366,5	75%	4	329,9	68%	1,0	4.290,3	93%	7
	3 - Superficies naturales y seminaturales	275,1	8%	0	795,3	25%	1	156,8	32%	0,0	307,1	7%	0
Alfisoles	<b>Total Alfisoles</b>	<b>2.994,7</b>	<b>3,3%</b>	<b>4</b>	<b>3.666,5</b>	<b>8,5%</b>	<b>5</b>	<b>5.703,8</b>	<b>29,8%</b>	<b>8,0</b>	<b>7.227,0</b>	<b>17,3%</b>	<b>10</b>
	2 - Superficies plantadas	2.477,3	83%	3	2.982,4	81%	4	4.201,0	74%	5,9	5.065,3	70%	7
	3 - Superficies naturales y seminaturales	517,4	17%	1	684,1	19%	1	1.502,8	26%	2,1	2.161,8	30%	3
Sin información	<b>Total Sin información</b>	<b>0,1</b>	<b>0,0%</b>	<b>0</b>	<b>0,9</b>	<b>0,0%</b>	<b>0</b>	<b>3,4</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0</b>	<b>0,2</b>	<b>0,0%</b>	<b>0</b>
	2 - Superficies plantadas	0,1	100%	0		0%	0	1,1	33%	0,0	0,2	93%	0
	3 - Superficies naturales y seminaturales	0,0	0%	0	0,9	100%	0	2,3	67%	0,0	0,0	7%	0
<b>TOTAL</b>		<b>90.440</b>	<b>47%</b>	<b>134</b>	<b>42.946</b>	<b>22%</b>	<b>64</b>	<b>19.117</b>	<b>10%</b>	<b>28</b>	<b>41.799</b>	<b>22%</b>	<b>62</b>

Fuente: Elaboración propia.

### Localización de sitios de muestreo

Para definir las localizaciones o puntos de muestreo, se trabajó sobre los programas ArcGIS 10.8 y QGIS 3.16.8, teniendo en consideración las vías de acceso (vías principales, secundarias y terciarias) que permitieran el acceso al cruce entre los estratos por orden y cobertura. Sobre las vías se tuvo en cuenta un área de influencia (Buffer) para la localización de la muestra según la categoría: vías primarias 1 Km, vías secundarias 500 m y vías terciarias 250 m. Posteriormente, sobre las áreas resultantes se localizaron las muestras de manera manual garantizando el acceso vehicular (Figura 8).

Cada punto está asociado a un orden y cobertura, de modo que *in situ* se valida la aptitud de cada sitio desde condiciones meteorológicas, manejo, acceso, orden público, autorizaciones de ingreso y demás factores para la toma de muestra. En los sitios que no es posible la toma de muestra, los puntos de muestreo se modifican a criterio técnico dentro zonas homologables que coincidan con las mismas condiciones de orden y cobertura, manteniendo la proporcionalidad espacial al interior de cada cuenca.



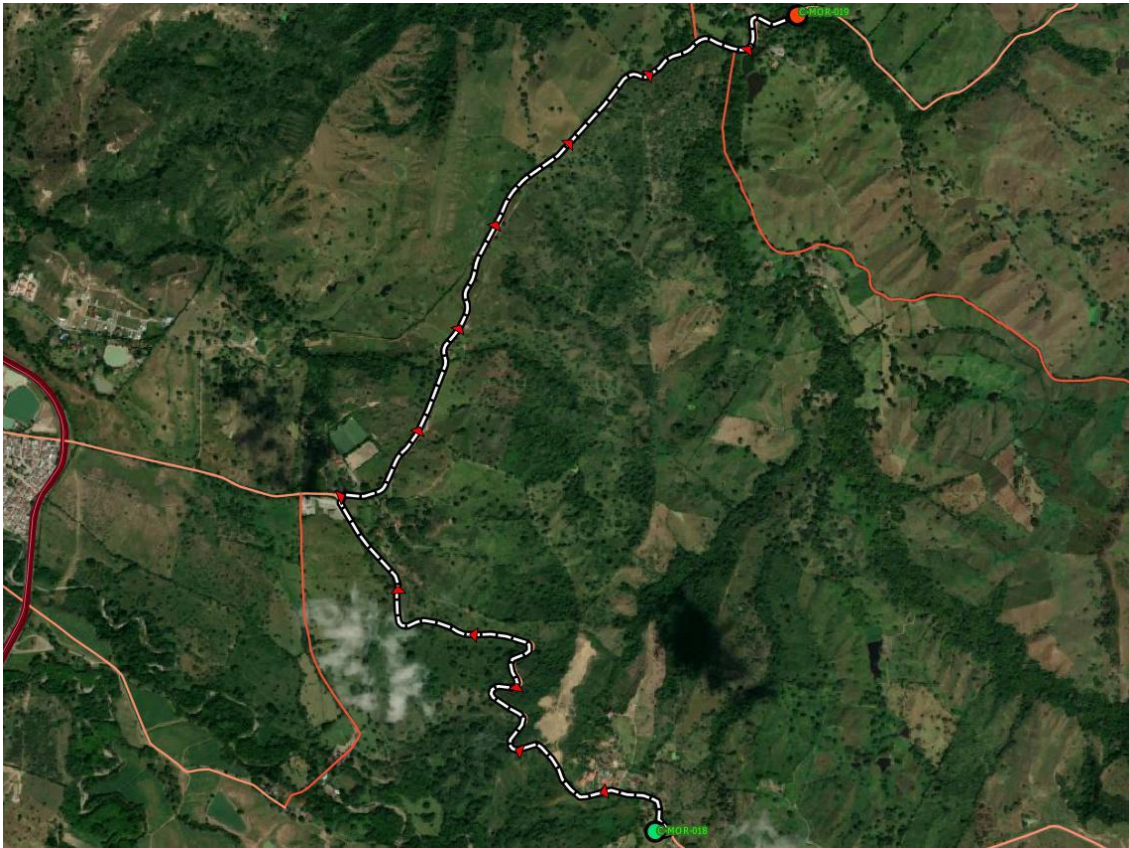
**Figura 8. Diagrama de distribución espacial de sitios de muestreo.**

Fuente: Elaboración propia.



### **Rutas de intervención**

Se definieron 19 rutas de muestreo con apoyo del complemento de QGIS Online Routing Mapper, iniciando de la parte alta hacia la parte baja de las cuencas. La generación de rutas tuvo en cuenta el mapa base de Google Maps y se validaron con la capa de vías obtenidas de CVC. Durante el desarrollo de las campañas en campo, las rutas fueron ajustadas a la disponibilidad del equipo técnico, apoyo de los profesionales de la CVC o requerimientos particulares del proyecto (Figura 9).



**Figura 9. Representación de ruta propuesta entre dos sitios de muestreo.**  
Fuente: Elaboración propia.

### **Reconocimiento de la zona de estudio**

El trabajo de reconocimiento y validación en cada sitio se basó en las descripciones para cada categoría de la metodología Corine Land Cover (CLC) para Colombia (IDEAM, 202), en su mayoría para el nivel 3 y en los casos que se contaba con información detallada, se comparó con el nivel 5 que corresponde al nivel de detalle actual de la información existente de cobertura del suelo de cada una de las cuencas (CVC, 2021).

La validación se desarrolló con la clasificación visual identificada en campo al momento de la visita con el fin de comparar la información suministrada con la cobertura *in situ*.

### 4.3 CAMPAÑAS DE MUESTREO

Las campañas de muestreo de suelo se adelantaron teniendo en cuenta el número de muestras por cuenca, el acercamiento con los funcionarios de las DAR y las vías de acceso hasta los sitios de muestreo. Por estrategia técnica se inició con la cuenca RUT, seguido de cuencas Bugalagrande, Morales y La Paila. En los sitios donde la muestra coincidía con predios privados, se desarrollaron jornadas de socialización con los propietarios, administradores, trabajadores o residentes del lugar, dando a conocer el proyecto, la importancia de este estudio y la autorización de ingreso y toma de muestra de suelo al interior del predio (Fotografía 2).



**Fotografía 2. Jornadas de socialización *in situ* y solicitud de autorización para la toma de muestras.**

Fuente: Elaboración propia.

Identificados los sitios de muestreo, se seleccionaron áreas representativas al punto de referencia para la toma de muestras de suelo, evitando alteración en los resultados por errores metodológicos como: estiércol de ganado, escombros, vías o senderos transitables y demás, siguiendo la metodología remendada por Muñoz (1996). Para la toma de muestra se utilizaron implementos tradicionales como palín, cilindros, balde, entre otros (Fotografía 3).



- Balde
- Bolsas de cierre hermético
- Cilindros
- Costales
- Extensión
- Flexómetro
- Machete
- Maso
- Pala de mano
- Palín

**Fotografía 3. Implementos para la toma de muestras de suelo.**

Fuente: Elaboración propia.

En cada localización se extrajeron 2 tipos de muestras: (1) muestra de cilindro sobre los primeros centímetros del suelo para determinar propiedades físicas y (2) disturbada con palín entre 0 y 30 cm de profundidad para determinar propiedades químicas. La muestra disturbada corresponde a una fracción de suelo sobre una de las paredes de la cajuela, de espesor cercana a los 3 cm, 20 cm de ancho y 30 cm de profundidad, mezclada al interior del balde para homogenizar la muestra. Adicionalmente, sobre cada sitio se realizó una cajuela de 30x30x30 cm para la identificación de variaciones de los horizontes en el perfil del suelo (Fotografía 4).



**Fotografía 4. Proceso de toma de muestra de cilindro, cajuela para evaluación de perfil del suelo y extracción de tajada para análisis de muestra disturbada.**

Fuente: Elaboración propia.

Las muestras fueron rotuladas y embaladas, garantizando la cadena de custodia y de acuerdo con las recomendaciones de los laboratorios para la recepción de muestras y análisis (Fotografía 5).



**Fotografía 5. Embalaje y rotulado de muestras para envío a laboratorio.**  
Fuente: Elaboración propia.

## Levantamiento de información en campo

Para el levantamiento de información en campo se trabajó con la aplicación Qfield. Esta es una aplicación de código abierto basado en QGIS para el desarrollo de actividades en entornos de sistemas de información geográfica para campo sobre dispositivos móviles, en donde se personalizó el flujo de trabajo de levantamiento y cargue de información en campo sin conexión a internet.

La construcción del formulario se basó en garantizar la trazabilidad de la información de campo, principalmente en la georreferenciación de los puntos muestreados asociado a códigos únicos identificador, anotaciones de observaciones y captura de registro fotográfico (Figura 10).

Para cada sitio evaluado se creó un código alfanumérico único identificador que incluía la actividad (C=Carbono), la cuenca (MOR=Morales, BUG=Bugalagrande, PAI=La Paila y RUT=RUT) y un número consecutivo (1,2,3...) separado por guiones, por ejemplo: C-MOR-15, C-BUG-112, C-PAI-142, C-RUT-271.

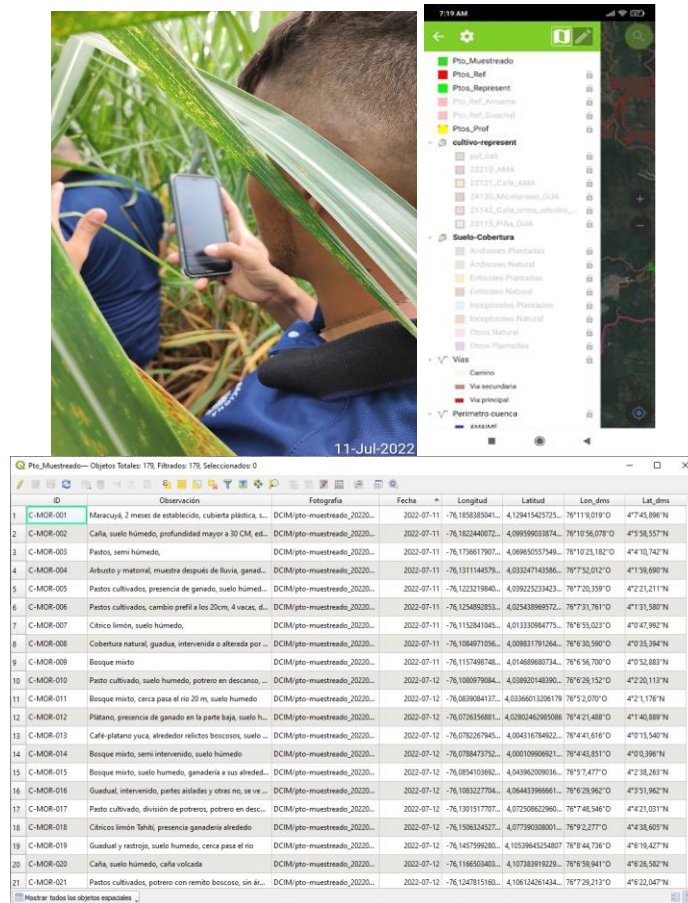


Figura 10. Vista previa formulario de Qfield y atributos asociados a la capa de muestreo.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4 ANÁLISIS DE LABORATORIO

El suelo es un organismo vivo en interacción constante interacción con su entorno. Por lo tanto, se puede mencionar que no existe una sola línea que defina la caracterización completa del suelo y parte de ello se debe a la gran capacidad de albergar más del 25% de la biodiversidad del planeta, sin dejar de lado la importancia que representa en la producción del 95 de alimentos (FAO, 2020). Este amplio contexto, exige que se definan estrategias de análisis y caracterización del suelo específicas.

En este documento se establece una caracterización del suelo basado en la parte nutricional siguiendo las recomendaciones establecidas por el ICA (1992), análisis de propiedades físicas (Pieri, 1995; Arshad et al., 1996) y estimaciones de almacenamiento de COS en el suelo (González et al., 2008).

La caracterización de las muestras de suelo (Tabla 8) incluyó la determinación de parámetros fisicoquímicos en laboratorios acreditados (Agrosavia y CIAT), con variables asociadas a la fertilidad agrícola, no obstante, el enfoque de conocer y comprender la condición del suelo desde la parte productiva, permite incorporar nuevos procedimientos de manejo que conduzcan en la transición de producción tradicional, hacia una agricultura de conservación que favorezca la captura de carbono sin perder productividad (FAO, 2002).

**Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos determinados en laboratorio acreditados.**

	N°	PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	LAB	
Propiedad física	1	Porcentaje de arena (% A)	g/100 g	Método de Bouyoucos	Agrosavia	
	2	Porcentaje de arcilla (% Ar)	g/100 g			
	3	Porcentaje de limo (% L)	g/100 g			
	4	Clase textural	No aplica			
	Estabilidad estructural (EE)					
	5	EE 4 mm	%p/p	Yoder		
	6	EE 2 mm	%p/p			
	7	EE 1 mm	%p/p			
	8	EE 0.5 mm	%p/p			
	9	EE 0.25 mm	%p/p			
10	EE < 0.25 mm	%p/p				
	11	Diámetro medio ponderado (DMP)	mm	Cálculo		
	12	Capacidad de campo (CC)	%			
	13	Punto de marchitez permanente (PMP)	%			
	14	Agua aprovechable (AA)	%			
	15	Lámina de Agua aprovechable (LAA)	mm			
Propi	16	pH (1:2,5)	Unidades de pH	GA-R-46, versión 05 de 2019-10-02		

N°	PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	LAB	
17	Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	dS	NTC 5596:2008. Medición en suspensión suelo/agua relación 1:5 (Peso/volumen)		
18	Materia Orgánica (MO)	g/100 g	Cálculo según NTC 5403 Walkey & Black		
19	Carbono Orgánico (CO)	g/100g	GA-R-119 versión 2 2019-09-20		
20	Nitrógeno total (NT)	g/100g	Kjeldahl		
21	Azufre (S) disponible	mg/kg	Fosfato monobásico de calcio		
22	Boro (B) Disponible	mg/kg			
23	Acidez (Al+H)	cmol(+)/kg	KCl		
24	Aluminio (Al) Intercambiable	cmol(+)/kg			
25	Fosforo (P) Disponible (Bray II)	mg/kg	GA-R-48, versión 05 de 2019-10-02.		
26	Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg			
27	Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg			
28	Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg			
29	Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg			
30	Hierro (Fe) Olsen Disponible	mg/kg	NTC 5526:2007		
31	Cobre (Cu) Olsen Disponible	mg/kg			
32	Manganeso (Mn) Olsen Disponible	mg/kg			
33	Zinc (Zn) Olsen Disponible	mg/kg			
34	Capacidad Intercambio Catiónico Aceta (CICA)	cmol(+)/kg	Acetato de amonio 1N pH 7.0		
35	Capacidad Intercambio Catiónico Efectiva (CICE)	cmol(+)/kg	Cálculo		
36	Saturación de Calcio	%			
37	Saturación de Magnesio	%			
38	Saturación de Potasio	%			
39	Saturación de Sodio	%			
40	Saturación de Aluminio	%			
41	Materia Orgánica (>0.25mm)	(g/kg)	Materia Orgánica Walkey & Black Espectrometría		CIAT
42	Materia Orgánica (entre 0.25- 0.106mm)	(g/kg)			
43	Materia Orgánica (<0.106mm)	(g/kg)			
44	Carbono Oxidable (>0.25mm)	(g/kg)	Carbono Oxidable Walkey & Black		
45	Carbono Oxidable (entre 0.25- 0.106mm)	(g/kg)			
46	Carbono Oxidable (<0.106mm)	(g/kg)			

Fuente: Elaboración propia.

---

Se debe tener en consideración que:

- Los resultados ND equivalen a No Determinado entregado por el laboratorio cuando no alcanza niveles de pH detectables.
- Se hace corrección por pW (factor de corrección por humedad) para los análisis de Materia orgánica (MO), Fósforo disponible (P) Bray II, Azufre disponible (S), Acidez intercambiable (Al+H), Aluminio intercambiable (Al), Calcio intercambiable (Ca), Magnesio Intercambiable, Potasio, intercambiable (K), Sodio intercambiable (Na), Hierro disponible (Fe)Olsen, Manganeseo disponible (Mn) Olsen, Zinc disponible (Zn) Olsen, Cobre disponible (Cu) Olsen y Boro disponible (B).
- Los valores del límite de cuantificación del método para Calcio (Ca) menores a 1,12 cmol (+)/kg , Magnesio (Mg) menores a 0,20 cmol (+)/kg y Fósforo (P) Disponible Bray II menores a 3,83 mg/kg , se encuentran fuera del alcance de acreditación.

### **Densidad aparente**

La densidad aparente ( $D_a$ ) es una propiedad del suelo utilizado como indicador de porosidad, compactación y restricción del suelo para el libre desarrollo de las raíces, esto dependiente de factores como la densidad de partículas (arena, limo, arcilla y materia orgánica), la estructura, el clima (lluvias) o la intervención humana (maquinaria agrícola, pastoreo de animales, etc.) que pueden aumentar o disminuir su capacidad (USDA, 1998).

Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, con estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces varían según la textura que presenta el suelo y de la especie (Ingaramo, 2003). Valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Por el contrario, valores altos de densidad aparente son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan dificultades para elongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios (Rubio, 2010).

De acuerdo con las categorías definidas por Arshad et al., (1996), mencionado por USDA (1998), en la Tabla 9 se presentan los valores óptimos (ideales), con posible afectación y restricciones de desarrollo radicular en función de la densidad aparente según la textura.



**Tabla 9. Densidad aparente, cobertura y crecimiento radicular, en base a las texturas identificadas en la cuenca RUT.**

TEXTURA DEL SUELO	Da óptimas	Da QUE PUEDEN AFECTAR EL CRECIMIENTO RADICULAR	Da QUE RESTRINGEN EL CRECIMIENTO RADICULAR
	(g/cm <sup>3</sup> )		
Arena (A) Areno-Franco (AF)	<1,60	1,69	>1,80
Franco-Arenosa (FA)	<1,40	1,63	>1,80
Franco-Arcilla-Arenosa (FArA) Franco(F) Franco-Arcillosa (FAr)	<1,40	1,6	>1,75
Limosa, Franco-Limosa	<1,30	1,6	>1,75
Franco-Limosa (FL) Franco-Arcillo-Limosa (FArL)	<1,40	1,55	>1,65
Arcillo-arenosa (ArA) Arcillo-limosa (ArL) Algunas FAr (35-45% de arcilla)	<1,10	1,39	>1,58
Arcillosa (Ar) (>45% de arcilla)	<1,10	1,39	>1,47

Fuente: Adaptado de USDA (1998).

### **Estabilidad de agregados**

La estabilidad de los agregados (EA) lo define la FAO (2022) como la capacidad de las partículas del suelo (arena, limo y arcilla) de generar unidades de mayor tamaño que mantienen su forma aun cuando presenta fuerzas inducidas, de manera natural o artificialmente, como el impacto de las gotas de agua, maquinaria, pastoreo, entre otros (Orozco, 2016).

Estudios realizados por Buyanovsky et al., (1994), Rothon (2000) mencionado por Martínez et al, (2008), encontraron que existe una relación entre el tamaño de los agregados y el contenido de MOS de la fracción lábil, en donde a mayor tamaño de agregado (macro agregados) mayor es el contenido de MOS y viceversa. Pero a su vez, los agregados de menor tamaño (micro agregados) presentaron mayor asociación a la fracción altamente humificada que se considera estable con período de residencia en el suelo posterior a los siete años aproximadamente. Sin embargo, otros estudios realizados a nivel local han presentado el caso contrario en la asociación entre el tamaño de agregados con la relación de la MOS y contenido de arcillas (Lince et al., 2020).

No obstante, la EA se considera un buen indicador de la sostenibilidad del suelo, por ser sensible a modificaciones a corto plazo, en gran medida asociado a la condición taxonómica, pero también a la interacción entre la flora, la fauna y el clima. Por lo cual, no deja de ser una variable de importancia para proporcionar información relacionada con factores que afectan la productividad desde un enfoque de agricultura (Lince et al., 2020).

En este estudio se determinó el tamaño de agregados del suelo a través de seis tamices: 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm y <0,25 mm.

### **Índice estabilidad**

A partir del método indirecto basado en estudios desarrollado por Pieri (1995) mencionado por Fernández (2014), se determinó el índice estructural del suelo aplicando la Ecuación 3.

$$IE = \frac{\%MO}{(\%L + \%Ar)} * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- IE: índice estructural (adimensional)
- % MO: Porcentaje de materia orgánica
- % L: Porcentaje de Limo
- % Ar: Porcentaje de Arcilla

En cuanto a la interpretación, valores de IE inferiores a 5 indican suelos degradados. Los valores de IE entre 5 y 7 indican suelos con alto riesgo a la degradación física por encostramiento o compactación, valores de IE entre 7 y 9 indican suelos con riesgo moderado a la degradación y valores con IE superiores a 9 representan suelos estructuralmente estables (Tabla 10).

**Tabla 10. Interpretación del índice de estabilidad.**

CATEGORÍA SUELO	RANGO (adimensional)
Degradado	< 5
Alto riesgo a la degradación o compactación	5 – 7
Riesgo moderado a la degradación	7 – 9
Estructuralmente estable	> 9

Fuente: Adaptado de Fernández (2014).

### **Lámina de agua aprovechable**

La Lámina de Agua Aprovechable (LAA) es el contenido de agua en el suelo disponible para las plantas, medido en milímetros entre los valores de capacidad de campo (CC) y punto de marchitamiento permanente (PMP) teniendo en cuenta la densidad aparente (Da) y la profundidad (Ecuación 4) (CORPOICA-PRONATTA, 2003) a diferencia del Agua aprovechable que es la diferencia entre la capacidad de campo (CC) y punto de marchitamiento permanente (PMP) medido en porcentaje (Ecuación 4).

$$AA = CC - PMP \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde: AA: Agua aprovechable (%)  
CC: Capacidad de campo (%)  
PMP: Punto de Marchitez Permanente (%)

$$LAA = \frac{AA}{100} * DA * p * 10 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde: LAA: Lámina de agua aprovechable (mm)  
DA: Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)  
p: profundidad (30 cm)

La LAA se ve afectada por el tipo de arcilla, cantidad materia orgánica, estructura del suelo, cambio de cobertura y manejo, debido a que se modifica la interacción entre las fracciones mineral y orgánica del suelo y por ende, el arreglo estructural de las partículas edáficas (Salcedo, 2007).

Los materiales orgánicos y minerales edáficos, como la arcilla, están íntimamente relacionados en complejos órgano minerales, donde las moléculas de agua sirven de puentes entre estos dos componentes del suelo. Por lo tanto, los aportes de materiales orgánicos incrementarán el tamaño y la estabilidad de agregados, fomentarán una mayor actividad microbiana y favorecerán la fertilidad física del suelo, en general; a la vez, se modificará la hidrodinámica y la capacidad del suelo para almacenar agua disponible para los cultivos (Salcedo, 2007).

### **Categorización de variables fisicoquímicas**

Las demás variables de interés fueron analizadas de acuerdo con las categorías definidas por el Instituto Colombiano Agropecuario – ICA (1992) en la quinta aproximación para la fertilización en diversos cultivos, presentado en la Tabla 11.

**Tabla 11. Rangos de categorización de variables fisicoquímicas del suelo.**

N°	VARIABLE	UNIDAD	REFERENCIA	CATEGORÍAS
1	Porcentaje de arena (% A)	g/100 g	No Aplica	No Aplica
2	Porcentaje de arcilla (% Ar)	g/100 g		
3	Porcentaje de limo (% L)	g/100 g		
4	Clase textural	No aplica	Ar	Arcilla
			ArA	Arcillo Arenosa
			ArL	Arcillo Limosa
			A	Arena
			AF	Arena Franca
			F	Franca
			FAr	Franco Arcillosa
			FArA	Franco Arcillosa Arenosa
			FArL	Franco Arcillo Limosa
			FA	Franco Arenosa
			FL	Franco Limosa
	L	Limosa		

N°	VARIABLE	UNIDAD	REFERENCIA	CATEGORÍAS
Estabilidad estructural (EE)				
5	EE 4 mm	%p/p	No Aplica	No Aplica
6	EE 2 mm	%p/p		
7	EE 1 mm	%p/p		
8	EE 0.5 mm	%p/p		
9	EE 0.25 mm	%p/p		
10	EE < 0.25 mm	%p/p		
11	Diámetro medio ponderado (DMP)	mm	<0.5	Inestable
			0.5-1.5	Ligeramente estable
			1.5-3	Moderadamente estable
			3-5	Estable
			>5	Muy estable
12	Capacidad de campo (CC)	%	No Aplica	No Aplica
13	Punto de marchitez permanente (PMP)	%		
14	Agua aprovechable (AA)	%		
15	Lámina de Agua aprovechable (LAA)	mm	<20	Bajo
			>20	Alto
16	pH (1:2,5)	Unidades de pH	<5.0	Extremadamente ácido
			5.0-5.5	Fuertemente ácido
			5.5-6.0	Moderadamente ácido
			6.0-6.5	Ligeramente ácido
			6.5-7.3	Neutro
			7.4-8.0	AlBugalagrandeno
			>8.0	Muy alBugalagrandeno
17	Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	dS	<2	Ninguna salinidad
			2 – 4	Escasa
			4 – 8	Moderada
			8 – 16	Alta
			>16	Muy alta
18	Materia Orgánica (MO)	g/100 g	<2	Bajos
			2-3	Medios
			>3	Altos
19	Carbono Orgánico (CO)	g/100g	No Aplica	No Aplica
20	Nitrógeno total (NT)	g/100g		
21	Azufre (S) disponible	mg/kg	<5	Muy Bajo
			5-10	Bajo
			10-15	Medio
			>15	Alto
22	Boro (B) Disponible	mg/kg	<0.2	Bajo
			0.2-0.4	Medio
			>0.4	Alto
23	Acidez (Al+H)	cmol(+)/kg	No Aplica	No Aplica
24	Aluminio (Al) Intercambiable	cmol(+)/kg		
Fosforo (P) Disponible (Bray II)				
25	pH < 6.9 - Bray	mg/kg	< 8	Bajo
			8-13	Normal
			13-21	Alto
			>21	Muy Alto
	pH > 7 Olsen	< 12	Bajo	

N°	VARIABLE	UNIDAD	REFERENCIA	CATEGORÍAS
			12-18	Normal
			18-30	Alto
			>30	Muy Alto
26	Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	<3	Bajo
			3-6	Medio
			>6	Alto
27	Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	<1.5	Bajo
			1.5-2.5	Medio
			>2.5	Alto
28	Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg	<0.2	Bajo
			0.2-0.4	Medio
			>0.4	Alto
29	Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	<1	Bajo
			>1	Alto
30	Hierro (Fe) Olsen Disponible	mg/kg	<25	Bajo
			25-50	Medio
			>50	Alto
31	Cobre (Cu) Olsen Disponible	mg/kg	<1	Bajo
			1-3	Medio
			>3	Alto
32	Manganeso (Mn) Olsen Disponible	mg/kg	<5	Bajo
			5-10	Medio
			>10	Alto
33	Zinc (Zn) Olsen Disponible	mg/kg	<1.5	Bajo
			1.5-3	Medio
			>3	Alto
34 y 35	Capacidad Intercambio Catiónico	cmol(+)/kg	<10	Baja
			10.0 - 20.0	Media
			>20	Alta
36	Saturación de Calcio	%	No Aplica	No Aplica
37	Saturación de Magnesio	%		
38	Saturación de Potasio	%		
39	Saturación de Sodio	%		
40	Saturación de Aluminio	%		
41	Materia Orgánica (>0.25mm)	(g/kg)		
42	Materia Orgánica (entre 0.25-0.106mm)	(g/kg)		
43	Materia Orgánica (<0.106mm)	(g/kg)		
44	Carbono Oxidable (>0.25mm)	(g/kg)		
45	Carbono Oxidable (entre 0.25-0.106mm)	(g/kg)		
46	Carbono Oxidable (<0.106mm)	(g/kg)		

Fuente: Adaptado de ICA (1992).

#### 4.5 LÍNEA BASE DE COS EN EL SUELO

El contenido de Carbono Orgánico en el Suelo (COS), expresado en toneladas de carbono almacenadas por hectárea (t/ha) se estimó utilizando la Ecuación 6. Esta metodología ha sido utilizada en diferentes estudios para la cuantificación del COS incluido estudios a nivel nacional por la Red Amazónica de Inventarios Forestales (RAINFOR) (2014), González et al., (2008) Vela et al., (2012), Pérez et al., (2017) Gutiérrez et al., (2019) o Bolívar et al., (2021). Esta técnica de estimación es recomendada por la FAO (2017b), en el libro “Carbono orgánico del suelo, el potencial oculto”, donde se tienen en cuenta los contenidos de carbono determinados en laboratorio por la metodología de Walkey y Black, la densidad aparente y la profundidad del suelo en el muestreo.

$$COS_{reserva} = p * DA * CO * 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

COS<sub>reserva</sub>: Carbono orgánico en el suelo (t/ha)

p: profundidad (30 cm)

DA: Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

CO: Contenido de Carbono Orgánico (g/100g)

De acuerdo con Loayza et al., (2020). la capacidad de almacenamiento de COS se clasificó en 4 categorías:

**Tabla 12. Categorización de almacenamiento de COS.**

CATEGORÍA	RANGO (t/ha)
Bajo	< 40
Medio	40 – 79,9
Alto	80 – 119,9
Muy Alto	≥ 120

Fuente: Adoptado de Loayza et al., (2020).

#### Estimación de COS para la cuenca

Teniendo en cuenta la variabilidad del contenido de contenido de COS en cada uno de los sitios medidos en la cuenca, y lo inapropiado que resultaría utilizar la desviación estándar como indicador del rango de variación del contenido de COS por cuenca, el rango se determinó con base a la distribución de la gráfica de cajas, donde la caja representa el 50% de los datos y el valor mínimo y máximo, que multiplicado por el área de la cuenca, se obtiene el rango COS total por cuenca estimado en toneladas (Ecuación 7).

$$E_{cos} = Ac * m \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

E<sub>cos</sub>: Estimación de COS (t)

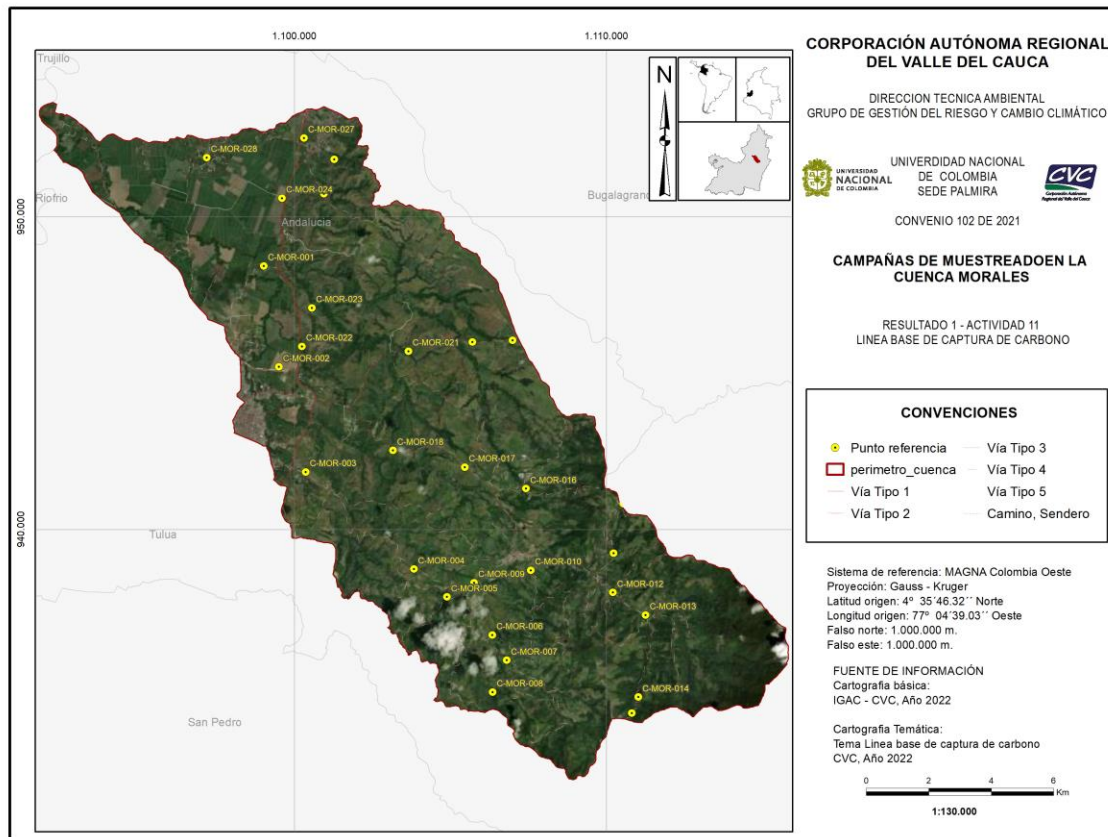
Ac: Área cuenca (ha)

m: valor mínimo o máximo (t/ha)

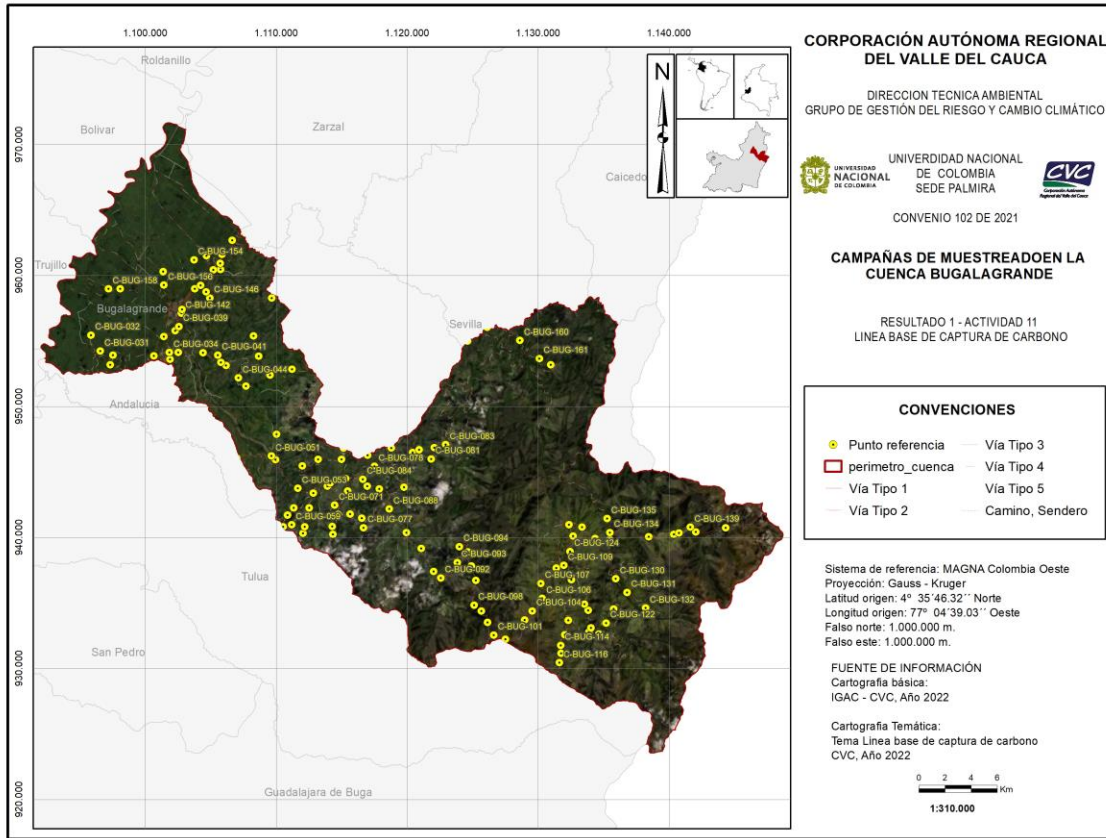
## 5. DISEÑO CAMPAÑAS DE MUESTREO

### 5.1 LOCALIZACIÓN SITIOS DE MUESTREO

Se definieron 288 sitios de muestreo que se distribuyeron en las cuatro cuencas, tal y como se mencionó en la Tabla 6: Morales (28 sitios), Bugalagrande (134 sitios), La Paila (64 sitios) y RUT (62 sitios) (Ver Figura 11, Figura 12, Figura 13 y Figura 14).

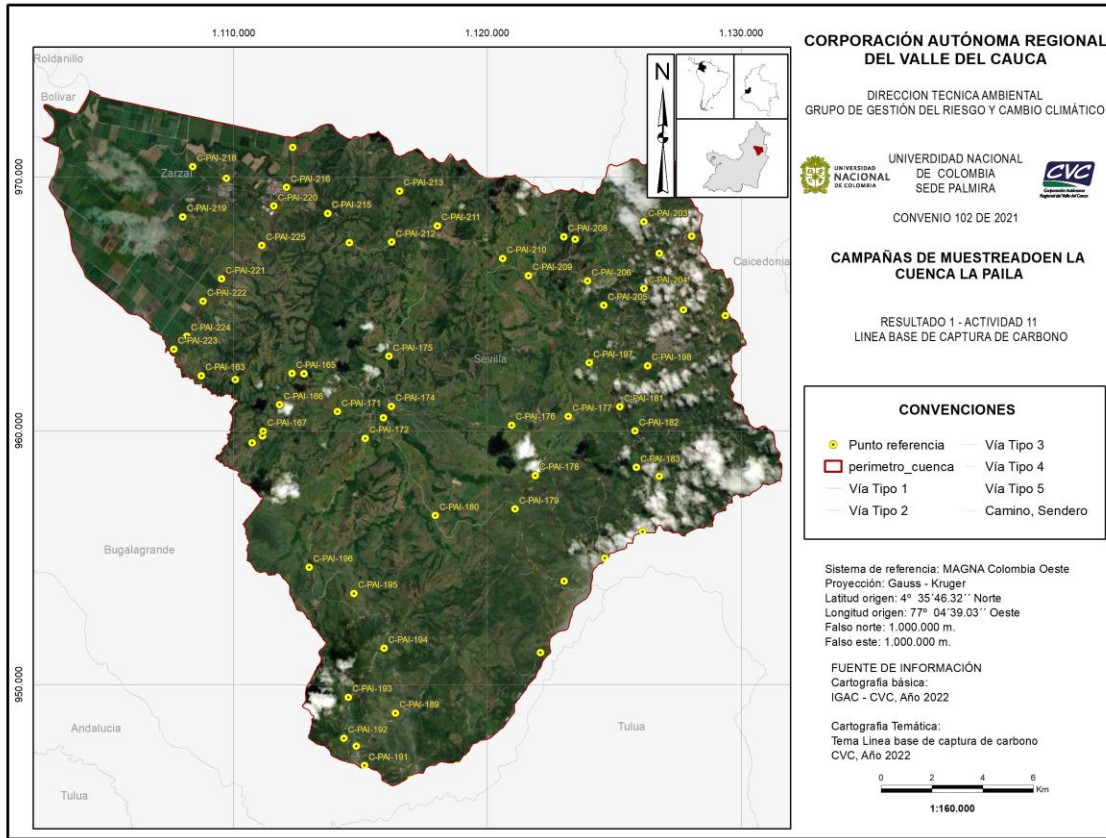


**Figura 11. Distribución de puntos de referencia en la cuenca Morales.**  
Fuente: Elaboración propia.

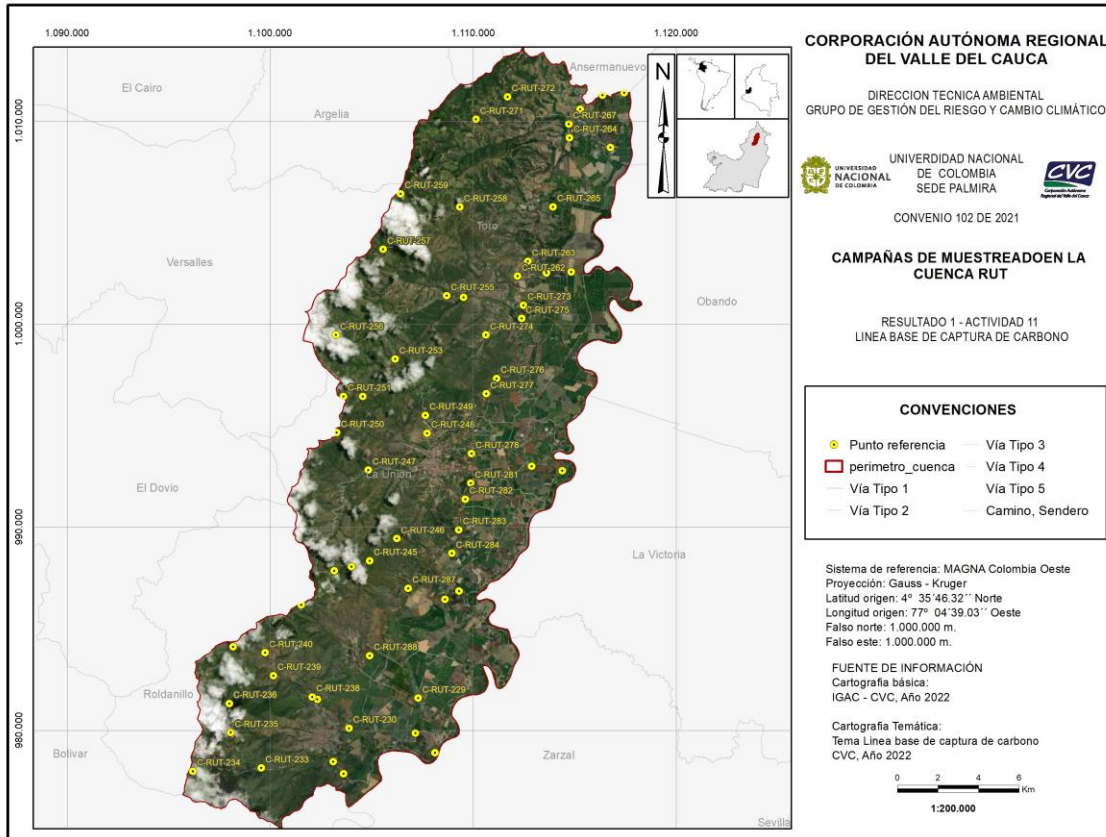


**Figura 12. Distribución de puntos de referencia en la cuenca Bugalagrande.**  
Fuente: Elaboración propia.





**Figura 13. Distribución de puntos de referencia en la cuenca La Paila.**  
Fuente: Elaboración propia.

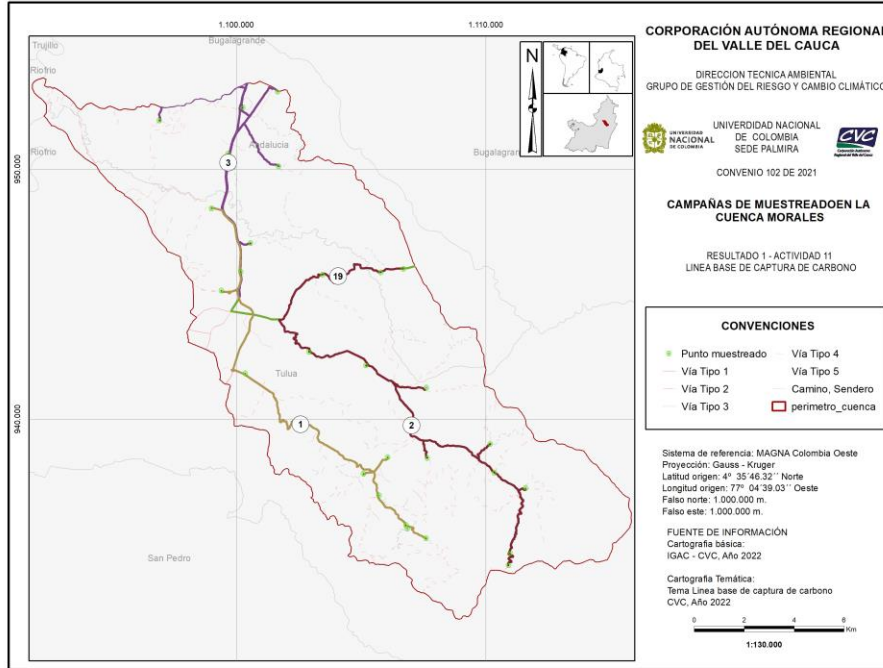


**Figura 14. Distribución de puntos de referencia en la zona de interés en la cuenca RUT.**

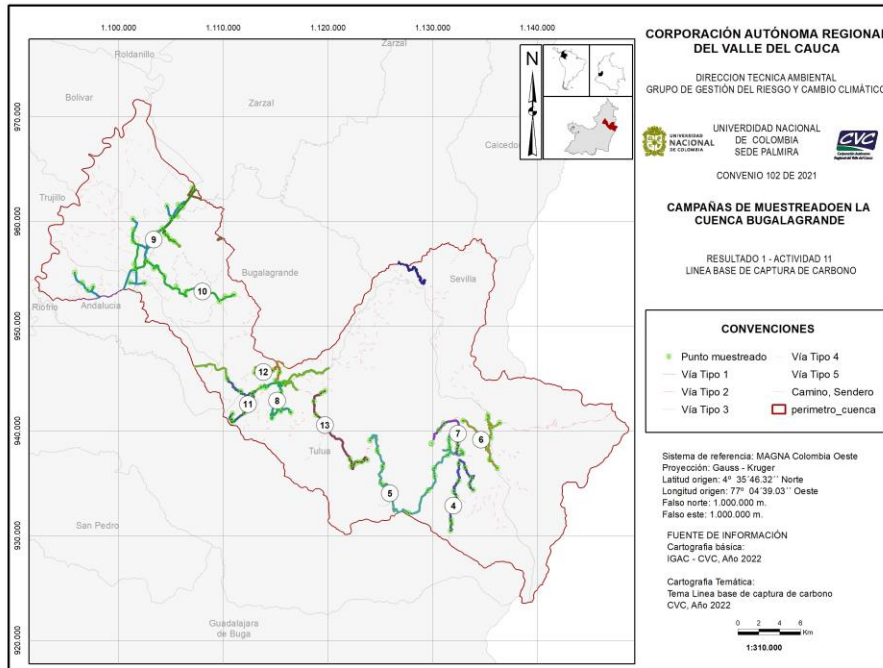
Fuente: Elaboración propia.

## 5.2 DISEÑO DE RUTAS DE MUESTREO DE SUELOS

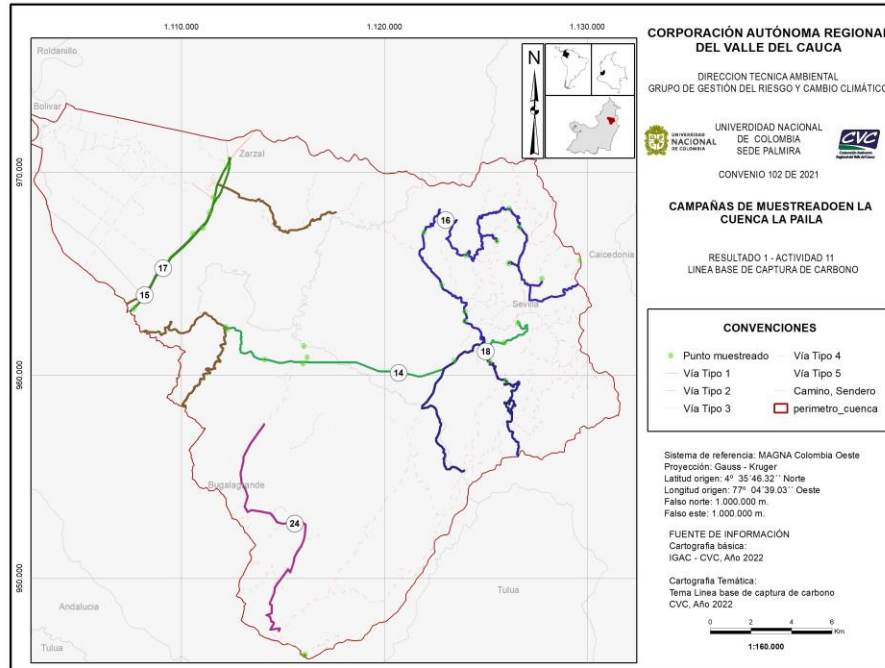
En las Figuras 29 a 32 (Figura 15, Figura 16, Figura 17 y Figura 18), se presentan las rutas definidas en cada una de las zonas de estudio durante las campañas de muestreo. Se desarrollaron 25 rutas de muestreo entre las cuencas Morales, Bugalagrande, La Paila y RUT.



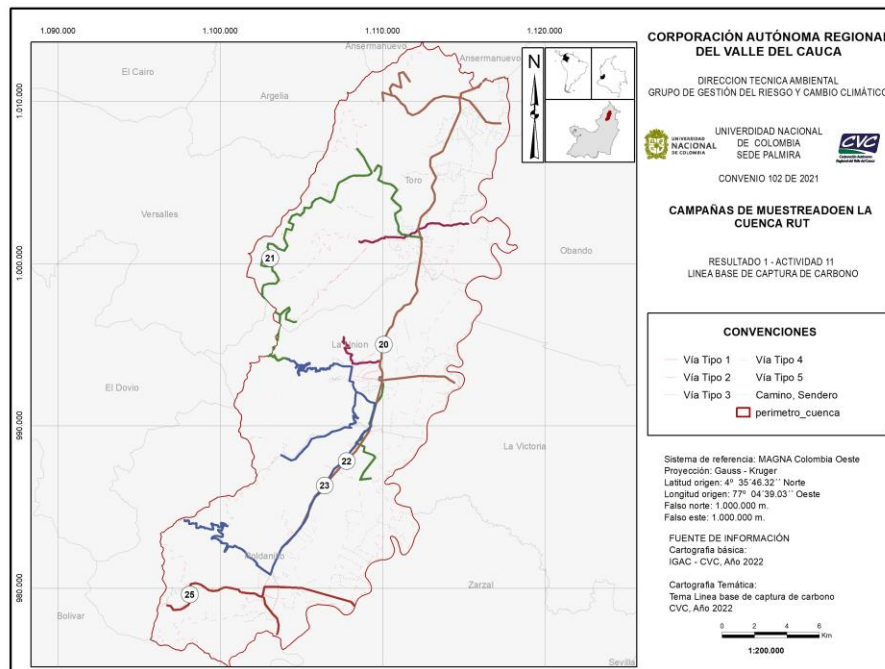
**Figura 15. Rutas de muestreo realizadas en la cuenca Morales.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 16. Rutas de muestreo realizadas en la cuenca Bugalagrande.**  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 17. Rutas de muestreo realizadas en la cuenca La Paila.**  
Fuente: Elaboración propia.

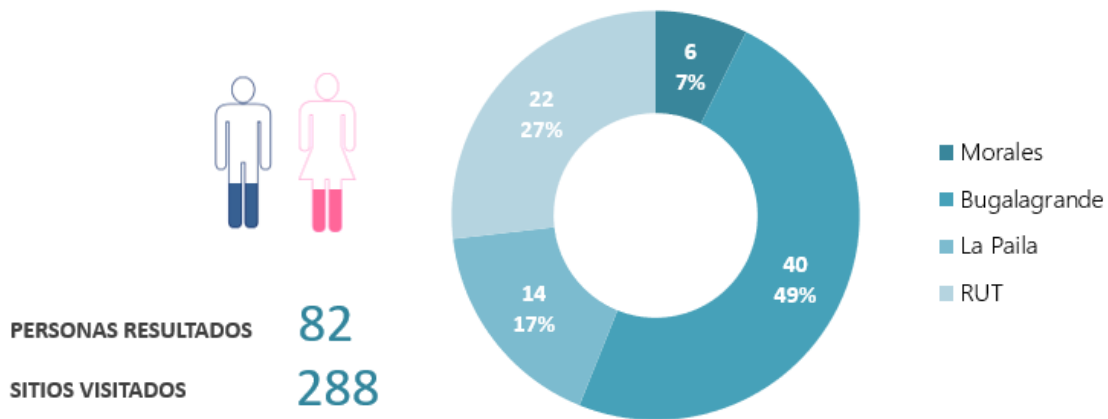


**Figura 18. Rutas de muestreo realizadas en la zona de interés en la cuenca RUT.**  
Fuente: Elaboración propia.

### 5.3 ALCANCE DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO

Uno de los componentes de las campañas de muestreo fue la socialización *in situ*, para las cuatro cuencas se tuvo contacto cercano con 82 personas entre propietarios, agricultores, administradores y residentes de la comunidad en general. Durante la socialización se dio a conocer los objetivos del convenio y la importancia del estudio del COS en la cuenca, además de recibir autorización para el ingreso al predio y la toma de muestra de suelo.

De total de personas contactadas, la mayor participación se tuvo en la cuenca Bugalagrande con 40 personas (49% del total), seguido de la cuenca RUT con 14 personas y en menor medida las cuencas Morales con 6 personas (Figura 19).



**Figura 19. Personas socializadas por cuenca.**

Fuente: Elaboración propia.

## 6. CAMPAÑAS DE MUESTREO DE SUELOS

Para el desarrollo del proyecto se adelantaron 25 campañas de muestreo distribuidas de la siguiente forma: 4 jornadas en la cuenca Morales entre los municipios de Andalucía y Tuluá, para un total de 28 puntos georreferenciados equivalente al 100% de las muestras proyectadas; 10 jornadas en la cuenca Bugalagrande entre los municipios de Bugalagrande, Andalucía y Tuluá, para un total de 134 puntos georreferenciados equivalente al 100%, 6 jornadas en la cuenca La Paila entre los municipios de Zarzal, Sevilla y Bugalagrande, con un total de 64 puntos y seis (6) jornadas en la cuenca RUT con un total de 62 puntos georreferenciados ubicados en los municipios de Roldanillo, La Unión y Toro equivalente al 100% (Tabla 13). La toma de las muestras de los puntos georreferenciados se finalizó el 6 de septiembre del año 2022.

**Tabla 13. Distribución de campañas y sitios de muestreo por cuenca.**

CUENCA	CAMPAÑAS	SITIOS MUESTREADOS	MUESTRAS PREESTABLECIDAS	PORCENTAJE DE AVANCE POR CUENCA
MORALES	4	28	28	100,0%
BUGALAGRANDE	10	134	134	100,0%
LA PAILA	6	64	64	100,0%
RUT	5	62	62	100,0%
<b>TOTAL</b>	<b>25</b>	<b>288</b>	<b>288</b>	<b>100,0%</b>

Fuente: Elaboración propia.

Los puntos se tomaron según la planeación de las rutas y la cercanía entre ellos. Los recorridos se realizan en sentido de la pendiente (pendientes fuertes a superficies planas), esto con el fin de minimizar desplazamientos y avanzar en las campañas de muestreo. Como se mencionó anteriormente, el área de estudio contempla diferentes coberturas para cuantificar el potencial de los suelos agrícolas en captura de carbono. Las coberturas para evaluar varían entre superficies naturales como bosques mixtos densos, superficies plantadas entre pastizales y superficies plantadas de uso agrícola en cultivos variados (caña de azúcar, maíz, maracuyá, tomate, café, plátano, cítricos, papa amarilla, fresa, zanahoria, papaya, guayaba, vid, banano, guanábana, ají, berenjena y aguacate).

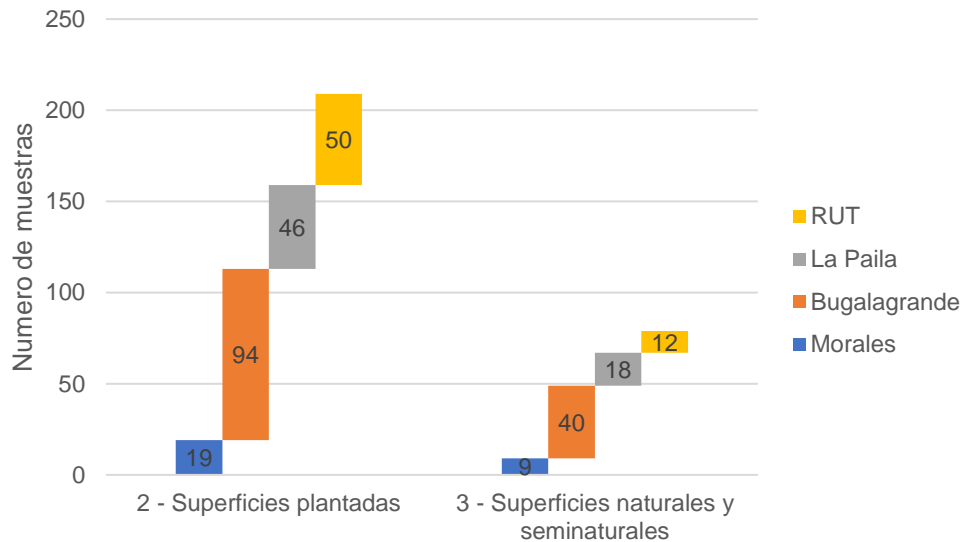
Durante algunos recorridos se contó con el acompañamiento de funcionarios de la SEDAMA de Tuluá en el seguimiento de la labor y apoyo de mano de obra local en el reconocimiento del área de estudio (Fotografía 6).



**Fotografía 6. Acompañamiento de las DAR, DTA y policía en las campañas de muestreo.**

Fuente: Elaboración propia.

En concordancia con las campañas de muestreo (288 sitios), en la Figura 20 se representa la distribución de muestras por cuenca según el tipo de cobertura, indicando que las superficies plantadas representaron el doble de muestras que las superficies naturales y esto responde a la dinámica que se presenta a nivel departamental y a nivel local en cada territorio.



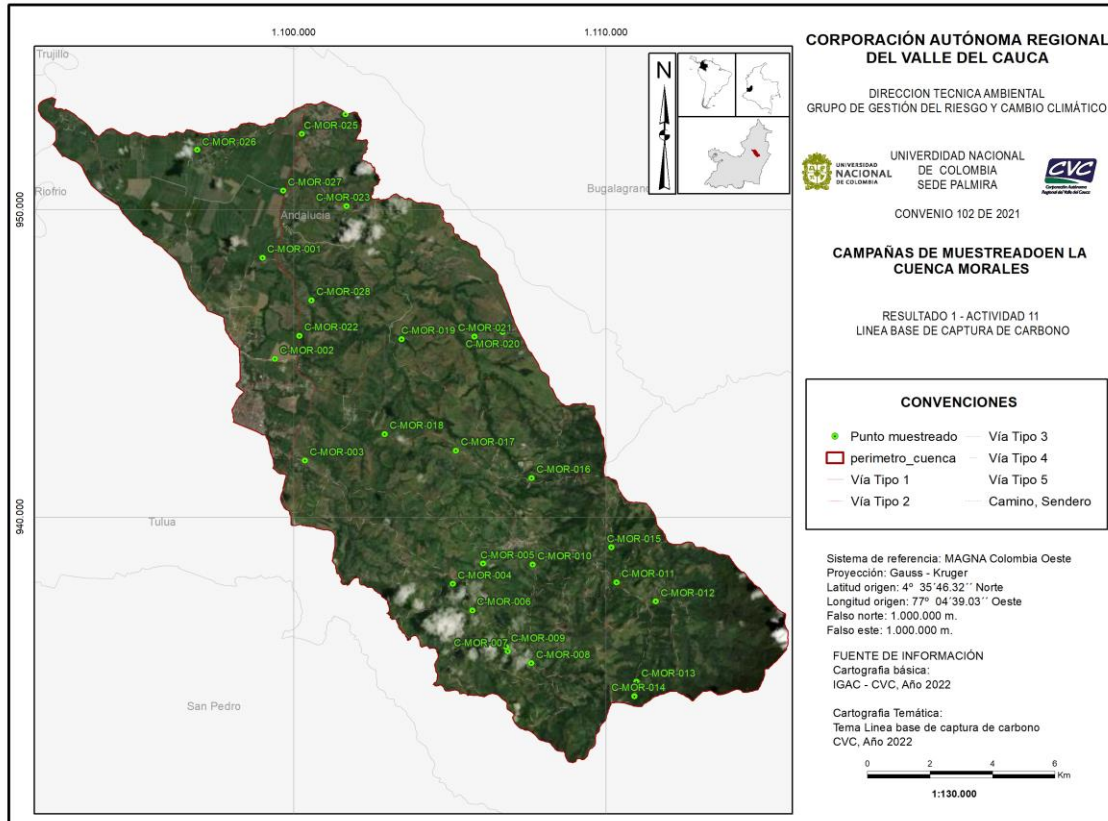
**Figura 20. Distribución de las zonas de reconocimiento y verificación por cuenca.**  
Fuente: Elaboración propia.

Alrededor del 80% de las coberturas presentan coincidencia con la cobertura identificada en campo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que al realizar recorridos en campo se genera un nivel de escala mayor logrando diferenciar áreas relativamente pequeñas (mayores a 100 m<sup>2</sup>) a diferencia de la escala de la información existente que permite identificar áreas homogéneas por encima de los 10.000 m<sup>2</sup>.

### 6.1 CUENCA MORALES

En la cuenca se ejecutó 4 campañas de muestreo con la cual se logró la consecución de todos los puntos preestablecidos y especializados en la superficie de la cuenca (Figura 21).





**Figura 21. Distribución de puntos muestreados en la cuenca Morales.**

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 14 se incluye la localización de los 28 puntos muestreados en la Cuenca Morales. Para cada uno de los puntos se incluye una coordenada geográfica bajo el sistema de referencia WGS84.

**Tabla 14. Identificación y coordenadas de los puntos muestreados en la cuenca Morales.**

MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD	MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD
1	C-MOR-001	-76,185839	4,129415	15	C-MOR-015	-76,0854104	4,04396201
2	C-MOR-002	-76,182244	4,099599	16	C-MOR-016	-76,1083228	4,06443397
3	C-MOR-003	-76,173662	4,069651	17	C-MOR-017	-76,1301518	4,07250862
4	C-MOR-004	-76,131114	4,033247	18	C-MOR-018	-76,1506325	4,07739031
5	C-MOR-005	-76,122322	4,039225	19	C-MOR-019	-76,1457599	4,10539645
6	C-MOR-006	-76,125489	4,025439	20	C-MOR-020	-76,1166503	4,10738392
7	C-MOR-007	-76,115284	4,013331	21	C-MOR-021	-76,1247815	4,10612426
8	C-MOR-008	-76,108497	4,009832	22	C-MOR-022	-76,1752328	4,10640722
9	C-MOR-009	-76,115750	4,014690	23	C-MOR-023	-76,1615437	4,14458416
10	C-MOR-010	-76,108098	4,038920	24	C-MOR-024	-76,1618768	4,17169347
11	C-MOR-011	-76,083908	4,033660	25	C-MOR-025	-76,1744684	4,16585957
12	C-MOR-012	-76,072636	4,028025	26	C-MOR-026	-76,2045581	4,16127019
13	C-MOR-013	-76,078227	4,004317	27	C-MOR-027	-76,1798539	4,14916760
14	C-MOR-014	-76,078847	4,000110	28	C-MOR-028	-76,1717431	4,11684862

Fuente: Elaboración propia.

De los 28 puntos muestreados el 67,86% son superficies plantadas y el 32,14% superficies naturales y seminaturales.

Del 67,86% de las superficies plantadas el 32,14% corresponden a pastos cultivados en los que participan las muestras 3, 5, 6, 10, 17, 21, 23, 24, 28 (C-MOR-003, C-MOR-005, C-MOR-006, C-MOR-010, C-MOR-017, C-MOR-021, C-MOR-023, C-MOR-024, C-MOR-028), ubicadas en los municipios de Tuluá y Andalucía, los puntos corresponden a suelos bien drenados, terreno homogéneo con labranza cero, clima cálido - medio y dedicados especialmente a la ganadería (

Fotografía 7). Un punto a favor de los potreros donde se tomaron las muestras es que se encontraban en descanso (excepto el punto C-MOR-006) debido a que sus propietarios manejaban división de potreros.



**Fotografía 7. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados.**

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el 35,71% están asociados a cultivos de plátano (C-MOR-012), maracuyá (C-MOR-001), cítricos (C-MOR-007, 018 y 026), caña (C-MOR-002, 020, 025 y 027) y café-plátano (C-MOR-013).

La muestra 12 (C-MOR-012) correspondiente al cultivo de plátano, cuenta con un suelo de labranza mínima, bien drenado, clima medio y pendiente fuertemente inclinada (Fotografía 8).



**Fotografía 8. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de plátano.**  
Fuente: Elaboración propia.

La muestra 1 (C-MOR-001) relacionada al cultivo de maracuyá, posee suelo bien drenado, clima cálido, terreno homogéneo y plano y un manejo del cultivo con cobertura plástica (Fotografía 9).



**Fotografía 9. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de maracuyá.**  
Fuente: Elaboración propia.

La muestra C-MOR-013 perteneciente al cultivo de café asociado con plátano se encuentra ubicada en la parte alta del municipio de Tuluá (corregimiento venus), contiene suelos con buen drenaje natural (esorrentía), clima templado y labranza mínima (Fotografía 10).



**Fotografía 10. Reconocimiento punto de muestreo en Café - Plátano.**  
Fuente: Elaboración propia.

Las muestras CMOR007, 018 y 026 correspondientes a cítricos, están ubicadas en los municipios de Tuluá y Andalucía, cuenta con terrenos homogéneos, suelos bien drenados, clima cálido, labranza mínima y conservan la cubierta vegetal del suelo (pastos) (Fotografía 11).



**Fotografía 11. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de cítricos.**  
Fuente: Elaboración propia.

Las muestras C-MOR-002, 020, 025 y 027 pertenecientes a cultivos de caña de azúcar, están ubicados en el municipio de Tuluá y Andalucía, cuentan con clima cálido, suelos bien drenados y terrenos planos y homogéneos (Fotografía 12).



**Fotografía 12. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de caña de azúcar.**

Por otra parte, el 32,14% correspondientes a superficies naturales y seminaturales en los que participan las muestras C-MOR-004, 008, 009, 011, 014, 015, 016, 019 y 022, son suelos con cobertura de bosque natural y guaduales intervenidos, están ubicados en el municipio de Tuluá en un clima medio (C-MOR-011, 014, 015) y cálido y con buen drenaje. (Fotografía 13).



**Fotografía 13. Reconocimiento punto de muestreo en bosque natural y guadua intervenido.**

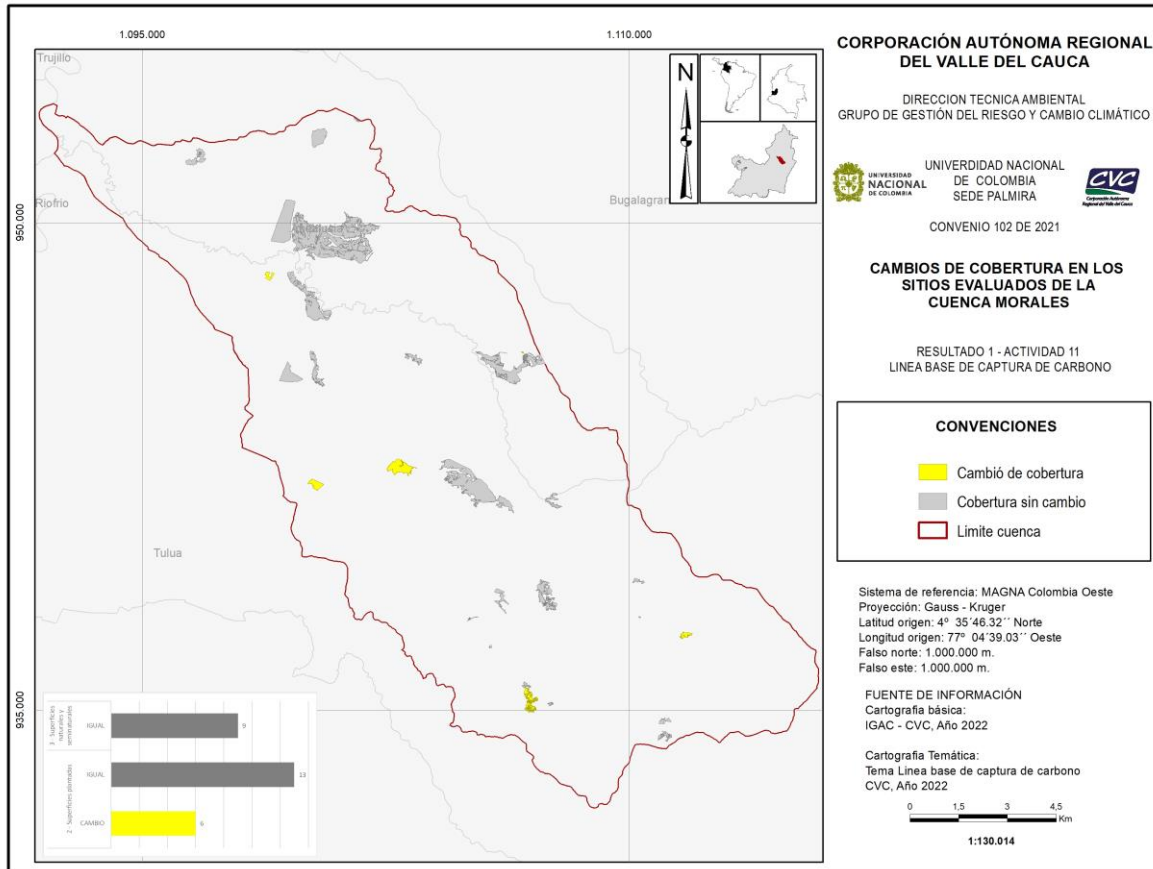
En general, de los 28 sitios muestreados, 22 coinciden con la clasificación de cobertura reportada (79%) por CVC para el año 2018, mientras que 6 (equivalente al 21%) presentan cambios de clasificación. Los cambios se presentaron principalmente por actividades agrícolas en superficies plantadas por rotación de cultivos o establecimiento de cultivos (Tabla 15).

**Tabla 15. Cambios de cobertura identificados en la cuenca Morales.**

CÓDIGO	COBERTURA REPORTADA	CONVERSIÓN IDENTIFICADA
C-MOR-001	22181 - Maíz	23231 - Maracuyá
C-MOR-003	22171 - Caña de azúcar	23170 - Pasto cultivado
C-MOR-007	23170 - Pasto cultivado	21231 - Limón
C-MOR-012	23170 - Pasto cultivado	22113 - Plátano
C-MOR-018	23171 - Pasto cultivado arbolado	21231 - Limón
C-MOR-020	23172 - Pasto cultivado enmalezado	22171 - Caña de azúcar

Fuente: Elaboración propia.

La localización de los cambios se presenta en la zona alta y media de la cuenca estos sitios, se identifican en toda la cuenca, desde la parte alta hasta la parte baja de cuenca resaltado en amarillo (Figura 22).

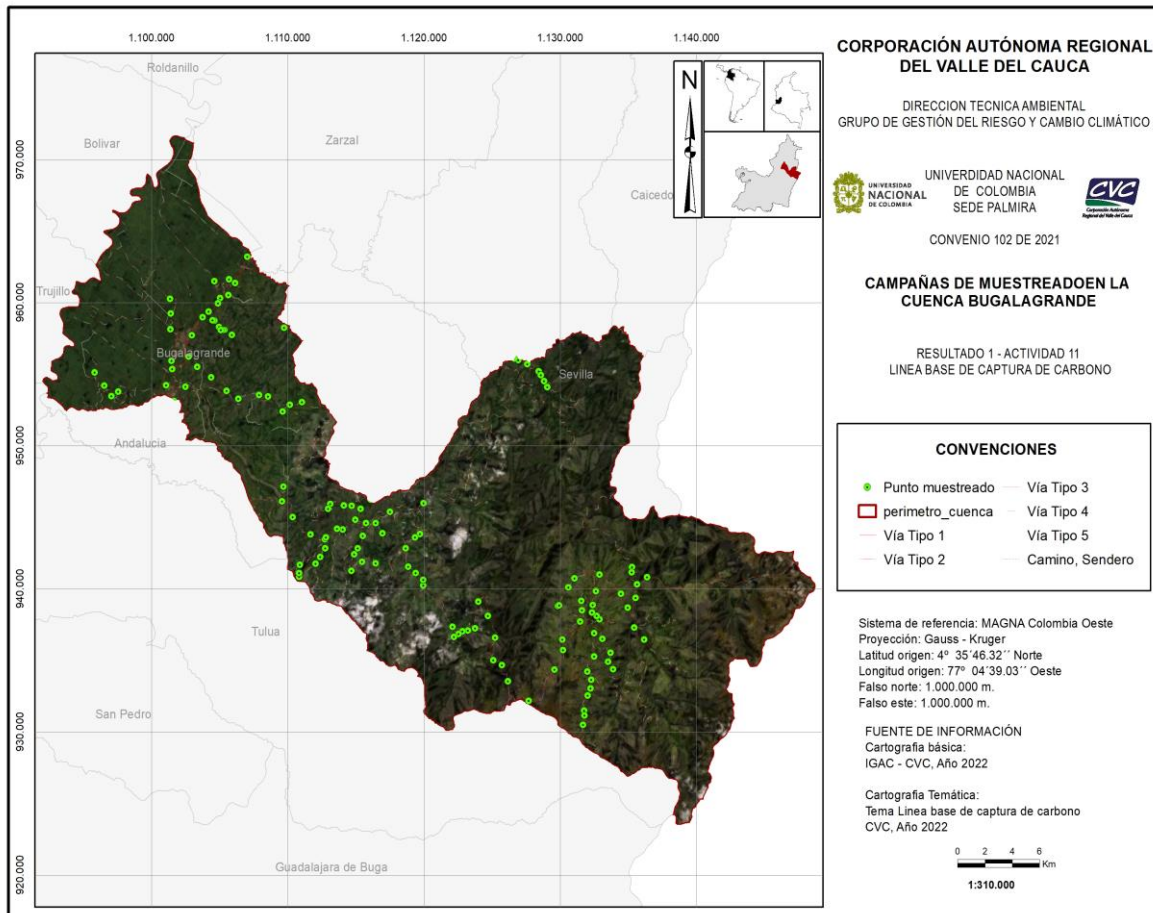


**Figura 22. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca Morales.**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

## 6.2 CUENCA BUGALAGRANDE

Se realizaron diez campañas de muestreo en la cuenca Bugalagrande, a lo largo de toda la cuenca priorizando la zona alta de difícil acceso, donde se presenta terrenos con pendientes inclinadas y fuertemente inclinadas adicionalmente. Para la cuenca se recolectaron la totalidad de 134 muestras, equivalente al 100% de los puntos preestablecidos en el área de la cuenca. (Figura 23).



**Figura 23. Distribución de puntos muestreados en la cuenca Bugalagrande.**  
 Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16 se incluye la localización de los 134 puntos muestreados en la cuenca Bugalagrande. Para cada uno de los puntos se incluye una coordenada geográfica bajo el sistema de referencia WGS84.

**Tabla 16. Identificación y coordenadas de los puntos muestreados en la cuenca Bugalagrande.**

MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD	MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD
1	C-BUG-029	-75,884497	4,024576	68	C-BUG-096	-76,163894	4,227033
2	C-BUG-030	-75,884348	4,009860	69	C-BUG-097	-76,164304	4,217023
3	C-BUG-031	-75,889013	4,000462	70	C-BUG-098	-76,163638	4,197119
4	C-BUG-032	-75,886312	3,995155	71	C-BUG-099	-76,152124	4,199641
5	C-BUG-033	-75,888808	3,985186	72	C-BUG-100	-76,146655	4,193382
6	C-BUG-034	-75,891128	3,975803	73	C-BUG-101	-76,137220	4,186543
7	C-BUG-035	-75,890801	3,972759	74	C-BUG-102	-76,127236	4,178084
8	C-BUG-036	-75,891892	3,966880	75	C-BUG-103	-76,119409	4,173042
9	C-BUG-037	-75,886811	3,989862	76	C-BUG-104	-76,105572	4,175459
10	C-BUG-038	-75,878965	4,021106	77	C-BUG-105	-76,090201	4,165086
11	C-BUG-039	-75,873468	4,012296	78	C-BUG-106	-76,085421	4,169188
12	C-BUG-040	-75,875301	4,006742	79	C-BUG-107	-76,077407	4,170846
13	C-BUG-041	-75,871886	4,001956	80	C-BUG-108	-76,099856	4,174596
14	C-BUG-042	-75,880900	4,033512	81	C-BUG-109	-76,062239	4,084207
15	C-BUG-043	-75,882710	4,035662	82	C-BUG-110	-76,061983	4,078555
16	C-BUG-044	-75,885281	4,042406	83	C-BUG-111	-76,065464	4,073042
17	C-BUG-045	-75,892398	4,039214	84	C-BUG-112	-76,068427	4,068928
18	C-BUG-046	-75,892959	4,045049	85	C-BUG-113	-76,079329	4,060498
19	C-BUG-047	-75,893705	4,032166	86	C-BUG-114	-76,079400	4,062941
20	C-BUG-048	-75,905459	4,020571	87	C-BUG-115	-76,078895	4,068077
21	C-BUG-049	-75,904999	4,014073	88	C-BUG-116	-76,061554	4,085472
22	C-BUG-050	-75,910774	4,001783	89	C-BUG-117	-76,071680	4,087306
23	C-BUG-051	-75,927646	3,981960	90	C-BUG-118	-76,083432	4,098180
24	C-BUG-052	-75,941360	3,994465	91	C-BUG-119	-76,042130	4,096587
25	C-BUG-053	-75,945326	4,004643	92	C-BUG-120	-76,038710	4,103392
26	C-BUG-054	-75,950985	4,007583	93	C-BUG-121	-76,044596	4,105270
27	C-BUG-055	-75,949771	4,021859	94	C-BUG-122	-76,049679	4,105623
28	C-BUG-056	-75,954598	4,035770	95	C-BUG-123	-76,058809	4,106452
29	C-BUG-057	-75,960997	4,044740	96	C-BUG-124	-76,060212	4,103444
30	C-BUG-058	-75,859343	4,066517	97	C-BUG-126	-75,963019	4,027976
31	C-BUG-059	-75,859425	4,063010	98	C-BUG-127	-75,967717	4,026447
32	C-BUG-060	-75,849485	4,059931	99	C-BUG-128	-75,971345	4,025929
33	C-BUG-061	-75,856092	4,055496	100	C-BUG-129	-75,973892	4,024387
34	C-BUG-062	-75,857025	4,046934	101	C-BUG-130	-75,976938	4,022380
35	C-BUG-063	-75,851406	4,020570	102	C-BUG-131	-75,978072	4,028849
36	C-BUG-064	-75,858027	4,028302	103	C-BUG-132	-75,997296	4,055004
37	C-BUG-065	-75,862252	4,040825	104	C-BUG-133	-75,997419	4,058482
38	C-BUG-066	-75,866719	4,049686	105	C-BUG-134	-76,002333	4,062757
39	C-BUG-067	-75,880742	4,061618	106	C-BUG-135	-76,007328	4,066887
40	C-BUG-068	-75,908373	4,041823	107	C-BUG-136	-76,008962	4,078513
41	C-BUG-069	-75,907457	4,042187	108	C-BUG-137	-75,999370	4,087443
42	C-BUG-070	-75,901504	4,053753	109	C-BUG-138	-76,002684	4,085475
43	C-BUG-071	-75,897245	4,059305	110	C-BUG-151	-76,128473	4,216488
44	C-BUG-072	-75,883144	4,051311	111	C-BUG-152	-76,132155	4,218421
45	C-BUG-073	-75,885767	4,037753	112	C-BUG-153	-76,135232	4,222382
46	C-BUG-074	-76,037255	4,086413	113	C-BUG-154	-76,136405	4,222784
47	C-BUG-075	-76,040658	4,078555	114	C-BUG-155	-76,125910	4,238705



MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD	MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD
48	C-BUG-076	-76,042920	4,074724	115	C-BUG-156	-76,121536	4,246294
49	C-BUG-077	-76,044820	4,064290	116	C-BUG-165	-76,113251	4,262846
50	C-BUG-078	-76,037712	4,069969	117	C-BUG-166	-76,138877	4,228093
51	C-BUG-079	-76,028723	4,068995	118	C-BUG-195	-75,934259	4,197353
52	C-BUG-080	-76,035166	4,094417	119	C-BUG-196	-75,928338	4,194628
53	C-BUG-081	-76,050578	4,090434	120	C-BUG-197	-75,920717	4,190248
54	C-BUG-082	-76,054347	4,090880	121	C-BUG-198	-75,919310	4,187761
55	C-BUG-083	-76,208106	4,181502	122	C-BUG-199	-75,917175	4,183980
56	C-BUG-084	-76,214313	4,189705	123	C-BUG-200	-75,915111	4,180197
57	C-BUG-085	-76,203188	4,174811	124	C-BUG-208	-76,019240	4,101592
58	C-BUG-086	-76,198690	4,177684	125	C-BUG-209	-75,997113	4,107055
59	C-BUG-087	-76,154415	4,180849	126	C-BUG-210	-76,024209	40,880429
60	C-BUG-088	-76,167243	4,181817	127	C-BUG-211	-7,602875	4,094545
61	C-BUG-089	-76,163086	4,192016	128	C-BUG-212	-76,090592	4,108242
62	C-BUG-090	-76,149986	4,213132	129	C-BUG-213	-76,089660	4,117553
63	C-BUG-091	-76,142868	4,224649	130	C-BUG-214	-7,612369	4,213364
64	C-BUG-092	-76,125346	4,248664	131	C-BUG-215	-0,761295	4,216599
65	C-BUG-093	-76,131431	4,236756	132	C-BUG-216	-7,613094	4,216600
66	C-BUG-094	-76,135115	4,247434	133	C-BUG-217	-76,089172	4,217970
67	C-BUG-095	-76,164495	4,236358	134	C-BUG-218	-76,132836	4,233496

Fuente: Elaboración propia.

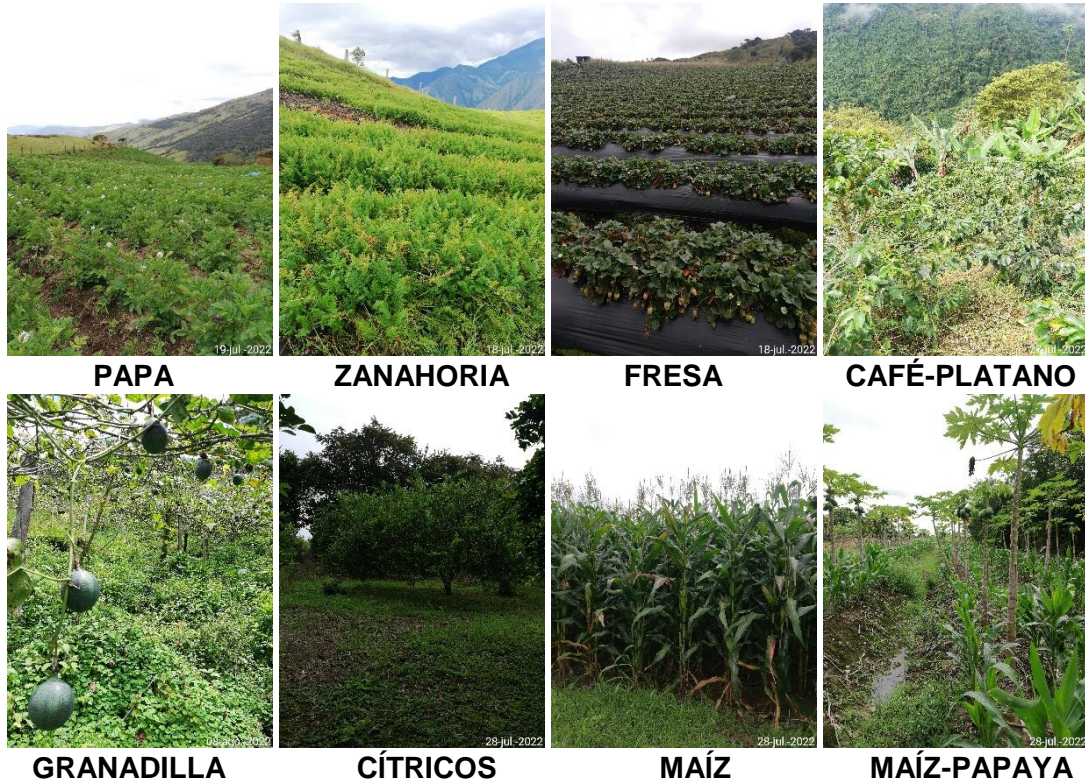
De las superficies cultivadas el 41% (48 muestras) de ellas son pastos que están distribuidos de la siguiente manera, 20 muestras (C-BUG-029, 030, 032, 033, 037, 039, 041, 042, 044, 046, 047, 048, 050, 058, 060, 062, 064, 065, 070 y 071) ubicadas en la parte alta del municipio de Tuluá (corregimiento de Barragán) a una altura que oscila entre los 2850 a los 3000 msnm, clima frío y suelos oscuros con buen drenaje. Tres en la zona media (C-BUG- 052, 054 y 057) de la cuenca con un clima templado y a una altura de 1600 msnm, suelos con buen drenaje y labranza cero y 25 (C-BUG-080, 081, 087, 089, 092, 098, 099, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 107, 108, 109, 114, 118, 121, 127, 133, 136, 152, 155 y 156) en la zona plana de la cuenca, ubicados a una altura que va desde 966 hasta los 1.000 msnm, clima cálido, suelos bien drenados y terreno homogéneo (Fotografía 14).



**Fotografía 14. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados.**

Fuente: Elaboración propia.

El otro 29,9% de las superficies cultivadas están constituidas por diversa clase de cultivos presente en la zona alta, media y baja con climas que van de frío a cálido. En la zona alta se muestreó en cultivos como fresa (C-BUG-031 y 035), papa (C-BUG-043, 051, 072, y 073), zanahoria (C-BUG-038), tomate (C-BUG-068) presentes en suelos oscuros y con buen drenaje. En zona media la granadilla (C-BUG-130) y Café asociado con plátano (C-BUG-078, 079, 110, 111, 112, 113, 132, 134 y 135) establecidos en suelos bien drenados y de mínima labranza. En la zona baja se muestrearon cultivos tradicionales como maíz (C-BUG-059, 066, 083, 088 y 097), cítricos (C-BUG-086, 094 y 095), cítricos asociados con plátano (C-BUG-096), papaya asociada con maíz (C-BUG-085), sorgo (C-BUG-166) y caña de azúcar (C-BUG-084, 091, 093 y 165) establecidos en suelos con buen drenaje con labranza mínima para el cultivo de papaya-maíz y cítricos y la branza convencional para cultivos como la caña, el maíz y el sorgo (Fotografía 15).



**Fotografía 15. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos presentes.**

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el 29,1% (34 muestras) corresponde a bosque natural, suelos con buen drenaje natural (escorrentía), ubicados en diferentes tipos de clima; frío (C-BUG-034, 036, 040, 045, 049, 061, 063, 067 y 069), templado (C-BUG-053, 055 y 056) y cálido (C-BUG-074, 075, 076, 077, 082, 090, 106, 115, 116, 117, 119, 120, 122, 123, 124, 126, 128, 129, 137, 138, 151, 153, 154).

En la superficie donde se tomaron las muestras (C-BUG-076 y 077) de suelo en bosque natural se observó que está siendo sustituida por cultivos de café y plátano (Fotografía 16).



**Fotografía 16. Reconocimiento punto de muestreo en café y plátano.**  
Fuente: Elaboración propia.

En general, de los 134 sitios muestreados, 90 coinciden con la clasificación de cobertura reportada (67%) por CVC para el año 2006, mientras que 44 (equivalente al 33%) presentan cambios de clasificación. Los cambios se presentaron principalmente de superficies naturales a superficies plantadas donde se presentan actividades agrícolas (Tabla 17).

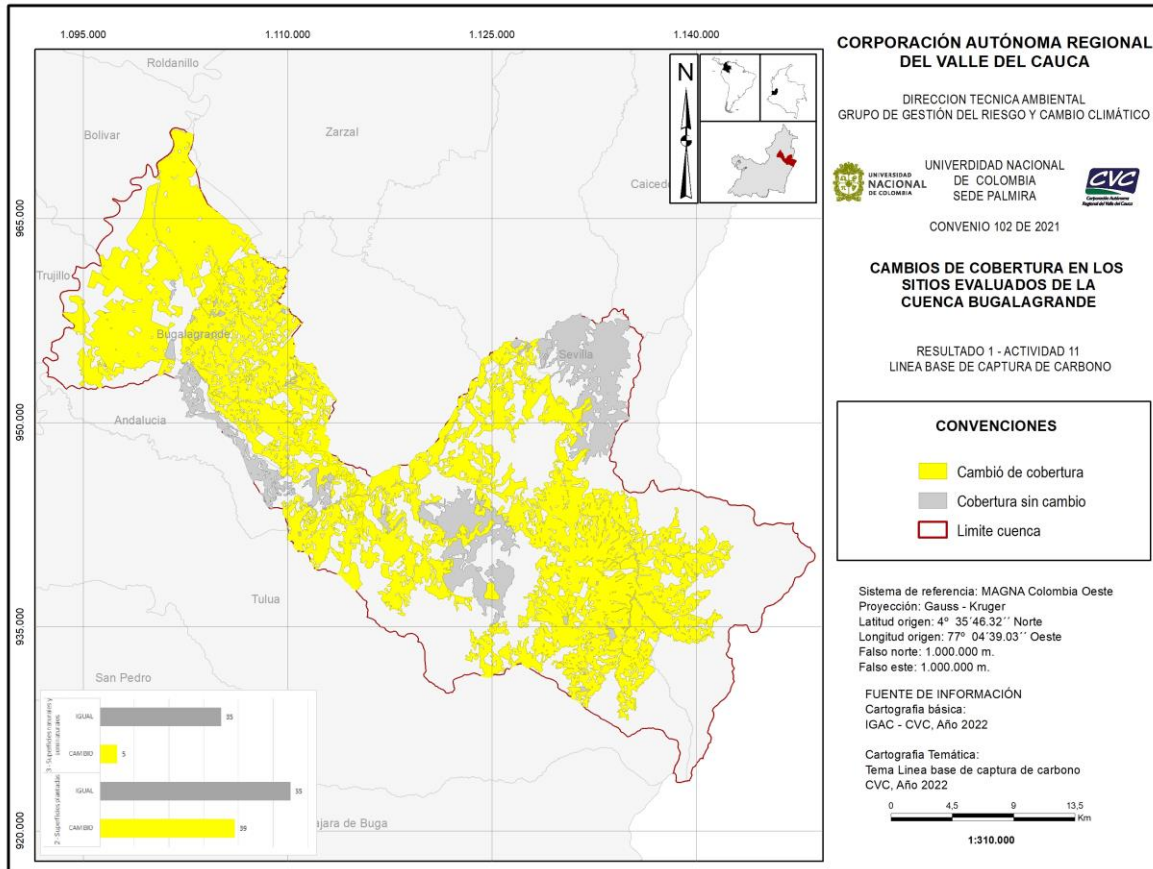
**Tabla 17. Cambios de cobertura identificados en la cuenca Bugalagrande.**

CÓDIGO	COBERTURA REPORTADA	CONVERSIÓN IDENTIFICADA
C-BUG-031	23170 - Pasto cultivado	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos
C-BUG-035	23170 - Pasto cultivado	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos
C-BUG-038	23170 - Pasto cultivado	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos
C-BUG-045	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	21120 - Eucalipto
C-BUG-048	23151 - Papa	23170 - Pasto cultivado
C-BUG-051	23170 - Pasto cultivado	23151 - Papa
C-BUG-053	21120 - Eucalipto	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme
C-BUG-054	23151 - Papa	23170 - Pasto cultivado
C-BUG-056	21120 - Eucalipto	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme
C-BUG-059	23170 - Pasto cultivado	22181 - Maíz
C-BUG-063	23170 - Pasto cultivado	32111 - Arbustal y matorral denso bajo de tierra firme
C-BUG-066	23170 - Pasto cultivado	22181 - Maíz
C-BUG-068	23170 - Pasto cultivado	23411 - Otros Cultivos confinados
C-BUG-069	23170 - Pasto cultivado	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme
C-BUG-070	23170 - Pasto cultivado	23171 - Pasto cultivado arbolado
C-BUG-072	23170 - Pasto cultivado	23151 - Papa
C-BUG-073	23170 - Pasto cultivado	23151 - Papa

CÓDIGO	COBERTURA REPORTADA	CONVERSIÓN IDENTIFICADA
C-BUG-076	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	22122 - Café-Plátano
C-BUG-077	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	22122 - Café-Plátano
C-BUG-078	23170 - Pasto cultivado	24140 - Misceláneo de cultivos y espacios naturales
C-BUG-079	23170 - Pasto cultivado	22122 - Café-Plátano
C-BUG-085	21230 - Misceláneo de Cítricos	24110 - Otras asociaciones de cultivos
C-BUG-088	23170 - Pasto cultivado	22181 - Maíz
C-BUG-091	23131 - Sorgo	22171 - Caña de azúcar
C-BUG-092	23141 - Soya	23170 - Pasto cultivado
C-BUG-094	23170 - Pasto cultivado	21230 - Misceláneo de Cítricos
C-BUG-097	22171 - Caña de azúcar	22181 - Maíz
C-BUG-110	23170 - Pasto cultivado	22122 - Café-Plátano
C-BUG-111	23170 - Pasto cultivado	22122 - Café-Plátano
C-BUG-112	23170 - Pasto cultivado	22122 - Café-Plátano
C-BUG-113	23170 - Pasto cultivado	22122 - Café-Plátano
C-BUG-119	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme
C-BUG-121	22122 - Café-Plátano	23170 - Pasto cultivado
C-BUG-122	23170 - Pasto cultivado	31352 - Bosque de guadua
C-BUG-127	24111 - Hortalizas	23170 - Pasto cultivado
C-BUG-130	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	22161 - Granadilla
C-BUG-132	23170 - Pasto cultivado	22122 - Café-Plátano
C-BUG-134	23170 - Pasto cultivado	22122 - Café-Plátano
C-BUG-135	23170 - Pasto cultivado	22122 - Café-Plátano
C-BUG-138	23170 - Pasto cultivado	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme
C-BUG-154	23170 - Pasto cultivado	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos
C-BUG-197	23241 - Frijol	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme
C-BUG-213	23170 - Pasto cultivado	21230 - Misceláneo de Cítricos
C-BUG-218	23161 - Pasto de corte	22171 - Caña de azúcar

Fuente: Elaboración propia.

La localización de los cambios se presenta en toda la cuenca, desde la parte alta hasta la parte baja, zonas resaltadas en amarillo (Figura 24). Sin embargo, por configuración de la información secundaria de referencia (capa de coberturas CLC escala 1:25.000), la cobertura en pastos cultivados se encuentra unificadas en un mismo polígono por predios contiguos, por tanto, al realizar al asignar la condición de cambio la visualización de las áreas sobreestiman las verdaderas áreas de cambio.

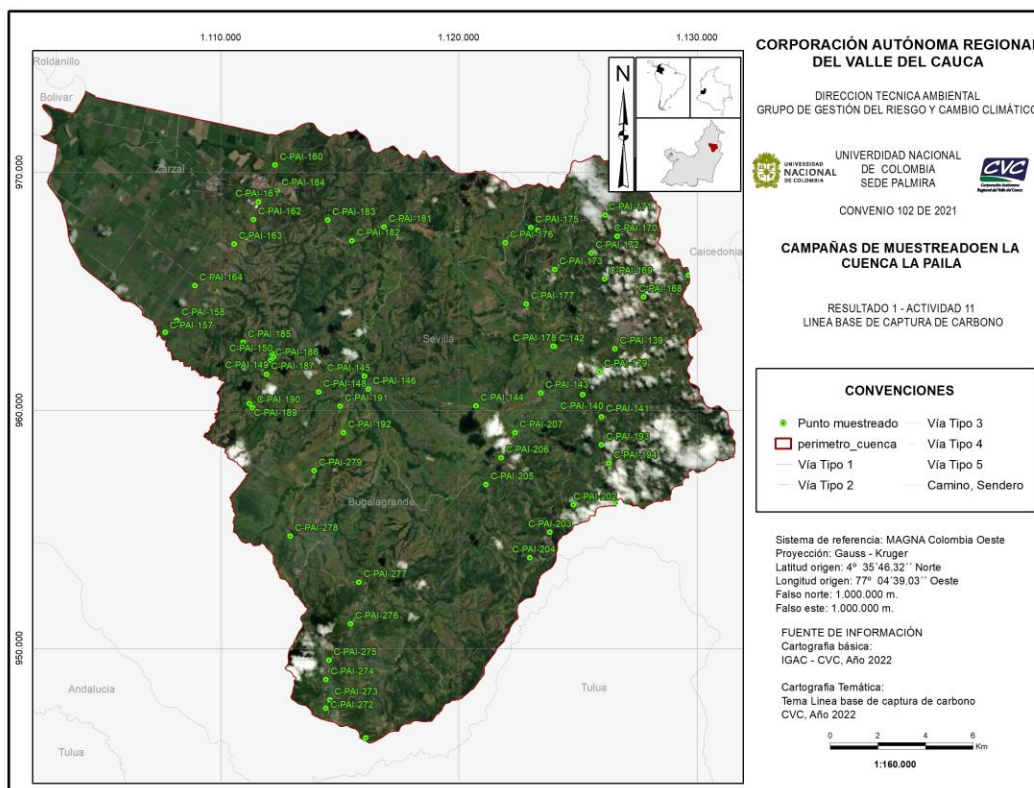


**Figura 24. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca Bugalagrande.**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

### 6.3 CUENCA LA PAILA

Se ejecutaron seis campañas de muestreo donde se reconoció la parte alta, media y baja de la cuenca. A partir de estas salidas, se logró recolectar 64 muestras, equivalente al 100% de las muestras correspondiente al área de estudio (Figura 25).



**Figura 25. Distribución de puntos muestreados en la cuenca La Paila.**  
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 18 se incluye la localización de los 64 puntos muestreados en la cuenca La Paila. Para cada uno de los puntos se incluye una coordenada geográfica bajo el sistema de referencia WGS84.

**Tabla 18. Identificación y coordenadas de los puntos muestreados en la cuenca La Paila.**

MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD	MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD
1	C-PAI-125	-76,032011	4,109358	33	C-PAI-178	-75,960880	4,257966
2	C-PAI-139	-75,937457	4,256962	34	C-PAI-179	-75,943335	4,248275
3	C-PAI-140	-75,949778	4,239607	35	C-PAI-180	-76,018232	4,306244
4	C-PAI-141	-75,942631	4,231188	36	C-PAI-181	-76,024817	4,303398
5	C-PAI-142	-75,960405	4,257850	37	C-PAI-182	-76,036968	4,298207
6	C-PAI-143	-75,965599	4,240256	38	C-PAI-183	-76,046115	4,305996
7	C-PAI-144	-75,990089	4,235350	39	C-PAI-184	-76,065353	4,317161
8	C-PAI-145	-76,032348	4,246722	40	C-PAI-185	-76,078157	4,259612
9	C-PAI-146	-76,030876	4,241884	41	C-PAI-186	-76,067793	4,252776
10	C-PAI-147	-76,032665	4,238955	42	C-PAI-187	-76,069442	4,247464
11	C-PAI-148	-76,049633	4,240810	43	C-PAI-188	-76,071970	4,238413
12	C-PAI-149	-76,067146	4,255366	44	C-PAI-189	-76,075875	4,236354
13	C-PAI-150	-76,066541	4,254301	45	C-PAI-190	-76,074688	4,234802
14	C-PAI-157	-76,107671	4,263469	46	C-PAI-191	-76,041546	4,235394
15	C-PAI-158	-76,103163	4,268053	47	C-PAI-192	-76,040324	4,225279

MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD	MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD
16	C-PAI-159	-76,076997	4,299518	48	C-PAI-193	-75,942741	4,220469
17	C-PAI-160	-76,066060	4,327069	49	C-PAI-194	-75,939830	4,213514
18	C-PAI-161	-76,072391	4,313029	50	C-PAI-201	-75,936777	4,198331
19	C-PAI-162	-76,074204	4,306314	51	C-PAI-202	-75,953369	4,197704
20	C-PAI-163	-76,081512	4,296982	52	C-PAI-203	-75,962276	4,187398
21	C-PAI-164	-76,096444	4,281292	53	C-PAI-204	-75,969778	4,177743
22	C-PAI-167	-75,909662	4,284938	54	C-PAI-205	-75,986402	4,205562
23	C-PAI-168	-75,926659	4,276731	55	C-PAI-206	-75,980623	4,215662
24	C-PAI-169	-75,941364	4,283630	56	C-PAI-207	-75,975367	4,225223
25	C-PAI-170	-75,936540	4,299702	57	C-PAI-272	-76,047182	4,120564
26	C-PAI-171	-75,941095	4,307879	58	C-PAI-273	-76,045554	4,123783
27	C-PAI-172	-75,946465	4,293461	59	C-PAI-274	-76,047072	4,131490
28	C-PAI-173	-75,960303	4,287149	60	C-PAI-275	-76,045931	4,138867
29	C-PAI-174	-75,966606	4,302040	61	C-PAI-276	-76,037652	4,152636
30	C-PAI-175	-75,969323	4,303058	62	C-PAI-277	-76,034550	4,168507
31	C-PAI-176	-75,978924	4,297314	63	C-PAI-278	-76,060425	4,186018
32	C-PAI-177	-75,970993	4,274036	64	C-PAI-279	-76,051399	4,210853

Fuente: Elaboración propia.

De los 64 puntos muestreados el 73,4% son superficies plantadas y el 26,6% superficies naturales y seminaturales.

Del 73,4% de las superficies plantadas el 32,8 % corresponden a pastos cultivados en los que participan las muestras C-PAI143, 147, 150, 159, 160, 161, 162, 176, 178, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 188, 192, 206, 277, 278 y 279 ubicadas en los municipios de Sevilla, La Paila y Bugalagrande, los puntos corresponden a suelos bien drenados, terreno homogéneo con labranza cero, clima cálido - medio y dedicados especialmente a la ganadería (Fotografía 17).



**Fotografía 17. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados, cuenca La Paila.**

Fuente: Elaboración propia



Por otro lado, el 40,6% están asociados a cultivos de café (C-PAI-167 y 273), café-banano (C-PAI-274 y 276), café-plátano (C-PAI-125, 139, 140, 171, 179 y 194), caña de azúcar (C-PAI-146, 157 y 164), cítricos (C-PAI-142, 144, 163, 170, 173, 175, 177, 187, 191, 203, 204 y 207) y aguacate hass (C-PAI-201).

Cultivos como el café, café asociado (banano o plátano), y el aguacate están ubicados en la parte alta de Sevilla y cuentan con un suelo de labranza mínima, bien drenados, clima medio y pendientes fuertemente inclinadas (Fotografía 18).



**Fotografía 18. Reconocimiento punto de muestreo en café-banano y aguacate.**

Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, cultivos como la caña de azúcar y los cítricos están situados en el municipio de Bugalagrande, La Paila y Sevilla, cuentan con un clima cálido, suelos bien drenados, terrenos planos y homogéneos, con la branza convencional en la caña y mínima en los cítricos (Fotografía 19).



**Fotografía 19. Reconocimiento punto de muestreo en cítricos y caña de azúcar.**

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las superficies naturales y seminaturales tuvieron una participación del 26,6%, en las que intervienen las muestras C-PAI-141, 145, 148, 149, 158, 168, 169, 172, 174, 186, 189, 190, 193, 202, 205, 272 y 275 son suelos con cobertura de bosque natural y guaduales intervenidos, están ubicados en el municipio de Bugalagrande, La paila y Sevilla en un clima medio (C-PAI-141, 168, 169, 172, 174, 193 y 202) y cálido (C-PAI-145, 149, 158, 186, 189, 190, 205, 272 y 275) y con buen drenaje natural. (Fotografía 20).



**Fotografía 20. Reconocimiento punto de muestreo en bosques y arbustos y matorrales.**

Fuente: Elaboración propia.

En general, de los 64 sitios muestreados, 41 coinciden con la clasificación de cobertura reportada (64%) por CVC para el año 2016, mientras que 23 (equivalente al 36%) presentan cambios de clasificación. Los cambios se presentaron principalmente de superficies naturales a superficies plantadas donde se presentan actividades agrícolas (Tabla 19).

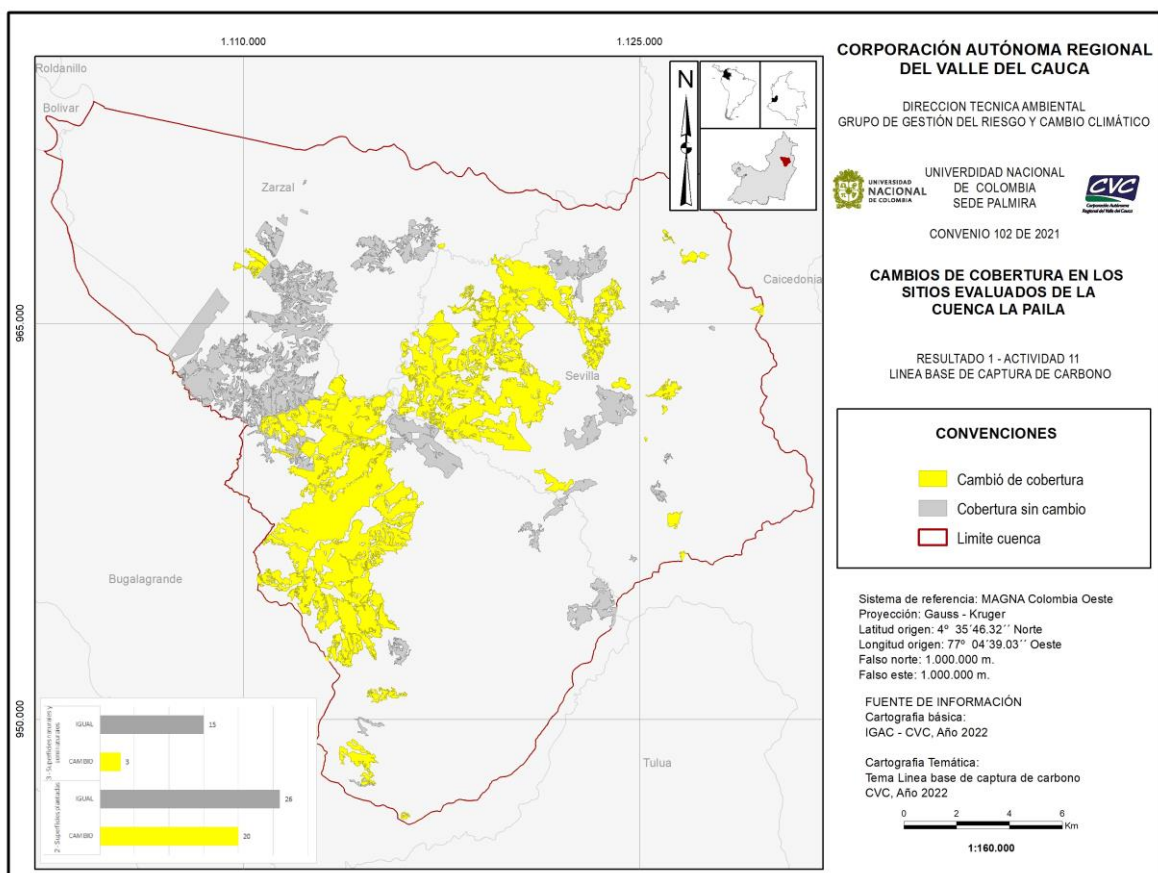
**Tabla 19. Cambios de cobertura identificados en la cuenca La Paila.**

CÓDIGO	COBERTURA REPORTADA	CONVERSIÓN IDENTIFICADA
C-PAI-125	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	22122 - Café-Plátano
C-PAI-139	23172 - Pasto cultivado enmalezado	22122 - Café-Plátano
C-PAI-140	31352 - Bosque de guadua	22122 - Café-Plátano
C-PAI-144	22171 - Caña de azúcar	21230 - Misceláneo de Cítricos
C-PAI-148	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme
C-PAI-163	23170 - Pasto cultivado	21231 - Limón
C-PAI-167	23170 - Pasto cultivado	22121 - Café
C-PAI-170	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	21233 - Mandarino
C-PAI-171	23170 - Pasto cultivado	22122 - Café-Plátano
C-PAI-173	23170 - Pasto cultivado	21232 - Naranja
C-PAI-177	23170 - Pasto cultivado	21230 - Misceláneo de Cítricos
C-PAI-178	21230 - Misceláneo de Cítricos	23170 - Pasto cultivado
C-PAI-179	25210 - Áreas de cultivo con suelo desnudo	22122 - Café-Plátano
C-PAI-180	23115 - Piña	23170 - Pasto cultivado
C-PAI-187	23171 - Pasto cultivado arbolado	21230 - Misceláneo de Cítricos

CÓDIGO	COBERTURA REPORTADA	CONVERSIÓN IDENTIFICADA
C-PAI-190	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	31352 - Bosque de guadua
C-PAI-191	23170 - Pasto cultivado	21230 - Misceláneo de Cítricos
C-PAI-194	22121 - Café	22122 - Café-Plátano
C-PAI-201	21142 - Café-Otros arbóreos	21112 - Aguacate
C-PAI-207	22171 - Caña de azúcar	21230 - Misceláneo de Cítricos
C-PAI-273	22123 - Café-Banano	22121 - Café
C-PAI-274	22122 - Café-Plátano	22123 - Café-Banano
C-PAI-276	22122 - Café-Plátano	22123 - Café-Banano

Fuente: Elaboración propia.

La localización de los cambios se presenta en toda la cuenca, desde la parte alta hasta la parte baja, zonas resaltadas en amarillo (Figura 26). Sin embargo, por configuración de la información secundaria de referencia (capa de coberturas CLC escala 1:25.000), la cobertura en pastos cultivados se encuentra unificadas en un mismo polígono por predios contiguos, por tanto, al realizar al asignar la condición de cambio la visualización de las áreas sobreestiman las verdaderas áreas de cambio.

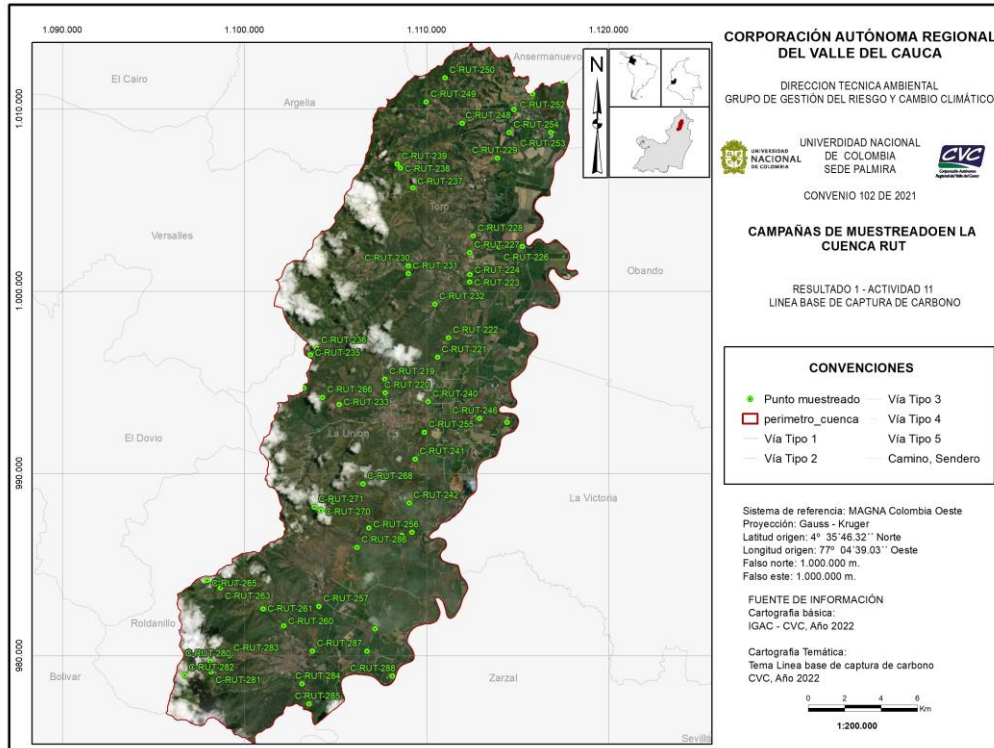


**Figura 26. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca La Paila.**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

## 6.4 CUENCA RUT

Se realizaron cinco campañas de muestreo en la cuenca RUT en las cuales se recolectaron 62 muestras, equivalente al 100% de los puntos preestablecidos en el área de la cuenca. (Figura 27).



**Figura 27. Distribución de puntos muestreados en la cuenca RUT.**  
Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 20 se incluye la localización de los 62 puntos muestreados en la cuenca RUT. Para cada uno de los puntos se incluye una coordenada geográfica bajo el sistema de referencia WGS84.

**Tabla 20. Identificación y coordenadas de los puntos muestreados en la cuenca RUT.**

MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD	MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD
1	C-RUT-219	-76.106862	4.551829	32	C-RUT-250	-76.076833	4.701258
2	C-RUT-220	-76.106736	4.545112	33	C-RUT-251	-76.018576	4.699443
3	C-RUT-221	-76.080816	4.562650	34	C-RUT-252	-76.033600	4.693212
4	C-RUT-222	-76.075333	4.572323	35	C-RUT-253	-76.024551	4.673996
5	C-RUT-223	-76.064888	4.600058	36	C-RUT-254	-76.045175	4.674059
6	C-RUT-224	-76.064647	4.603618	37	C-RUT-255	-76.087438	4.525428
7	C-RUT-225	-76.038681	4.617534	38	C-RUT-256	-76.114928	4.477983
8	C-RUT-226	-76.050297	4.617302	39	C-RUT-257	-76.139583	4.439220
9	C-RUT-227	-76.064766	4.614552	40	C-RUT-258	-76.111950	4.428029

MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD	MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD
10	C-RUT-228	-76.063059	4.622759	41	C-RUT-259	-76.115815	4.416906
11	C-RUT-229	-76.050967	4.661420	42	C-RUT-260	-76.157080	4.429515
12	C-RUT-230	-76.095222	4.608045	43	C-RUT-261	-76.167271	4.437925
13	C-RUT-231	-76.095252	4.604115	44	C-RUT-262	-76.181415	4.450916
14	C-RUT-232	-76.082031	4.589060	45	C-RUT-263	-76.188266	4.448420
15	C-RUT-233	-76.129407	4.539243	46	C-RUT-264	-76.189968	4.451238
16	C-RUT-234	-76.147030	4.547548	47	C-RUT-265	-76.194899	4.452140
17	C-RUT-235	-76.143558	4.563894	48	C-RUT-266	-76.137681	4.542835
18	C-RUT-236	-76.140576	4.567290	49	C-RUT-267	-76.107006	4.504488
19	C-RUT-237	-76.092801	4.646719	50	C-RUT-268	-76.117798	4.499884
20	C-RUT-238	-76.099111	4.656619	51	C-RUT-269	-76.132559	4.490991
21	C-RUT-239	-76.100598	4.658490	52	C-RUT-270	-76.138631	4.486769
22	C-RUT-240	-76.085482	4.540552	53	C-RUT-271	-76.141899	4.488428
23	C-RUT-241	-76.091922	4.512071	54	C-RUT-280	-76.193356	4.411920
24	C-RUT-242	-76.094952	4.490343	55	C-RUT-281	-76.192863	4.406756
25	C-RUT-243	-76.098513	4.474329	56	C-RUT-282	-76.206128	4.405139
26	C-RUT-244	-76.093462	4.475839	57	C-RUT-283	-76.184093	4.414761
27	C-RUT-245	-76.046451	4.530272	58	C-RUT-284	-76.148056	4.400786
28	C-RUT-246	-76.060020	4.532335	59	C-RUT-285	-76.144549	4.390844
29	C-RUT-247	-76.042906	4.685554	60	C-RUT-286	-76.120707	4.468413
30	C-RUT-248	-76.068381	4.678694	61	C-RUT-287	-76.142945	4.416916
31	C-RUT-249	-76.086223	4.689295	62	C-RUT-288	-76.103463	4.404466

Fuente: Elaboración propia.

De los 62 puntos muestreados el 79 % son superficies plantadas y el 21% superficies naturales y seminaturales.

De las superficies cultivadas el 24,2% (15 muestras) de ellas son pastos en las que se encuentran las muestras (C-RUT-221, 224, 228, 230, 232, 234, 237, 252, 261, 263, 267, 268, 271, 280 y 285) ubicadas en la parte alta, media y baja de los municipios de La Unión, Toro y Roldanillo a una altura que oscila entre los 975 a los 1700 msnm, clima cálido-medio, terrenos escarpados en la parte alta y planos y homogéneos en la zona baja, suelos con buen drenaje y labranza cero (Fotografía 21).

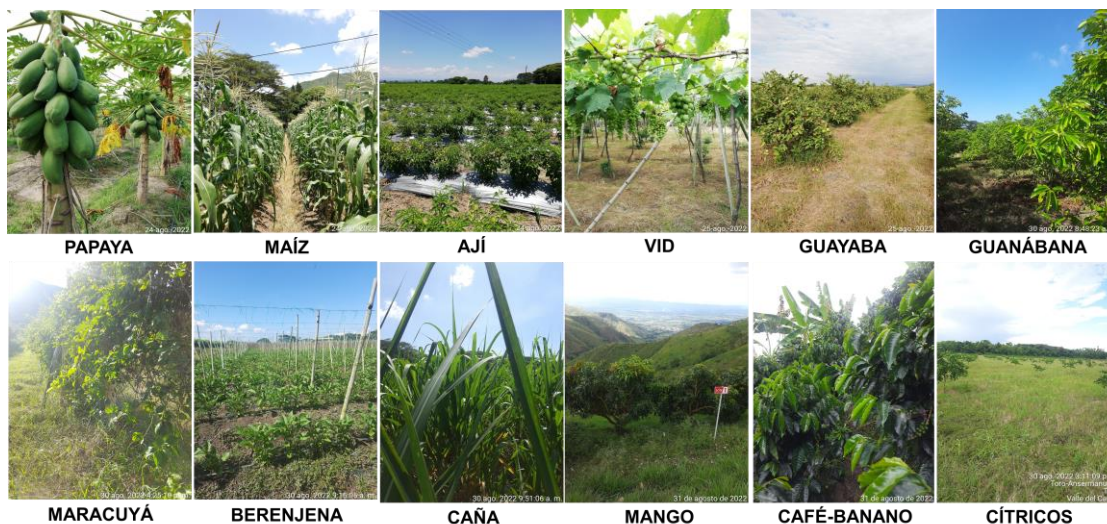
El otro 54,8 % de las superficies cultivadas están constituidas por diversa clase de cultivos presente en la zona alta, media y baja con climas que van de medio a cálido. En la zona alta se muestreó en cultivos como café (C-RUT-238 y 249), café-banano (C-RUT-235, 239 y 265) y plátano-cítricos (C-RUT-281) presentes en suelos con buen drenaje y labranza mínima. En zona media los cítricos (C-RUT-233 y 254) y el mango (C-RUT-266) establecidos en suelos bien drenados y de mínima labranza. En la zona baja se muestrearon cultivos como el maíz (C-RUT-222, 244, 258 y 288), banano (C-RUT-287), papaya (C-RUT-226 y 227), berenjena (C-RUT-246), guanábana (C-RUT-245), vid (C-RUT-220, 240 y 241), maracuyá (C-RUT-256), guayaba (C-RUT-242, 243 y 259), caña de azúcar (C-RUT-225, 229, 247, 251, 257 y 284) y ají (C-RUT-223 y 286) establecidos en suelos con buen drenaje con labranza mínima para el cultivo de papaya, cítricos, maracuyá y guayaba,

y la branza convencional para cultivos como la caña de azúcar, el maíz, el ají y la berenjena (Fotografía 22).



**Fotografía 21. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados.**

Fuente: Elaboración propia.



**Fotografía 22. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos presentes, cuenca RUT.**

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el 21% (13 muestras) corresponden a superficies naturales y seminaturales (C-RUT-219, 231, 236, 248, 250, 255, 260, 262, 264, 269, 270, 282 y 283), suelos con buen drenaje natural (escorrentía), ubicados en diferentes tipos de clima (cálido-medio) y a elevaciones que van desde los 975 a los 1700 msnm. Cabe resaltar que todas las superficies naturales y seminaturales se encuentran intervenidas (Fotografía 23).



**Fotografía 23. Reconocimiento punto de muestreo en bosques y guaduales intervenidos.**

Fuente: Elaboración propia.

En general, de los 62 sitios muestreados, 35 coinciden con la clasificación de cobertura reportada (56%) por CVC para el año 2001, mientras que 27 (equivalente al 44%) presentan cambios de clasificación. Los cambios se presentaron principalmente de superficies naturales a superficies plantadas donde se presentan actividades agrícolas (Tabla 21).

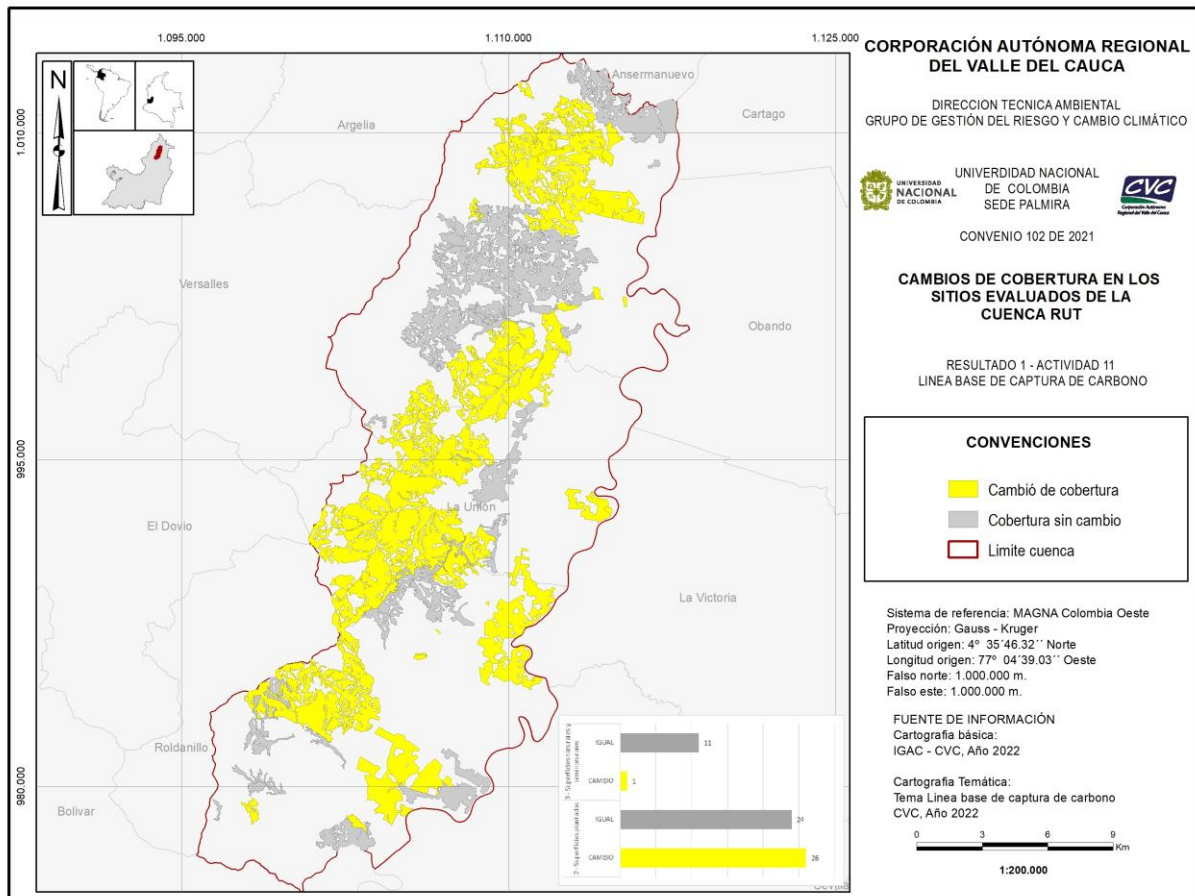
**Tabla 21. Cambios de cobertura identificados en la cuenca RUT.**

CÓDIGO	COBERTURA REPORTADA	CONVERSIÓN IDENTIFICADA
C-RUT-220	23170 - Pasto cultivado	22151 - Vid
C-RUT-223	22151 - Vid	23111 - Ají
C-RUT-225	22141 - Papayo	22171 - Caña de azúcar
C-RUT-226	21114 - Guayabo	22141 - Papayo
C-RUT-227	23141 - Soya	22141 - Papayo
C-RUT-229	23161 - Pasto de corte	22171 - Caña de azúcar
C-RUT-233	23170 - Pasto cultivado	21230 - Misceláneo de Cítricos
C-RUT-235	22121 - Café	22123 - Café-Banano
C-RUT-238	22122 - Café-Plátano	22121 - Café
C-RUT-239	22122 - Café-Plátano	22123 - Café-Banano
C-RUT-242	22151 - Vid	21114 - Guayabo
C-RUT-243	22181 - Maíz	21114 - Guayabo
C-RUT-245	22181 - Maíz	21210 - Otros cultivos arbóreos plantados abiertos
C-RUT-246	22151 - Vid	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos
C-RUT-247	21113 - Guanábano	22171 - Caña de azúcar
C-RUT-248	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	31352 - Bosque de guadua
C-RUT-249	23170 - Pasto cultivado	22121 - Café
C-RUT-250	22121 - Café	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme
C-RUT-254	23131 - Sorgo	21230 - Misceláneo de Cítricos

CÓDIGO	COBERTURA REPORTADA	CONVERSIÓN IDENTIFICADA
C-RUT-256	24115 - Pepino-Pimentón	23231 - Maracuyá
C-RUT-259	22171 - Caña de azúcar	21114 - Guayabo
C-RUT-265	23213 - Arracacha	22123 - Café-Banano
C-RUT-266	23170 - Pasto cultivado	21116 - Mango
C-RUT-281	22122 - Café-Plátano	24122 - Cítricos-Plátano
C-RUT-284	23161 - Pasto de corte	22171 - Caña de azúcar
C-RUT-286	23161 - Pasto de corte	23111 - Ají
C-RUT-287	23161 - Pasto de corte	22114 - Banano

Fuente: Elaboración propia.

La localización de los cambios se presenta en toda la cuenca, desde la parte alta hasta la parte baja, zonas resaltadas en amarillo (Figura 28 **Figura 26**). Sin embargo, por configuración de la información secundaria de referencia (capa de coberturas CLC escala 1:25.000), la cobertura en pastos cultivados se encuentra unificadas en un mismo polígono por predios contiguos, por tanto, al realizar al asignar la condición de cambio la visualización de las áreas sobreestiman las verdaderas áreas de cambio.



**Figura 28. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca RUT.**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.



---

## 7. LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS

En este capítulo se presenta el análisis de los resultados de suelos en las campañas de muestreo y la estimación de carbono orgánico en el suelo (COS) de cada una de las 4 cuencas de interés, denominado por la Corporación como “Estudio de Línea Base de Almacenamiento de Carbono”.

El COS estable, determinado en este estudio desde la fracción fina del suelo, es el resultado de la fragmentación, transformación y translocación de materiales orgánicos. Comprender las relaciones que desempeñan la meso y microbiota del suelo es compleja y dinámica, sin embargo, de manera directa o indirecta se establecen variables fisicoquímicas del suelo como insumos para la construcción de indicadores de calidad del suelo, en un periodo de tiempo y lugar específico (Calderón, et al. 2018).

A lo largo de este capítulo se analizan los resultados de las muestras de suelo (de 0 a 30 cm de profundidad), determinados para cada una de las cuencas, y su relación con las variables químicas, nutricionales (macro y microelementos), disponibilidad de agua, variables físicas, entre otras, con el fin de caracterizar ampliamente y establecer su relación con el COS almacenado. Considerar estos indicadores permite aumentar la comprensión de la cobertura vegetal establecidas en las cuencas y como se pueden relacionar con los sistemas productivos, en la línea de garantizar el desarrollo y rendimiento de los cultivos bajo estrategias de conservación.

Finalmente, se presentan los contenidos de COS general almacenados en el suelo (línea base de almacenamiento de carbono en suelos) y exploración de contenido del COS en la fracción fina, para cada uno de los sitios muestreados. Con el fin de presentar un análisis detallado, se presentan los resultados del estudio de manera independiente para cada una de las cuencas incluidas en la vigencia 2022.

### 7.1 LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA MORALES

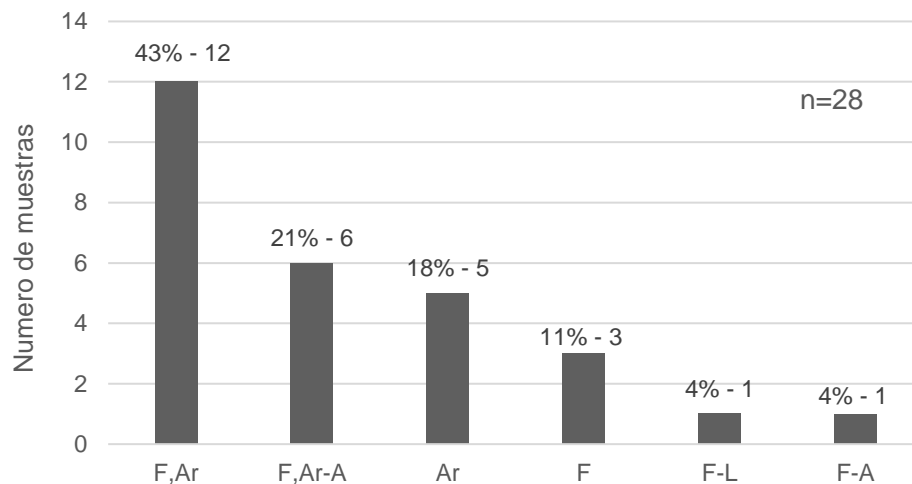
La determinación de la línea base de almacenamiento de carbono en suelos de la cuenca Morales incluyó la caracterización de las propiedades físicas y químicas del medio edáfico. A continuación, se presentan los resultados de la caracterización de las muestras del suelo y al final de este ítem, el análisis del almacenamiento de carbono para los suelos muestreados en esta cuenca.

### 7.1.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

Las principales propiedades físicas analizadas son: clase textural (contenido de limo L, arena A y arcilla Ar), densidad aparente ( $D_a$ ), lámina de agua aprovechable y estabilidad de agregados. A continuación, se presenta el comportamiento de estas variables en el suelo.

#### Textura

Para los suelos muestreados en la cuenca Morales predominan las clases texturales Francos Arcillosa (F<sub>Ar</sub>), suelos de textura equilibrada con leve tendencia a suelos pesados por la composición de los diferentes tamaños de partículas, con menor presencia de suelos livianos de partículas más gruesas (A) o medianas (L). De acuerdo con la Figura 29, se presenta una tendencia de formación de suelos de textura media, estos suelos se caracterizan por ser equilibrados en la distribución de tamaño de partículas (A, Ar y L) lo que favorece su capacidad de retención de agua y porosidad para desarrollo radicular.

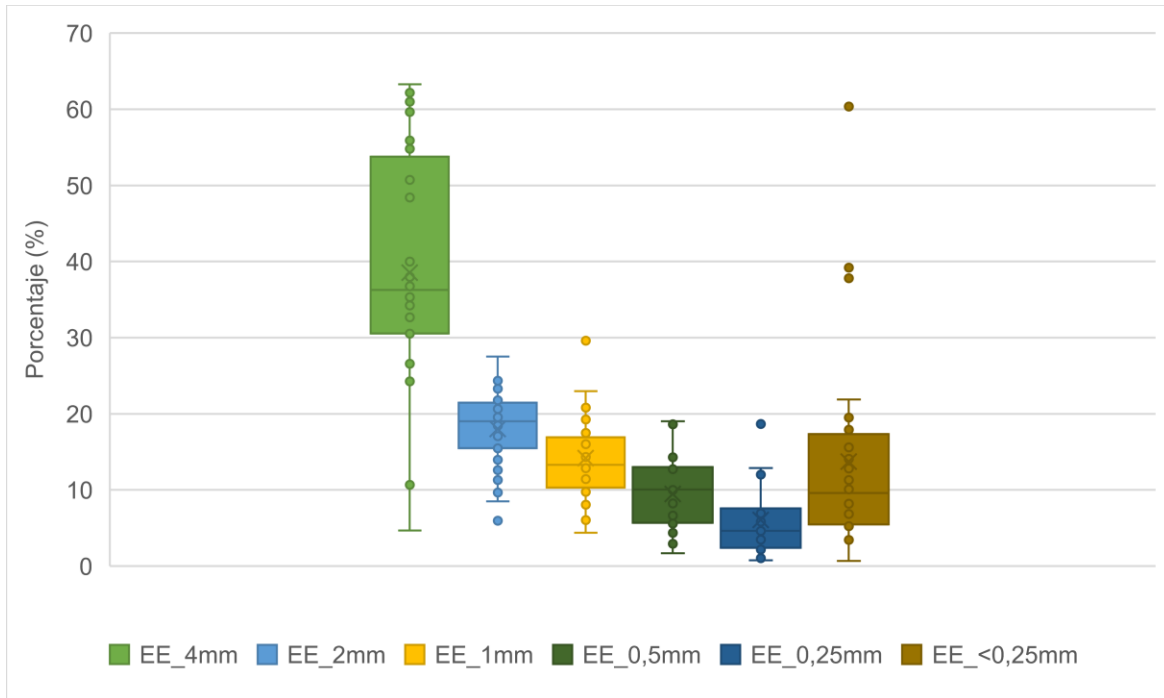


**Figura 29. Texturas en la cuenca Morales.**

Fuente: Elaboración propia.

#### Estabilidad de agregados

De acuerdo con la Figura 30, la distribución de los agregados del suelo presenta una leve tendencia hacia las partículas más gruesas, mayores a 4 mm de diámetro, donde el porcentaje promedio es cercano al 35% mientras que los demás diámetros oscilan entre 10 y 17%, sin embargo este mismo diámetro (mayores a 4 mm) presenta la mayor variabilidad en el contenido de agregados, al igual que el diámetro del extremo inferior (menores a 4 mm), indicando que la menor variabilidad se presenta en los rangos intermedios. Este comportamiento guarda concordancia con la tendencia de texturas identificadas para la cuenca, texturas equilibradas sin un dominio marcado en la participación de Arcillas, Limos o Arenas.

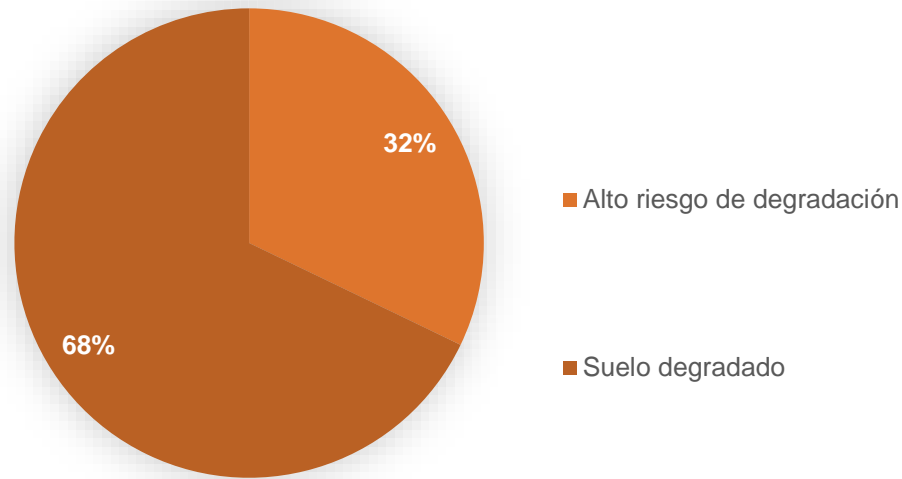


**Figura 30. Distribución de agregados en la cuenca Morales.**

Fuente: Elaboración propia.

### **Índice de estabilidad**

Según el índice, los puntos muestreados en la cuenca concentran un panorama de distribución en degradación, en donde el 68% de los sitios evaluados se consideran suelo degradados ( $IE < 5$ ) y el 32% en alto riesgo de degradación ( $IE$  en el rango de 5-7). No se identificaron sitios con estructura estable ( $IE > 9$ ) o sin degradación, lo que indica que deben promoverse prácticas de conservación para recuperar zonas degradadas, debido a que por la tendencia estructural del suelo (partículas gruesas), se presenta mayor riesgo de pérdida de suelo por condición de manejo que por condición natural de arrastre de partículas por acción del agua o el viento (Figura 31).



**Figura 31. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca Morales.**

Fuente: Elaboración propia.

### ***Lámina de agua aprovechable***

Cuando se presentan LAA alta (>20 mm) con densidades aparentes altas, se tiene menor AA (%), lo anterior se asocia principalmente con suelos compactados, entre mayor sea la densidad aparente mayor puede ser la compactación (Tabla 22). El agua capilar disponible para las plantas se encuentra en los mesoporos y en los microporos del suelo; los resultados permiten inferir que hay predominio de microporos, lo que aumenta la resistencia a la penetración de las raíces y la dificultad para que las plantas tomen el agua del suelo. Los suelos Francos son el punto medio en la capacidad de retener agua (LAA media) al igual que la capacidad de retención de agua aprovechable (AA, humedad volumétrica), comparado con suelos pesados como los arcillosos o los suelos livianos como arenosos. En otras palabras, son los suelos ideales porque tienen una capacidad adecuada de agua disponible para que las plantas interactúen en la absorción y liberación de nutrientes, lo cual favorece la dinámica nutricional.

Por otro lado, cuando se analiza la relación entre la textura de suelo con la densidad aparente ( $D_a$ ), se encuentran que para valores altos de  $D_a$  (> 1), se consideran suelos pesados con contenidos bajos de materia orgánica en el suelo (MOS), lo que sugiere que haya menor capacidad de retener la humedad en el suelo; por el contrario, suelos con mayor contenido de MO tienen mayor porosidad en el suelo (mesoporos), por ende, mayor porcentaje de agua aprovechable en el suelo (entre CC-PMP).

Un ejemplo del efecto del manejo del suelo, en relación con las propiedades de  $D_a$  y LAA se pueden destacar los predios (C-MOR-003 y C-MOR-010) con pastos cultivados, destinados para la rotación de ganado vacuno con prácticas de conservación por periodos prolongados de tiempo mejoran las condiciones del suelo y disponibilidad agua, lo que diferencia estos suelos del resto, incluso con texturas más livianas.

**Tabla 22. Contenido de Agua aprovechable y lámina de agua aprovechable según textura y densidad aparente en la en la cuenca Morales.**

CÓDIGO MUESTRA	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	TEXTURA	DA (g/cm <sup>3</sup> )
C-MOR-001	23231 - Maracuyá	16,9	3,83	Ar	1,47
C-MOR-002	22171 - Caña de azúcar	17,8	4,79	F,Ar	1,24
C-MOR-003	23170 - Pasto cultivado	14,9	3,41	F,Ar	1,46
C-MOR-004	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	9,9	2,82	F,Ar-A	1,17
C-MOR-005	23170 - Pasto cultivado	11,7	4,07	F	0,96
C-MOR-006	23170 - Pasto cultivado	9,8	2,76	F,Ar-A	1,18
C-MOR-007	21231 - Limón	15,2	4,75	F,Ar-A	1,07
C-MOR-008	31352 - Bosque de guadua	8,1	2,91	F,Ar	0,93
C-MOR-009	31352 - Bosque de guadua	9,9	4,06	F,Ar	0,81
C-MOR-010	23170 - Pasto cultivado	12,3	4,07	Ar	1,01
C-MOR-011	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	12,7	3,88	F,Ar	1,09
C-MOR-012	22113 - Plátano	13,2	4,67	F,Ar	0,94
C-MOR-013	22122 - Café-Plátano	13,6	5,14	F	0,88
C-MOR-014	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	16,0	5,39	F,Ar	0,99
C-MOR-015	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	15,7	5,12	F,Ar-A	1,02
C-MOR-016	31352 - Bosque de guadua	11,6	4,02	Ar	0,96
C-MOR-017	23170 - Pasto cultivado	12,5	3,93	F	1,06
C-MOR-018	21231 - Limón	13,0	3,07	F,Ar	1,41
C-MOR-019	31352 - Bosque de guadua	26,5	9,61	F,Ar	0,92
C-MOR-020	22171 - Caña de azúcar	22,9	5,5	F,Ar	1,39
C-MOR-021	23170 - Pasto cultivado	9,6	2,4	F,Ar	1,34
C-MOR-022	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	11,4	3,08	F,Ar	1,23
C-MOR-023	23170 - Pasto cultivado	6,7	1,88	Ar	1,19
C-MOR-024	23171 - Pasto cultivado arbolado	10,9	2,49	Ar	1,46
C-MOR-025	22171 - Caña de azúcar	19,3	4,43	F,Ar-A	1,45
C-MOR-026	21231 - Limón	17,1	4,06	F-A	1,4
C-MOR-027	22171 - Caña de azúcar	14,6	3,51	F,Ar-A	1,39
C-MOR-028	23170 - Pasto cultivado	7,3	2,09	F-L	1,16

Fuente: Elaboración propia.

### **Densidad aparente**

La densidad aparente (Da) afecta al crecimiento de las plantas debido al efecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. El incremento de la Da, aumenta la resistencia mecánica y la porosidad del suelo tiende a disminuir, estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la Da para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate. Los valores bajos de Da son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Los valores altos de densidad aparente son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación

---

deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan dificultades para elongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios.

Para la cuenca Morales se presentaron densidades que varían entre 0,81 y 1,47 g/cm<sup>3</sup>, de acuerdo con las categorías definidas por Arshad et al., (1996) se diferencian 21 sitios en categoría de ideales (<1,40 en texturas F, FA, FAr, FArA, FArL, FL), 7 sitios con posible afectación radicular (entre 1,10 y 1,46 en texturas Arcillosas; entre 1,10 y 1,74 en texturas Franco, Franco Arenosa, Franco Arcillo Arenosa; entre 1,10 y 1,79 en texturas Franco Arenosa; entre 1,10 y 1,64 en texturas Franco Limosa) y ninguna en categoría de restricción al crecimiento de raíces por posible compactación (Tabla 23). Por todo lo anterior, En general se identifican suelos con alto potencial para el desarrollo vegetal con consideraciones de manejo en zonas que puedan presentar posible afectación radicular.

**Tabla 23. Densidad aparente, cobertura y crecimiento radicular, en base a las texturas identificadas en la cuenca Morales.**

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA (g/cm <sup>3</sup> )	CATEGORÍA
Ar	C-MOR-016	31352 - Bosque de guadua	0,96	Ideal
	C-MOR-010	23170 - Pasto cultivado	1,01	Ideal
	C-MOR-023	23170 - Pasto cultivado	1,19	Posible afectación radicular
	C-MOR-024	23171 - Pasto cultivado arbolado	1,46	Posible afectación radicular
	C-MOR-001	23231 - Maracuyá	1,47	Posible afectación radicular
F	C-MOR-013	22122 - Café-Plátano	0,88	Ideal
	C-MOR-005	23170 - Pasto cultivado	0,96	Ideal
	C-MOR-017	23170 - Pasto cultivado	1,06	Ideal
FAr	C-MOR-026	21231 - Limón	1,40	Posible afectación radicular
	C-MOR-28	23170 - Pasto cultivado	1,16	Ideal
	C-MOR-009	31352 - Bosque de guadua	0,81	Ideal
	C-MOR-019	31352 - Bosque de guadua	0,92	Ideal
	C-MOR-008	31352 - Bosque de guadua	0,93	Ideal
	C-MOR-012	22113 - Plátano	0,94	Ideal
	C-MOR-014	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	0,99	Ideal
	C-MOR-011	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1,09	Ideal
	C-MOR-022	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	1,23	Ideal
	C-MOR-002	22171 - Caña de azúcar	1,24	Ideal
	C-MOR-021	23170 - Pasto cultivado	1,34	Ideal
C-MOR-020	22171 - Caña de azúcar	1,39	Ideal	
FArA	C-MOR-018	21231 - Limón	1,41	Posible afectación radicular
	C-MOR-003	23170 - Pasto cultivado	1,46	Posible afectación radicular
	C-MOR-015	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1,02	Ideal
	C-MOR-007	21231 - Limón	1,07	Ideal
	C-MOR-004	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	1,17	Ideal
	C-MOR-006	23170 - Pasto cultivado	1,18	Ideal
F-A	C-MOR-027	22171 - Caña de azúcar	1,39	Ideal
F-L	C-MOR-025	22171 - Caña de azúcar	1,45	Posible afectación radicular

Fuente: Elaboración propia.

## 7.1.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS

En la Tabla 24 se presentan los resultados de las propiedades químicas para los sitios muestreados en la cuenca Morales. Se incluyen los valores promedios, mínimo y máximos de las variables. Si bien, se ha calculado la desviación estándar, estas deben ser analizadas como tendencias debido al reducido número de muestras correspondientes a esta cuenca.

**Tabla 24. Propiedades químicas del suelo en la cuenca Morales.**

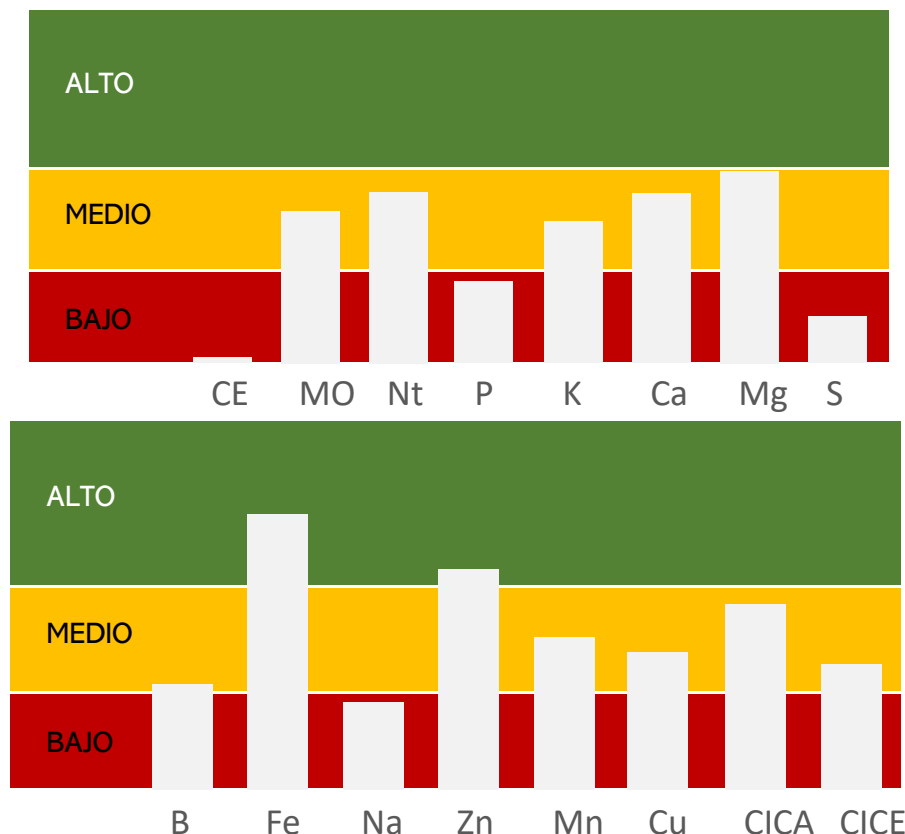
PROPIEDAD	UNID	PROM	MÍN	MÁX	DESV
Azufre (S) disponible	mg/kg	6,49	2,66	17,70	4,07
Boro (B) Disponible	mg/kg	0,21	0,08	0,49	0,09
Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	10,06	1,03	22,02	5,05
Capacidad Interc Catiónico Aceta (CICA)	cmol(+)/kg	20,45	9,45	41,77	7,15
Capacidad Interc Catiónico Efect (CICE)	cmol(+)/kg	17,94	4,85	41,82	9,08
Cobre (Cu) olsen Disponible	mg/kg	2,60	1,07	4,51	1,41
Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	dS/m	0,21	0,10	0,44	0,09
Fosforo (P) Disponible (Bray II)	mg/kg	8,93	1,61	57,80	14,10
Hierro (Fe) olsen Disponible	mg/kg	82,08	15,23	260,26	59,66
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	7,56	0,45	22,65	5,34
Manganeso (Mn) olsen Disponible	mg/kg	7,59	1,17	29,56	7,48
Materia Orgánica (MO)	g/100 g	2,53	1,03	3,91	0,82
Nitrógeno total (NT)	g/100 g	0,19	0,09	0,32	0,06
pH (1:2,5)	unid. pH	6,42	4,94	7,81	0,68
Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg	0,28	0,11	0,62	0,13
Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	0,26	0,14	0,42	0,14
Zinc (Zn) olsen Disponible	mg/kg	3,44	1,18	9,37	2,69
Total muestras (n): 28					

Fuente: Elaboración propia.

Es bien conocido que la fertilidad química en suelos se refiere a la reserva de nutrientes y su aporte a las plantas. En la Figura 32 se pueden observar los niveles de categorización promedio para cada uno de los elementos relacionados con la nutrición de las plantas en el suelo, indicando de manera restrictiva que los macronutrientes (elementos que se absorben en mayor cantidad por la plantas para desarrollar sus funciones fisiológicas) se encuentran en niveles medios y bajo: Nitrógeno (0,19 g/100 g), Fosforo (8,93 mg/kg) y Potasio (0,28 cmol(+)/kg), a diferencia de los microelementos principales, Calcio medio (10,06 cmol(+)/kg) y el Magnesio alto (7,56 mg/Kg) en una inadecuada proporción 2 a 1 por bajos contenidos de Calcio. Contenidos altos de materia orgánica contribuyen en el aumento de la CIC a valores que van de medio a alto, que está directamente relacionada con la fertilidad del suelo, ya que la MO libera grupos carboxílicos y fenólicos activos que se disocian, liberando iones H<sup>+</sup> a la solución del suelo (Díaz, 2008). En tanto que niveles de CIC medios a altos favorece el depósito de iones nutritivos siendo un factor positivo para el mejor aprovechamiento de las plantas. Adicionalmente se identifica altos contenidos de Hierro lo que representa una posible barrera en la disponibilidad del fosforo por su efecto antagónico,



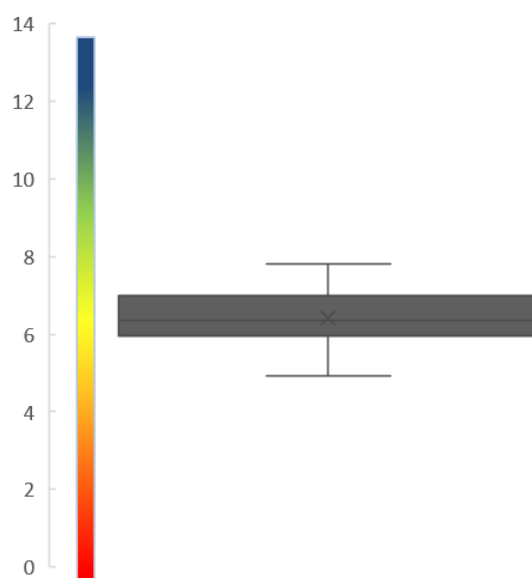
aunque el fósforo es un elemento que no es abundante en los suelos si lo presenta en la cuenca. En cuanto a los microelementos se identifica algunas deficiencias de Azufre (6,49 mg/kg), Boro, Sodio que pueden ser corregidas según las necesidades en particular, en especial el Azufre por la relación con el mecanismo de defensa de las plantas lo que podría afectar los cultivos presentes en la cuenca. En general estos suelos evaluados presentan características adecuadas de fertilidad química para el desarrollo nutricional de la cobertura vegetal.



**Figura 32. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca Morales.**  
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la salinidad del suelo se refiere a la cantidad de sales presentes en solución acuosa y puede ser estimada indirectamente mediante la medición de la conductividad eléctrica (CE), que en suelos está influenciado por la concentración y composición de las sales disueltas; a mayor valor de CE, mayor es la salinidad presente. La salinidad es un fenómeno indeseable ya que afecta el crecimiento de las plantas de varias maneras y por lo mismo, un aumento en la CE traerá como consecuencia una disminución de rendimiento. Los valores de CE para la cuenca Morales son 0,21 dS/m inferior a <0.8 dS/m, lo que significa que en promedio son suelos con muy baja salinidad lo que facilita el manejo de la fertilización y evitan problemas por fitotoxicidad en el establecimiento de cultivos. No obstante, si

En cuanto al pH, en la Figura 33 se observa que, la mediana es de 6,34, mientras que la mitad de las muestras se concentran en la condición entre 5,95 y 7,0 equivalente a las categorías de ligeramente ácido (6,0 a 6,5) y cercano a la neutralidad (6,6 y 7,3), que representan la condición adecuada para el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Por otra parte, existen zonas donde las condiciones del suelo son de mayor adversidad por el efecto antagonista que ocasiona niveles de pH extremos (ICA, 1992). En los sitios donde el pH es inferior a 5,5 (fuerte a extremadamente ácido) se presentan registros de acidez por presencia de Aluminio (Al) intercambiable y deficiencias de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg). Mientras que, en sitios con pH mayores a 7,4 (alcalino y muy alcalino) es necesario implementar enmiendas para corregir la inhibición del crecimiento y adecuado desarrollo de las plantas.



**Figura 33. Distribución de los valores de pH de la cuenca Morales.**

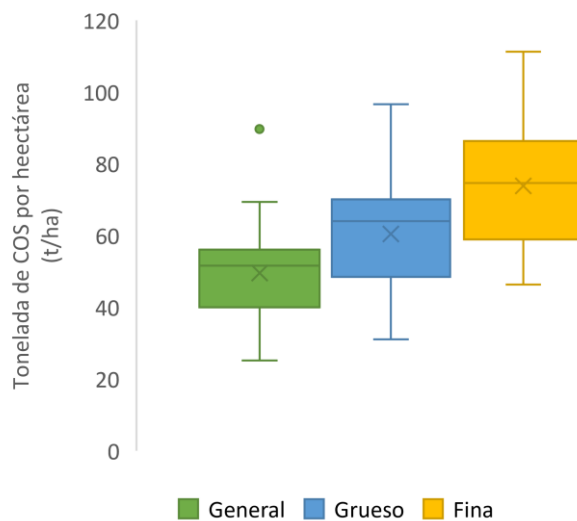
Fuente: Elaboración propia.

### 7.1.3 ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS

De acuerdo con la estimación de almacenamiento de COS en el suelo, la mediana para la cuenca Morales es 51,6 t/ha en el COS general, 64,0 t/ha en el COS grueso y 74,6 t/ha en COS almacenado en la fracción fina (Figura 34). Para el caso de la cuenca, todos los niveles de COS (general, grueso y fino) son considerados en un nivel Medio (entre 40 y 79,9 t/ha) (Loayza et al., 2020). En forma general se aprecia que las variaciones en el contenido del COS oscilan entre rangos de 40 a 60 t/ha en las tres fracciones, presentado valores atípicos que sobresalen de la desviación estándar en el COS general. Sin embargo, el COS general presenta la menor desviación estándar, aunque se presenta un valor considerado atípico alto de 89,7 t/ha en cultivo de cítricos limón Tahití con presencia

ganadería alrededor, por encima de los valores presentados en esta cobertura cercanos a los 55,2 t/ha.

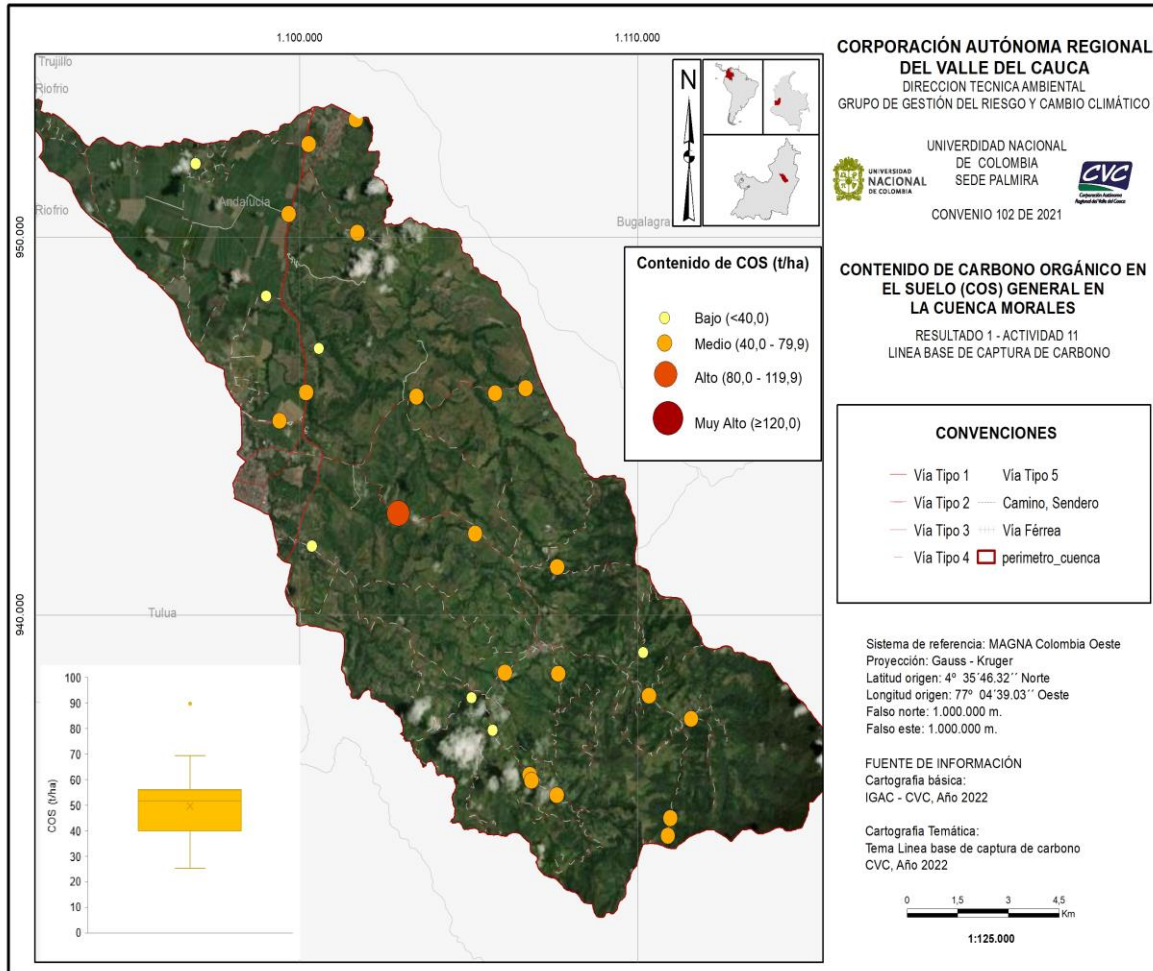
Basado en las estimaciones, el suelo presenta mayor capacidad de reserva de COS en la fracción fina por ser la fracción donde se considera estable en el suelo y se concentran las últimas etapas de los procesos de descomposición de la materia orgánica como la generación de ácidos húmicos y fúlvicos, además de compuestos aromáticos (Pérez, 2011). La tendencia del suelo a presentar mayor acumulación de COS en esta fracción se asocia principalmente con los altos contenidos de MO, CIC y suelos cercanos a la neutralidad.



**Figura 34. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general Cuenca Morales.**  
 Fuente: Elaboración propia.

La capacidad del almacenamiento de COS en el suelo se relaciona con las propiedades físicas, suelos de textura equilibrada y la concentración de agregados en las partículas más grandes (> 4 mm) pueden favorecer la tendencia taxonómica a generar carbono (Pérez, 2011; Cantera, 2005), donde partículas más gruesas (como arenas), solo identificaron trazas de COS, mientras que partículas finas (como arcillas) se concentraron los contenidos de COS más altos, seguido de las partículas medias (como limo) y fraccionamientos de menor diámetro presentan mayores concentraciones de COS, disminuyendo en el suelo a medida que se aumenta el diámetro de fraccionamiento del suelo.

Del total de sitios evaluados (0 - 30 cm de profundidad) para la cuenca Morales el 50% de los datos de almacenamiento de COS se encontraron entre 40,0 y 56,0 t/ha, con una mediana de 51,6 t/ha, presentando contenidos por debajo a los estimados por el IGAC para la región Andina (Bolívar et al., 2019). Sin embargo, en la Figura 35 con la distribución espacial de los sitios evaluados no se identifica patrones de concentración o distribución de focos claramente identificables que establezcan zonas prioritarias sin información complementaria como piso térmico o altura (msnm).



**Figura 35. Distribución de los contenidos de COS en la cuenca Morales (t/ha).**  
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la categorización de las estimaciones de COS en la cuenca Morales (Tabla 25), al utilizar la Da y el contenido de carbono orgánico, en solo 1 de los 28 sitios se tiene un nivel Alto (80 - 119,9 t/ha), 20 sitios se encuentran en un nivel Medio (40 - 79,9 t/ha) y 7 sitios se encuentran en un nivel Bajo (<40 t/ha), no se identificaron sitios con niveles Muy Altos (>120 t/ha) (Vela et al., 2012; Loayza et al., 2020). Siendo un factor de alerta identificar que casi la totalidad de los sitios evaluados (96%) se encuentran en condiciones de almacenamiento de COS entre Medio y Bajo.

**Tabla 25. Contenidos de COS calculado y nivel de concentración por sitio muestreado.**

CÓDIGO	DA (g/cm <sup>3</sup> )	COS (t/ha)	NIVEL
C-MOR-001	0,53	33,0	Bajo
C-MOR-002	1,22	50,8	Medio
C-MOR-003	1,41	28,0	Bajo
C-MOR-004	0,35	28,7	Bajo
C-MOR-005	0,6	54,4	Medio
C-MOR-006	0,67	39,1	Bajo
C-MOR-007	1,67	41,9	Medio
C-MOR-008	0,86	52,4	Medio
C-MOR-009	1,72	52,9	Medio
C-MOR-010	1,42	50,7	Medio
C-MOR-011	1,27	48,1	Medio
C-MOR-012	1,49	55,8	Medio
C-MOR-013	1,51	40,6	Medio
C-MOR-014	1,61	52,6	Medio
C-MOR-015	1,13	27,5	Bajo
C-MOR-016	1,41	44,5	Medio
C-MOR-017	1,63	69,5	Medio
C-MOR-018	0,98	89,9	Alto
C-MOR-019	1,2	62,6	Medio
C-MOR-020	1,28	57,6	Medio
C-MOR-021	1,08	63,2	Medio
C-MOR-022	1,04	50,5	Medio
C-MOR-023	0,92	65,1	Medio
C-MOR-024	1,21	55,6	Medio
C-MOR-025	0,52	56,7	Medio
C-MOR-026	1,02	25,2	Bajo
C-MOR-027	1,03	55,6	Medio
C-MOR-028	1,06	36,1	Bajo

Fuente: Elaboración propia.

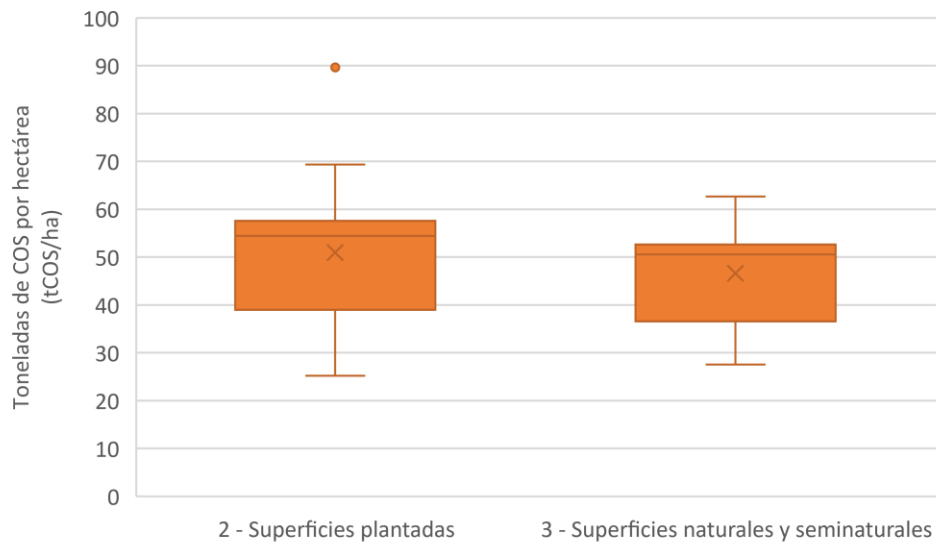
Los resultados indican que las reservas de COS en suelos de la cuenca Morales en su mayoría son de categoría Medio. Sin embargo, para que los suelos conserven sus propiedades físicas y químicas favorables para la captura y almacenamiento de carbono es necesario implementar técnicas y prácticas agronómicas orientadas a la conservación de coberturas nobles, aplicación de materia orgánica, rotación de cultivos, siembra directa, lo que contribuye a la disminución de la erosión y la mineralización de la materia orgánica, y por ende permite mejorar la retención del COS en el suelo.

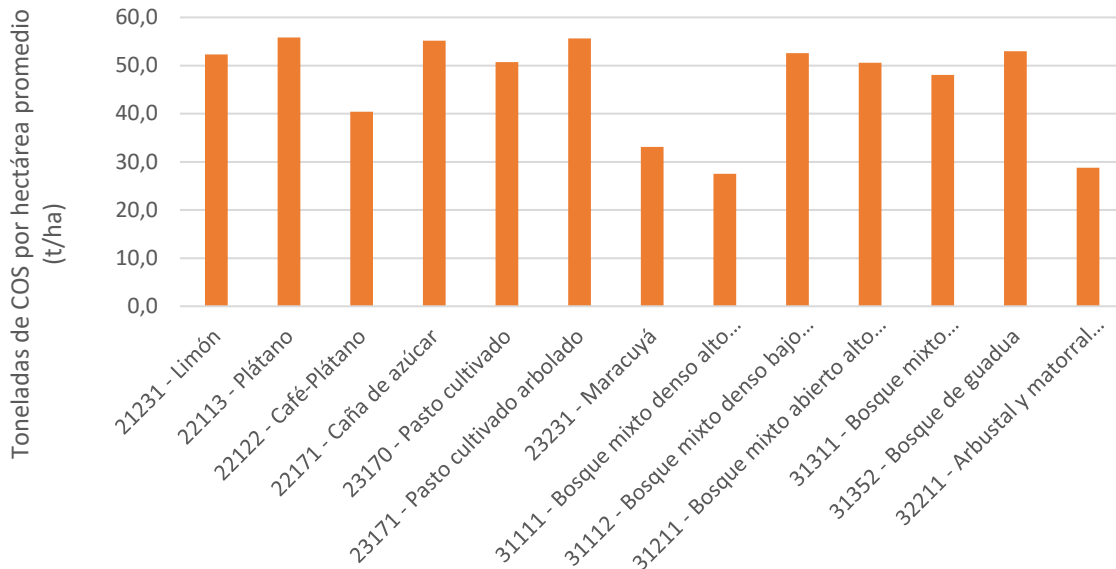
En análisis del almacenamiento de COS y su relación con el tipo de cobertura (Figura 36), específicamente la comparación entre superficies plantadas y las superficies naturales evaluadas, se pudo establecer que las superficies naturales presentan una mediana de 50,6 t/ha inferior a 54,4 t/ha de las superficies plantadas aun que se destacan cultivos perenes como el cultivo de tomate de árbol y café y plátanos, muy por encima de la mediana. Sin embargo, las superficies naturales, presentan un rango de variabilidad similar a los de las superficies plantadas donde se concentran el 50% de los datos muestreados. Este

comportamiento se identifica en detalle al comparar los niveles extremos de la categoría, 31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme (150,2 t/ha) con 33130 – Helechal (32,5 t/ha) o 31351 - Bosque mixto relictual (41,7 t/ha), la fragmentación del bosque puede disminuir la capacidad de almacenamiento de COS. El efecto del cambio de cobertura de acuerdo con el IPCC (2014), favorece la liberación de GEI y la reducción de la capacidad de almacenamiento de COS. Esta evaluación presenta la línea base de COS como un referente para la gestión local sostenible del recurso suelo en cuencas del Valle del Cauca.

Con relación al COS en cultivos de la cuenca Morales, se puede establecer que los cultivos con contenidos almacenamiento de COS superiores a la mediana de la cuenca fueron del siguiente orden:

- 22113 – Plátano (55,8 t/ha)
- 23171 - Pasto cultivado arbolado (55,6 t/ha)
- 22171 - Caña de azúcar (55,1 t/ha)
- 31352 - Bosque de guadua (53,0 t/ha)
- 31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme (52,6 t/ha)
- 21231 - Limón (52,3 t/ha)



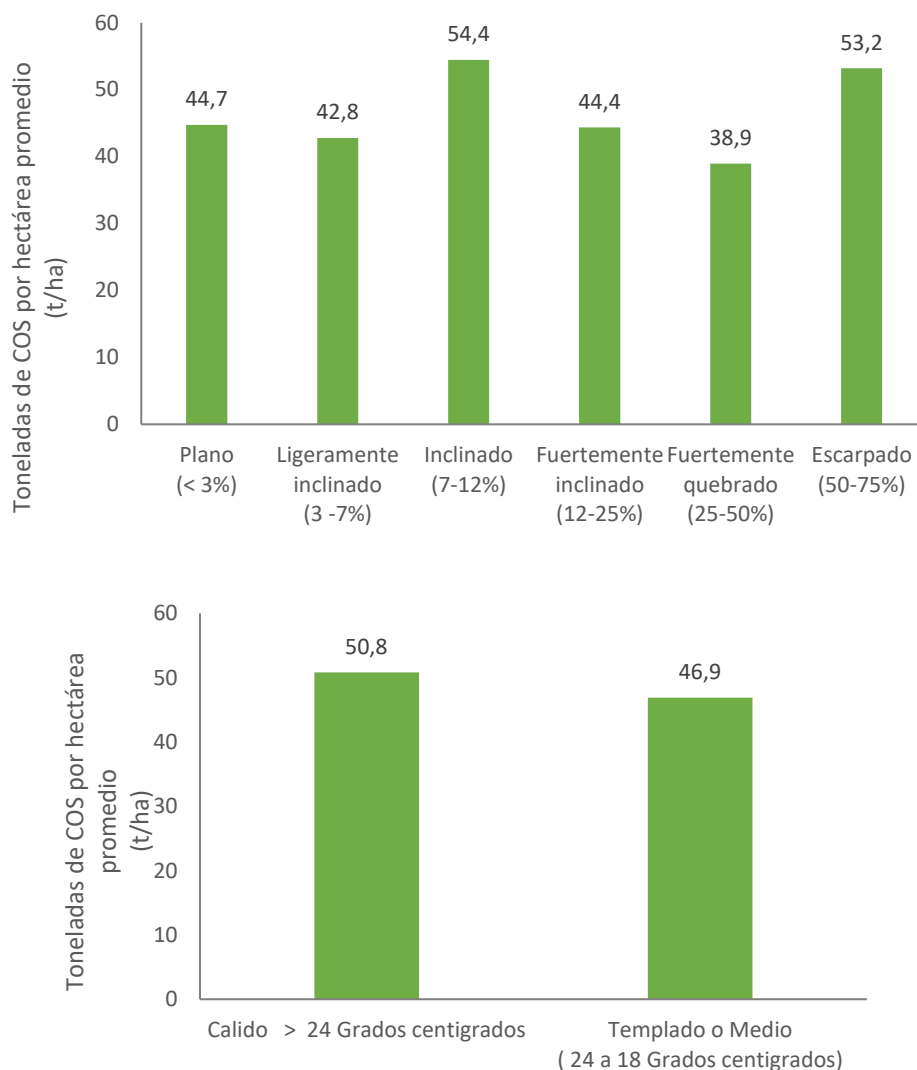


**Figura 36. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura, cuenca Morales.**

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de evaluar la influencia de la pendiente y piso térmico en las reservas de COS en suelos, en la Figura 37 se presentan el análisis. Se observa que los valores de COS en relación con la pendiente son heterogéneos, sin embargo, se podrían agrupar de cierta manera: siendo un grupo los valores más bajos en la zona plana (44,7 t/ha), ligeramente inclinado (42,8 t/ha), fuertemente inclinado (44,4 t/ha) y fuertemente quebrado (38,9 t/ha), mientras que el segundo grupo con las concentraciones más altas en zonas inclinadas (54,5 t/ha) y escarpado (53,2 t/ha).

Por otro lado, el contenido de COS promedio en zonas templadas es similar a los contenidos promedio de las zonas cálidas o zonas frías, presentando un comportamiento contrario al reportado por Arguello (1991), donde a menor temperatura, mayor actividad enzimática equivalente a mayor descomposición de compuesto derivados del carbono estable de la fracción fina, sin embargo, temperaturas muy frías ralentizan los procesos enzimáticos de degradación de la materia orgánica y fijación en el suelo. Bajo el contexto del Valle del Cauca, la localización de las zonas se concentra en temperaturas templadas a cálidas, no obstante las alteraciones que pueden ser la causa de este panorama que requiere ser analizado con mayor detenimiento.



**Figura 37. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico cuenca Morales.**

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos para la cuenca Morales, es necesario establecer estrategias de conservación en la parte media y principalmente en la parte alta de la cuenca, debido a la alta susceptibilidad de degradación que presentan los suelos por malas prácticas de conservación, afectando la estabilidad de agregados sobre partículas finas donde se concentra la mayor cantidad de COS.

Con relación a las propiedades químicas del suelo, en general, los suelos de la cuenca presentan condiciones nutricionales adecuadas para el desarrollo productivo, lo que ha



dinamizado la fuerte intervención antrópica, sin embargo, debido a la fragilidad que presentan los ecosistemas, se recomienda generar estudios más detallados que permitan establecer la necesidad específica de diferentes prácticas agronómicas en los cultivos y para la cuenca en los diferentes pisos térmicos.

Se recomienda incentivar cultivos perennes, con prácticas de conservación de suelos, como estrategia agrícola para compensar la pérdida de bosques naturales en la zona templada o media donde se presentan las mayores concentraciones de COS.

### **Estimación de COS para la cuenca**

Teniendo en cuenta que el área total de la cuenca Morales es de 20.395 ha y que el 50% de los valores se concentran entre 40,0 t/ha y 56,0 t/ha, el COS almacenado estimado para la cuenca estaría entre 815.800 y 1.142.120 t de COS.

$$\begin{aligned} E_{COS} &= Ac * \min \\ E_{COS} &= 20.395 * 40,0 \\ E_{COS} &\cong 815.800 \text{ tCOS mínimo} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{COS} &= Ac * \min \\ E_{COS} &= 20.395 * 56,0 \\ E_{COS} &\cong 1.142.120 \text{ tCOS máximo} \end{aligned}$$

## **7.1.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Con el objetivo de conocer la relación entre los diferentes niveles de COS y las propiedades fisicoquímicas en la cuenca Morales, se realizaron comparativas de tendencia empleando el método de Spearman, dado el tipo de variables y la cantidad de datos que evaluados.

En la Tabla 26 se muestran los resultados de correlación y valor “p” para cada una de las variables analizadas respecto a los niveles de COS. Aquellas con un nivel de correlación superior al 0,3 se consideraron correlaciones fuertes. Cabe tener en consideración que el valor p, equivale a la probabilidad de obtener, por azar, una diferencia tan grande o mayor de la observada, cumpliéndose que no haya diferencia real en la población de la que proceden las muestras. Para este caso, si el valor de probabilidad es menor del 5% (0,05) es lo suficientemente improbable que se deba al azar como para rechazar con una seguridad razonable la hipótesis nula (H0) y afirmar que la diferencia es real (Molina, 2017).

De las variables evaluadas la Materia orgánica (MO) y el Nitrógeno total (NT) presentan una correlación positiva significativa, mientras que el Hierro (Fe), Zinc (Zn), Altura del terreno y la pendiente presentan correlación moderadas positivas, este resultado indica que a mayor contenido de alguna de estas variables mayor será el contenido de COS fino. Siendo está

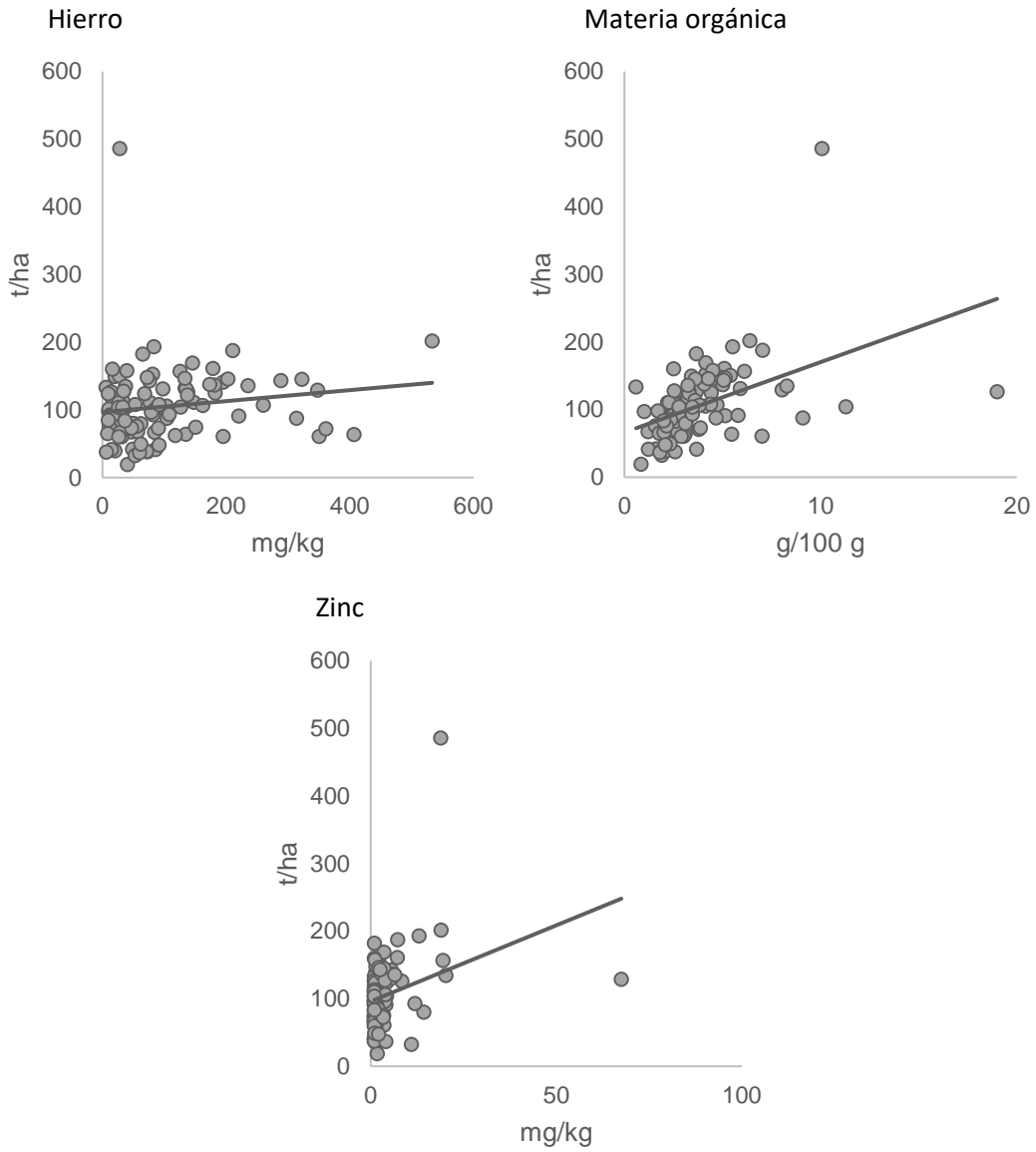
una respuesta confirmativa a la simbiosis existente entre la materia orgánica (MO) y la actividad biológica del suelo (FAO, 2002). Mientras que, se presenta correlación moderada negativa con el Sodio (Na) y su comportamiento es antagonista, a mayor contenido del elemento menor contenido de COS.

**Tabla 26. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS cuenca Morales.**

PROPIEDADES	COS	
	CORR	p-VALOR
Altura	0,19	0,04
Arcilla	-0,12	0,22
Arena	0,10	0,29
Azufre (S)	-0,17	0,07
Boro (B)	0,15	0,12
Calcio (Ca)	0,20	0,03
Capacidad interc catiónico aceta (CICA)	0,15	0,11
Capacidad interc catiónico Efect (CICE)	0,10	0,28
Cobre (Cu)	-0,03	0,77
Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	0,08	0,38
Fosforo (P) (Bray II)	0,08	0,39
Hierro (Fe)	0,21	0,02
Limo	0,06	0,52
Magnesio (Mg)	-0,07	0,46
Manganeso (Mn)	-0,02	0,87
Materia orgánica (MO)	0,60	0,00
Nitrógeno total (NT)	0,52	0,00
Pendiente	0,27	0,00
pH (1:2,5)	-0,02	0,80
Piso Térmico	-0,26	0,01
Potasio (K)	0,17	0,07
Sodio (Na)	-0,20	0,04
Zinc (Zn)	0,36	0,00

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis presentado en la Figura 38, donde se muestra la dispersión y tendencias de las variables identificadas con correlación. Para todas las variables se diferencia una tendencia de concentración de los valores en mayor magnitud cercanos al eje vertical, principalmente la materia orgánica (MO).



**Figura 38. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS, cuenca Morales.**

## 7.2 LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA BUGALAGRANDE

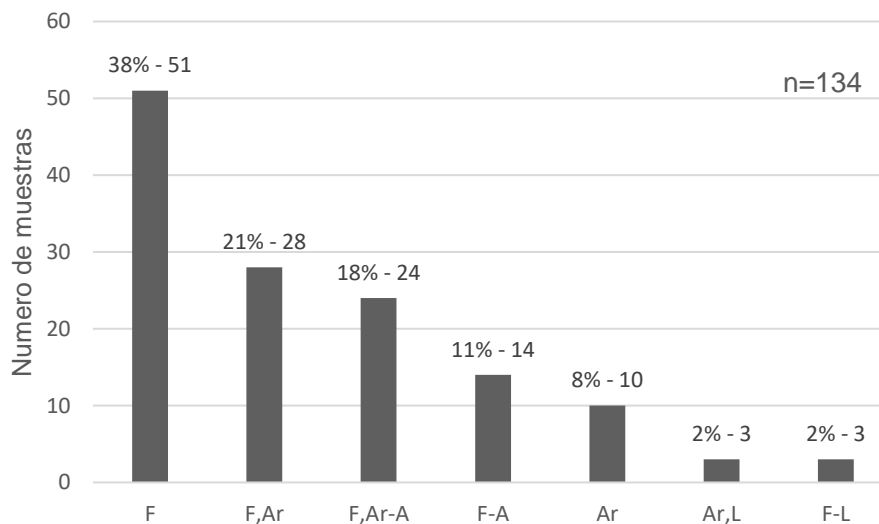
La determinación de la línea base de almacenamiento de carbono en suelos de la cuenca Bugalagrande incluyó la caracterización de las propiedades físicas y químicas del medio edáfico. A continuación, se presentan los resultados de la caracterización de las muestras del suelo y al final de este ítem, el análisis del almacenamiento de carbono para los suelos muestreados en esta cuenca.

### 7.2.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

Las principales propiedades físicas analizadas son: clase textural (contenido de limo L, arena A y arcilla Ar), densidad aparente ( $D_a$ ), lámina de agua aprovechable y estabilidad de agregados. A continuación, se presenta el comportamiento de estas variables en el suelo.

#### Textura

Para los suelos muestreados en la cuenca Bugalagrande predominan las clases texturales Francos (F), seguido de Franco Arcillosas (F<sub>Ar</sub>) y Franco Arcillo Arenosa (F<sub>ArA</sub>), con leve presencia de suelos Franco Limosos (FL) y Arcillo Limosos (Ar-L). De acuerdo con la Figura 39, se presenta una tendencia de formación de suelos de textura muy finos a media, estos últimos suelos se caracterizan por ser pesados y con alto porcentaje de contenido de partículas finas lo que favorece su capacidad de intercambio catiónico (CIC), siendo un factor positivo para el tema nutricional a diferencia de los suelos equilibrados de partículas medias que favorecen propiedades físicas para el desarrollo de raíces y almacenamiento de agua, entre otras.

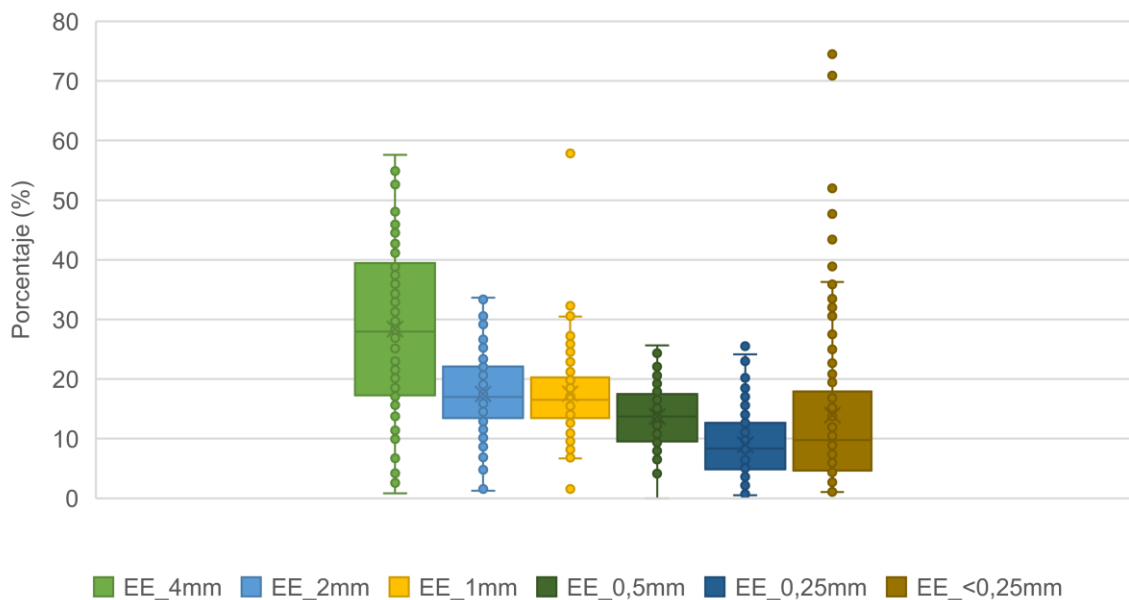


**Figura 39. Texturas en la cuenca Bugalagrande.**

Fuente: Elaboración propia.

### **Estabilidad de agregados**

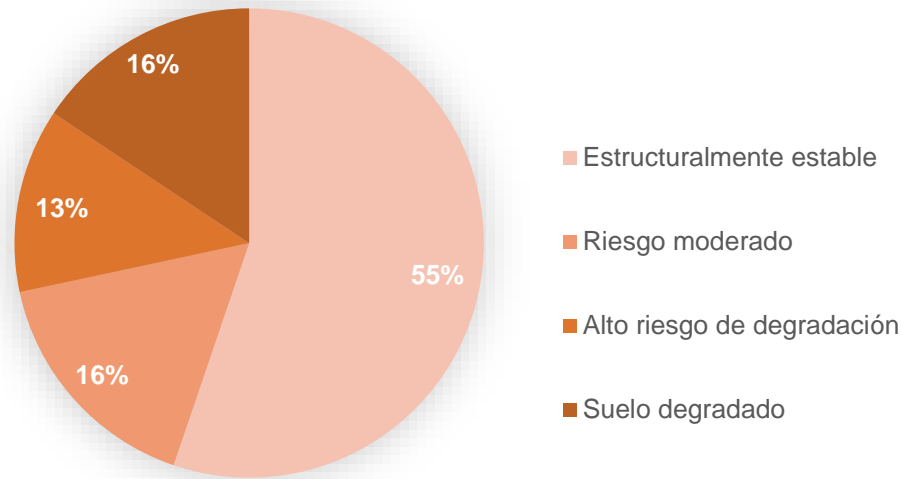
De acuerdo con la Figura 40, la distribución de los agregados del suelo presenta una tendencia hacia la generación de agregados de mayor tamaño (mayores a 4 mm), donde el porcentaje promedio es cercano al 24% mientras que los demás diámetros oscilan entre 9 y 21%. Este comportamiento contrario a lo identificado en otras cuencas, indica que el suelo, aunque presenta mayor presencia de partículas finas, tiene gran capacidad de generar enlaces fuertes con las demás partículas para formar agregados de mayor tamaño. Sin embargo, la mayor variabilidad en el contenido de partículas se presenta en las de mayor diámetro, mientras que las partículas más finas (< 0,25 mm) presentan mayor cantidad de valores considerados atípicos.



**Figura 40. Distribución de agregados en la cuenca Bugalagrande.**  
Fuente: Elaboración propia.

### **Índice de estabilidad**

Según el índice, los puntos muestreados en la cuenca concentran un panorama de distribución equilibrada con leve tendencia a presentar suelos degradados, en donde el 55% de los sitios evaluados se consideran suelos estructura estable (IE>9), 16% en riesgo moderado (IE en el rango de 9-7), el 13% en alto riesgo de degradación (IE en el rango de 5-7) y el 35% presentó características de degradación (IE<5). Lo que indica que deben promoverse prácticas de conservación para conservar las zonas en proceso de intensificación y recuperar zonas degradadas, debido a que por la tendencia estructural del suelo (partículas finas), se presenta mayor riesgo de pérdida de suelo por condición de manejo que por condición natural de arrastre de partículas por acción del agua o el viento (Figura 41).



**Figura 41. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca Bugalagrande.**

Fuente: Elaboración propia.

### **Lámina de agua aprovechable**

Cuando se presentan LAA alta (>20 mm) con densidades aparentes altas, se tiene menor AA (%), lo anterior se asocia principalmente con suelos compactados, entre mayor sea la densidad aparente mayor puede ser la compactación (Tabla 27). El agua capilar disponible para las plantas, se encuentra en los mesoporos y en los microporos del suelo; los resultados permiten inferir que hay predominio de microporos, lo que aumenta la resistencia a la penetración de las raíces y la dificultad para que las plantas tomen el agua del suelo. Los suelos arcillosos son los que tienen mayor capacidad de retener agua (LAA alta), pero esto no indica que tengan mayor porcentaje de AA (humedad volumétrica), es decir, son suelos que tienen menor agua disponible para las plantas interactúen lo cual puede afectar la dinámica nutricional.

Por otro lado, cuando se analiza la relación entre la textura de suelo con la densidad aparente ( $D_a$ ), se encuentran que para valores altos de  $D_a$  (> 1), se consideran suelos pesados con contenidos bajos de materia orgánica en el suelo (MOS), lo que sugiere que haya menor capacidad de retener la humedad en el suelo; por el contrario, suelos con mayor contenido de MO tienen mayor porosidad en el suelo (mesoporos), por ende, mayor porcentaje de agua aprovechable en el suelo (entre CC-PMP).

**Tabla 27. Contenido de Agua aprovechable y lámina de agua aprovechable según textura y densidad aparente en la en la cuenca Bugalagrande.**

CÓDIGO MUESTRA	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	TEXTURA	DA (g/cm <sup>3</sup> )
C-BUG-029	23170 - Pasto cultivado	8,0	3,25	F	0,82
C-BUG-030	23170 - Pasto cultivado	4,0	2,05	F	0,65
C-BUG-031	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	4,4	1,92	F	0,76
C-BUG-032	23170 - Pasto cultivado	6,6	3,01	F	0,73
C-BUG-033	23170 - Pasto cultivado	4,4	3,13	F-A	0,47
C-BUG-034	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	5,4	3,7	F-A	0,49
C-BUG-035	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	5,6	2,78	F	0,67
C-BUG-036	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	4,0	5,09	F	0,26
C-BUG-037	23170 - Pasto cultivado	7,3	3,28	F-A	0,74
C-BUG-038	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	6,6	2,83	F	0,78
C-BUG-039	23170 - Pasto cultivado	7,4	2,77	F	0,89
C-BUG-040	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	5,5	3,11	F	0,59
C-BUG-041	23170 - Pasto cultivado	6,0	4,25	F	0,47
C-BUG-042	23170 - Pasto cultivado	6,3	2,48	F	0,85
C-BUG-043	23151 - Papa	5,0	1,82	F	0,91
C-BUG-044	23170 - Pasto cultivado	7,3	2,75	F	0,89
C-BUG-045	21120 - Eucalipto	7,1	2,97	F	0,8
C-BUG-046	23170 - Pasto cultivado	6,2	2,81	F	0,73
C-BUG-047	23170 - Pasto cultivado	8,1	3,66	F	0,74
C-BUG-048	23170 - Pasto cultivado	7,0	2,81	F	0,83
C-BUG-049	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	6,0	3,44	F,Ar-A	0,58
C-BUG-050	23170 - Pasto cultivado	5,5	2,81	F	0,65
C-BUG-051	23151 - Papa	7,0	3,32	F-L	0,7
C-BUG-052	23170 - Pasto cultivado	6,2	3,81	F	0,54
C-BUG-053	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	5,3	6,6	F	0,27
C-BUG-054	23170 - Pasto cultivado	6,3	2,9	F-L	0,72
C-BUG-055	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	9,1	3,95	F	0,77
C-BUG-056	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	9,0	4,34	F-A	0,69
C-BUG-057	23170 - Pasto cultivado	6,2	2,81	F	0,73
C-BUG-058	23170 - Pasto cultivado	12,1	3,44	F-A	1,17
C-BUG-059	22181 - Maíz	5,2	1,94	F	0,89
C-BUG-060	23170 - Pasto cultivado	5,6	2,61	F-A	0,71
C-BUG-061	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	5,6	1,97	F	0,94
C-BUG-062	23170 - Pasto cultivado	7,5	3,03	F	0,82
C-BUG-063	32111 - Arbustal y matorral denso bajo de tierra firme	14,5	4,33	F	1,12
C-BUG-064	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	8,7	3,23	F-A	0,9
C-BUG-065	23170 - Pasto cultivado	7,4	2,9	F	0,85
C-BUG-066	22181 - Maíz	7,9	2,41	F	1,09
C-BUG-067	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	10,8	2,33	F,Ar	1,54
C-BUG-068	23411 - Otros Cultivos confinados	6,6	2,43	F	0,91
C-BUG-069	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	3,9	1,75	F	0,75
C-BUG-070	23171 - Pasto cultivado arbolado	5,0	1,88	F-L	0,89
C-BUG-071	23170 - Pasto cultivado	3,4	2,2	F	0,51
C-BUG-072	23151 - Papa	5,0	1,72	F,Ar	0,97

CÓDIGO MUESTRA	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	TEXTURA	DA (g/cm <sup>3</sup> )
C-BUG-073	23151 - Papa	6,7	2,52	F	0,89
C-BUG-074	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	16,5	4,29	F,Ar-A	1,28
C-BUG-075	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	12,3	4,28	F,Ar-A	0,96
C-BUG-076	22122 - Café-Plátano	16,9	5,3	F	1,06
C-BUG-077	22122 - Café-Plátano	14,0	3,89	F,Ar-A	1,2
C-BUG-078	24140 - Misceláneo de cultivos y espacios naturales	13,1	4,37	F	1
C-BUG-079	22122 - Café-Plátano	11,3	3,74	F,Ar	1,01
C-BUG-080	23170 - Pasto cultivado	17,1	4,23	F,Ar-A	1,35
C-BUG-081	23170 - Pasto cultivado	12,9	3,38	F,Ar-A	1,27
C-BUG-082	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	13,3	3,4	F	1,3
C-BUG-083	22181 - Maíz	14,4	3,44	F	1,4
C-BUG-084	22171 - Caña de azúcar	15,1	3,36	Ar,L	1,5
C-BUG-085	24110 - Otras asociaciones de cultivos	18,0	4,05	F	1,48
C-BUG-086	21230 - Misceláneo de Cítricos	18,6	3,99	F	1,55
C-BUG-087	23170 - Pasto cultivado	11,4	2,66	F,Ar-A	1,43
C-BUG-088	22181 - Maíz	15,6	3,67	F	1,42
C-BUG-089	23161 - Pasto de corte	7,0	1,76	F,Ar	1,33
C-BUG-090	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	16,4	5	F,Ar	1,09
C-BUG-091	22171 - Caña de azúcar	5,7	1,7	F,Ar	1,12
C-BUG-092	23170 - Pasto cultivado	11,2	2,43	F,Ar-A	1,54
C-BUG-093	22171 - Caña de azúcar	13,6	3,05	F,Ar	1,49
C-BUG-094	21230 - Misceláneo de Cítricos	10,1	2,11	F,Ar-A	1,6
C-BUG-095	21230 - Misceláneo de Cítricos	5,4	1,54	Ar,L	1,17
C-BUG-096	24122 - Cítricos-Plátano	12,7	2,76	F,Ar	1,53
C-BUG-097	22181 - Maíz	14,0	3,24	F,Ar	1,44
C-BUG-098	23161 - Pasto de corte	9,4	2,18	F,Ar	1,43
C-BUG-099	23170 - Pasto cultivado	16,9	3,69	F,Ar-A	1,53
C-BUG-100	23170 - Pasto cultivado	18,7	4,46	F,Ar	1,4
C-BUG-101	23170 - Pasto cultivado	11,1	2,56	Ar	1,44
C-BUG-102	23170 - Pasto cultivado	16,9	3,3	A	1,71
C-BUG-103	23170 - Pasto cultivado	10,4	2,5	F,Ar-A	1,38
C-BUG-104	23170 - Pasto cultivado	19,9	5,22	F	1,27
C-BUG-105	23170 - Pasto cultivado	17,7	4,07	F,Ar-A	1,45
C-BUG-106	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	12,7	3,53	Ar	1,2
C-BUG-107	23170 - Pasto cultivado	15,2	3,9	F	1,3
C-BUG-108	23170 - Pasto cultivado	12,4	3,37	Ar	1,23
C-BUG-109	23170 - Pasto cultivado	12,0	4,95	F,Ar-A	0,81
C-BUG-110	22122 - Café-Plátano	12,1	3,33	F	1,21
C-BUG-111	22122 - Café-Plátano	18,4	4,31	F,Ar-A	1,42
C-BUG-112	22122 - Café-Plátano	16,0	4,57	F-A	1,17
C-BUG-113	22122 - Café-Plátano	13,3	5,36	F-A	0,83
C-BUG-114	23170 - Pasto cultivado	12,7	4,47	F-A	0,95
C-BUG-115	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	11,1	5,69	F	0,65
C-BUG-116	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	20,9	4,84	F,Ar-A	1,44
C-BUG-117	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	19,2	5,15	F,Ar-A	1,24
C-BUG-118	23170 - Pasto cultivado	14,9	4,51	F	1,1
C-BUG-119	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	17,4	4,63	F,Ar-A	1,25
C-BUG-120	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	15,7	4,23	F,Ar-A	1,24
C-BUG-121	23170 - Pasto cultivado	11,6	3,08	F,Ar	1,25



CÓDIGO MUESTRA	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	TEXTURA	DA (g/cm <sup>3</sup> )
C-BUG-122	31352 - Bosque de guadua	17,1	4,41	F,Ar	1,29
C-BUG-123	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	19,6	5,88	F,Ar-A	1,11
C-BUG-124	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	11,0	4	F,Ar	0,92
C-BUG-126	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	12,9	4,89	F	0,88
C-BUG-127	23170 - Pasto cultivado	12,9	4,18	F	1,03
C-BUG-128	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	5,5	4,34	F-A	0,42
C-BUG-129	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	5,2	4,82	F-A	0,36
C-BUG-130	22161 - Granadilla	11,0	4,3	F,Ar-A	0,85
C-BUG-131	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	11,9	6,6	F	0,6
C-BUG-132	22122 - Café-Plátano	11,9	4,05	F,Ar	0,98
C-BUG-133	23170 - Pasto cultivado	11,9	4,32	F,Ar	0,92
C-BUG-134	22122 - Café-Plátano	19,2	5,07	F,Ar-A	1,26
C-BUG-135	22122 - Café-Plátano	14,8	4,4	F	1,12
C-BUG-136	23170 - Pasto cultivado	15,1	4,31	F,Ar	1,17
C-BUG-137	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	10,5	4,04	F	0,87
C-BUG-138	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	10,0	3,45	F-A	0,97
C-BUG-151	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	12,4	3,48	Ar,L	1,19
C-BUG-152	23170 - Pasto cultivado	9,9	2,47	Ar	1,34
C-BUG-153	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	18,4	4,42	F,Ar	1,39
C-BUG-154	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	17,2	4,58	F,Ar	1,25
C-BUG-155	23170 - Pasto cultivado	22,1	5,33	Ar	1,38
C-BUG-156	23170 - Pasto cultivado	19,0	4,5	F,Ar	1,41
C-BUG-165	22171 - Caña de azúcar	12,3	3,33	Ar	1,23
C-BUG-166	22171 - Caña de azúcar	13,9	3,8	Ar	1,22
C-BUG-195	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	13,8	5,43	Ar	0,85
C-BUG-196	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	14,6	4,91	F,Ar	0,99
C-BUG-197	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	11,5	4,02	F,Ar-A	0,95
C-BUG-198	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	10,6	5,25	F-A	0,67
C-BUG-199	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	12,3	4,55	F	0,9
C-BUG-200	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	15,5	5,38	F,Ar	0,96
C-BUG-208	23170 - Pasto cultivado	11,5	3,13	Ar	1,22
C-BUG-209	23170 - Pasto cultivado	10,8	3,02	F	1,19
C-BUG-210	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	16,6	3,79	F,Ar	1,46
C-BUG-211	23170 - Pasto cultivado	11,4	2,8	F,Ar-A	1,36
C-BUG-212	23170 - Pasto cultivado	12,1	2,99	F,Ar	1,35
C-BUG-213	21230 - Misceláneo de Cítricos	11,0	3,03	F,Ar	1,21
C-BUG-214	23170 - Pasto cultivado	12,3	2,73	F,Ar-A	1,5
C-BUG-215	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	6,3	1,6	F,Ar	1,32
C-BUG-216	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	9,2	2,17	F,Ar	1,42
C-BUG-217	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	9,8	2,43	F,Ar	1,35
C-BUG-218	22171 - Caña de azúcar	13,9	3,27	Ar	1,42

Fuente: Elaboración propia.

### **Densidad aparente**

La densidad aparente (Da) afecta al crecimiento de las plantas debido al efecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. El incremento de la Da, aumenta la resistencia mecánica y la porosidad del suelo tiende a disminuir, estos cambios limitan el

---

crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la  $D_a$  para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate. Los valores bajos de  $D_a$  son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Los valores altos de densidad aparente son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan dificultades para elongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios.

Para la cuenca Bugalagrande se presentaron densidades que varían entre 0,26 y 1,71  $g/cm^3$ , de acuerdo con las categorías definidas por Arshad et al., (1996) se diferencian 102 sitios en categoría de ideal ( $<1,10$  en textura Arcillosa;  $<1,40$  en texturas Franco, Franco Arcillosa y Franco Arenosa), 31 sitios con posible afectación radicular (entre 1,10 y 1,46 en textura Arcillosa; entre 1,40 y 1,74 en texturas Franco Arenosa) y 1 sitios en categoría de restricción al crecimiento de raíces por posible compactación ( $>1,46$  en texturas Arcillosas) en zonas con cobertura de pasto cultivado y uso en ganadería (Tabla 28). Por todo lo anterior, en forma general se identifican suelos con alto potencial para el desarrollo vegetal con consideraciones de manejo en zonas que puedan presentar posible afectación radicular.

**Tabla 28. Densidad aparente, cobertura y crecimiento radicular, en base a las texturas identificadas en la cuenca Bugalagrande.**

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA (g/cm <sup>3</sup> )	CATEGORÍA
A	C-BUG-102	23170 - Pasto cultivado	1,71	Afectación radicular
	C-BUG-195	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	0,85	Ideal
Ar	C-BUG-106	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1,20	Posible afectación radicular
	C-BUG-166	22171 - Caña de azúcar	1,22	Posible afectación radicular
	C-BUG-208	23170 - Pasto cultivado	1,22	Posible afectación radicular
	C-BUG-108	23170 - Pasto cultivado	1,23	Posible afectación radicular
	C-BUG-165	22171 - Caña de azúcar	1,23	Posible afectación radicular
	C-BUG-152	23170 - Pasto cultivado	1,34	Posible afectación radicular
	C-BUG-155	23170 - Pasto cultivado	1,38	Posible afectación radicular
	C-BUG-218	22171 - Caña de azúcar	1,42	Posible afectación radicular
	C-BUG-101	23170 - Pasto cultivado	1,44	Posible afectación radicular
	ArL	C-BUG-095	21230 - Misceláneo de Cítricos	1,17
C-BUG-151		32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1,19	Posible afectación radicular
C-BUG-084		22171 - Caña de azúcar	1,50	Posible afectación radicular
F	C-BUG-036	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	0,26	Ideal
	C-BUG-053	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,27	Ideal
	C-BUG-041	23170 - Pasto cultivado	0,47	Ideal
	C-BUG-071	23170 - Pasto cultivado	0,51	Ideal
	C-BUG-052	23170 - Pasto cultivado	0,54	Ideal
	C-BUG-040	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	0,59	Ideal
	C-BUG-131	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	0,60	Ideal
	C-BUG-030	23170 - Pasto cultivado	0,65	Ideal
	C-BUG-050	23170 - Pasto cultivado	0,65	Ideal
	C-BUG-115	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,65	Ideal
	C-BUG-035	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	0,67	Ideal
	C-BUG-032	23170 - Pasto cultivado	0,73	Ideal
	C-BUG-046	23170 - Pasto cultivado	0,73	Ideal
	C-BUG-057	23170 - Pasto cultivado	0,73	Ideal
	C-BUG-047	23170 - Pasto cultivado	0,74	Ideal
	C-BUG-069	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	0,75	Ideal
	C-BUG-031	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	0,76	Ideal
	C-BUG-055	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,77	Ideal
	C-BUG-038	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	0,78	Ideal

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA (g/cm <sup>3</sup> )	CATEGORÍA
	C-BUG-045	21120 - Eucalipto	0,80	Ideal
	C-BUG-029	23170 - Pasto cultivado	0,82	Ideal
	C-BUG-062	23170 - Pasto cultivado	0,82	Ideal
	C-BUG-048	23170 - Pasto cultivado	0,83	Ideal
	C-BUG-042	23170 - Pasto cultivado	0,85	Ideal
	C-BUG-065	23170 - Pasto cultivado	0,85	Ideal
	C-BUG-137	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	0,87	Ideal
	C-BUG-126	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,88	Ideal
	C-BUG-039	23170 - Pasto cultivado	0,89	Ideal
	C-BUG-044	23170 - Pasto cultivado	0,89	Ideal
	C-BUG-059	22181 - Maíz	0,89	Ideal
	C-BUG-073	23151 - Papa	0,89	Ideal
	C-BUG-199	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	0,90	Ideal
	C-BUG-043	23151 - Papa	0,91	Ideal
	C-BUG-068	23411 - Otros Cultivos confinados	0,91	Ideal
	C-BUG-061	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	0,94	Ideal
	C-BUG-078	24140 - Misceláneo de cultivos y espacios naturales	1,00	Ideal
	C-BUG-127	23170 - Pasto cultivado	1,03	Ideal
	C-BUG-076	22122 - Café-Plátano	1,06	Ideal
	C-BUG-066	22181 - Maíz	1,09	Ideal
	C-BUG-118	23170 - Pasto cultivado	1,10	Ideal
	C-BUG-063	32111 - Arbustal y matorral denso bajo de tierra firme	1,12	Ideal
	C-BUG-135	22122 - Café-Plátano	1,12	Ideal
	C-BUG-209	23170 - Pasto cultivado	1,19	Ideal
	C-BUG-110	22122 - Café-Plátano	1,21	Ideal
	C-BUG-104	23170 - Pasto cultivado	1,27	Ideal
	C-BUG-082	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1,30	Ideal
	C-BUG-107	23170 - Pasto cultivado	1,30	Ideal
	C-BUG-083	22181 - Maíz	1,40	Ideal
	C-BUG-088	22181 - Maíz	1,42	Posible afectación radicular
	C-BUG-085	24110 - Otras asociaciones de cultivos	1,48	Posible afectación radicular
	C-BUG-086	21230 - Misceláneo de Cítricos	1,55	Posible afectación radicular
FAr	C-BUG-124	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	0,92	Ideal
	C-BUG-133	23170 - Pasto cultivado	0,92	Ideal
	C-BUG-200	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,96	Ideal
	C-BUG-072	23151 - Papa	0,97	Ideal

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA (g/cm3)	CATEGORÍA
	C-BUG-132	22122 - Café-Plátano	0,98	Ideal
	C-BUG-196	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,99	Ideal
	C-BUG-079	22122 - Café-Plátano	1,01	Ideal
	C-BUG-090	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1,09	Ideal
	C-BUG-091	22171 - Caña de azúcar	1,12	Ideal
	C-BUG-136	23170 - Pasto cultivado	1,17	Ideal
	C-BUG-213	21230 - Misceláneo de Cítricos	1,21	Ideal
	C-BUG-121	23170 - Pasto cultivado	1,25	Ideal
	C-BUG-154	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1,25	Ideal
	C-BUG-122	31352 - Bosque de guadua	1,29	Ideal
	C-BUG-215	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1,32	Ideal
	C-BUG-089	23161 - Pasto de corte	1,33	Ideal
	C-BUG-212	23170 - Pasto cultivado	1,35	Ideal
	C-BUG-217	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1,35	Ideal
	C-BUG-153	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1,39	Ideal
	C-BUG-100	23170 - Pasto cultivado	1,40	Ideal
	C-BUG-156	23170 - Pasto cultivado	1,41	Posible afectación radicular
	C-BUG-216	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1,42	Posible afectación radicular
	C-BUG-098	23161 - Pasto de corte	1,43	Posible afectación radicular
	C-BUG-097	22181 - Maíz	1,44	Posible afectación radicular
	C-BUG-210	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1,46	Posible afectación radicular
	C-BUG-093	22171 - Caña de azúcar	1,49	Posible afectación radicular
	C-BUG-096	24122 - Cítricos-Plátano	1,53	Posible afectación radicular
C-BUG-067	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1,54	Posible afectación radicular	
FArA	C-BUG-049	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,58	Ideal
	C-BUG-109	23170 - Pasto cultivado	0,81	Ideal
	C-BUG-130	22161 - Granadilla	0,85	Ideal
	C-BUG-197	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,95	Ideal
	C-BUG-075	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	0,96	Ideal
	C-BUG-123	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1,11	Ideal
	C-BUG-077	22122 - Café-Plátano	1,20	Ideal
	C-BUG-117	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1,24	Ideal
	C-BUG-120	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1,24	Ideal
	C-BUG-119	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1,25	Ideal
	C-BUG-134	22122 - Café-Plátano	1,26	Ideal
C-BUG-081	23170 - Pasto cultivado	1,27	Ideal	

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA (g/cm3)	CATEGORÍA
	C-BUG-074	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1,28	Ideal
	C-BUG-080	23170 - Pasto cultivado	1,35	Ideal
	C-BUG-211	23170 - Pasto cultivado	1,36	Ideal
	C-BUG-103	23170 - Pasto cultivado	1,38	Ideal
	C-BUG-111	22122 - Café-Plátano	1,42	Posible afectación radicular
	C-BUG-087	23170 - Pasto cultivado	1,43	Posible afectación radicular
	C-BUG-116	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1,44	Posible afectación radicular
	C-BUG-105	23170 - Pasto cultivado	1,45	Posible afectación radicular
	C-BUG-214	23170 - Pasto cultivado	1,50	Posible afectación radicular
	C-BUG-099	23170 - Pasto cultivado	1,53	Posible afectación radicular
	C-BUG-092	23170 - Pasto cultivado	1,54	Posible afectación radicular
C-BUG-094	21230 - Misceláneo de Cítricos	1,60	Posible afectación radicular	
FA	C-BUG-129	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	0,36	Ideal
	C-BUG-128	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	0,42	Ideal
	C-BUG-033	23170 - Pasto cultivado	0,47	Ideal
	C-BUG-034	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,49	Ideal
	C-BUG-198	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	0,67	Ideal
	C-BUG-056	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,69	Ideal
	C-BUG-060	23170 - Pasto cultivado	0,71	Ideal
	C-BUG-037	23170 - Pasto cultivado	0,74	Ideal
	C-BUG-113	22122 - Café-Plátano	0,83	Ideal
	C-BUG-064	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	0,90	Ideal
	C-BUG-114	23170 - Pasto cultivado	0,95	Ideal
	C-BUG-138	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,97	Ideal
	C-BUG-058	23170 - Pasto cultivado	1,17	Ideal
C-BUG-112	22122 - Café-Plátano	1,17	Ideal	
FL	C-BUG-051	23151 - Papa	0,70	Ideal
	C-BUG-054	23170 - Pasto cultivado	0,72	Ideal
	C-BUG-070	23171 - Pasto cultivado arbolado	0,89	Ideal

Fuente: Elaboración propia.

## 7.2.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS

En la Tabla 29 se presentan los resultados de las propiedades químicas para los sitios muestreados en la Cuenca Bugalagrande. Se incluyen los valores promedios, mínimo y máximos de las variables. Si bien, se ha calculado la desviación estándar, estas deben ser analizadas como tendencias debido al reducido número de muestras correspondientes a esta cuenca.

**Tabla 29. Propiedades químicas del suelo en la cuenca Bugalagrande.**

PROPIEDAD	UNID	PROM	MÍN	MÁX	DESV
Azufre (S) disponible	mg/kg	6,52	0,75	29,09	4,55
Boro (B) Disponible	mg/kg	0,19	0,02	0,79	0,14
Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	10,21	0,41	33,20	7,16
Capacidad Interc Catiónico Aceta (CICA)	cmol(+)/kg	134,00	0,08	1,18	0,24
Capacidad Interc Catiónico Efect (CICE)	cmol(+)/kg	17,89	2,21	46,53	11,47
Cobre (Cu) olsen Disponible	mg/kg	3,27	1,06	17,28	2,51
Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	dS/m	0,24	0,04	1,31	0,20
Fosforo (P) Disponible (Bray II)	mg/kg	15,62	1,33	266,70	28,74
Hierro (Fe) olsen Disponible	mg/kg	113,47	5,24	656,35	124,09
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	6,72	0,25	26,85	6,00
Manganeso (Mn) olsen Disponible	mg/kg	10,45	1,43	154,88	14,61
Materia Orgánica (MO)	g/100 g	6,11	1,00	20,81	3,41
Nitrógeno total (NT)	g/100 g	24,31	5,05	45,85	8,42
pH (1:2,5)	unid. pH	6,35	5,02	8,06	0,69
Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg	0,64	0,09	4,37	0,70
Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	0,22	0,14	0,80	0,13
Zinc (Zn) olsen Disponible	mg/kg	4,53	1,02	41,37	6,51
Total muestras (n): 134					

Fuente: Elaboración propia.

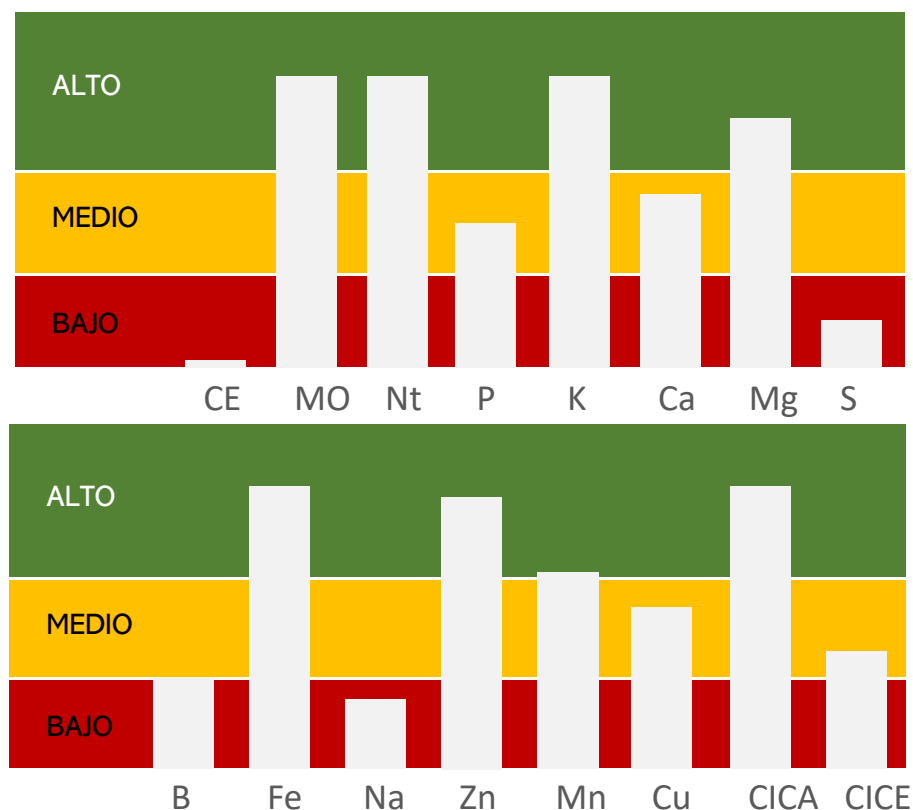
Es bien conocido que la fertilidad química en suelos se refiere a la reserva de nutrientes y su aporte a las plantas. En la Figura 42 se pueden observar los niveles de categorización promedio para cada uno de los elementos relacionados con la nutrición de las plantas en el suelo, indicando de manera positiva que los macronutrientes (elementos que se absorben en mayor cantidad por la plantas para desarrollar sus funciones fisiológicas) Nitrógeno (24,31 g/100 g) y Potasio (0,64 cmol(+)/kg) se encuentran en niveles altos, al igual que uno de los microelementos principales, el Magnesio (8,10 mg/Kg), sin embargo las concentraciones de Calcio (13,42 cmol(+)/kg) se presentan en niveles medios, que puede variar la proporción Ca/Mg.

Contenidos altos de materia orgánica contribuyen en el aumento de la CIC a valores que van de medio a alto, que está directamente relacionada con la fertilidad del suelo, ya que la MO libera grupos carboxílicos y fenólicos activos que se disocian, liberando iones H<sup>+</sup> a la solución del suelo (Díaz, 2008). En tanto que niveles de CIC medios a altos favorece el depósito de iones nutritivos siendo un factor positivo para el mejor aprovechamiento de las

plantas. Adicionalmente se identifica altos contenidos de Hierro (105,28 mg/Kg) representa una posible barrera en la disponibilidad del fósforo por su efecto antagónico además de los niveles de concentración medio del Fósforo (18,56 mg/kg).

En cuanto a los microelementos se identifica algunas deficiencias de Azufre (6,52 mg/kg), Boro (0,19 mg/kg) y Sodio (0,22 mg/kg) que pueden ser corregidas según las necesidades en particular, en especial el Azufre por la relación con el mecanismo de defensa de las plantas lo que podría afectar los cultivos presentes en la cuenca. En forma general estos suelos evaluados presentan características adecuadas de fertilidad química para el desarrollo nutricional de la cobertura vegetal requiriendo incorporación de nutrientes y medidas correctivas en la medida de lo necesario.

Por otro lado, la salinidad del suelo se refiere a la cantidad de sales presentes en solución acuosa y puede ser estimada indirectamente mediante la medición de la conductividad eléctrica (CE), que en suelos está influenciado por la concentración y composición de las sales disueltas; a mayor valor de CE, mayor es la salinidad presente. La salinidad es un fenómeno indeseable ya que afecta el crecimiento de las plantas de varias maneras y por lo mismo, un aumento en la CE traerá como consecuencia una disminución de rendimiento. Los valores de CE para la cuenca Bugalagrande son  $<0.8$  dS/m, lo que significa que en promedio son suelos con muy baja salinidad lo que facilita el manejo de la fertilización y evitan problemas por fitotoxicidad en el establecimiento de cultivos.

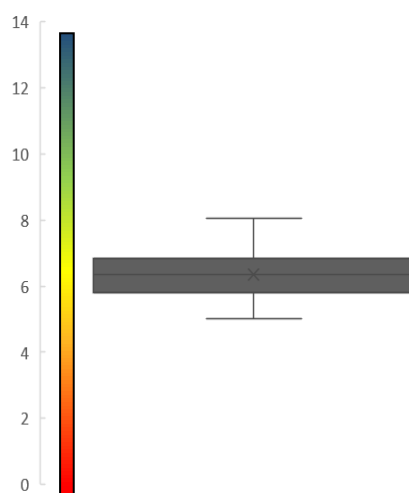


**Figura 42. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca Bugalagrande.**

Fuente: Elaboración propia.



En cuanto al pH, en la Figura 43 se observa que, la mediana es de 6,35 mientras que la mitad de las muestras se concentran en la condición entre 5,80 y 6,83 equivalente a las categorías de moderadamente ácido (5,5 a 5,9) y cercano a la neutralidad (6,6 y 7,3), que representan la condición adecuada para el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Por otra parte, existen zonas donde las condiciones del suelo son de mayor adversidad por el efecto antagonista que ocasiona niveles de pH extremos (ICA, 1992). En los sitios donde el pH es inferior a 5,5 (fuerte a extremadamente ácido) se presentan registros de acidez por presencia de Aluminio (Al) intercambiable y deficiencias de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg). Mientras que, en sitios con pH mayores a 7,4 (alcalino y muy alcalino) es necesario implementar enmiendas para corregir la inhibición del crecimiento y adecuado desarrollo de las plantas.



**Figura 43. Distribución de los valores de pH de la cuenca Bugalagrande.**

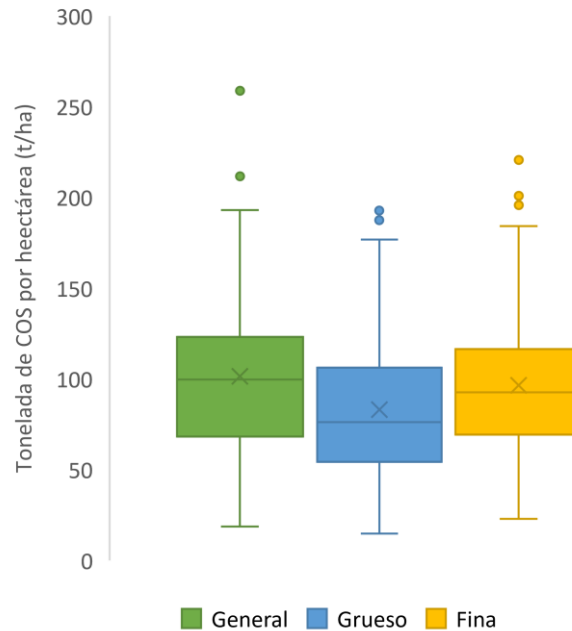
Fuente: Elaboración propia.

### 7.2.3 ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS

De acuerdo con la estimación de almacenamiento de COS en el suelo, la mediana para la cuenca Bugalagrande es 99,7 t/ha en el COS general, 76,2 t/ha en el COS grueso y 92,7 t/ha en COS almacenado en la fracción fina (Figura 44). Para el caso del COS general es considerados en un nivel Alto (80 – 119,9 t/ha) al igual que el COS fino, mientras que el contenido de COS grueso se establece en un nivel Medio (40 – 79,9 t/ha) (Loayza et al., 2020). En forma general se aprecia que las variaciones en el contenido del COS general oscilan en un rango de 160 t/ha, presentado dos valores atípicos alto desde 187,5 t/ha hacia arriba en zonas cultivada con Maíz y Pasto.

Basado en las estimaciones, el suelo presenta mayor capacidad de reserva de COS en la fracción fina donde el carbono se considera estable en el suelo por ser la fracción donde se concentran las últimas etapas de los procesos de descomposición de la materia orgánica con la generación de ácidos húmicos y fúlvicos, además de compuestos aromáticos (Pérez,

2011). La tendencia del suelo a presentar mayor acumulación de COS en esta fracción se asocia principalmente con los altos contenidos de MO, CIC y suelos cercanos a la neutralidad.

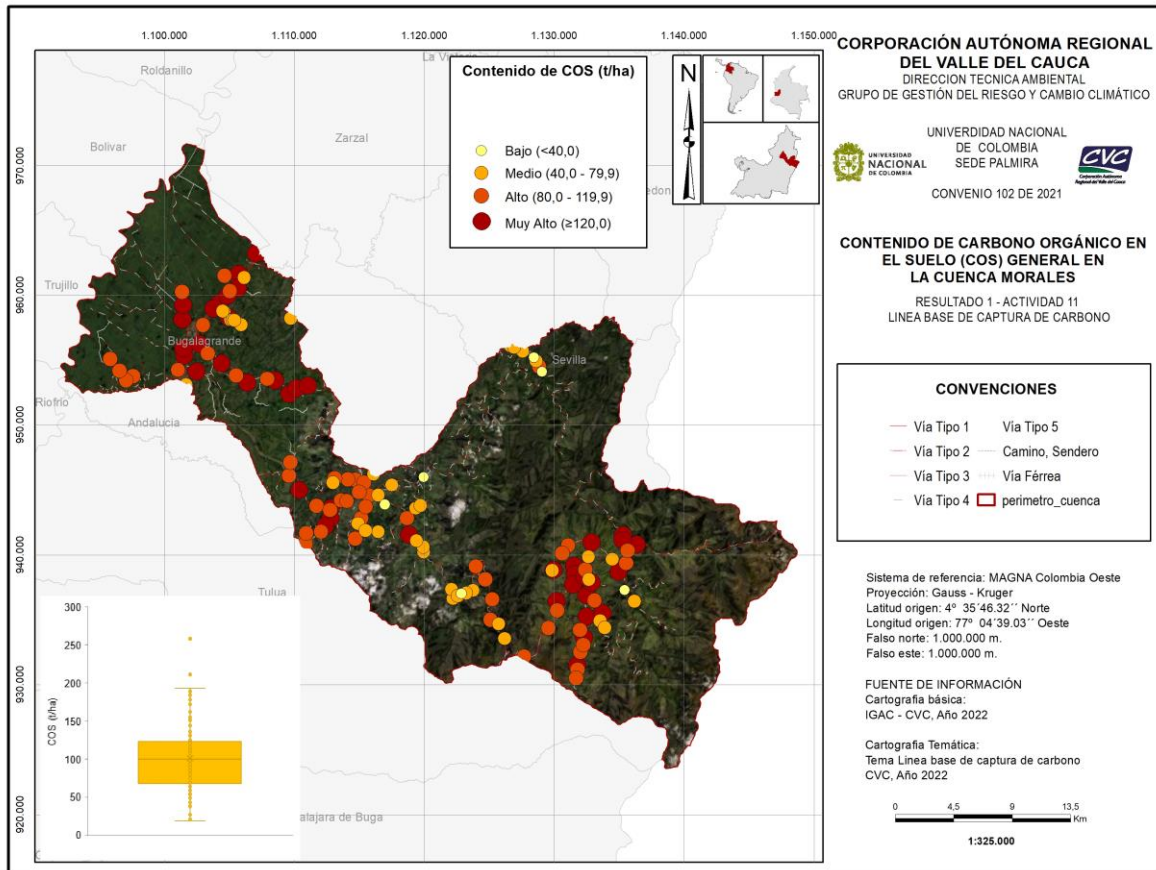


**Figura 44. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general cuenca Bugalagrande.**

Fuente: Elaboración propia.

La capacidad del almacenamiento de COS en el suelo se relaciona con las propiedades físicas, suelos de textura fina y la concentración de agregados en las partículas más finas (< 0,25 mm) pueden favorecer la tendencia taxonómica a generar (Pérez, 2011; Cantera, 2005), donde partículas más gruesas (como arenas), solo identificaron trazas de COS, mientras que partículas finas (como arcillas) se concentraron los contenidos de COS más altos, seguido de las partículas medias (como limo) y fraccionamientos de menor diámetro presentan mayores concentraciones de COS, disminuyendo en el suelo a medida que se aumenta el diámetro de fraccionamiento del suelo.

Del total de sitios evaluados (0 - 30 cm de profundidad) para la cuenca Bugalagrande el 50% de los datos de almacenamiento de COS se encontraron entre 68,2 y 123,1 t/ha, con una mediana de 99,7 t/ha, presentando contenidos similares a los estimados por el IGAC para la región Andina (Bolívar et al., 2019). Sin embargo, en la Figura 45 con la distribución espacial de los sitios evaluados no se identifica patrones de concentración o distribución de focos claramente identificables que establezcan zonas prioritarias sin información complementaria como piso térmico o altura (msnm).



**Figura 45. Distribución de los contenidos de COS en la cuenca Bugalagrande (t/ha).**  
Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la categorización de las estimaciones de COS en la cuenca Bugalagrande (Tabla 30), al utilizar la Da y el contenido de carbono orgánico, en 41 de los 134 sitios se tiene un nivel Muy Alto ( $>120$  t/ha), 51 se encuentran en un nivel Alto (80 - 119,9 t/ha), 36 sitios se encuentran en un nivel Medio (40 - 79,9 t/ha) y 6 en categoría de nivel Bajo ( $<40$  t/ha) (Vela et al., 2012; Loayza et al., 2020). Siendo un factor positivo identificar la mayor parte de los sitios evaluados (69%) en condiciones de almacenamiento de COS entre Altos y Muy Altos.

**Tabla 30. Contenidos de COS calculado y nivel de concentración por sitio muestreado.**

CÓDIGO	DA (g/cm3)	COS (t/ha)	NIVEL	CÓDIGO	DA (g/cm3)	COS (t/ha)	NIVEL
C-BUG-029	0,82	189,17	Muy Alto	C-BUG-096	1,53	211,6	Muy Alto
C-BUG-030	0,65	193,05	Muy Alto	C-BUG-097	1,44	212,98	Muy Alto
C-BUG-031	0,76	101,46	Alto	C-BUG-098	1,43	131,27	Muy Alto
C-BUG-032	0,73	171,92	Muy Alto	C-BUG-099	1,53	125,31	Muy Alto
C-BUG-033	0,47	113,65	Alto	C-BUG-100	1,4	107,52	Alto
C-BUG-034	0,49	120,1	Muy Alto	C-BUG-101	1,44	122,69	Muy Alto
C-BUG-035	0,67	114,17	Alto	C-BUG-102	1,71	118,5	Alto
C-BUG-036	0,26	94,15	Alto	C-BUG-103	1,38	122,96	Muy Alto
C-BUG-037	0,74	110,78	Alto	C-BUG-104	1,27	111,63	Alto
C-BUG-038	0,78	116,77	Alto	C-BUG-105	1,45	131,37	Muy Alto
C-BUG-039	0,89	135,9	Muy Alto	C-BUG-106	1,2	122,04	Muy Alto
C-BUG-040	0,59	66,38	Medio	C-BUG-107	1,3	120,9	Muy Alto
C-BUG-041	0,47	44,27	Medio	C-BUG-108	1,23	122,14	Muy Alto
C-BUG-042	0,85	131,84	Muy Alto	C-BUG-109	0,81	89,42	Alto
C-BUG-043	0,91	40,68	Medio	C-BUG-110	1,21	178,6	Muy Alto
C-BUG-044	0,89	117,21	Alto	C-BUG-111	1,42	120,98	Muy Alto
C-BUG-045	0,8	150,96	Muy Alto	C-BUG-112	1,17	96,17	Alto
C-BUG-046	0,73	172,57	Muy Alto	C-BUG-113	0,83	84,66	Alto
C-BUG-047	0,74	144,08	Muy Alto	C-BUG-114	0,95	110,01	Alto
C-BUG-048	0,83	131,47	Muy Alto	C-BUG-115	0,65	81,9	Alto
C-BUG-049	0,58	87,52	Alto	C-BUG-116	1,44	135,22	Muy Alto
C-BUG-050	0,65	93,8	Alto	C-BUG-117	1,24	111,6	Alto
C-BUG-051	0,7	114,03	Alto	C-BUG-118	1,1	124,41	Muy Alto
C-BUG-052	0,54	68,69	Medio	C-BUG-119	1,25	97,88	Alto
C-BUG-053	0,27	44,15	Medio	C-BUG-120	1,24	103,42	Alto
C-BUG-054	0,72	109,08	Alto	C-BUG-121	1,25	119,25	Alto
C-BUG-055	0,77	105,57	Alto	C-BUG-122	1,29	105,65	Alto
C-BUG-056	0,69	91,91	Alto	C-BUG-123	1,11	87,58	Alto
C-BUG-057	0,73	101,62	Alto	C-BUG-124	0,92	59,62	Medio
C-BUG-058	1,17	131,98	Muy Alto	C-BUG-126	0,88	65,21	Medio
C-BUG-059	0,89	121,75	Muy Alto	C-BUG-127	1,03	48,51	Medio
C-BUG-060	0,71	155,28	Muy Alto	C-BUG-128	0,42	37,3	Bajo
C-BUG-061	0,94	82,63	Alto	C-BUG-129	0,36	59,29	Medio
C-BUG-062	0,82	112,18	Alto	C-BUG-130	0,85	75,48	Medio
C-BUG-063	1,12	65,52	Medio	C-BUG-131	0,6	70,56	Medio
C-BUG-064	0,9	18,63	Bajo	C-BUG-132	0,98	63,5	Medio

CÓDIGO	DA (g/cm3)	COS (t/ha)	NIVEL
C-BUG-065	0,85	258,83	Muy Alto
C-BUG-066	1,09	67,36	Medio
C-BUG-067	1,54	123,35	Muy Alto
C-BUG-068	0,91	79,72	Medio
C-BUG-069	0,75	164,03	Muy Alto
C-BUG-070	0,89	88,91	Alto
C-BUG-071	0,51	95,93	Alto
C-BUG-072	0,97	75,37	Medio
C-BUG-073	0,89	137,51	Muy Alto
C-BUG-074	1,28	87,55	Alto
C-BUG-075	0,96	89,86	Alto
C-BUG-076	1,06	70,28	Medio
C-BUG-077	1,2	86,76	Alto
C-BUG-078	1	59,4	Medio
C-BUG-079	1,01	66,36	Medio
C-BUG-080	1,35	112,19	Alto
C-BUG-081	1,27	106,3	Alto
C-BUG-082	1,3	117,78	Alto
C-BUG-083	1,4	82,32	Alto
C-BUG-084	1,5	110,7	Alto
C-BUG-085	1,48	87,91	Alto
C-BUG-086	1,55	95,79	Alto
C-BUG-087	1,43	181,47	Muy Alto
C-BUG-088	1,42	95,85	Alto
C-BUG-089	1,33	183,94	Muy Alto
C-BUG-090	1,09	97,12	Alto
C-BUG-091	1,12	129,02	Muy Alto
C-BUG-092	1,54	184,8	Muy Alto
C-BUG-093	1,49	104,15	Alto
C-BUG-094	1,6	106,08	Alto
C-BUG-095	1,17	86,7	Alto

CÓDIGO	DA (g/cm3)	COS (t/ha)	NIVEL
C-BUG-133	0,92	59,62	Medio
C-BUG-134	1,26	56,32	Medio
C-BUG-135	1,12	124,66	Muy Alto
C-BUG-136	1,17	95,82	Alto
C-BUG-137	0,87	44,89	Medio
C-BUG-138	0,97	52,38	Medio
C-BUG-151	1,19	42,48	Medio
C-BUG-152	1,34	179,69	Muy Alto
C-BUG-153	1,39	78,81	Medio
C-BUG-154	1,25	46,13	Medio
C-BUG-155	1,38	133,72	Muy Alto
C-BUG-156	1,41	68,53	Medio
C-BUG-165	1,23	138,01	Muy Alto
C-BUG-166	1,22	162,5	Muy Alto
C-BUG-195	0,85	45,14	Medio
C-BUG-196	0,99	45,44	Medio
C-BUG-197	0,95	26,79	Bajo
C-BUG-198	0,67	71,76	Medio
C-BUG-199	0,9	93,15	Alto
C-BUG-200	0,96	38,02	Bajo
C-BUG-208	1,22	54,53	Medio
C-BUG-209	1,19	20,71	Bajo
C-BUG-210	1,46	28,03	Bajo
C-BUG-211	1,36	53,45	Medio
C-BUG-212	1,35	116,24	Alto
C-BUG-213	1,21	88,57	Alto
C-BUG-214	1,5	43,2	Medio
C-BUG-215	1,32	45,14	Medio
C-BUG-216	1,42	56,23	Medio
C-BUG-217	1,35	65,21	Medio
C-BUG-218	1,42	131,21	Muy Alto

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican que las reservas de COS en suelos de la cuenca Bugalagrande en su mayoría son de categoría Alto. Sin embargo, para que los suelos conserven sus propiedades físicas y químicas favorables para la captura y almacenamiento de carbono, es necesario implementar técnicas y prácticas agronómicas orientadas a la conservación de coberturas nobles, aplicación de materia orgánica, rotación de cultivos, siembra directa,

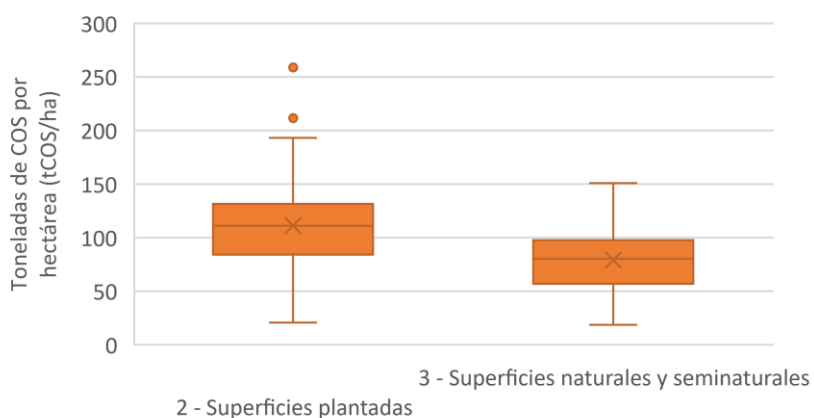
lo que contribuye a la disminución de la erosión y la mineralización de la materia orgánica, y por ende permite mejorar la retención del COS en el suelo.

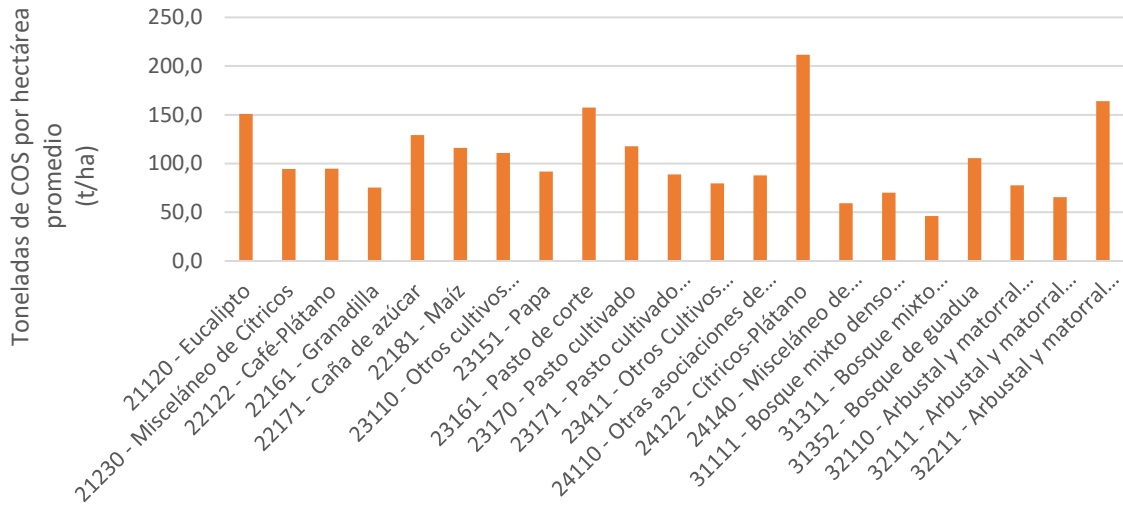
En análisis del almacenamiento de COS y su relación con el tipo de cobertura (Figura 46), específicamente la comparación entre superficies plantadas y las superficies naturales evaluadas, se pudo establecer que las superficies plantadas presentan una mediana de 90,1 t/ha superior a 83,6 t/ha de las superficies naturales, aunque se destacan cultivos como pastos cultivados con arbóreos y café en asocio con otros arbóreos, muy por encima de la mediana. Sin embargo, las superficies plantadas presentan mayor desviación estándar con tendencia superior al igual que mayor rango de variabilidad mayor donde se concentran el 50% de los datos muestreados.

Este comportamiento se identifica en detalle al comparar los niveles extremos de la categoría entre 31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme (58,2 t/ha) con 23171 - Pasto cultivado arbolado (137,0 t/ha). El efecto del cambio de cobertura de acuerdo con el IPCC (2014), favorece la liberación de GEI y la reducción de la capacidad de almacenamiento de COS. Esta evaluación presenta la línea base de COS como un referente para la gestión local sostenible del recurso suelo en cuencas del Valle del Cauca.

Con relación al COS en cultivos de la cuenca C, se puede establecer que los cultivos con contenidos almacenamiento de COS superiores a la mediana de la cuenca fueron del siguiente orden:

- 21120 – Eucalipto (151 t/ha)
- 22171 - Caña de azúcar (129,3 t/ha)
- 22181 - Maíz (116,1 t/ha)
- 23161 - Pasto de corte (157,6 t/ha)
- 23170 - Pasto cultivado (117,7 t/ha)
- 24122 - Cítricos-Plátano (211,6 t/ha)
- 23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos (110,8 t/ha)

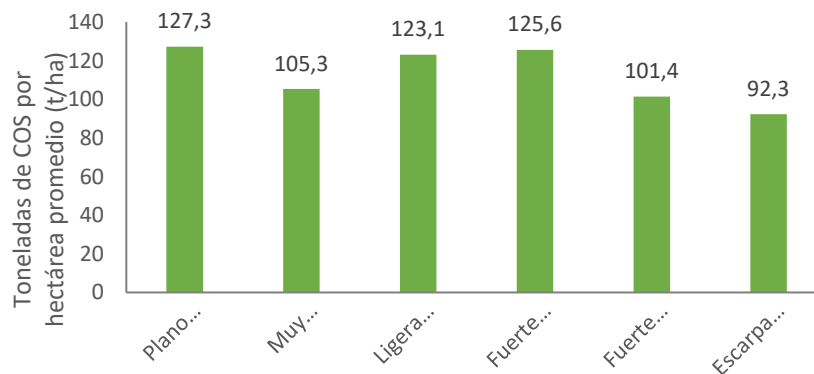


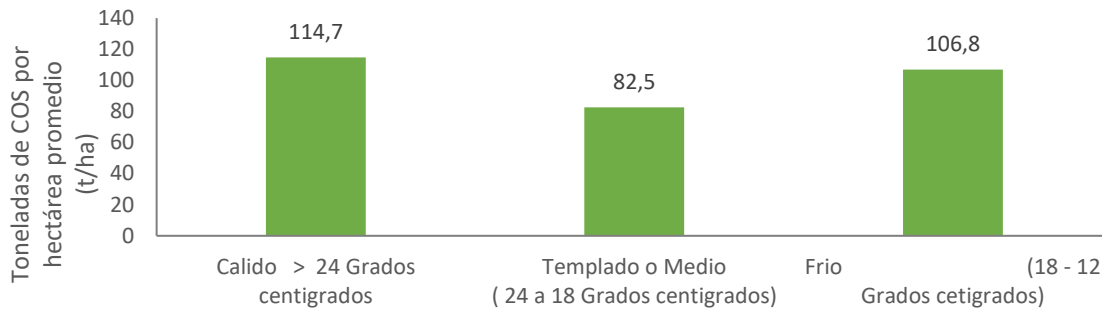


**Figura 46. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura, cuenca Bugalagrande.**

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de evaluar la influencia de la pendiente y piso térmico en las reservas de COS en suelos, en la Figura 47 se presentan el análisis. Se observa que los valores de COS fueron superiores en zonas planas (127,3 t/ha), ligeramente inclinadas (123,1 t/ha) y fuertemente inclinadas (125,6 t/ha), mientras que en el resto de las zonas el comportamiento de las muestras es más cercano a la mediana de la cuenca, variando entre 92,3 t/ha y 105,3 t/ha en promedio. Por otro lado, el contenido de COS promedio en zonas cálidas, es similar a los contenidos promedio de las zonas templadas, presentando un comportamiento contrario al reportado por Arguello (1991), donde a menor temperatura, mayor actividad enzimática equivalente a mayor descomposición de compuesto derivados del carbono estable de la fracción fina. Bajo el contexto del Valle del Cauca, la localización de las zonas se concentra en temperaturas templados a cálidas.





**Figura 47. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico, cuenca Bugalagrande.**

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos para la cuenca Bugalagrande, es necesario establecer estrategias de conservación en la parte media y principalmente en la parte alta de la cuenca, debido a la alta susceptibilidad de degradación que presentan los suelos, afectando las partículas las finas donde se concentra la mayor cantidad de COS.

Con relación a las propiedades químicas del suelo, en general, los suelos de la cuenca presentan condiciones nutricionales adecuadas para el desarrollo productivo, lo que ha dinamizado la fuerte intervención antrópica, sin embargo, debido a la fragilidad que presentan los ecosistemas, se recomienda generar estudios más detallados que permitan establecer la necesidad específica de diferentes prácticas agronómicas en los cultivos y para cada cuenca.

Se recomienda incentivar cultivos perennes, con prácticas de conservación de suelos, como estrategia agrícola para compensar la pérdida de bosques naturales en la zona templada o media donde se presentan las mayores concentraciones de COS.

### **Estimación de COS para la cuenca**

Teniendo en cuenta que el área total de la cuenca Bugalagrande es de 91.357 ha y que el 50% de los valores se concentran entre 68,2 t/ha y 123,0 t/ha, el COS almacenado estimado para la cuenca estaría entre 6.230.547 y 11.236.911 t de COS.

$$E_{cos} = Ac * m$$

$$E_{cos} = 91.357 * 68,2$$

$$E_{cos} \cong 6.230.547 \text{ tCOS mínimo}$$

$$E_{cos} = Ac * m$$

$$E_{cos} = 91.357 * 123,0$$

$$E_{cos} \cong 11.236.911 \text{ tCOS máximo}$$



## 7.2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con el objetivo de conocer la relación entre los diferentes niveles de COS y las propiedades fisicoquímicas en la cuenca Bugalagrande, se realizaron comparativas de tendencia empleando el método de Spearman, dado el tipo de variables y la cantidad de datos que evaluados.

En la Tabla 31 se muestran los resultados de correlación y valor “p” para cada una de las variables analizadas respecto a los niveles de COS. Aquellas con un nivel de correlación superior al 0,3 se consideraron correlaciones fuertes. Cabe tener en consideración que el valor p, equivale a la probabilidad de obtener, por azar, una diferencia tan grande o mayor de la observada, cumpliéndose que no haya diferencia real en la población de la que proceden las muestras. Para este caso, si el valor de probabilidad es menor del 5% (0,05) es lo suficientemente improbable que se deba al azar como para rechazar con una seguridad razonable la hipótesis nula (H0) y afirmar que la diferencia es real (Molina, 2017).

De las variables evaluadas se puede observar que a mayor nivel de COS, también se incrementarán los niveles de Materia Orgánica, Arena, Hierro, Nitrógeno y Potasio. Aunque solamente la primera ha resultado significativa, siendo está una respuesta confirmativa a la simbiosis existente entre la materia orgánica (MO) y la actividad biológica del suelo (FAO, 2002). A su vez, a mayor nivel de COS, decrecerán los niveles de Arcilla, Calcio, Capacidad Intercambio Catiónica Efectiva (CICE), Cobre, Magnesio y pH, aunque solamente resultan significativas las correlaciones entre la COS vs la Arcilla y el Cobre.

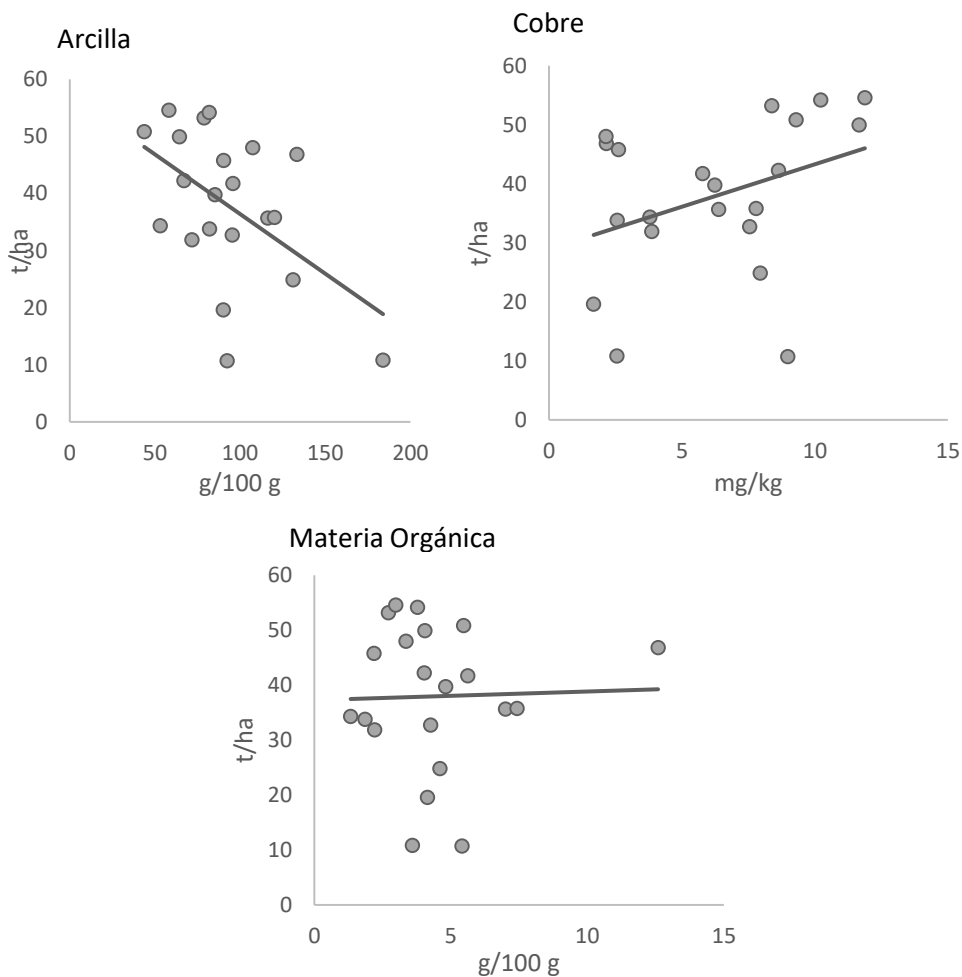
**Tabla 31. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS cuenca Bugalagrande.**

PROPIEDADES	COS	
	CORR	p-VALOR
Altura	0,06	0,80
Arcilla	-0,43	0,05
Arena	0,31	0,17
Azufre (S)	0,14	0,56
Boro (B)	0,27	0,23
Calcio (Ca)	-0,40	0,07
Capacidad Intercambio Catiónico aceta (CICA)	-0,05	0,81
Capacidad Intercambio Catiónico Efectivo (CICE)	-0,40	0,08
Cobre (Cu)	-0,48	0,03
Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	0,23	0,32
Fosforo (P) (Bray II)	0,25	0,27
Hierro (Fe)	0,39	0,08
Limo	0,16	0,49
Magnesio (Mg)	-0,33	0,14
Manganeso (Mn)	-	0,99
Materia orgánica (MO)	0,48	0,03

PROPIEDADES	COS	
	CORR	p-VALOR
Nitrógeno total (NT)	0,32	0,16
Pendiente	0,08	0,72
pH (1:2,5)	-0,39	0,08
Potasio (K)	0,30	0,18
Sodio (Na)	-0,30	0,18
Zinc (Zn)	-0,15	0,53

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis presentado en la Figura 48, donde se muestra la dispersión y tendencias de las variables identificadas con correlación. Para todas las variables se diferencia una tendencia de dispersión de los valores en magnitud.



**Figura 48. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS en la cuenca Bugalagrande.**

Fuente: Fuente: Elaboración propia.

## 7.3 LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA LA PAILA

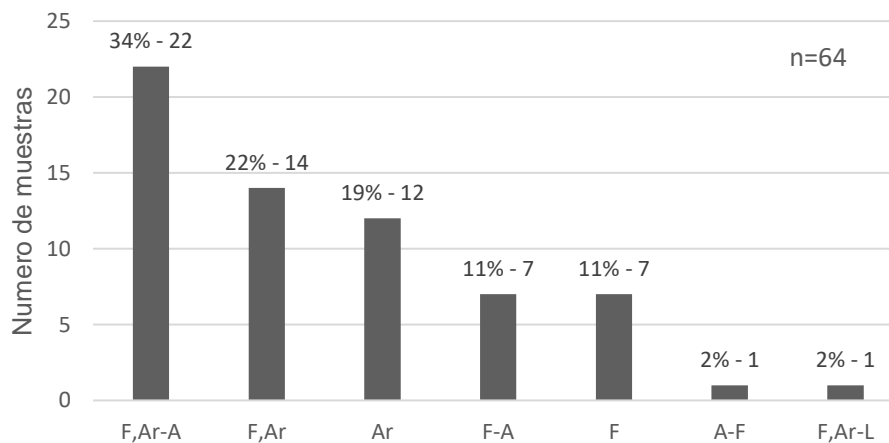
La determinación de la línea base de almacenamiento de carbono en suelos de la cuenca La Paila incluyó la caracterización de las propiedades físicas y químicas del medio edáfico. A continuación, se presentan los resultados de la caracterización de las muestras del suelo y al final de este ítem, el análisis del almacenamiento de carbono para los suelos muestreados en esta cuenca.

### 7.3.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

Las principales propiedades físicas analizadas son: clase textural (contenido de limo L, arena A y arcilla Ar), densidad aparente ( $D_a$ ), lámina de agua aprovechable y estabilidad de agregados. A continuación, se presenta el comportamiento de estas variables en el suelo.

#### Textura

Para los suelos muestreados en la cuenca La Paila predominan las clases texturales Francos suelos de textura equilibrada entre los diferentes tamaños de partículas, con leve tendencia a suelos livianos (Franco Arcillo Arenoso - FArA y Franco Arenoso - FA), con menor presencia de suelos pesados de partículas más finas (FL, ArA, FArL, ArL). De acuerdo con la Figura 49, se presenta una tendencia de formación de suelos de textura media, estos suelos se caracterizan por ser equilibrados en la distribución de tamaño de partículas (A, Ar y L) lo que favorece su capacidad de retención de agua y porosidad para desarrollo radicular.

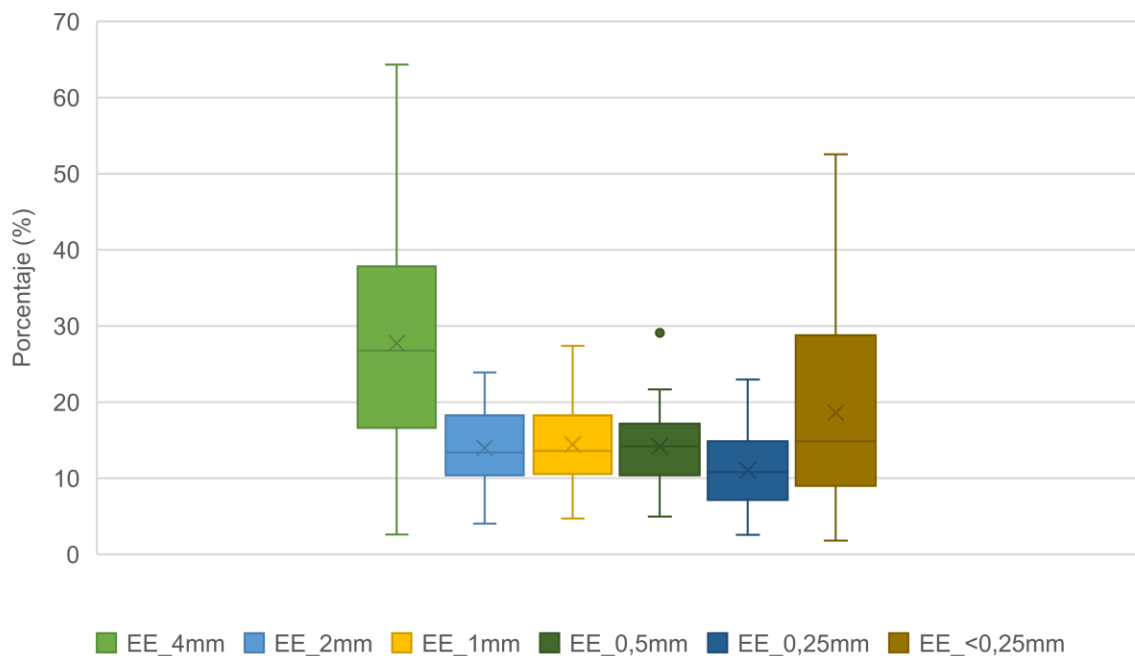


**Figura 49. Texturas en la cuenca La Paila.**

Fuente: Fuente: Elaboración propia.

### **Estabilidad de agregados**

De acuerdo con la Figura 50, la distribución de los agregados del suelo no presenta una leve tendencia hacia las partículas más gruesas, mayores a 4 mm de diámetro, donde el porcentaje promedio es cercano al 25% mientras que los demás diámetros oscilan entre 10 y 15%, sin embargo este mismo diámetro (mayores a 4 mm) presenta la mayor variabilidad en el contenido de agregados, al igual que el diámetro inferior (menores a <0,25 mm), indicando que la menor variabilidad se presenta en los rangos intermedios. Este comportamiento guarda concordancia con la tendencia de texturas identificadas para la cuenca, texturas equilibradas sin un dominio marcado en la participación de Arcillas, Limos o Arenas.

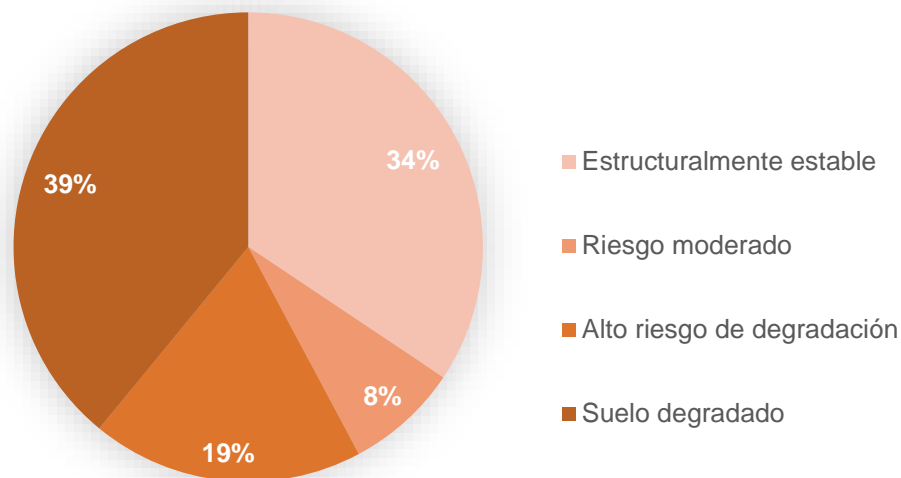


**Figura 50. Distribución de agregados en la cuenca La Paila.**

Fuente: Elaboración propia.

### **Índice de estabilidad**

Según el índice, los puntos muestreados en la cuenca concentran un panorama de alerta, en donde el 39% de los sitios evaluados se consideran suelo degradados (IE<5), el 19% en alto riesgo de degradación (IE en el rango de 5-7), 8% en riesgo moderado de degradación (IE en el rango de 7-9) y el 34% restante presentó características de estructura estable (IE>9) o sin degradación. Lo que indica que deben promoverse prácticas de conservación, debido a que por la tendencia estructural del suelo (partículas equilibradas), se presenta mayor riesgo de pérdida de suelo por condición de manejo que condición natural de arrastre de partículas por acción del agua o el viento (Figura 51).



**Figura 51. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca La Paila.**

Fuente: Elaboración propia.

### **Lámina de agua aprovechable**

Cuando se presentan LAA alta (>20 mm) con densidades aparentes altas, se tiene menor AA (%), lo anterior se asocia principalmente con suelos compactados, entre mayor sea la densidad aparente mayor puede ser la compactación (Tabla 32). El agua capilar disponible para las plantas se encuentra en los mesoporos y en los microporos del suelo; los resultados permiten inferir que hay predominio de microporos, lo que aumenta la resistencia a la penetración de las raíces y la dificultad para que las plantas tomen el agua del suelo. Los suelos Francos son el punto medio en la capacidad de retener agua (LAA media) al igual que la capacidad de retención de agua aprovechable (AA, humedad volumétrica), comparado con suelos pesados como los arcillosos o los suelos livianos como arenosos. En otras palabras, son los suelos ideales porque tienen una capacidad adecuada de agua disponible para que las plantas interactúen en la absorción y liberación de nutrientes, lo cual favorece la dinámica nutricional.

Por otro lado, cuando se analiza la relación entre la textura de suelo con la densidad aparente ( $D_a$ ), se encuentran que para valores altos de  $D_a$  (> 1), se consideran suelos pesados con contenidos bajos de materia orgánica en el suelo (MOS), lo que sugiere que haya menor capacidad de retener la humedad en el suelo; por el contrario, suelos con mayor contenido de MO tienen mayor porosidad en el suelo (mesoporos), por ende, mayor porcentaje de agua aprovechable en el suelo (entre CC-PMP).

**Tabla 32. Contenido de Agua aprovechable y lámina de agua aprovechable según textura y densidad aparente en la en la cuenca La Paila.**

CÓDIGO MUESTRA	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	TEXTURA	DA (g/cm <sup>3</sup> )
C-PAI-125	22122 - Café-Plátano	8,1	2,16	Ar	1,25
C-PAI-139	22122 - Café-Plátano	12,3	4,32	F,Ar	0,95
C-PAI-140	22122 - Café-Plátano	12,2	3,5	F,Ar-A	1,16
C-PAI-141	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	2,9	3,88	F	0,25
C-PAI-142	21230 - Misceláneo de Cítricos	15,3	4,28	F,Ar	1,19
C-PAI-143	23170 - Pasto cultivado	10,8	3,51	Ar	1,03
C-PAI-144	21230 - Misceláneo de Cítricos	13,4	2,95	F,Ar-A	1,51
C-PAI-145	31352 - Bosque de guadua	12,5	3,56	F,Ar-A	1,17
C-PAI-146	22171 - Caña de azúcar	21,9	4,59	F,Ar-A	1,59
C-PAI-147	23171 - Pasto cultivado arbolado	15,0	3,97	F	1,26
C-PAI-148	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	15,8	3,53	Ar	1,49
C-PAI-149	32111 - Arbustal y matorral denso bajo de tierra firme	13,5	3,81	Ar	1,18
C-PAI-150	23170 - Pasto cultivado	12,8	3,74	Ar	1,14
C-PAI-157	22171 - Caña de azúcar	17,6	4,12	F,Ar-A	1,42
C-PAI-158	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	22,1	5,63	F,Ar-A	1,31
C-PAI-159	23170 - Pasto cultivado	26,3	5,74	F,Ar-A	1,53
C-PAI-160	23170 - Pasto cultivado	13,7	3,9	Ar	1,17
C-PAI-161	23170 - Pasto cultivado	68,6	18,29	Ar	1,25
C-PAI-162	23170 - Pasto cultivado	29,0	6,2	F,Ar-A	1,56
C-PAI-163	21231 - Limón	15,8	3,76	F,Ar	1,4
C-PAI-164	22171 - Caña de azúcar	15,0	3,59	F,Ar-A	1,39
C-PAI-167	22121 - Café	10,5	4,65	F-A	0,75
C-PAI-168	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	9,4	4,87	A-F	0,64
C-PAI-169	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	11,8	4,51	F,Ar-A	0,87
C-PAI-170	21233 - Mandarino	13,5	4,44	Ar	1,01
C-PAI-171	22122 - Café-Plátano	11,8	3,46	F,Ar-A	1,14
C-PAI-172	32210 - Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme	19,5	4,42	F,Ar-A	1,47
C-PAI-173	21232 - Naranja	15,3	4,5	F,Ar-A	1,13
C-PAI-174	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	12,9	3,75	F,Ar-A	1,15
C-PAI-175	21230 - Misceláneo de Cítricos	16,4	4,01	F-A	1,36
C-PAI-176	23170 - Pasto cultivado	9,7	3,25	F-A	0,99
C-PAI-177	21230 - Misceláneo de Cítricos	16,2	4,32	F-A	1,25
C-PAI-178	23170 - Pasto cultivado	12,5	4,05	Ar	1,03

CÓDIGO MUESTRA	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	TEXTURA	DA (g/cm3)
C-PAI-179	22122 - Café-Plátano	15,5	5,37	F	0,96
C-PAI-180	23170 - Pasto cultivado	12,9	3,02	F,Ar	1,42
C-PAI-181	23170 - Pasto cultivado	11,9	2,95	F,Ar-A	1,34
C-PAI-182	23170 - Pasto cultivado	13,3	2,77	F	1,6
C-PAI-183	23171 - Pasto cultivado arbolado	12,9	2,78	F,Ar-A	1,55
C-PAI-184	23172 - Pasto cultivado enmalezado	14,9	3,93	F,Ar	1,26
C-PAI-185	23170 - Pasto cultivado	8,6	2,72	Ar	1,06
C-PAI-186	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	12,6	3,47	Ar	1,21
C-PAI-187	21230 - Misceláneo de Cítricos	12,2	3,38	F,Ar-A	1,2
C-PAI-188	23172 - Pasto cultivado enmalezado	10,2	2,65	F,Ar-A	1,28
C-PAI-189	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	10,2	2,39	F,Ar-A	1,42
C-PAI-190	31352 - Bosque de guadua	8,1	2,2	F,Ar	1,23
C-PAI-191	21230 - Misceláneo de Cítricos	19,3	4,63	F,Ar-A	1,39
C-PAI-192	23170 - Pasto cultivado	13,5	3,51	F,Ar-L	1,28
C-PAI-193	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	12,1	3,29	F,Ar-A	1,23
C-PAI-194	22122 - Café-Plátano	7,3	2,84	F-A	0,86
C-PAI-201	21112 - Aguacate	14,3	6,35	F	0,75
C-PAI-202	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	13,5	3,94	F,Ar	1,14
C-PAI-203	21230 - Misceláneo de Cítricos	10,7	3,52	F-A	1,01
C-PAI-204	21230 - Misceláneo de Cítricos	12,6	3,5	F,Ar	1,2
C-PAI-205	31352 - Bosque de guadua	7,5	2,46	F,Ar	1,02
C-PAI-206	22171 - Caña de azúcar	11,7	2,63	Ar	1,48
C-PAI-207	21230 - Misceláneo de Cítricos	18,1	4,21	F,Ar	1,43
C-PAI-272	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	20,3	6,21	F-A	1,09
C-PAI-273	22121 - Café	9,7	2,86	F	1,13
C-PAI-274	22123 - Café-Banano	34,1	9,46	F,Ar	1,2
C-PAI-275	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	16,9	7,15	F	0,79
C-PAI-276	22123 - Café-Banano	16,1	5,05	F,Ar	1,06
C-PAI-277	23170 - Pasto cultivado	23,6	6,34	F,Ar	1,24
C-PAI-278	23170 - Pasto cultivado	21,4	5,17	F,Ar-A	1,38
C-PAI-279	23170 - Pasto cultivado	15,9	3,98	F,Ar	1,33

Fuente: Elaboración propia.

---

### **Densidad aparente**

La densidad aparente ( $D_a$ ) afecta al crecimiento de las plantas debido al efecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. El incremento de la  $D_a$ , aumenta la resistencia mecánica y la porosidad del suelo tiende a disminuir, estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la  $D_a$  para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate. Los valores bajos de  $D_a$  son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Los valores altos de densidad aparente son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan dificultades para elongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios.

Para la cuenca La Paila se presentaron densidades que varían entre 0,25 y 1,60 g/cm<sup>3</sup>, de acuerdo con las categorías definidas por Arshad et al., (1996) se diferencian 45 sitios en categoría de ideales (<1,10 en texturas ArL y <1,40 en texturas F, FA, FAr, FArA, FArL, FL), 17 sitios con posible afectación radicular (entre 1,10 y 1,46 en texturas Arcillosas, entre 1,10 y 1,57 en texturas Arcillo Arenosa y Arcillo Limosa; entre 1,10 y 1,74 en texturas Franco, Franco Arenosa, Franco Arcillo Arenosa y Franco Arcillo Limoso; entre 1,10 y 1,79 en texturas Franco Arenosa; entre 1,10 y 1,64 en texturas Franco Limosa) y 2 sitios en categoría de restricción al crecimiento de raíces por posible compactación (>1,46 en texturas Arcillosas) en zonas con desarrollo de cultivos de caña y bosque mixto (Tabla 33). Por todo lo anterior, en forma general se identifican suelos con alto potencial para el desarrollo vegetal con consideraciones de manejo en zonas que puedan presentar posible afectación radicular.



**Tabla 33. Densidad aparente, cobertura y crecimiento radicular, en base a las texturas identificadas en la cuenca La Paila.**

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA (g/cm <sup>3</sup> )	CATEGORÍA
A-F	C-PAI-168	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	0.64	Ideal
Ar	C-PAI-125	22122 - Café-Plátano	1.25	Posible afectación radicular
	C-PAI-143	23170 - Pasto cultivado	1.03	Ideal
	C-PAI-148	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1.49	Afectación radicular
	C-PAI-149	32111 - Arbustal y matorral denso bajo de tierra firme	1.18	Posible afectación radicular
	C-PAI-150	23170 - Pasto cultivado	1.14	Posible afectación radicular
	C-PAI-160	23170 - Pasto cultivado	1.17	Posible afectación radicular
	C-PAI-161	23170 - Pasto cultivado	1.25	Posible afectación radicular
	C-PAI-170	21233 - Mandarinero	1.01	Ideal
	C-PAI-178	23170 - Pasto cultivado	1.03	Ideal
	C-PAI-185	23170 - Pasto cultivado	1.06	Ideal
	C-PAI-186	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1.21	Posible afectación radicular
	C-PAI-206	22171 - Caña de azúcar	1.48	Afectación radicular
F	C-PAI-141	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	0.25	Ideal
	C-PAI-147	23171 - Pasto cultivado arbolado	1.26	Ideal
	C-PAI-179	22122 - Café-Plátano	0.96	Ideal
	C-PAI-182	23170 - Pasto cultivado	1.6	Posible afectación radicular
	C-PAI-201	21112 - Aguacate	0.75	Ideal
	C-PAI-273	22121 - Café	1.13	Ideal
	C-PAI-275	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	0.79	Ideal
F,Ar	C-PAI-139	22122 - Café-Plátano	0.95	Ideal
	C-PAI-142	21230 - Misceláneo de Cítricos	1.19	Ideal
	C-PAI-163	21231 - Limón	1.4	Ideal
	C-PAI-180	23170 - Pasto cultivado	1.42	Posible afectación radicular
	C-PAI-184	23172 - Pasto cultivado enmalezado	1.26	Ideal
	C-PAI-190	31352 - Bosque de guadua	1.23	Ideal
	C-PAI-202	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1.14	Ideal
	C-PAI-204	21230 - Misceláneo de Cítricos	1.2	Ideal
	C-PAI-205	31352 - Bosque de guadua	1.02	Ideal
	C-PAI-207	21230 - Misceláneo de Cítricos	1.43	Posible afectación radicular
	C-PAI-274	22123 - Café-Banano	1.2	Ideal
C-PAI-276	22123 - Café-Banano	1.06	Ideal	

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA (g/cm <sup>3</sup> )	CATEGORÍA
	C-PAI-277	23170 - Pasto cultivado	1.24	Ideal
	C-PAI-279	23170 - Pasto cultivado	1.33	Ideal
F,Ar-A	C-PAI-140	22122 - Café-Plátano	1.16	Ideal
	C-PAI-144	21230 - Misceláneo de Cítricos	1.51	Posible afectación radicular
	C-PAI-145	31352 - Bosque de guadua	1.17	Ideal
	C-PAI-146	22171 - Caña de azúcar	1.59	Posible afectación radicular
	C-PAI-157	22171 - Caña de azúcar	1.42	Posible afectación radicular
	C-PAI-158	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	1.31	Ideal
	C-PAI-159	23170 - Pasto cultivado	1.53	Posible afectación radicular
	C-PAI-162	23170 - Pasto cultivado	1.56	Posible afectación radicular
	C-PAI-164	22171 - Caña de azúcar	1.39	Ideal
	C-PAI-169	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	0.87	Ideal
	C-PAI-171	22122 - Café-Plátano	1.14	Ideal
	C-PAI-172	32210 - Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme	1.47	Posible afectación radicular
	C-PAI-173	21232 - Naranja	1.13	Ideal
	C-PAI-174	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	1.15	Ideal
	C-PAI-181	23170 - Pasto cultivado	1.34	Ideal
	C-PAI-183	23171 - Pasto cultivado arbolado	1.55	Posible afectación radicular
	C-PAI-187	21230 - Misceláneo de Cítricos	1.2	Ideal
	C-PAI-188	23172 - Pasto cultivado enmalezado	1.28	Ideal
	C-PAI-189	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	1.42	Posible afectación radicular
	C-PAI-191	21230 - Misceláneo de Cítricos	1.39	Ideal
C-PAI-193	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	1.23	Ideal	
C-PAI-278	23170 - Pasto cultivado	1.38	Ideal	
F,Ar-L	C-PAI-192	23170 - Pasto cultivado	1.28	Ideal
F-A	C-PAI-167	22121 - Café	0.75	Ideal
	C-PAI-175	21230 - Misceláneo de Cítricos	1.36	Ideal
	C-PAI-176	23170 - Pasto cultivado	0.99	Ideal
	C-PAI-177	21230 - Misceláneo de Cítricos	1.25	Ideal
	C-PAI-194	22122 - Café-Plátano	0.86	Ideal
	C-PAI-203	21230 - Misceláneo de Cítricos	1.01	Ideal
	C-PAI-272	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1.09	Ideal

Fuente: Elaboración propia.

### 7.3.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS

En la Tabla 34 se presentan los resultados de las propiedades químicas para los sitios muestreados en la cuenca La Paila. Se incluyen los valores promedios, mínimo y máximos de las variables. Si bien, se ha calculado la desviación estándar, estas deben ser analizadas como tendencias debido al número de muestras correspondientes a esta cuenca.

**Tabla 34. Propiedades químicas del suelo en la cuenca La Paila.**

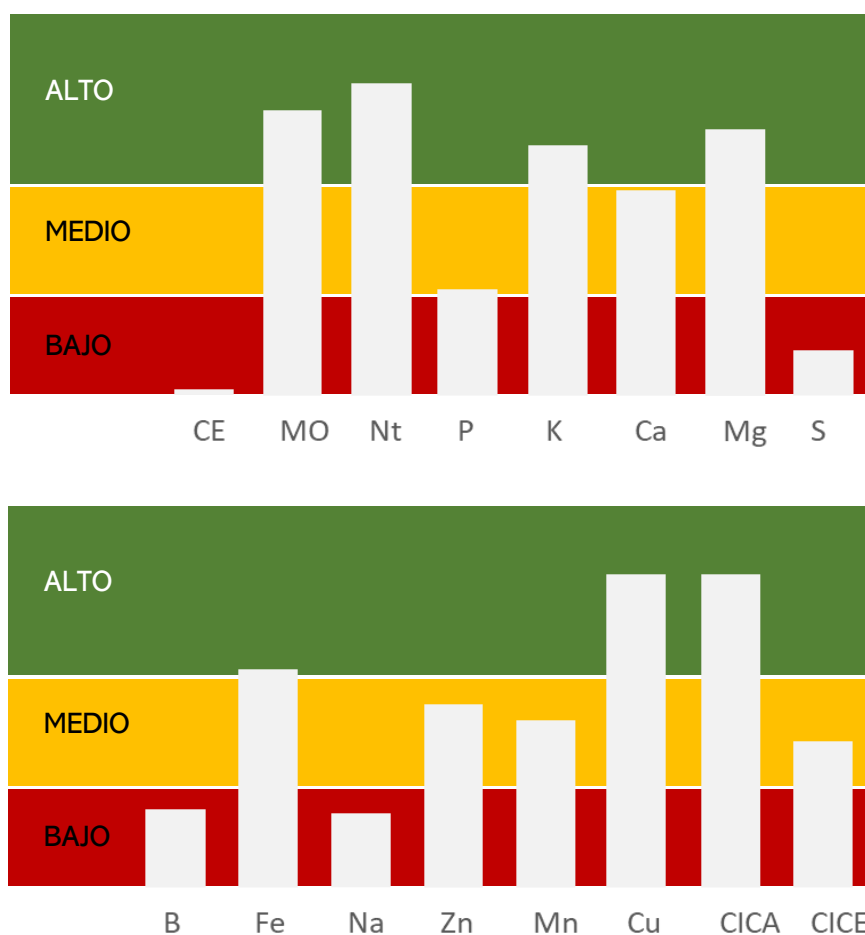
PROPIEDAD	UNID	PROM	MÍN	MÁX	DESV
Azufre (S) disponible	mg/kg	5,74	1,62	15,81	2,63
Boro (B) Disponible	mg/kg	0,15	0,03	0,51	0,09
Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	11,28	1,39	26,24	5,96
Capacidad Interc Catiónico Aceta (CICA)	cmol(+)/kg	64,00	0,11	0,68	0,11
Capacidad Interc Catiónico Efect (CICE)	cmol(+)/kg	20,10	2,83	45,03	11,27
Cobre (Cu) olsen Disponible	mg/kg	5,88	1,02	136,81	18,82
Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	dS/m	0,19	0,07	0,71	0,09
Fosforo (P) Disponible (Bray II)	mg/kg	10,76	1,38	81,82	15,32
Hierro (Fe) olsen Disponible	mg/kg	62,65	12,48	209,29	39,61
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	8,19	0,39	27,26	6,07
Manganeso (Mn) olsen Disponible	mg/kg	8,04	1,32	29,05	7,15
Materia Orgánica (MO)	g/100 g	4,40	1,17	16,14	3,14
Nitrógeno total (NT)	g/100 g	23,86	6,82	48,81	10,13
pH (1:2,5)	unid. pH	6,47	5,12	7,45	0,53
Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg	0,46	0,09	2,67	0,46
Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	0,21	0,14	0,47	0,09
Zinc (Zn) olsen Disponible	mg/kg	2,75	1,06	11,28	2,12
Total muestras (n): 64					

Fuente: Elaboración propia.

Es bien conocido que la fertilidad química en suelos se refiere a la reserva de nutrientes y su aporte a las plantas. En la Figura 52 se pueden observar los niveles de categorización promedio para cada uno de los elementos relacionados con la nutrición de las plantas en el suelo, indicando de manera positiva que los macronutrientes (elementos que se absorben en mayor cantidad por la plantas para desarrollar sus funciones fisiológicas) se encuentran en niveles altos: Nitrógeno (23,86 g/100 g) y Potasio (0,46 cmol(+)/kg), al igual que los microelementos principales Calcio (11,28 cmol(+)/kg) y el Magnesio (8,19 mg/Kg) aunque en una inadecuada proporción para relación ideal 2 a 1. Contenidos altos de materia orgánica contribuyen en el aumento de la CIC a valores que van de medio a alto, que está directamente relacionada con la fertilidad del suelo, ya que la MO libera grupos carboxílicos y fenólicos activos que se disocian, liberando iones H<sup>+</sup> a la solución del suelo (Díaz, 2008). En tanto que niveles de CIC medios a altos favorece el depósito de iones nutritivos siendo un factor positivo para el mejor aprovechamiento de las plantas. Adicionalmente se identifica altos contenidos de Hierro (62,65 mg/Kg) lo que representa una posible barrera en la disponibilidad del Fosforo por su efecto antagónico, aunque el fósforo es un elemento que no es abundante en los suelos si lo presenta en la cuenca. En cuanto a los

microelementos se identifica algunas deficiencias de Azufre (5,74 mg/kg), Boro (0,15 mg/kg) y Sodio (0,21 cmol(+)/kg) que pueden ser corregidas según las necesidades en particular, en especial el Azufre por la relación con el mecanismo de defensa de las plantas lo que podría afectar los cultivos presentes en la cuenca. En general estos suelos presentan características adecuadas de fertilidad química para el desarrollo nutricional de la cobertura vegetal.

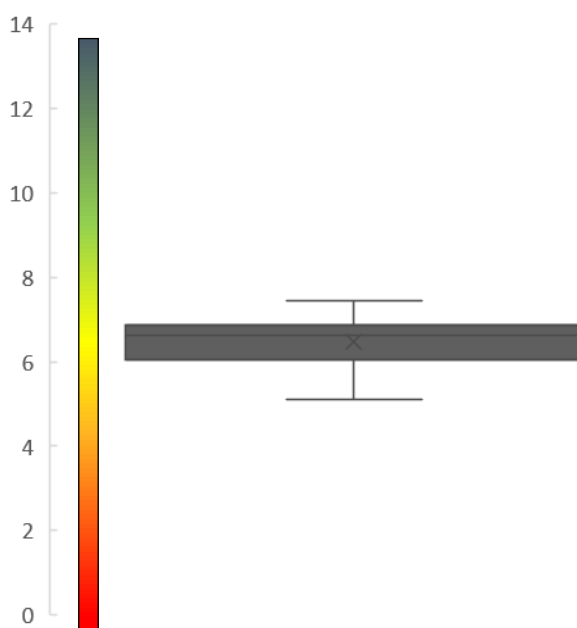
Por otro lado, la salinidad del suelo se refiere a la cantidad de sales presentes en solución acuosa y puede ser estimada indirectamente mediante la medición de la conductividad eléctrica (CE), que en suelos está influenciado por la concentración y composición de las sales disueltas; a mayor valor de CE, mayor es la salinidad presente. La salinidad es un fenómeno indeseable ya que afecta el crecimiento de las plantas de varias maneras y por lo mismo, un aumento en la CE traerá como consecuencia una disminución de rendimiento. Los valores de CE para la cuenca La Paila son  $<0.8$  dS/m, lo que significa que en promedio son suelos con muy baja salinidad lo que facilita el manejo de la fertilización y evitan problemas por fitotoxicidad en el establecimiento de cultivos.



**Figura 52. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca La Paila.**

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al pH, en la Figura 53 se observa que, la mediana es de 6,64 mientras que la mitad de las muestras se concentran en la condición entre 6,05 y 6,86 equivalente a las categorías de ligeramente ácido (6,0 a 6,5) y cercano a la neutralidad (6,6 y 7,3), que representan la condición adecuada para el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Por otra parte, existen zonas donde las condiciones del suelo son de mayor adversidad por el efecto antagonista que ocasiona niveles de pH extremos (ICA, 1992). En los sitios donde el pH es inferior a 5,5 (fuerte a extremadamente ácido) se presentan registros de acidez por presencia de Aluminio (Al) intercambiable y deficiencias de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg). Mientras que, en sitios con pH mayores a 7,4 (alcalino y muy alcalino) es necesario implementar enmiendas para corregir la inhibición del crecimiento y adecuado desarrollo de las plantas.



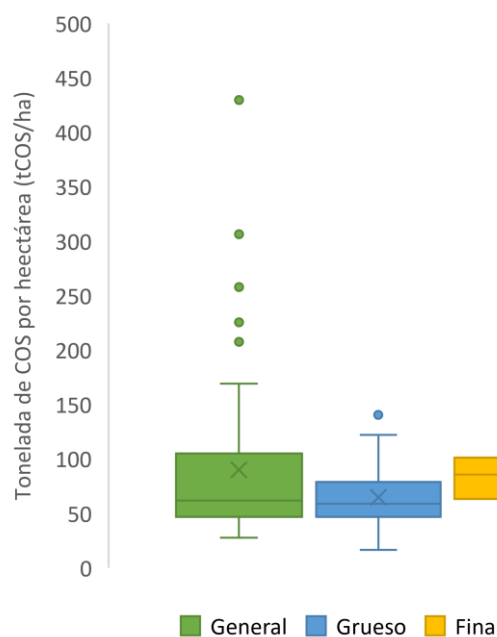
**Figura 53. Distribución de los valores de pH de la cuenca La Paila.**  
Fuente: Elaboración propia.

### 7.3.3 ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS

De acuerdo con la estimación de almacenamiento de COS en el suelo, la mediana para la cuenca La Paila es 61,6 t/ha en el COS general, 58,7 t/ha en el COS grueso y 85,6 t/ha en COS almacenado en la fracción fina (Figura 54). Para el caso del COS general y grueso se establecen en un nivel medio (40 – 79,9 t/ha) mientras que el contenido de COS fino es considerado en un nivel Alto (80 – 119,9 t/ha) (Loayza et al., 2020). En general se aprecia que las variaciones en el contenido del COS oscilan entre rangos de 120 t/ha en las tres fracciones, presentado valores atípicos que sobresalen de la desviación estándar del COS

general y grueso. De igual manera, el COS general presenta la mayor desviación estándar y los valores atípicos más altos se presenta en zonas entre pastos cultivados (425,5 t/ha, 225,3 t/ha y 207,4 t/ha), caña de azúcar (306,3 t/ha), Bosque mixto (257,7 t/ha) y Micelio de cítricos (226,4 t/ha).

Basado en las estimaciones, el suelo presenta mayor capacidad de reserva de COS en la fracción fina donde el carbono se considera estable en el suelo por ser la fracción donde se concentran las últimas etapas de los procesos de descomposición de la materia orgánica con la generación de ácidos húmicos y fúlvicos, además de compuestos aromáticos (Pérez, 2011). La tendencia del suelo a presentar mayor acumulación de COS en esta fracción se asocia principalmente con los altos contenidos de MO, CIC y suelos cercanos a la neutralidad (Figura 53).

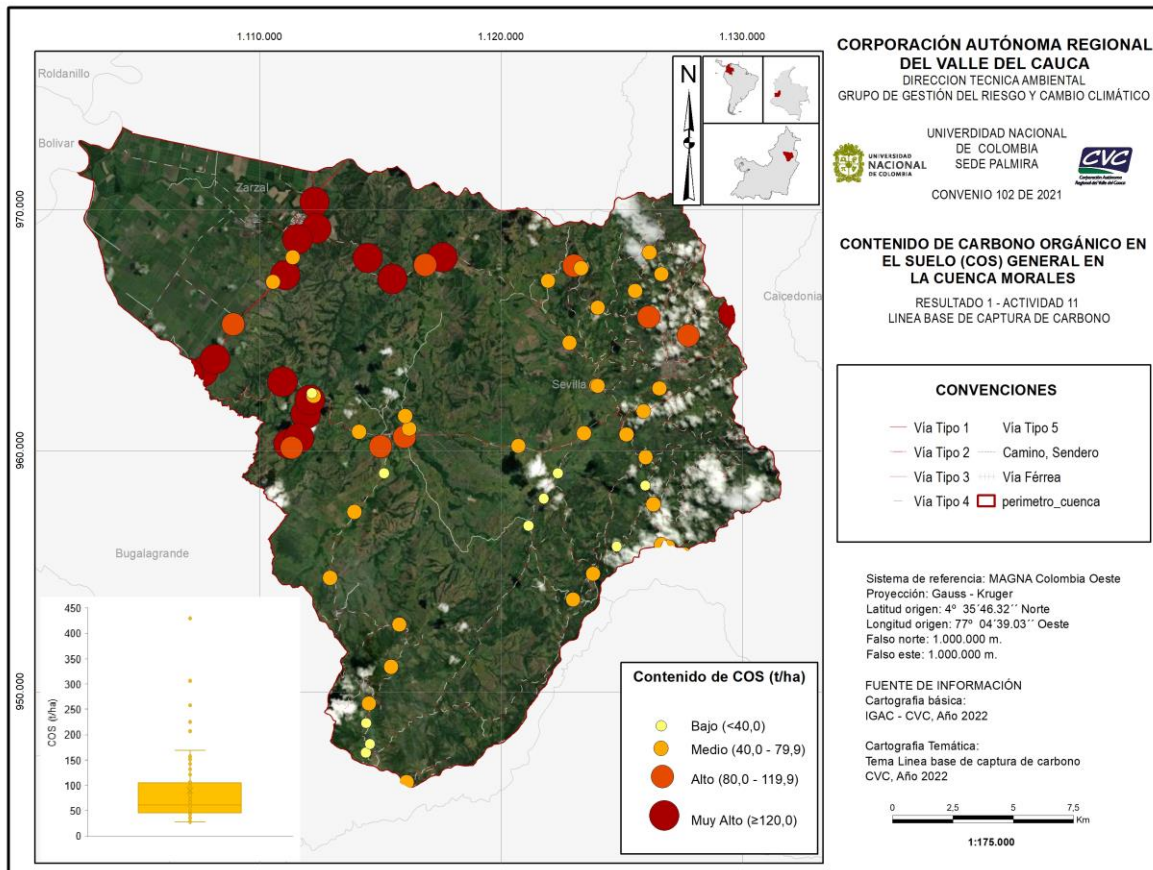


**Figura 54. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general Cuenca La Paila.**

Fuente: Elaboración propia.

La capacidad del almacenamiento de COS en el suelo se relaciona con las propiedades físicas, suelos de textura fina y la concentración de agregados en las partículas más finas (< 0,25 mm) pueden favorecer la tendencia taxonómica a generar (Pérez, 2011; Cantera, 2005), donde partículas más gruesas (como arenas), solo identificaron trazas de COS, mientras que partículas finas (como arcillas) se concentraron los contenidos de COS más altos, seguido de las partículas medias (como limo) y fraccionamientos de menor diámetro presentan mayores concentraciones de COS, disminuyendo en el suelo a medida que se aumenta el diámetro de fraccionamiento del suelo.

Del total de sitios evaluados (0 - 30 cm de profundidad) para la cuenca La Paila el 50% de los datos de almacenamiento de COS se encontraron entre 46,7 y 105,0 t/ha, con una mediana de 61,6 t/ha, presentando contenidos similares a los estimados por el IGAC para la región Andina (Bolívar et al., 2019). Sin embargo, en la Figura 55 se identifica un gradiente de concentración de oriente a occidente inverso al gradiente de altura y piso térmico que favorece el aumento el contenido de COS a menor temperatura o mayor altura, como lo reporta Arguello (1991).



**Figura 55. Distribución de los contenidos de COS en la fracción fina en la cuenca La Paila (t/ha).**

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la categorización de las estimaciones de COS en la cuenca La Paila (Tabla 35), al utilizar la Da y el contenido de carbono orgánico, en 15 de los 64 sitios se tiene un nivel Muy Alto (>120 t/ha), 8 se encuentran en un nivel Alto (80 - 119,9 t/ha), 31 sitios se encuentran en un nivel Medio (40 - 79,9 t/ha) y 10 sitios se encuentran en un nivel Bajo (<40 t/ha) (Vela et al., 2012; Loayza et al., 2020). Siendo un factor de alerta identificar la mayor parte de los sitios evaluados (64%) en condiciones de almacenamiento de COS entre Medio y Bajo.

**Tabla 35. Contenidos de COS calculado y nivel de concentración por sitio muestreado de la cuenca La Paila.**

CÓDIGO	DA (g/cm3)	COS (t/ha)	NIVEL	CÓDIGO	DA (g/cm3)	COS (t/ha)	NIVEL
C-PAI-125	1,25	78,79	Medio	C-PAI-178	1,03	58,09	Medio
C-PAI-139	0,95	62,47	Medio	C-PAI-179	0,96	53,45	Medio
C-PAI-140	1,16	35,46	Medio	C-PAI-180	1,42	59,38	Muy Alto
C-PAI-141	0,25	37,47	Medio	C-PAI-181	1,34	86,79	Alto
C-PAI-142	1,19	45,05	Medio	C-PAI-182	1,6	90,58	Muy Alto
C-PAI-143	1,03	77,06	Medio	C-PAI-183	1,55	81	Muy Alto
C-PAI-144	1,51	44,28	Medio	C-PAI-184	1,26	141,71	Muy Alto
C-PAI-145	1,17	57,14	Medio	C-PAI-185	1,06	54,79	Muy Alto
C-PAI-146	1,59	57,76	Medio	C-PAI-186	1,21	75,9	Muy Alto
C-PAI-147	1,26	106,86	Alto	C-PAI-187	1,2	73,48	Muy Alto
C-PAI-148	1,49	48,14	Medio	C-PAI-188	1,28	64,28	Muy Alto
C-PAI-149	1,18	32,9	Bajo	C-PAI-189	1,42	89,63	Muy Alto
C-PAI-150	1,14	43,26	Medio	C-PAI-190	1,23	81,14	Alto
C-PAI-157	1,42	74	Muy Alto	C-PAI-191	1,39	105,63	Alto
C-PAI-158	1,31	78,01	Muy Alto	C-PAI-192	1,28	26,2	Bajo
C-PAI-159	1,53	46,31	Muy Alto	C-PAI-193	1,23	36,68	Bajo
C-PAI-160	1,17	63,22	Muy Alto	C-PAI-194	0,86	64,19	Medio
C-PAI-161	1,25	69,79	Muy Alto	C-PAI-201	0,75	84,78	Medio
C-PAI-162	1,56	55,74	Medio	C-PAI-202	1,14	40,05	Bajo
C-PAI-163	1,4	52,71	Medio	C-PAI-203	1,01	51,6	Medio
C-PAI-164	1,39	55,5	Alto	C-PAI-204	1,2	84,13	Medio
C-PAI-167	0,75	140,31	Muy Alto	C-PAI-205	1,02	54,07	Bajo
C-PAI-168	0,64	121,88	Alto	C-PAI-206	1,48	42,81	Bajo
C-PAI-169	0,87	47,87	Alto	C-PAI-207	1,43	44,02	Bajo
C-PAI-170	1,01	86,66	Medio	C-PAI-272	1,09	16,28	Bajo
C-PAI-171	1,14	37,31	Medio	C-PAI-273	1,13	39,43	Bajo
C-PAI-172	1,47	56,45	Medio	C-PAI-274	1,2	39,46	Bajo
C-PAI-173	1,13	77,66	Medio	C-PAI-275	0,79	71,15	Medio
C-PAI-174	1,15	78,59	Medio	C-PAI-276	1,06	78,86	Medio
C-PAI-175	1,36	48,18	Alto	C-PAI-277	1,24	52,94	Medio
C-PAI-176	0,99	49,78	Medio	C-PAI-278	1,38	62,27	Medio
C-PAI-177	1,25	61,88	Medio	C-PAI-279	1,33	94	Medio

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican que las reservas de COS en suelos de la cuenca La Paila en su mayoría son de categoría Medio. Sin embargo, para que los suelos conserven sus



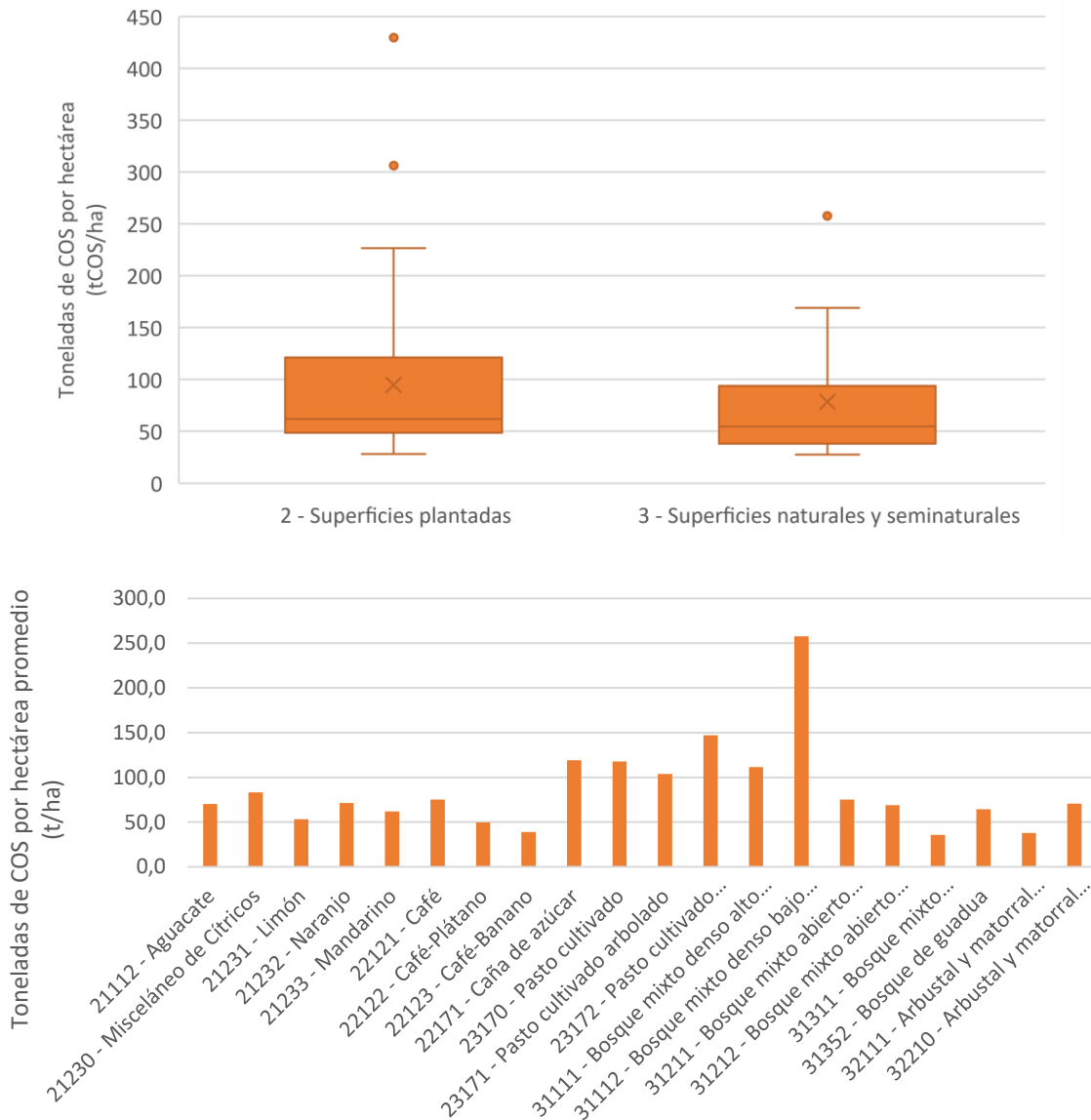
---

propiedades físicas y químicas favorables para la captura y almacenamiento de carbono, es necesario implementar técnicas y prácticas agronómicas orientadas a la conservación de coberturas nobles, aplicación de materia orgánica, rotación de cultivos, siembra directa, lo que contribuye a la disminución de la erosión y la mineralización de la materia orgánica, y por ende permite mejorar la retención del COS en el suelo.

En análisis del almacenamiento de COS y su relación con el tipo de cobertura (Figura 56), específicamente la comparación entre superficies plantadas y las superficies naturales evaluadas, se pudo establecer que las superficies naturales presentan una mediana de 80,4 t/ha inferior a 111,2 t/ha de las superficies plantadas, aunque se destacan el misceláneo de pastos y cultivos y pastos cultivados, muy por encima de la mediana. Sin embargo, las superficies naturales, presentan un rango de variabilidad menor donde se concentran el 50% de los datos muestreados. Este comportamiento se identifica en detalle al comparar los niveles extremos de la categoría, 31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos (145,2 t/ha) con 31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural (82,5 t/ha). El efecto del cambio de cobertura de acuerdo con el IPCC (2014), favorece la liberación de GEI y la reducción de la capacidad de almacenamiento de COS. Esta evaluación presenta la línea base de COS como un referente para la gestión local sostenible del recurso suelo en cuencas del Valle del Cauca.

Con relación al COS en cultivos de la cuenca La Paila, se pudo establecer que los cultivos con contenidos almacenamiento de COS superiores a la mediana de la cuenca fueron del siguiente orden:

- 23172 - Pasto cultivado enmalezado (146,94 t/ha)
- 22171 - Caña de azúcar (119,04 t/ha)
- 23170 - Pasto cultivado (117,71 t/ha)

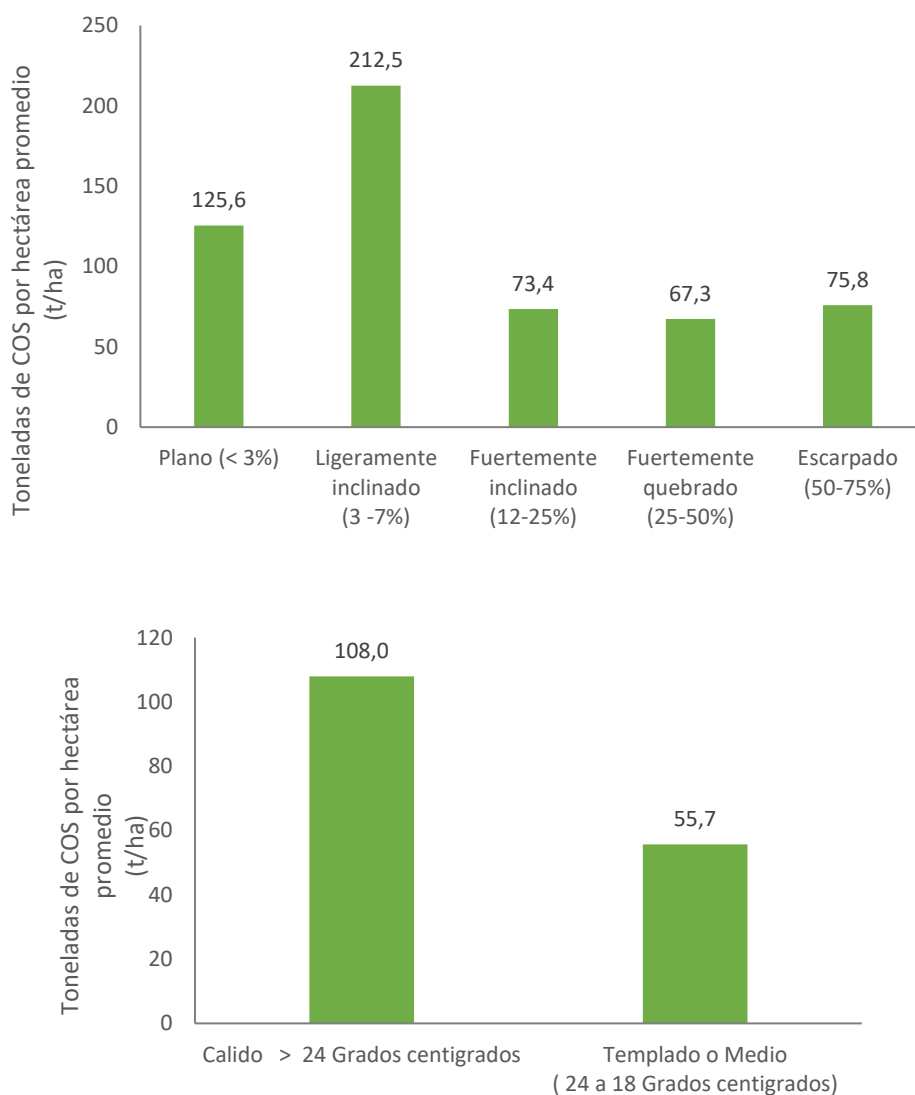


**Figura 56. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura, cuenca La Paila.**

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de evaluar la influencia de la pendiente y piso térmico en las reservas de COS en suelos, en la Figura 57 se presentan el análisis. Se observa que los valores de COS fueron superiores en zonas ligeramente inclinadas (212,5 t/ha), seguido de zonas planas (125,6 t/ha), mientras que en el resto de las zonas el comportamiento de las muestras es similar a la mediana de la cuenca, variando entre 67,3 t/ha y 75,8 t/ha en promedio. Por otro lado, el contenido de COS promedio en zonas frías es inferior a los contenidos promedio de las zonas cálidas o zonas templadas, sin embargo, no se presenta un gradiente de concentración marcado como en el resto de las cuencas, lo que pone en consideración la

clasificación de los pisos térmicos dado que, a menor temperatura, mayor actividad enzimática equivalente a mayor descomposición de compuesto derivados del carbono estable de la fracción fina (Arguello, 1991). Sin embargo, temperaturas muy frías ralentizan los procesos enzimáticos de degradación de la materia orgánica y fijación en el suelo. Bajo el contexto del Valle del Cauca, la localización de las zonas se concentra en temperaturas templados a cálidas.



**Figura 57. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico, cuenca La Paila.**

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos para la cuenca La Paila, es necesario establecer estrategias de conservación en la parte media y principalmente en la parte alta de la cuenca, debido a la alta susceptibilidad de degradación que presentan los suelos, afectando las partículas las finas donde se concentra la mayor cantidad de COS.

Con relación a las propiedades químicas del suelo, en general, los suelos de la cuenca presentan condiciones nutricionales adecuadas para el desarrollo productivo, lo que ha dinamizado la fuerte intervención antrópica, sin embargo, debido a la fragilidad que presentan los ecosistemas, se recomienda generar estudios más detallados que permitan establecer la necesidad específica de diferentes prácticas agronómicas en los cultivos y para cada cuenca.

Se recomienda incentivar cultivos perennes, con prácticas de conservación de suelos, como estrategia agrícola para compensar la pérdida de bosques naturales en la zona templada o media donde se presentan las mayores concentraciones de COS.

### **Estimación de COS para la cuenca**

Teniendo en cuenta que el área total de la cuenca La Paila es de 43.977 ha y que el 50% de los valores varían entre 46,7 t/ha y 105,0 t/ha, el COS almacenado estimado para la cuenca estaría entre 2.053.726 y 4.617.585 t de COS.

$$E_{COS} = Ac * m$$

$$E_{COS} = 43.977 * 46,7$$

$$E_{COS} \cong 2.053.726 \text{ tCOS mínimo}$$

$$E_{COS} = Ac * m$$

$$E_{COS} = 43.977 * 105,0$$

$$E_{COS} \cong 4.617.585 \text{ tCOS máximo}$$

#### **7.3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Con el objetivo de conocer la relación entre los diferentes niveles de COS y las propiedades fisicoquímicas en la cuenca La Paila, se realizaron comparativas de tendencia empleando el método de Spearman, dado el tipo de variables y la cantidad de datos que evaluados.

En la Tabla 36 se muestran los resultados de correlación y valor “p” para cada una de las variables analizadas respecto a los niveles de COS. Aquellas con un nivel de correlación

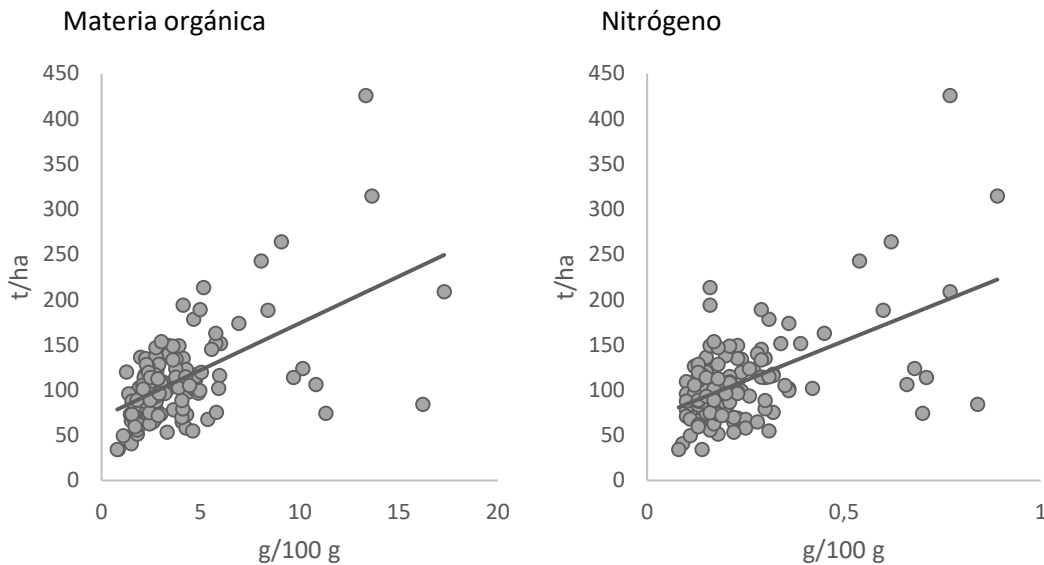
superior al 0,3 se consideraron correlaciones fuertes. Cabe tener en consideración que el valor p, equivale a la probabilidad de obtener, por azar, una diferencia tan grande o mayor de la observada, cumpliéndose que no haya diferencia real en la población de la que proceden las muestras. Para este caso, si el valor de probabilidad es menor del 5% (0,05) es lo suficientemente improbable que se deba al azar como para rechazar con una seguridad razonable la hipótesis nula (H0) y afirmar que la diferencia es real (Molina, 2017). De las variables evaluadas se observa una correlación positiva fuerte con entre el COS y la Materia Orgánica, así como con el Nitrógeno. Esto se traduce, a que entre mayores niveles de materia orgánica y nitrógeno se encuentren presentes en la cuenca, mayor será el nivel de COS. Además, estas correlaciones resultan ser significativas. Siendo está una respuesta confirmativa a la simbiosis existente entre la materia orgánica (MO) y la actividad biológica del suelo (FAO, 2002).

**Tabla 36. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS cuenca La Paila.**

PROPIEDADES	COS	
	CORR	p-VALOR
Altura	0,26	0,00
Arcilla	-0,04	0,63
Arena	-0,03	0,76
Azufre (S)	-0,18	0,04
Boro (B)	-0,12	0,19
Calcio (Ca)	-0,01	0,90
Capacidad Intercambio Catiónico aceta (CICA)	0,16	0,07
Capacidad Intercambio Catiónico Efectivo (CICE)	-0,06	0,51
Cobre (Cu)	-0,06	0,52
Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	0,04	0,69
Fosforo (P) (Bray II)	0,07	0,41
Hierro (Fe)	0,25	0,00
Limo	0,07	0,42
Magnesio (Mg)	-0,15	0,10
Manganeso (Mn)	0,02	0,82
Materia orgánica (MO)	0,52	0,00
Nitrógeno total (NT)	0,39	0,00
Pendiente	0,13	0,14
pH (1:2,5)	-0,24	0,01
Piso Térmico	-0,18	0,04
Potasio (K)	0,20	0,02
Sodio (Na)	-0,15	0,09
Zinc (Zn)	0,21	0,02

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis presentado en la Figura 58, existen correlaciones leves asociadas al COS fina, donde a mayor nivel de Altura, Hierro y Zinc se esperarían un mayor nivel de COS fina. Y estas, también resultan ser significativas. De otra parte, cuando el piso térmico aumenta su nivel, así como el pH, se esperan niveles de COS más bajos.



**Figura 58. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS en la cuenca La Paila.**

#### **7.4 LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA RUT**

La determinación de la línea base de almacenamiento de carbono en suelos de la cuenca RUT incluyó la caracterización de las propiedades físicas y químicas del medio edáfico. A continuación, se presentan los resultados de la caracterización de las muestras del suelo y al final de este ítem, el análisis del almacenamiento de carbono para los suelos muestreados en esta cuenca.

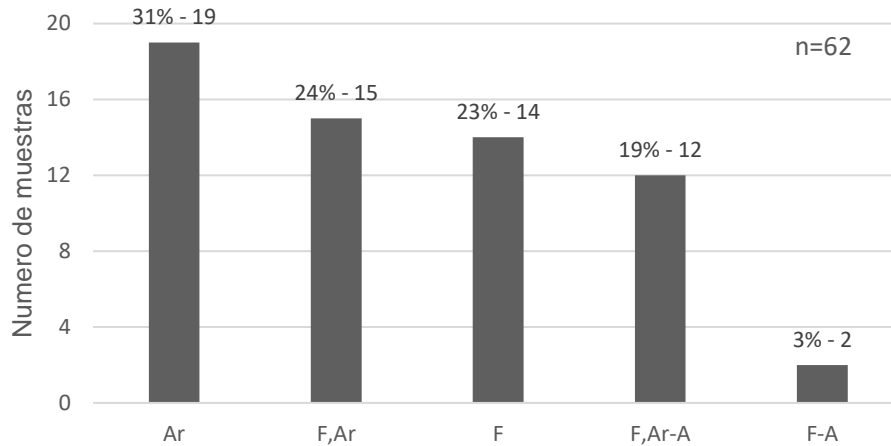
##### **7.4.1 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS**

Las principales propiedades físicas analizadas son: clase textural (contenido de limo L, arena A y arcilla Ar), densidad aparente ( $D_a$ ), lámina de agua aprovechable y estabilidad de agregados. A continuación, se presenta el comportamiento de estas variables en el suelo.

##### **Textura**

Para los suelos muestreados en la cuenca RUT predominan las clases texturales de Arcillosas (Ar) y Franco Arcillosas (FAr), con leve presencia de suelos Francos (F). De acuerdo con la Figura 59, se presenta una tendencia de formación de suelos finos a muy finos, estos suelos se caracterizan por ser pesados y con alto porcentaje de contenido de

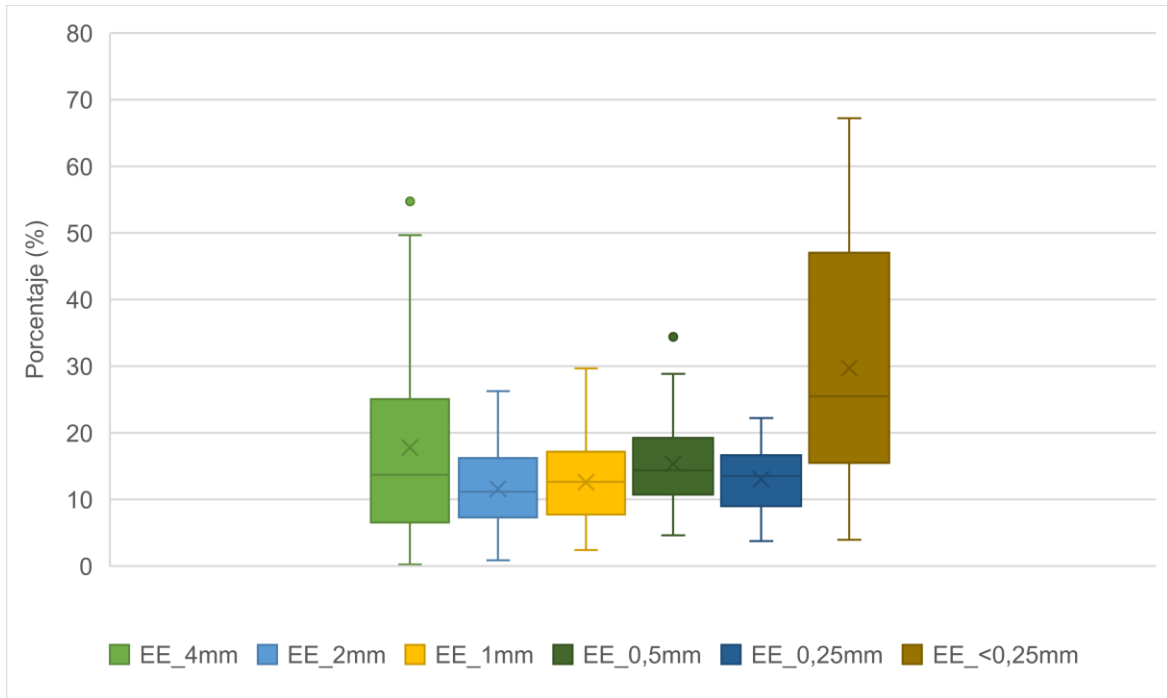
particular finas lo que favorece su capacidad de intercambio catiónico (CIC), siendo un factor positivo para el tema nutricional.



**Figura 59.** Texturas en la cuenca RUT.  
 Fuente: Fuente: Elaboración propia.

**Estabilidad de agregados**

De acuerdo con la Figura 60, la distribución de los agregados del suelo presenta una leve tendencia hacia las partículas más finas, menores a 0,25 mm de diámetro, donde el porcentaje promedio es cercano al 30% mientras que los demás diámetros oscilan entre 10 y 17%. Este comportamiento guarda concordancia con la tendencia de texturas identificadas para la cuenca, sin embargo, la mayor variabilidad en el contenido de partículas se presenta en las de menor diámetro.



**Figura 60. Distribución de agregados en la cuenca RUT.**

Fuente: Fuente: Elaboración propia.

**Índice de estabilidad**

Según el índice, los puntos muestreados en la cuenca concentran un panorama de alerta, en donde el 85% de los sitios evaluados se consideran suelo degradados (IE<5), el 13% en alto riesgo de degradación (IE en el rango de 5-7) y solamente el 2% presentó características de estructura estable (IE>9). Lo que indica que deben promoverse prácticas de conservación, debido a que por la tendencia estructural del suelo (partículas pequeñas), se presenta mayor riesgo de pérdida de suelo debido a la condición natural de arrastre de partículas por acción del agua o el viento (Figura 61).





**Figura 61. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca RUT.**

Fuente: Fuente: Elaboración propia.

### **Lámina de agua aprovechable**

Cuando se presentan LAA alta (>20 mm) con densidades aparentes altas, se tiene menor AA (%), lo anterior se asocia principalmente con suelos compactados, entre mayor sea la densidad aparente mayor puede ser la compactación (Tabla 37). El agua capilar disponible para las plantas se encuentra en los mesoporos y en los microporos del suelo; los resultados permiten inferir que hay predominio de microporos, lo que aumenta la resistencia a la penetración de las raíces y la dificultad para que las plantas tomen el agua del suelo. Los suelos arcillosos son los que tienen mayor capacidad de retener agua (LAA alta), pero esto no indica que tengan mayor porcentaje de AA (humedad volumétrica), es decir, son suelos que tienen menor agua disponible para las plantas interactúen lo cual puede afectar la dinámica nutricional.

Por otro lado, cuando se analiza la relación entre la textura de suelo con la densidad aparente ( $D_a$ ), se encuentran que para valores altos de  $D_a$  (> 1), se consideran suelos pesados con contenidos bajos de materia orgánica en el suelo (MOS), lo que sugiere que haya menor capacidad de retener la humedad en el suelo; por el contrario, suelos con mayor contenido de MO tienen mayor porosidad en el suelo (mesoporos), por ende, mayor porcentaje de agua aprovechable en el suelo (entre CC-PMP).

**Tabla 37. Contenido de Agua aprovechable y lámina de agua aprovechable según textura y densidad aparente en la en la cuenca RUT.**

CÓDIGO MUESTRA	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	TEXTURA	DA (g/cm3)
C-RUT-219	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	13,7	3,51	F-A	1,3
C-RUT-220	22151 - Vid	22,8	5,32	F	1,43
C-RUT-221	23170 - Pasto cultivado	17,3	4,01	F,Ar	1,44
C-RUT-222	22181 - Maíz	23,1	5,75	F,Ar-A	1,34
C-RUT-223	23111 - Ají	37,3	7,78	F,Ar-A	1,6
C-RUT-224	23170 - Pasto cultivado	16,4	3,7	F	1,48
C-RUT-225	22171 - Caña de azúcar	33,9	7,69	Ar	1,47
C-RUT-226	22141 - Papayo	17,5	4,94	F,Ar-A	1,18
C-RUT-227	22141 - Papayo	33,2	7,42	F,Ar	1,49
C-RUT-228	23170 - Pasto cultivado	9,9	2,3	F	1,43
C-RUT-229	22171 - Caña de azúcar	16,9	4,4	Ar	1,28
C-RUT-230	23170 - Pasto cultivado	21,7	4,98	F,Ar	1,45
C-RUT-231	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	21,1	5,33	F	1,32
C-RUT-232	23170 - Pasto cultivado	13,7	2,77	F,Ar-A	1,65
C-RUT-233	21230 - Misceláneo de Cítricos	19,8	4,46	F,Ar-A	1,48
C-RUT-234	23170 - Pasto cultivado	14,2	4,16	F	1,14
C-RUT-235	22123 - Café-Banano	12,6	3,66	F	1,15
C-RUT-236	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	17,5	4,64	F	1,26
C-RUT-237	23170 - Pasto cultivado	15,8	3,36	F,Ar	1,57
C-RUT-238	22121 - Café	15,7	4,44	F,Ar	1,18
C-RUT-239	22123 - Café-Banano	19,6	5,22	F,Ar-A	1,25
C-RUT-240	22151 - Vid	19,0	4,28	F	1,48
C-RUT-241	22151 - Vid	19,8	4,9	F,Ar-A	1,35
C-RUT-242	21114 - Guayabo	19,8	4,42	Ar	1,49
C-RUT-243	21114 - Guayabo	24,6	6,07	Ar	1,35
C-RUT-244	22181 - Maíz	32,8	8,22	Ar	1,33
C-RUT-245	21210 - Otros cultivos arbóreos plantados abiertos	22,3	5,39	Ar	1,38
C-RUT-246	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	16,5	3,67	Ar	1,5
C-RUT-247	22171 - Caña de azúcar	25,8	6,24	F,Ar	1,38
C-RUT-248	31352 - Bosque de guadua	12,9	4,18	Ar	1,03
C-RUT-249	22121 - Café	22,2	5,98	F,Ar	1,24
C-RUT-250	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	14,6	6,18	Ar	0,79
C-RUT-251	22171 - Caña de azúcar	14,1	3,46	F,Ar	1,36
C-RUT-252	23170 - Pasto cultivado	20,6	4,68	Ar	1,47
C-RUT-253	21114 - Guayabo	21,7	5,48	Ar	1,32
C-RUT-254	21230 - Misceláneo de Cítricos	22,4	4,98	Ar	1,5
C-RUT-255	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	29,9	8,18	Ar	1,22
C-RUT-256	23231 - Maracuyá	19,7	5,66	F,Ar	1,16
C-RUT-257	22171 - Caña de azúcar	18,0	4,11	F,Ar	1,46
C-RUT-258	22181 - Maíz	18,3	4,36	Ar	1,4

CÓDIGO MUESTRA	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	TEXTURA	DA (g/cm <sup>3</sup> )
C-RUT-259	21114 - Guayabo	13,6	4,41	Ar	1,03
C-RUT-260	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	17,2	4,73	F,Ar-A	1,21
C-RUT-261	23170 - Pasto cultivado	27,7	5,46	F-A	1,69
C-RUT-262	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	19,5	5,28	F	1,23
C-RUT-263	23170 - Pasto cultivado	21,4	5,03	F,Ar-A	1,42
C-RUT-264	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	15,5	4,86	Ar	1,06
C-RUT-265	22123 - Café-Banano	15,4	4,55	F,Ar	1,13
C-RUT-266	21116 - Mango	14,3	3,55	F,Ar	1,34
C-RUT-267	23170 - Pasto cultivado	22,9	5,49	F	1,39
C-RUT-268	23170 - Pasto cultivado	24,9	5,39	F	1,54
C-RUT-269	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	8,3	2,33	F,Ar	1,19
C-RUT-270	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	14,3	4,04	F,Ar-A	1,18
C-RUT-271	23170 - Pasto cultivado	14,3	4,71	F	1,01
C-RUT-280	22122 - Café-Plátano	14,9	4,33	Ar	1,15
C-RUT-281	24122 - Cítricos-Plátano	15,8	4,49	Ar	1,17
C-RUT-282	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	20,6	6,09	F,Ar-A	1,13
C-RUT-283	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	14,1	4,28	F	1,1
C-RUT-284	22171 - Caña de azúcar	15,9	4,45	Ar	1,19
C-RUT-285	23170 - Pasto cultivado	21,5	4,8	F	1,49
C-RUT-286	23111 - Aji	25,4	5,73	F,Ar-A	1,48
C-RUT-287	22114 - Banano	13,9	3,41	F,Ar	1,36
C-RUT-288	22181 - Maíz	14,4	3,25	F,Ar	1,48

Fuente: Elaboración propia.

### **Densidad aparente**

La densidad aparente ( $D_a$ ) afecta al crecimiento de las plantas debido al efecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. El incremento de la  $D_a$ , aumenta la resistencia mecánica y la porosidad del suelo tiende a disminuir, estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la  $D_a$  para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate. Los valores bajos de  $D_a$  son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Los valores altos de densidad aparente son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan dificultades para elongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios.

De acuerdo con las categorías definidas por Arshad et al., (1996), en la cuenca RUT se presentaron 29 densidades ideales ( $<1,10$  en textura Arcillosa y  $<1,40$  en texturas Franco

y Franco Arcillosa), 28 con posible afectación radicular (entre 1,10 y 1,46 en textura Arcillosa y entre 1,40 y 1,74 en texturas Franco y Franco Arcillosa) y 5 con posible afectación radicular por compactación en cultivos de Caña, Guayabo, Cítricos y pastos cultivados. A modo general los valores más extremos de densidad varían entre 0,79 y 1,69 g/cm<sup>3</sup>, con una leve tendencia a identificar posibles afectaciones por compactación en suelos con coberturas plantadas (Tabla 38).

**Tabla 38. Densidad aparente, cobertura y crecimiento radicular, en base a las texturas identificadas en la cuenca RUT.**

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA (g/cm <sup>3</sup> )	CATEGORÍA
Ar	C-RUT-225	22171 - Caña de azúcar	1.47	Afectación radicular
	C-RUT-229	22171 - Caña de azúcar	1.28	Posible afectación radicular
	C-RUT-242	21114 - Guayabo	1.49	Afectación radicular
	C-RUT-243	21114 - Guayabo	1.35	Posible afectación radicular
	C-RUT-244	22181 - Maíz	1.33	Posible afectación radicular
	C-RUT-245	21210 - Otros cultivos arbóreos plantados abiertos	1.38	Posible afectación radicular
	C-RUT-246	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	1.5	Afectación radicular
	C-RUT-248	31352 - Bosque de guadua	1.03	Ideal
	C-RUT-250	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0.79	Ideal
	C-RUT-252	23170 - Pasto cultivado	1.47	Afectación radicular
	C-RUT-253	21114 - Guayabo	1.32	Posible afectación radicular
	C-RUT-254	21230 - Misceláneo de Cítricos	1.5	Afectación radicular
	C-RUT-255	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1.22	Posible afectación radicular
	C-RUT-258	22181 - Maíz	1.4	Posible afectación radicular
	C-RUT-259	21114 - Guayabo	1.03	Ideal
	C-RUT-264	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1.06	Ideal
	C-RUT-280	22122 - Café-Plátano	1.15	Posible afectación radicular
	C-RUT-281	24122 - Cítricos-Plátano	1.17	Posible afectación radicular
	C-RUT-284	22171 - Caña de azúcar	1.19	Posible afectación radicular
F	C-RUT-220	22151 - Vid	1.43	Posible afectación radicular
	C-RUT-224	23170 - Pasto cultivado	1.48	Posible afectación radicular
	C-RUT-228	23170 - Pasto cultivado	1.43	Posible afectación radicular
	C-RUT-231	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1.32	Ideal
	C-RUT-234	23170 - Pasto cultivado	1.14	Ideal
	C-RUT-235	22123 - Café-Banano	1.15	Ideal
	C-RUT-236	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1.26	Ideal
	C-RUT-240	22151 - Vid	1.48	Posible afectación radicular
	C-RUT-262	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1.23	Ideal
	C-RUT-267	23170 - Pasto cultivado	1.39	Ideal
	C-RUT-268	23170 - Pasto cultivado	1.54	Posible afectación radicular
	C-RUT-271	23170 - Pasto cultivado	1.01	Ideal

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA (g/cm <sup>3</sup> )	CATEGORÍA
	C-RUT-283	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1.1	Ideal
	C-RUT-285	23170 - Pasto cultivado	1.49	Posible afectación radicular
F,Ar	C-RUT-221	23170 - Pasto cultivado	1.44	Posible afectación radicular
	C-RUT-227	22141 - Papayo	1.49	Posible afectación radicular
	C-RUT-230	23170 - Pasto cultivado	1.45	Posible afectación radicular
	C-RUT-237	23170 - Pasto cultivado	1.57	Posible afectación radicular
	C-RUT-238	22121 - Café	1.18	Ideal
	C-RUT-247	22171 - Caña de azúcar	1.38	Ideal
	C-RUT-249	22121 - Café	1.24	Ideal
	C-RUT-251	22171 - Caña de azúcar	1.36	Ideal
	C-RUT-256	23231 - Maracuyá	1.16	Ideal
	C-RUT-257	22171 - Caña de azúcar	1.46	Posible afectación radicular
	C-RUT-265	22123 - Café-Banano	1.13	Ideal
	C-RUT-266	21116 - Mango	1.34	Ideal
	C-RUT-269	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1.19	Ideal
	C-RUT-287	22114 - Banano	1.36	Ideal
	C-RUT-288	22181 - Maíz	1.48	Posible afectación radicular
F,Ar-A	C-RUT-222	22181 - Maíz	1.34	Ideal
	C-RUT-223	23111 - Ají	1.6	Posible afectación radicular
	C-RUT-226	22141 - Papayo	1.18	Ideal
	C-RUT-232	23170 - Pasto cultivado	1.65	Posible afectación radicular
	C-RUT-233	21230 - Misceláneo de Cítricos	1.48	Posible afectación radicular
	C-RUT-239	22123 - Café-Banano	1.25	Ideal
	C-RUT-241	22151 - Vid	1.35	Ideal
	C-RUT-260	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1.21	Ideal
	C-RUT-263	23170 - Pasto cultivado	1.42	Posible afectación radicular
	C-RUT-270	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1.18	Ideal
	C-RUT-282	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1.13	Ideal
	C-RUT-286	23111 - Ají	1.48	Posible afectación radicular
F-A	C-RUT-219	32110 - Arbustal y matorral denso alto de tierra firme	1.3	Ideal
	C-RUT-261	23170 - Pasto cultivado	1.69	Posible afectación radicular

Fuente: Elaboración propia.

#### 7.4.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS

En la Tabla 39 se presentan los resultados de las propiedades químicas para los sitios muestreados en la Cuenca RUT. Se incluyen los valores promedios, mínimo y máximos de las variables. Si bien, se ha calculado la desviación estándar, estas deben ser analizadas como tendencias debido al reducido número de muestras correspondientes a esta cuenca.

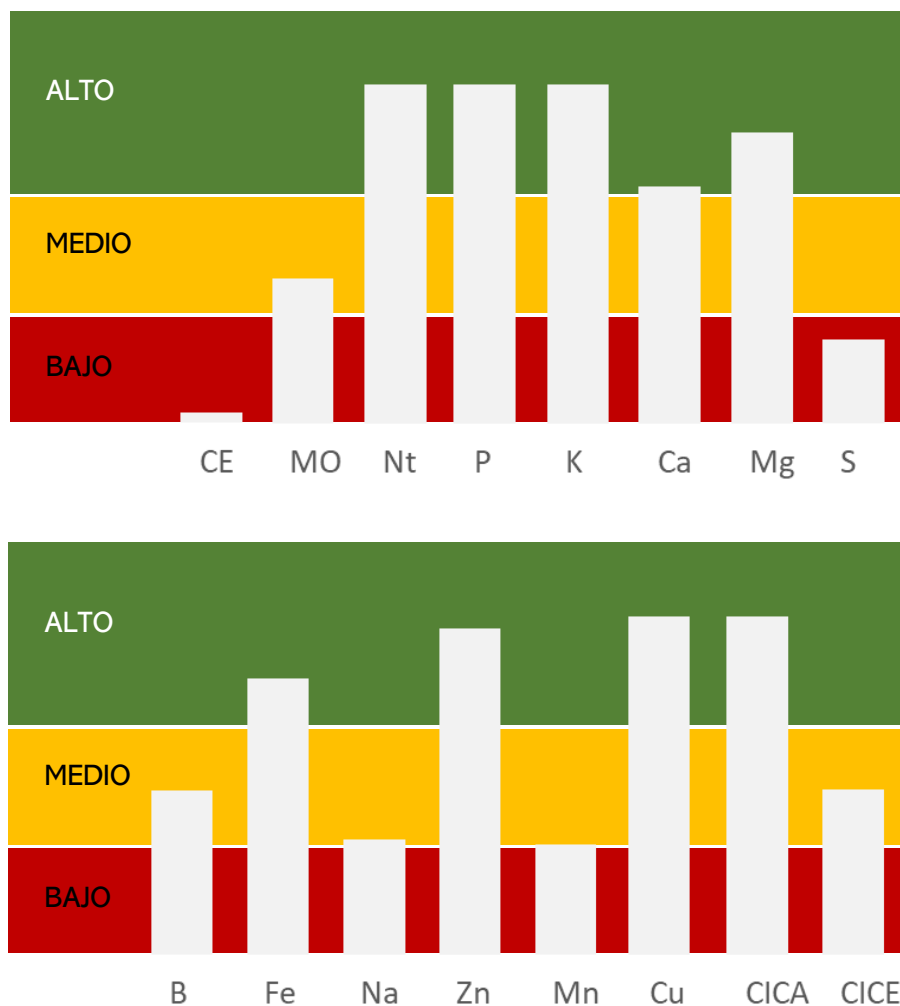
**Tabla 39. Propiedades químicas del suelo en la cuenca RUT.**

PROPIEDAD	UNID	PROM	MÍN	MÁX	DESV
Azufre (S) disponible	mg/kg	9,82	0,55	166,42	20,75
Boro (B) Disponible	mg/kg	0,29	0,01	0,79	0,21
Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	12,00	2,90	31,70	5,86
Capacidad Interc Catiónico Aceta (CICA)	cmol(+)/kg	62,00	0,13	0,65	0,12
Capacidad Interc Catiónico Efect (CICE)	cmol(+)/kg	21,04	5,89	40,38	9,67
Cobre (Cu) olsen Disponible	mg/kg	6,74	1,22	62,43	9,30
Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	dS/m	0,29	0,11	1,03	0,16
Fosforo (P) Disponible (Bray II)	mg/kg	50,44	1,85	688,30	109,88
Hierro (Fe) olsen Disponible	mg/kg	73,54	6,47	754,86	109,00
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	8,15	1,75	20,98	4,65
Manganeso (Mn) olsen Disponible	mg/kg	4,87	1,02	68,65	9,19
Materia Orgánica (MO)	g/100 g	2,04	0,74	4,57	0,81
Nitrógeno total (NT)	g/100 g	22,41	10,70	43,42	7,16
pH (1:2,5)	unid. pH	7,00	5,21	8,13	0,74
Potasio (K) Disponible	cmol(+)/kg	0,64	0,12	2,16	0,57
Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	0,30	0,14	0,97	0,20
Zinc (Zn) olsen Disponible	mg/kg	4,54	1,06	20,17	4,96
Total muestras (n): 62					

Fuente: Elaboración propia.

Es bien conocido que la fertilidad química en suelos se refiere a la reserva de nutrientes y su aporte a las plantas. En la Figura 62 se pueden observar valores altos de los elementos nutricionales, lo que permite deducir que los suelos de la cuenca RUT presentan mayores contenidos de nutrientes primarios, y, por lo tanto, se puede clasificar como un área que tiene buenas condiciones fertilidad. Probablemente el manejo actual y los altos contenidos de M.O, contribuyen en el aumento de la CIC a valores que van de medio a alto, que está directamente relacionada con la fertilidad del suelo, ya que la M.O libera grupos carboxílicos y fenólicos activos que se disocian, liberando iones H<sup>+</sup> a la solución del suelo (Díaz, 2008).

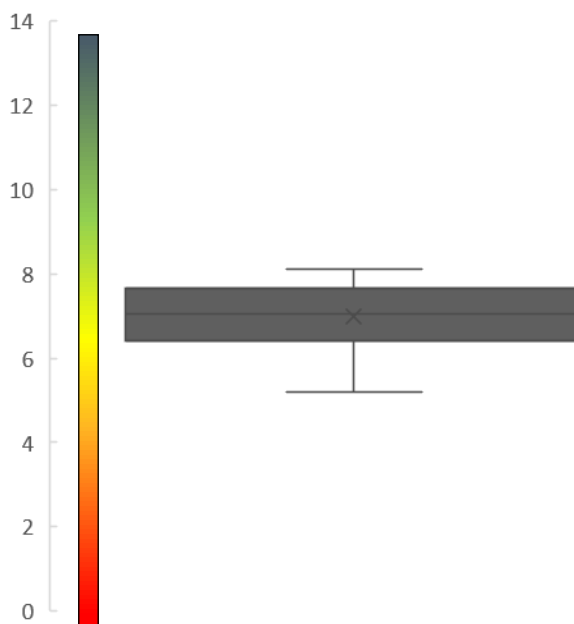
Por otro lado, la salinidad de un suelo se refiere a la cantidad de sales presentes en solución, y puede ser estimada indirectamente mediante la medición de la conductividad eléctrica (CE), que en suelos está influenciado por la concentración y composición de las sales disueltas; a mayor valor de CE, mayor es la salinidad presente. La salinidad es un fenómeno indeseable ya que afecta el crecimiento de las plantas de varias maneras y por lo mismo, un aumento en la CE traerá como consecuencia una disminución de rendimiento. Los valores de CE para la cuenca RUT son <0.8 dS/m, lo que significa que en promedio son suelos muy baja salinidad. Los valores bajos de CE facilitan el manejo de la fertilización y evitan problemas por fitotoxicidad en el cultivo.



**Figura 62. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca RUT.**

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al pH, en la Figura 63 se observa que la mitad de las muestras se concentran en la condición entre 6,42 y 7,65, ligeramente ácido (6,0 a 6,5) y cercano a la neutralidad (6,6 y 7,3), que representan la condición adecuada para el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Por otra parte, existen zonas donde las condiciones del suelo son de mayor adversidad por el efecto antagonista que ocasiona niveles de pH extremos (ICA, 1992). En los sitios donde el pH es inferior a 5,5 (fuerte a extremadamente ácido) se presentan registros de acidez por presencia de Aluminio (Al) intercambiable y deficiencias de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg). Mientras que, en sitios con pH mayores a 7,4 (alcalino y muy alcalino) es necesario implementar enmiendas para corregir la inhibición del crecimiento y adecuado desarrollo de las plantas.



**Figura 63. Distribución de los valores de pH de la cuenca RUT.**

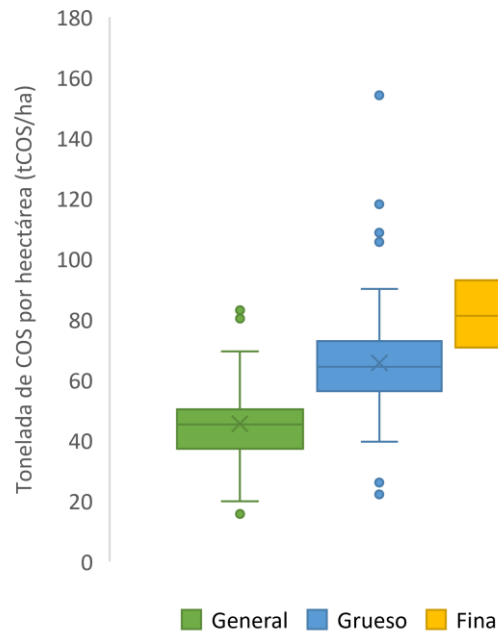
Fuente: Elaboración propia.

### 7.4.3 ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS

De acuerdo con la estimación de almacenamiento de COS en el suelo, la mediana para la cuenca RUT es, 45,3 t/ha en el COS general, 64,4 t/ha en el COS grueso y 81,2 t/ha en COS almacenado en la fracción fina (Figura 64). Para el caso del COS fino, considerados en nivel Alto (80 – 119,9 t/ha) a excepción del COS general y grueso en nivel medio (40 – 79,9 t/ha) (Loayza et al., 2020).

De acuerdo con las estimaciones, el suelo presenta mayor capacidad de reserva de COS en la fracción fina y representa el carbono más estable en el suelo. La tendencia del suelo a presentar mayor acumulación de COS en esta fracción se asocia principalmente con los altos contenidos de MO, CIC y suelos cercanos a la neutralidad. Para el caso del COS general, presentó una menor capacidad de almacenamiento, sin embargo, se presentaron valores atípicos por fuera de la desviación estándar, por encima se identifica un bosque intervenido seguido de pastos enmalezados, mientras que por debajo Arbusto y matorral intervenido.

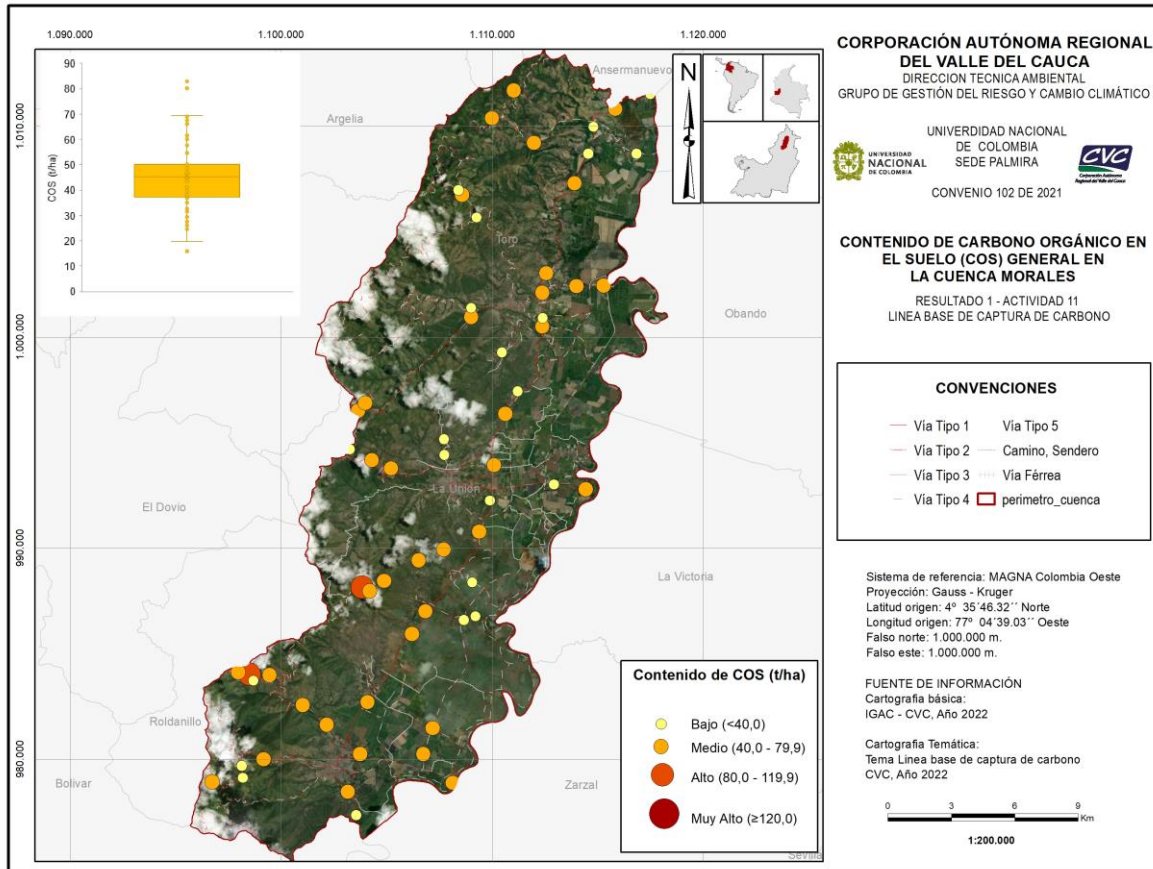




**Figura 64. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general de la cuenca RUT.**  
Fuente: Elaboración propia.

Con relación a las propiedades físicas, puede favorecer la tendencia taxonómica a generar suelos de textura fina y la concentración de agregados en las partículas más finas (< 0,25 mm); comportamientos similares fueron presentados por Pérez (2011) y Cantera (2005), donde partículas más gruesas (como arenas), solo identificaron trazas de COS, mientras que partículas finas (como arcillas) se concentraron los contenidos de COS más altos, seguido de las partículas medias (como limo) y fraccionamientos de menor diámetro presentan mayores concentraciones de COS, disminuyendo en el suelo a medida que se aumenta el diámetro de fraccionamiento del suelo.

Del total de sitios evaluados (0 – 30 cm de profundidad) para la cuenca RUT el almacenamiento de COS se encontró en el rango 37,2 y 50,3 t/ha, con una mediana de 45,3 t/ha, presentando contenidos similares a los estimados por el IGAC para la región Andina (Bolívar et al., 2019). Sin embargo, en la Figura 65 no se identifica patrones asociados al gradiente de altura o piso térmico que favorezca el aumento o desfavorezca el contenido de COS, como lo reporta Arguello (1991).



**Figura 65. Distribución de los contenidos de COS en la cuenca RUT (t/ha).**

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con las estimaciones de COS en la cuenca RUT (Tabla 40), al utilizar la Da y el contenido de carbono orgánico, solo 2 de los 62 sitios se tiene un nivel Alto (80 – 119,9 t/ha), 38 se encuentran en un nivel Medio (<40 t/ha) y en 22 sitios se encuentran en un nivel Bajo (<40 t/ha) para la cuenca RUT. No se encontraron valores de COS en la categoría Muy Alto para los análisis realizados en la fracción fina (Vela et al.,2012; Loayza et al., 2020).

Los resultados indican que las reservas de COS en suelos de la cuenca RUT en su mayoría son de categoría Medio. Sin embargo, para que los suelos conserven sus propiedades físicas y químicas favorables para la captura y almacenamiento de carbono, es necesario implementar técnicas y prácticas agronómicas orientadas a la conservación de coberturas nobles, aplicación de materia orgánica, rotación de cultivos, siembra directa, lo que contribuye a la disminución de la erosión y la mineralización de la materia orgánica, y por ende permite mejorar la retención del COS en el suelo.

**Tabla 40. Contenidos de COS calculado y nivel de concentración por sitio muestreado.**

CÓDIGO	DA (g/cm <sup>3</sup> )	COS (t/ha)	NIVEL	CÓDIGO	DA (g/cm <sup>3</sup> )	COS (t/ha)	NIVEL
C-RUT-219	1,3	24,57	Bajo	C-RUT-250	0,79	57,83	Medio
C-RUT-220	1,43	27,03	Bajo	C-RUT-251	1,36	35,09	Bajo
C-RUT-221	1,44	41,04	Medio	C-RUT-252	1,47	45,42	Medio
C-RUT-222	1,34	39,8	Bajo	C-RUT-253	1,32	27,72	Bajo
C-RUT-223	1,6	60	Medio	C-RUT-254	1,5	39,15	Bajo
C-RUT-224	1,48	35,96	Bajo	C-RUT-255	1,22	15,74	Bajo
C-RUT-225	1,47	43,66	Medio	C-RUT-256	1,16	41,76	Medio
C-RUT-226	1,18	46,02	Medio	C-RUT-257	1,46	48,62	Medio
C-RUT-227	1,49	48,28	Medio	C-RUT-258	1,4	48,72	Medio
C-RUT-228	1,43	69,07	Medio	C-RUT-259	1,03	44,81	Medio
C-RUT-229	1,28	49,54	Medio	C-RUT-260	1,21	40,29	Medio
C-RUT-230	1,45	37,41	Bajo	C-RUT-261	1,69	47,15	Medio
C-RUT-231	1,32	67,72	Medio	C-RUT-262	1,23	57,56	Medio
C-RUT-232	1,65	38,12	Bajo	C-RUT-263	1,42	33,23	Bajo
C-RUT-233	1,48	55,5	Medio	C-RUT-264	1,06	83	Alto
C-RUT-234	1,14	25,99	Bajo	C-RUT-265	1,13	48,82	Medio
C-RUT-235	1,15	45,54	Medio	C-RUT-266	1,34	67,13	Medio
C-RUT-236	1,26	45,36	Medio	C-RUT-267	1,39	45,04	Medio
C-RUT-237	1,57	35,8	Bajo	C-RUT-268	1,54	43,89	Medio
C-RUT-238	1,18	62,66	Medio	C-RUT-269	1,19	66,05	Medio
C-RUT-239	1,25	36,75	Bajo	C-RUT-270	1,18	69,38	Medio
C-RUT-240	1,48	45,29	Medio	C-RUT-271	1,01	80,3	Alto
C-RUT-241	1,35	46,17	Medio	C-RUT-280	1,15	39,68	Bajo
C-RUT-242	1,49	29,5	Bajo	C-RUT-281	1,17	31,59	Bajo
C-RUT-243	1,35	32,81	Bajo	C-RUT-282	1,13	61,7	Medio
C-RUT-244	1,33	39,9	Bajo	C-RUT-283	1,1	50,16	Medio
C-RUT-245	1,38	41,4	Medio	C-RUT-284	1,19	47,12	Medio
C-RUT-246	1,5	39,15	Bajo	C-RUT-285	1,49	28,16	Bajo
C-RUT-247	1,38	19,87	Bajo	C-RUT-286	1,48	50,17	Medio
C-RUT-248	1,03	54,69	Medio	C-RUT-287	1,36	45,29	Medio
C-RUT-249	1,24	50,59	Medio	C-RUT-288	1,48	45,29	Medio

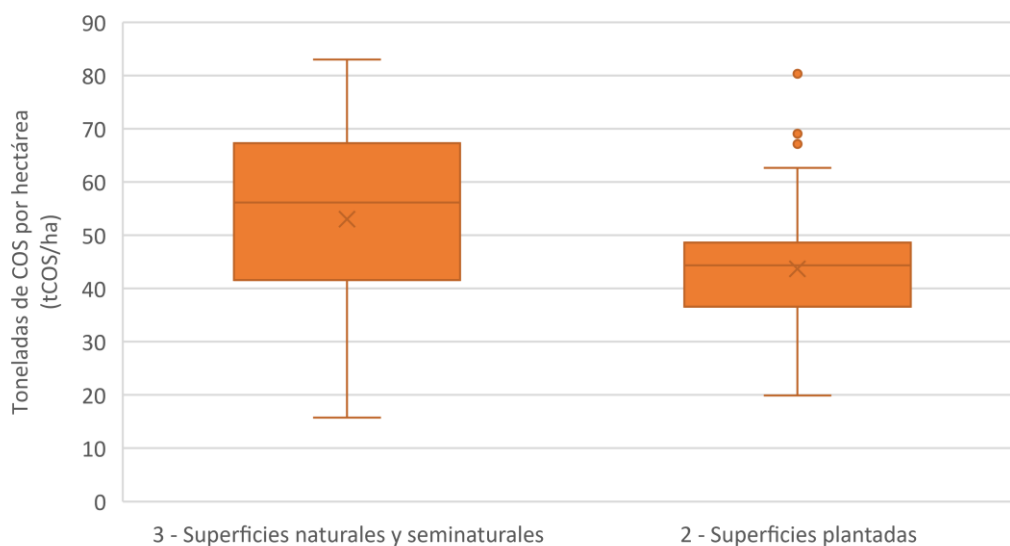
Fuente: Elaboración propia.

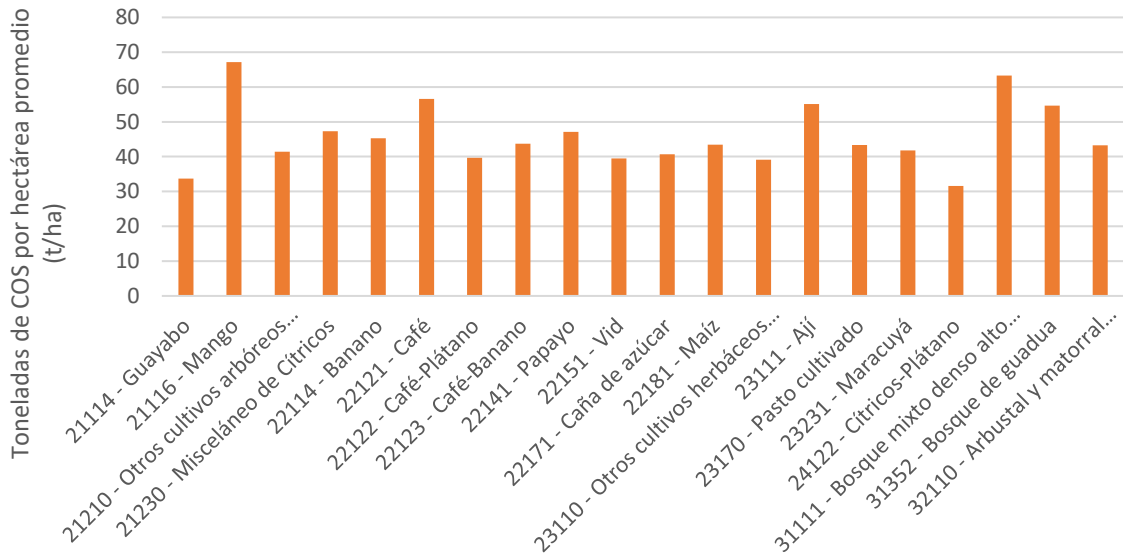
En análisis del almacenamiento de COS y su relación con el tipo de cobertura (Figura 66), específicamente la comparación entre superficies plantadas y las superficies naturales evaluadas, se pudo establecer que las superficies naturales presentan una mediana de 44,3 t/ha inferior a 56,1 t/ha de las superficies naturales como 31111 - Bosque mixto denso alto

de tierra firme o bosque de guadua por encima de la mediana. Sin embargo, las superficies naturales, presentan un rango de variabilidad menor donde se concentran el 50% de los datos muestreados, esto confirma que al detallar el tipo de cobertura, la fragmentación del bosque puede disminuir la capacidad de almacenamiento de COS, esto contrasta con los niveles de COS en bosques mixtos densos bajo las mismas condiciones de zona baja y tierra firme. El efecto del cambio de cobertura de acuerdo con el IPCC (2014), favorece la liberación de GEI y la reducción de la capacidad de almacenamiento de COS. Esta evaluación presenta la línea base de COS como un referente para la gestión local sostenible del recurso suelo en cuencas del Valle del Cauca.

Con relación al COS en cultivos de la cuenca RUT, se puede establecer que los valores de almacenamiento en el suelo para superficies plantadas fueron del siguiente orden: Los cultivos con contenidos de COS superiores a la mediana de la cuenca fueron:

- 21116 - Mango (67,1 t/ha)
- 21230 - Misceláneo de Cítricos (47,3 t/ha)
- 22121 - Café (56,6 t/ha)
- 22141 – Papayo (47,1 t/ha)
- 23111 – Ají (55,1 t/ha)

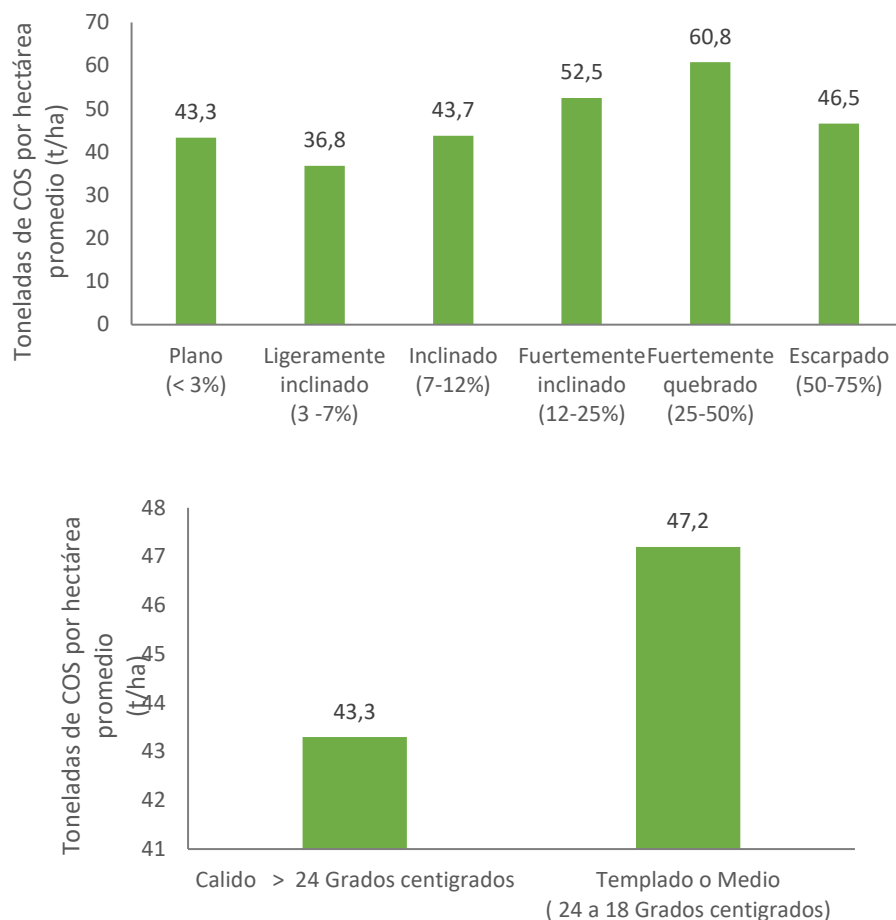




**Figura 66. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura cuenca RUT.**

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de evaluar la influencia de la pendiente y piso térmico en las reservas de COS en suelos, en la Figura 67 se presentan el análisis. Se observa que los valores de COS presentan una leve tendencia de presentar mayor contenido de COS a mayor pendiente, iniciando desde ligeramente inclinado (36,8 t/ha) hasta fuertemente quebrado (60,8 t/ha). Por otro lado, el contenido de COS promedio en zonas cálidas, es inferior a los contenidos promedio de las zonas templadas (Figura 67), presentando un comportamiento similar al reportado por Arguello (1991), donde a menor temperatura, mayor actividad enzimática equivalente a mayor descomposición de compuesto derivados del carbono estable de la fracción fina. Bajo el contexto del Valle del Cauca, la localización de las zonas se concentra en temperaturas templadas a cálidas.



**Figura 67. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico.**  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos para la cuenca RUT, es necesario establecer estrategias de conservación en la parte media y principalmente en la parte alta de la cuenca, debido a la alta susceptibilidad de degradación que presentan los suelos, afectando las partículas las finas donde se concentra la mayor cantidad de COS.

Con relación a las propiedades químicas del suelo, en general, los suelos de la cuenca presentan condiciones nutricionales adecuadas para el desarrollo productivo, lo que ha dinamizado la fuerte intervención antrópica, sin embargo, debido a la fragilidad que presentan los ecosistemas, se recomienda generar estudios más detallados que permitan establecer la necesidad específica de diferentes prácticas agronómicas en los cultivos y para cada cuenca.

---

Se recomienda incentivar cultivos perennes, con prácticas de conservación de suelos, como estrategia agrícola para compensar la pérdida de bosques naturales en la zona templada o media donde se presentan las mayores concentraciones de COS.

### **Estimación de COS para la cuenca**

Teniendo en cuenta que el área total de la cuenca es de 42.879 ha y la mediana varía entre 37,2 t/ha y 50,3 t/ha, el COS almacenado estimado para la cuenca estaría entre 1.595.099 y 2.156.814 t de COS.

$$\begin{aligned} E_{COS} &= Ac * m \\ E_{COS} &= 42.879 * 37,2 \\ E_{COS} &\cong 1.595.099 \text{ tCOS mínimo} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{COS} &= Ac * m \\ E_{COS} &= 42.879 * 50,3 \\ E_{COS} &\cong 2.156.814 \text{ tCOS máximo} \end{aligned}$$

#### 7.4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con el objetivo de conocer la relación entre los diferentes niveles de COS y las propiedades fisicoquímicas en la cuenca RUT, se realizaron comparativas de tendencia empleando el método de Spearman, dado el tipo de variables y la cantidad de datos que evaluados.

En la Tabla 41 se muestran los resultados de correlación y valor “p” para cada una de las variables analizadas respecto a los niveles de COS. Cabe tener en consideración que el valor p, equivale a la probabilidad de obtener, por azar, una diferencia tan grande o mayor de la observada, cumpliéndose que no haya diferencia real en la población de la que proceden las muestras. Para este caso, si el valor de probabilidad es menor del 5% (0,05) es lo suficientemente improbable que se deba al azar como para rechazar con una seguridad razonable la hipótesis nula (H0) y afirmar que la diferencia es real (Molina, 2017).

De las variables evaluadas ninguna presenta una correlación significativa y solamente se presentan correlación moderadas positivas con la Conductividad eléctrica (CE), Materia orgánica (MO), Azufre (S) y Nitrógeno total (NT), esto indica que, a mayor contenido de alguna de estas variables, mayor será el contenido de COS. Siendo está una respuesta confirmativa a la simbiosis existente entre la materia orgánica (MO) y la actividad biológica del suelo (FAO, 2002). Mientras que, se presenta correlación moderada negativa con el Manganeseo (Mn) y su comportamiento es antagonista, a mayor contenido del elemento menor contenido de COS.

**Tabla 41. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS cuenca RUT.**

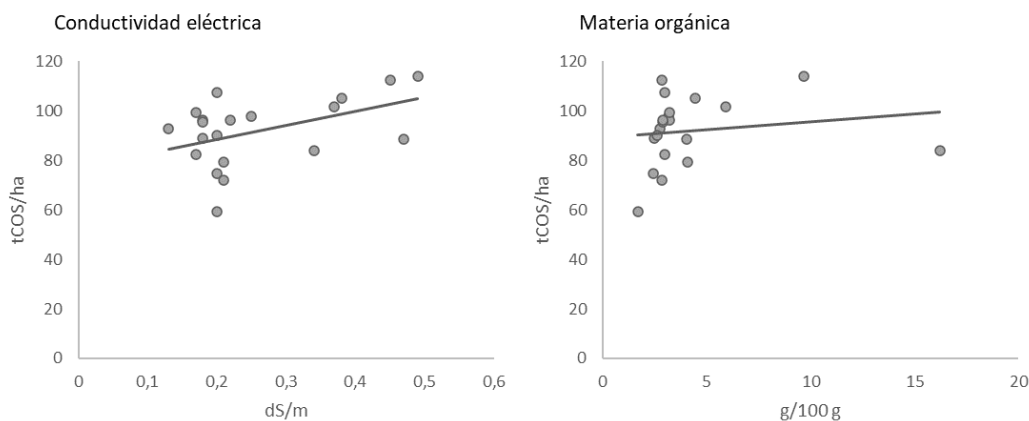
PROPIEDADES	COS	
	CORR	p-VALOR
Altura	0,02	0,94
Arcilla	- 0,15	0,57
Arena	0,19	0,46
Azufre (S)	0,38	0,14
Boro (B)	0,27	0,29
Calcio (Ca)	0,11	0,69
Capacidad Intercambio Catiónico aceta (CICA)	0,12	0,66
Capacidad Intercambio Catiónico Efectivo (CICE)	0,15	0,57
Cobre (Cu)	- 0,25	0,34
Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	0,39	0,12
Fosforo (P) (Bray II)	0,15	0,57
Hierro (Fe)	0,11	0,67

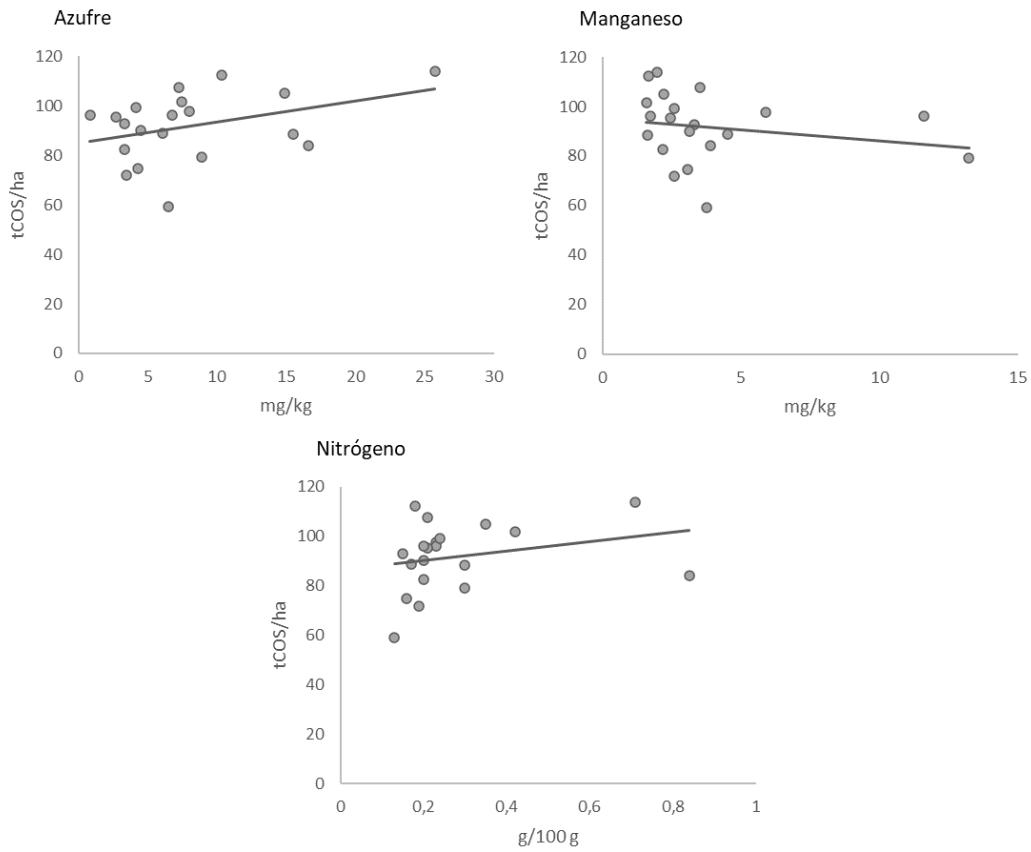


Limo	- 0,02	0,93
Magnesio (Mg)	0,11	0,69
Manganeso (Mn)	- 0,32	0,21
Materia orgánica (MO)	0,41	0,11
Nitrógeno total (NT)	0,38	0,13
Pendiente	0,17	0,52
pH (1:2,5)	0,02	0,95
Piso Térmico	- 0,12	0,64
Potasio (K)	0,25	0,33
Sodio (Na)	- 0,28	0,29
Zinc (Zn)	- 0,09	0,72

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis presentado en la Figura 68, donde se muestra la dispersión y tendencias de las variables identificadas con correlación moderada, en ninguna de ellas se logra establecer intervalos de confianza, esta situación se puede presentar por la variabilidad de las zonas muestreadas y el bajo número de muestras para la cuenca. Para todas las variables, a excepción de la Conductividad eléctrica (CE), se diferencia una tendencia de concentración de los valores en mayor magnitud, sobre la materia orgánica (MO), lo que puede representar la dificultad en identificar correlaciones.



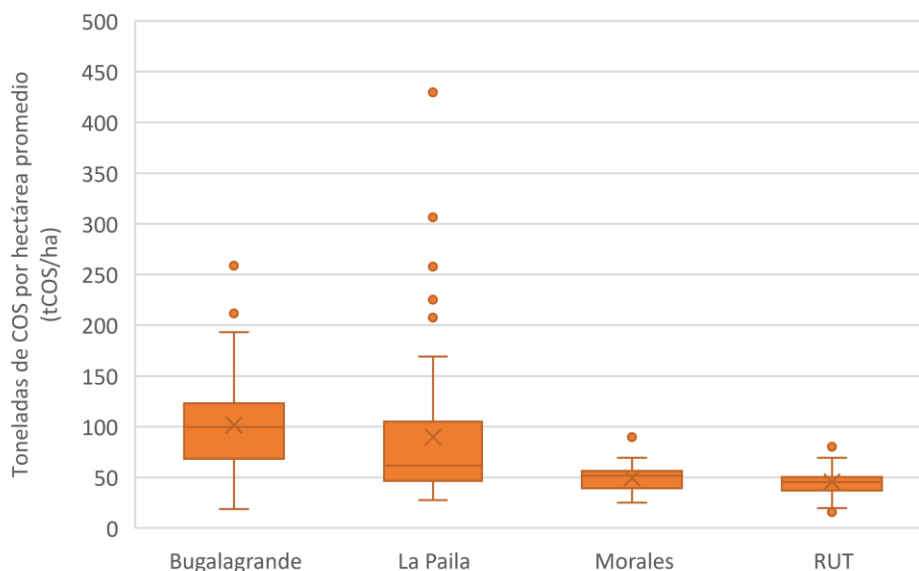


**Figura 68. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS en la cuenca RUT.**  
Fuente: Elaboración propia.

## 7.5 ANÁLISIS GENERAL

En comparación del almacenamiento de COS entre las cuatro cuencas, en Figura 69 se identifica que las cuencas Bugalagrande y La Paila presentan la mayor capacidad (mediana) de almacenamiento de COS en comparación a las cuencas Morales y RUT. Sin embargo, estas dos últimas cuencas presentan menor variabilidad en la distribución de valores respecto a la mediana y desviación estándar a diferencia de las otras cuencas. Por otro lado, la cuenca La Paila presenta varios valores atípicos, lo que establece que existe una fuerte influencia debido a las actividades de manejo y el tipo de cobertura que afectan las reservas de COS en el suelo.

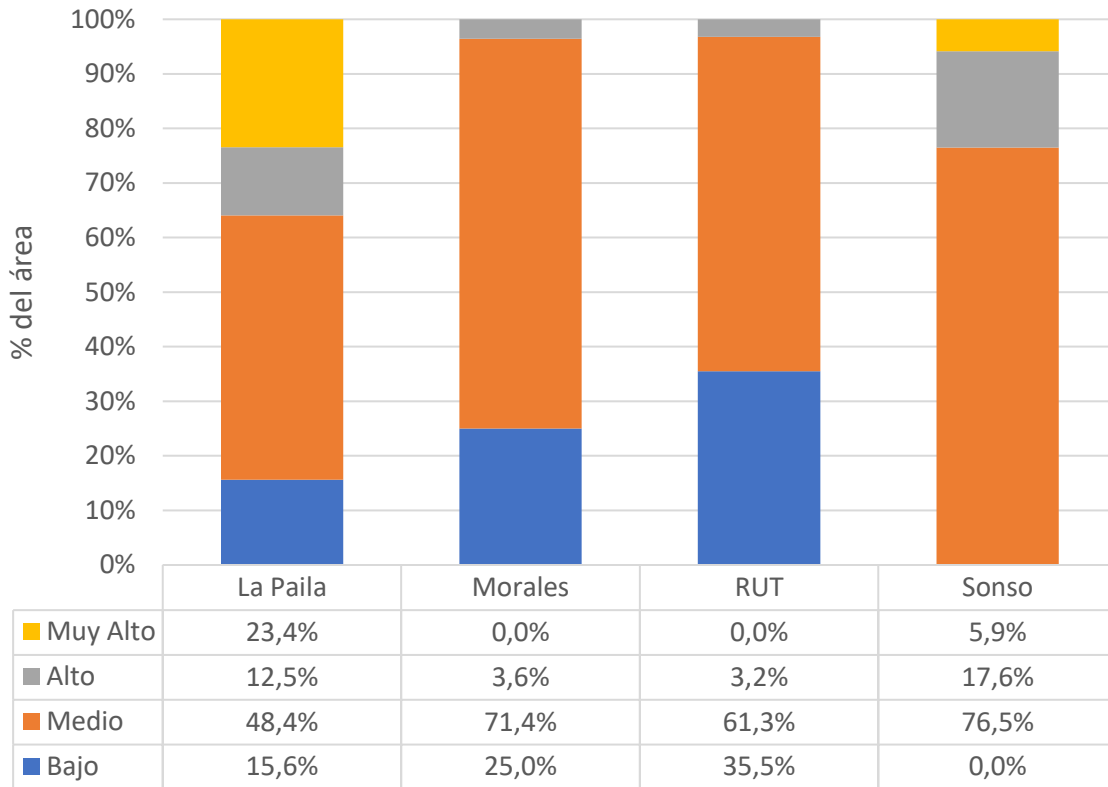
En general, la variación en el contenido de COS en las cuatro cuencas es diferenciado, presentando variabilidad según las características propias de cuenca y la influencia antrópica en la modificación de la cobertura y el manejo del suelo. A medida que se aumenta la densidad poblacional y se distribuye a lo largo de la cuenca, se presentan mayor alteraciones que impactan en el contenido de COS.



**Figura 69. Comparación de almacenamiento de COS entre cuencas.**

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, el panorama de contenido de COS a nivel general entre cuencas es alertador. El 82,% de los sitios evaluados entre las cuencas presentan niveles de concentración entre Media (59,6%) y Baja (22,8%). Solamente el 17,5% restante se encuentra en categoría Alto (8,2%) y Muy alto (9,4%) (Figura 70).



**Figura 70. Distribución de categorías de COS por cuenca.**

A nivel general, teniendo en cuenta los datos de todas las cuencas, existe una leve correlación entre cada una de estas variables: Altura, Capacidad Intercambio Catiónica Aceta (CICA), Hierro, Potasio y Zinc, junto a la Pendiente más elevada versus el COS, estas correlaciones resultan ser significativas. Por lo que al aumento de los niveles de cada una de ellas aumentaría el nivel de COS. De otra parte, cuando aumentan los niveles de Arcilla, Azufre, Magnesio, pH, Sodio y Piso Térmico, se espera el resultado contrario, es decir, niveles de COS más bajo. Aunque estas correlaciones no resultan ser fuertes, si son significativas (Tabla 42).

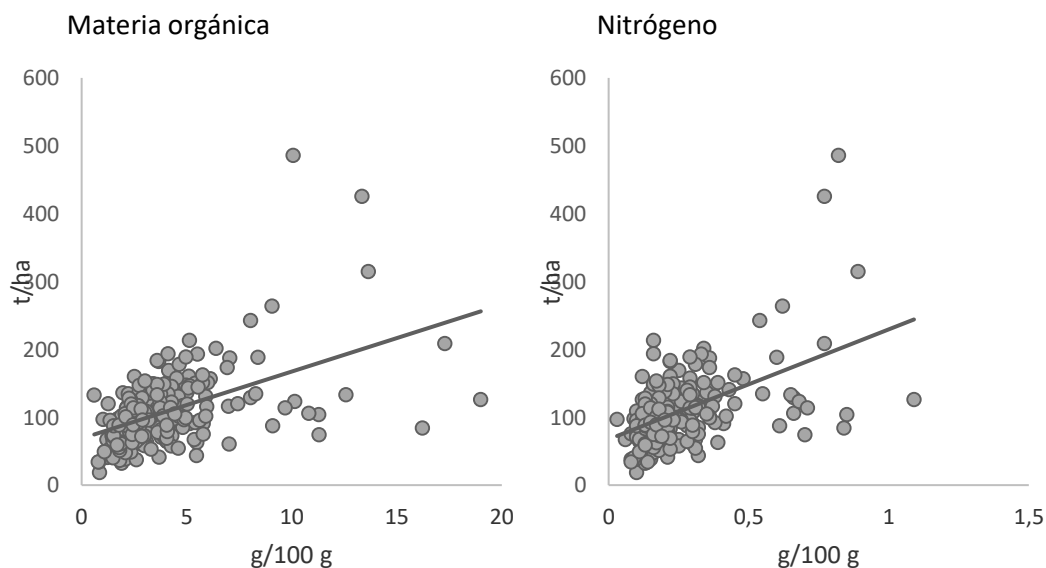
**Tabla 42. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS.**

PROPIEDADES	COS	
	CORR	p-VALOR
Altura	0,18	0,00
Arcilla	-0,13	0,04
Arena	0,08	0,20
Azufre (S)	-0,15	0,01
Boro (B)	0,07	0,24
Calcio (Ca)	0,06	0,32

PROPIEDADES	COS	
	CORR	p-VALOR
Capacidad Intercambio Catiónico aceta (CICA)	0,13	0,03
Capacidad Intercambio Catiónico Efectivo (CICE)	-0,02	0,75
Cobre (Cu)	-0,08	0,17
Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	0,08	0,21
Fosforo (P) (Bray II)	0,11	0,08
Hierro (Fe)	0,23	0,00
Limo	0,06	0,32
Magnesio (Mg)	-0,14	0,02
Manganeso (Mn)	-0,01	0,87
Materia orgánica (MO)	0,50	0,00
Nitrógeno total (NT)	0,42	0,00
Pendiente	0,15	0,02
pH (1:2,5)	-0,12	0,05
Piso Térmico	-0,16	0,01
Potasio (K)	0,18	0,00
Sodio (Na)	-0,17	0,00
Zinc (Zn)	0,22	0,00

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis presentado en la Figura 71, se presentan correlaciones positivas fuertes entre el COS y la Materia Orgánica, así como con el Nitrógeno. Es decir, entre mayor sea el nivel de Materia Orgánica mayor será el nivel de Carbono en el suelo. Esto mismo sucede para el Nitrógeno teniendo en cuenta los datos de todas las cuencas.



**Figura 71. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS.**

## 8. ACTIVIDADES TEÓRICO- PRÁCTICAS

Con el fin de socializar los resultados obtenidos en la Actividad 011 se planteó el objetivo general:

*Realizar actividades teórico-prácticas con los resultados obtenidos en la actividad 011- “levantamiento de línea base sobre captura de carbono” de las cuencas Morales, Bugalagrande, La Paila y RUT, que ayude a fortalecer en las comunidades el conocimiento y la protección del suelo.*

Se realizó un desarrollo logístico previo asociado con:

- Selección espacios para el desarrollo de los talleres y socializaciones de resultados mediante concertación con las UMATAS.
- Realización de invitaciones de acuerdo con los objetivos de la actividad.
- Proveedor de refrigerios y los correspondientes elementos para su consumo.
- Material de apoyo para la capacitación.

A continuación, se describe la información de las fechas en las que se ejecutaron las actividades

**Tabla 43. Cronograma de socializaciones Actividad 011 “levantamiento de línea base sobre captura de carbono”.**

CUENCA	FECHA	LUGAR
Morales	24 oct 2022	El CADES, ubicada en el corregimiento La Marina en el municipio de Tuluá.
Bugalagrande	2 nov 2022	Finca la Selva, ubicada contiguo al aeropuerto de Farfán del municipio de Tuluá.
La Paila	3 nov 2022	Alcaldía del municipio de Sevilla.
RUT	16 nov 2022	Universidad Antonio Nariño Sede Roldanillo

Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo de cada actividad teórico-práctica se realizó con una duración aproximada de 3 a 4 horas, donde se socializaron los conceptos y la importancia del carbono orgánico del suelo, los resultados del proyecto por cuenca de estudio y se desarrollaron actividades prácticas las cuales fueron preparadas y dictadas por el Ing. Agrónomo Msc. Oswaldo Puerto Guerrero.

**Tabla 44. Esquema Horario de socialización Actividad 011 “levantamiento de línea base sobre captura de carbono”.**

HORA	ACTIVIDAD
8:00 am	Registro de participantes
8:30 am	Explicación Convenio 102 de 2021, énfasis Actividad 011, alcance resumen de Resultados.
9:30 am	Inicio actividad teórica. Socialización y retroalimentación de los conceptos técnicos que se deben tener en cuenta para asegurar la calidad y salud del suelo (una hora y media).
10:30 am	Refrigerio
10:45 am	Capacitación de prácticas productivas asociadas con el uso y manejo del suelo por parte del Ing. Oswaldo Puerto Guerrero. Posteriormente se da inicio a la actividad de trabajo en equipo en campo.
11:30 am	Se procede a dar inicio a la actividad de trabajo en equipo en campo.
12:00 pm	Se resuelven preguntas de los asistentes y se entregan resultados de análisis de suelo.

Fuente: Elaboración propia.

Como actividad práctica principal se propuso enseñar a realizar una prueba con barreno y una calicata (donde fuese permitido) con el fin de poder que los participantes pudiesen inspeccionar visualmente el contenido de humedad del suelo en la zona de raíces de un cultivo, la compactación del terreno, profundidad de la capa orgánica del suelo, presencia o no de capas impermeables, ver estructura y textura. Este ejercicio fue de gran importancia debido a que esta es una labor que se debe hacer antes de sembrar o plantar por primera vez en un terreno; así mismo, las calicatas se deben de realizar anualmente para observar la evolución del perfil del suelo.

Los materiales utilizados para la práctica fueron los siguientes:

- Barreno Adelma con capacidad de extracción de suelo a un metro de profundidad.
- Calicata con dimensiones 1m Largo x 1m Ancho x 1m de profundidad.
- Flexómetro
- Cinta métrica (metro).
- Navaja.
- Agua.



A



B

**Figura 72. Imágenes. A) Calicata, B) Barreno Adelma**

Fuente: Elaboración propia.

### **Actividades desarrolladas para la Cuenca Morales**

Las actividades se realizaron en el CADES del corregimiento de La Marina del municipio de Tuluá, que corresponde a la cuenca Morales. En representación de la SEDAMA de Tuluá se encontraba el ingeniero Gonzalo Medina y el técnico Juan Pable Arango, en representación de la UNAL se encontraba el Ing. Luis Euseppe Ortiz, Ing. Camilo Lemos, Ing. Oswaldo Puerto y el Ing. Richard Lasprilla. Entre los invitados la mayoría eran agricultores/ganaderos de la región que estuvieron dispuestos a compartir sus experiencias de trabajo en el campo, dichos agricultores eran tanto de la parte alta y media de la cuenca Bugalagrande como de la cuenca Morales.

Se realizó el proceso de inscripción de participantes, se procede con la explicación del proyecto que realizó la universidad en la cuenca Morales (Por temas estratégicos de seguridad no se habló del convenio con la CVC), se hace énfasis en la actividad 011 y de los resultados obtenidos en la cuenca. Posteriormente se continua con la actividad teórica con conceptos asociados al suelo y al carbono orgánico: ¿Qué es el carbono?, ¿Cómo es su dinámica y la importancia en relación al cambio climático? ¿Cuáles son las respuestas del suelo a la intervención del ser humano? ¿Cómo aumentar la captura de carbono en el suelo y sus beneficios?, se hizo énfasis en explicar cómo las prácticas agrícolas, ganaderas y el almacenamiento de agua afectan el suelo y cuáles son las mejores opciones para llevar a cabo dichas prácticas preservando el suelo, generando rentabilidad y evitando graves accidentes.

Posteriormente se lleva a cabo la salida de campo donde se muestra la importancia y el uso del barreno para reconocimiento del suelo, se resuelven dudas y preguntas realizadas



por los asistentes y se entregan los resultados de análisis de suelo que se les garantiza a los administradores o dueños de los predios que fueron muestreados.

De manera general, se considera que la actividad fue exitosa, pues se lograron las expectativas de los asistentes, quienes mostraron alto interés sobre los temas tratados y reiteraron la importancia de tener un suelo saludable y que permita contribuir al medio ambiente y que, a su vez, aumente la productividad y los ingresos del agricultor.



**Fotografía 24. Socialización de actividades para la cuenca Morales.**  
Fuente: Elaboración propia.

## Actividades desarrolladas para la Cuenca Bugalagrande

Las actividades se desarrollaron en la Finca La Selva contiguo al aeropuerto Farfán ubicada en el municipio de Tuluá, finca dedicada al cultivo de Maíz. La socialización se realizó en dicho sitio por estrategia debido a que los agricultores con los que se contactó en la parte baja les quedaba fácil llegar al sitio además de que se haría en conjunto con el equipo de prácticas. También, se contó con la compañía de la empresa de agroinsumos.

Se realizó el proceso de inscripción de participantes, se procede con la explicación del proyecto que realizó la universidad en la cuenca Bugalagrande (Por temas estratégicos de seguridad no se habló del convenio con la CVC), se hace énfasis en la actividad 011 y de los resultados obtenidos en la cuenca y se procede con la explicación de las actividades a realizar en la Finca, relacionada con:

Posteriormente se lleva a cabo la salida de campo donde se muestra la importancia y el uso del barreno para reconocimiento del suelo. Además, en la finca se contó con una calicata para mayor detalle de explicación de la importancia de conocer el suelo, se hace una interpretación de los tipos de textura mediante la sensación del suelo húmedo al tacto, causada por los materiales minerales que lo constituyen. Seguidamente, se resuelven dudas y preguntas realizadas por los asistentes y se entregan los resultados de análisis de suelo que se les garantizo a los administradores o dueños de los predios que fueron muestreados.

De manera general, se considera que la actividad fue exitosa, pues se lograron las expectativas de los asistentes, quienes mostraron alto interés sobre los temas tratados y reiteraron la importancia de tener un suelo saludable y que permita contribuir al medio ambiente y que, a su vez, aumente la productividad y los ingresos del agricultor.





**Fotografía 25. Socialización de actividades para la cuenca Bugalagrande.**

Fuente: Elaboración propia.

### **Actividades desarrolladas para la cuenca La Paila**

Las actividades se realizaron en el auditorio de la alcaldía del Municipio de Sevilla Valle del Cauca gracias a la gestión de la UMATA. Se contó con la compañía de Andrés Felipe Nieves en representación de la UMATA.

Se realizó el proceso de inscripción de participantes, se procede con la explicación del proyecto que realizó la universidad en la cuenca La Paila (Por temas estratégicos de seguridad no se habló del convenio con la CVC), se hace énfasis en la actividad 011 y de los resultados obtenidos en la cuenca. Posteriormente se continua con la actividad teórica con conceptos asociados al suelo y al carbono orgánico: ¿Qué es el carbono?, ¿Cómo es

su dinámica y la importancia en relación al cambio climático? ¿Cuáles son las respuestas del suelo a la intervención del ser humano? ¿Cómo aumentar la captura de carbono en el suelo y sus beneficios?, se hizo énfasis en explicar cómo las prácticas agrícolas, ganaderas y el almacenamiento de agua afectan el suelo y cuáles son las mejores opciones para llevar a cabo dichas prácticas preservando el suelo, generando rentabilidad y evitando graves accidentes.

Posteriormente debido a que en las instalaciones de la alcaldía no había donde ejecutar la actividad practica se procedió a realizarse en el parque de Sevilla con autorización de personal de medio ambiente del municipio y en compañía de la UMATA. Seguidamente, se muestra la importancia y el uso del barreno para reconocimiento del suelo, se resuelven dudas y preguntas realizadas por los asistentes y se entregan los resultados de análisis de suelo que se les garantizo a los administradores o dueños de los predios que fueron muestreados.

De manera general, aunque la asistencia no fue numerosa se considera que la actividad fue exitosa, pues se lograron las expectativas de los asistentes, quienes mostraron alto interés sobre los temas tratados y reiteraron la importancia de tener un suelo saludable y que permita contribuir al medio ambiente y que, a su vez, aumente la productividad y los ingresos del agricultor.





**Fotografía 26. Socialización de actividades para la cuenca La Paila.**

Fuente: Elaboración propia.

### **Actividades desarrolladas para la Cuenca RUT**

La actividad se realizó en el Universidad Antonio Nariño, sede La Unión, que corresponde a la cuenca RUT. En representación de la SEDAMA de la Unión se encontraba el técnico Victor Arango, en representación de la UNAL se encontraba el Ing. Luis Euseppe Ortiz, Ing. Camilo Lemos, Ing. Oswaldo Puerto y el Ing. Richard Lasprilla. Entre los invitados, se contó con la participación de tres agricultores de la región que estuvieron dispuestos a compartir sus experiencias de trabajo en el campo, dichos agricultores eran de la parte baja de la cuenca.

Se realizó el proceso de inscripción de participantes, se procede con la explicación del proyecto que realizó la universidad en la cuenca RUT (Por temas estratégicos de seguridad no se habló del convenio con la CVC), se hace énfasis en la actividad 011 y de los resultados obtenidos en la cuenca. Posteriormente se continua con la actividad teórica con conceptos asociados al suelo y al carbono orgánico: ¿Qué es el carbono?, ¿Cómo es su dinámica y la importancia en relación al cambio climático? ¿Cuáles son las respuestas del suelo a la intervención del ser humano? ¿Cómo aumentar la captura de carbono en el suelo y sus beneficios?, se hizo énfasis en explicar cómo las prácticas agrícolas, ganaderas y el almacenamiento de agua afectan el suelo y cuáles son las mejores opciones para llevar a cabo dichas prácticas preservando el suelo, generando rentabilidad y evitando graves accidentes.

Posteriormente ser un grupo reducido, se generó un taller teórico practico con los resultados de laboratorio de cada predio. En ello se evaluaron a detalle cada variable fisicoquímica del análisis de suelos y se reforzo las prácticas de conservación acorde a las recomendaciones del plan de Fertilización de Agrosavia. Dicho espacio fue bastante valioso para los agricultores porque es primera vez que tenían una asistencia técnica de ese nivel y lograron resolver dudas y preguntas particulares en los cultivos de Guanaba y Guayaba.

De manera general, se considera que la actividad fue exitosa, pues se lograron las expectativas de los asistentes, quienes mostraron alto interés sobre los temas tratados y reiteraron la importancia de tener un suelo saludable y que permita contribuir al medio ambiente y que, a su vez, aumente la productividad y los ingresos del agricultor.



**Fotografía 27. Socialización de actividades para la cuenca RUT.**

Fuente: Elaboración propia.

Se anexan los listados de asistencia de la actividad. Se vivenció el agradecimiento y satisfacción de los participantes de las actividades.

---

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El estudio permitió generar la línea base de almacenamiento de COS (t/ha) en suelos cultivados y poco intervenidos priorizados a nivel de cuenca, con base en la cobertura y orden de suelo, aportando al conocimiento e inventarios de las existencias de carbono en suelos del Valle del Cauca, contribuyendo a la comprensión de prácticas agronómicas que contribuyen a mejorar el secuestro de carbono y aportando a la reducción de las emisiones de GEI.
- Este proyecto se constituye en la línea base del estudio de los contenidos de COS en suelos del Valle del Cauca, como punto de partida para el seguimiento y control a la captura y emisiones de carbono y su relación con prácticas agronómicas que propendan por la gestión sostenible del recurso suelo.
- Según la concentración de los contenidos de COS (t/ha), la variación del 50% en los sitios muestreados por cuenca están entre: 40,0 t/ha y 56,0 t/ha para la cuenca Morales, 68,2 t/ha y 123,0 t/ha para la cuenca Bugalagrande, 46,7 t/ha y 105,0 t/ha para la cuenca la Paila y entre 37,2 t/ha y 50,3 t/ha para la cuenca RUT.
- Basados en la capacidad de almacenamiento de COS, estimado en millones de toneladas de COS (Mt de COS) por cuenca, estarían entre 0,81 y 1,14 Mt de COS para la cuenca Morales, entre 6,23 y 11,24 Mt de COS para la cuenca Bugalagrande, entre 2,05 y 4,62 Mt de COS para la cuenca La Paila y entre 1,59 y 2,16 Mt de COS para la cuenca RUT, para un total entre 10,68 y 19,16 Mt de COS entre las 4 cuencas.
- Incentivar cultivos perennes como cultivos de café con prácticas de conservación de suelos puede ser una estrategia de la agricultura para compensar la pérdida de bosques naturales en la zona templada o media, siendo este último los escenarios donde se presenta la mayor concentración de COS y, a la vez, mayor alteración de coberturas, ocasionando que esa alteración reduzca hasta 46 t/ha de COS en la capacidad de almacenamiento comparado cultivos de café con manejos de conservación contra bosques mixtos fragmentados.
- Superficies plantadas en cultivos de café, café con plátano, café en asocio con otros arbóreos, pastos cultivados, algunos cultivos de caña, mango y algunos cítricos presentaron altos contenidos de COS por encima de la mediana de cada una de las cuencas e incluso por encima de superficies naturales, por lo que se atribuye este comportamiento a las prácticas de manejo: incorporación de materia orgánica, densidad aparente, rotación de potreros, entre otras.
- Se recomienda establecer estrategias de conservación en la parte media y alta de las cuencas, donde es propenso a conservar mayor cantidad de COS y se presenta la mayor susceptibilidad por el manejo y/o cambio de cobertura.

---

## BIBLIOGRAFÍA

- Adame. M. F., Reef. R., Wong. V.N.L., Balcombe. S.R., Turschwell. M.P., Kavehei. E., Rodríguez. D.C., Kelleway. J.J., Masque. P., Ronan. M. 2019. Carbon and Nitrogen Sequestration of Melaleuca Floodplain Wetlands in Tropical Australia. *Ecosystems*; New York.
- Allen, D., Pringle, M., Page, K., y Dalal, R. 2010. A review of sampling designs for the measurement of soil organic carbon in Australian grazing lands. *The Rangeland Journal*. 32. 10.1071/RJ09043.
- Arguello Arias, H. (1991). La descomposición de la materia orgánica y su relación con algunos factores climáticos y microclimáticos. *Agronomía Colombiana*, 8(2), 384–388. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21129>
- Arshad, M.A., B. Lowery, and B. Grossman. 1996. Physical tests for monitoring soil quality. P. 123-142. In: J. W. Doran and A. J. Jones (eds.) *Methods for assessing soil quality*. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Batjes. N. H., 2014. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*. 65(1): 10–21. Disponible en: [https://doi.org/10.1111/ejss.12114\\_2](https://doi.org/10.1111/ejss.12114_2).
- Benjamín. J.A., Masera. O. 2001. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*. vol. 7. núm. 1. primavera. pp. 3-12. Instituto de Ecología. A.C. Xalapa. México.
- Beza. S., Assen. M. 2016. Soil carbon and nitrogen changes under a long period of sugarcane monoculture in the semi-arid East African Rift Valley. *Ethiopia. Journal of Arid Environments*.
- Bolívar, A., Camacho, C., Ordoñez, N., Gutiérrez, J., Álvarez, G., Guevara, M., Olivera, C., Olmedo, G.F., Bunning, S., Vargas, R. 2021. Estimación de carbono orgánico del suelo en Colombia, una herramienta de gestión del territorio. *Ecosistemas* 30(1): 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2019>.
- Buyanovsky, G.A., Aslam, M. and Wagner, G.H. 1994. Carbon Turnover in Soil Physical Fractions. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 1167-1173. Disponible en: <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800040023x>.
- Calderón-Medina, Claudia L, Bautista-Mantilla, Gina P, y Rojas-González, Salvador. 2018. Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Meta. *Orinoquia*, 22(2), 141-157. ISSN 0121-3709. <https://doi.org/10.22579/20112629.524>.
- Cantera, C., González, R., Mulas, R., Lafuente, F., Carcelén, L y Turrión, M. B., 2004. El fraccionamiento granulométrico de la materia orgánica como índice de su comportamiento y evolución en los suelos. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*. Pág. 221-226. ISSN 1575-2410.
- Cordón. E. (2012). Contenido del máster en economía y organización de empresas. Modulo III. Facultad CC. Económicas y Empresariales. Departamento de Organización de Empresas. Universidad de Granada. Disponible en: <https://www.ugr.es/~ecordon/master/>
- CORPOICA-PRONATTA. 2003. Recomendaciones para el manejo del riego a nivel predial por el método de aspersión. Minidistritos de riego “La Susana” y “El Vaticano”. Centro de investigación NATAIMA, CORPOICA. ISBN: 958-96706-9.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. CVC & Fundación Universidad del Valle. 2013. Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del Río Morales. Disponible en: [https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes\\_y\\_Programas/Planes\\_de\\_Ordenacion\\_y\\_Manejo\\_de\\_Cuencas\\_Hidrografica/Morales/POMCH\\_Morales\\_2013.pdf](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/Morales/POMCH_Morales_2013.pdf).



- CVC. 2021b. Guía rápida temática para el usuario SIG corporativo cobertura y uso del suelo. Grupo sistema de información ambiental. Disponible en: [https://geo.cvc.gov.co/visor\\_avanzado/](https://geo.cvc.gov.co/visor_avanzado/).
- Díaz Betancourt, E. (2008). Distribución del contenido de carbono orgánico en agregados de diferentes tamaños, procedentes de varios sistemas de uso y altitudes en suelos de la Cuenca del río Cauca, Colombia. Trabajo de grado – Maestría. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2455>.
- Diovisalvi, N. V., Studdert, G.A., Domínguez, G.F., Eiza, M.J. 2008. Fracciones de carbono y nitrógeno orgánicos y nitrógeno anaeróbico bajo agricultura continua con dos sistemas de labranza. *Cl. Suelo*. Argentina.
- Durán, C. 1997. La caña de azúcar en el Valle del Cauca. Red Cultural de Banco de la República. Disponible en: <https://www.banrepcultural.org/biblioteca-virtual/credencial-historia/numero-92/la-cana-de-azucar-en-el-valle-del-cauca>.
- FAO. 2007b. Portal web de suelos de la FAO, levantamiento de suelos, propiedades del suelo. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/es/>.
- FAO. 2017a. Liberación del potencial del carbono orgánico del suelo. En: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ed.). Documento de resultados del Simposio internacional sobre el carbono orgánico del suelo 21-23 de marzo de 2017. pp. 40. FAO. Roma. Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/3/i7268s/i7268s.pdf>.
- FAO. 2017b. Carbono Orgánico del Suelo: el potencial oculto. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. Roma, Italia. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i6937s/i6937s.pdf>.
- FAO. 2020. ¡Está vivo! El suelo es mucho más de lo que piensas. Contenido web. Disponible en: <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1275321/>
- FAO-ITPS. 2020. Global Soil Organic Carbon Map V1.5: Technical Report. Roma. Italia. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/ca7597en>.
- Fernández De Andrade, Luisa. (2014). Aplicación del índice de estabilidad estructural de Pieri (1995) a suelos montañosos de Venezuela. *Terra*, 30(48), 143-153. ISSN 1012-7089.
- González, M. L., B. J. D. Etchevers y M. C. Hidalgo (2008). "Carbono en suelos de ladera: factores que deben considerarse para determinar su cambio en el tiempo". *Agrociencia*. núm. 42. pp. 741–751.
- Gutiérrez, N. Ordoñez, A. Bolívar, S. Bunning, M., Guevara, Medina, E., Olivera, C., Olmedo, G., Rodríguez, L., Sevilla, V., Vargas, R. 2019. Estimación del carbono orgánico en los suelos de ecosistema de páramo en Colombia. *Ecosistemas* 29(1): 1855. Disponible en: <https://doi.org/10.7818/ECOS.1855>.
- Herrera, M. (2017). Estimación del contenido de carbono en suelos con diferentes usos en la Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano. Zamorano. Honduras. Escuela Agrícola Panamericana.
- ICA. 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación.
- IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p. ISBN: 978-958-806729-2
- IGAC 2018. Análisis de resultados del contenido de carbono orgánico en los suelos de ecosistemas de páramos y humedales de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Instituto Alexander Von Humboldt. pp294. Bogotá. Colombia.
- IGAC-CVC. 2004. Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento de valle del cauca. Convenio interadministrativo 120 y 062 de 2004. Bogotá D.C. ISBN: TOMO I 958-9067-83-2.

- IGAC-CVC. 2014. El levantamiento semidetallado de suelos escala 1:25.000 de las cuencas priorizadas por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC. Convenio interadministrativo 4488 IGAC – 087 CVC de 2014.
- Ingaramo, Octavio y Paz-González, Antonio & Patón, Máximo. 2003. Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el NO de la Península Ibérica. Universidad Nacional del Nordeste.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I. II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Lal, R. 2013. Soil carbon management and climate change. *Carbon Management*. 4(4): 439–462. Disponible en: <https://doi.org/10.4155/cmt.13.31>.
- Lefevre, C., Rekik, F., Alcantara, V., Wiese, L. 2017. Soil Organic Carbon the Hidden Potential. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Roma. Italia.
- Lefevre, C., Rekik, F., Alcantara, V., Wiese, L. 2017. What are the global SOC stocks? En Wiese, L., Alcantara, V., Baritz, R., Vargas, R. (eds.). Soil organic carbon the hidden potential. pp. 90. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Roma. Italia. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nrg2350>.
- Lince-Salazar, L.A., Castro, A. F., y Castaño, W. A. 2020. Estabilidad de agregados de suelos de la zona cafetera colombiana. *Revista Cenicafé*, 71(2), 73-91. Disponible en: <https://doi.org/10.38141/10778/71206>.
- Loayza, V., Sevilla, V., Olivera, C., Guevara, M., Olmedo, G., Vargas, R., Oyonarte, C., y Jiménez, W. 2020. Mapeo digital de carbono orgánico en suelos de Ecuador. *Ecosistemas* 29(1):1852. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1852>.
- Mahajan, G.R., Das B., Manivannan. S., Manjunath. B.L., Verma. R.R., Desai. S., Kulkarni. R.M., Latore. A.M., Sale. R., Murgaonkar. D., Patel. K.P., Morajkar. S., Desai. A., Barnes. N., Mulla. H. 2021. Soil and water conservation measures improve soil carbon sequestration and soil quality under cashews. *International Journal of Sediment Research*.
- Martínez H, Eduardo, Fuentes E, Juan Pablo, y Acevedo H, Edmundo. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8(1), 68-96. ISSN 0718-2791. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>.
- Matsuura, S., Kazama R., Hibino H., Funatsu. M., Hojito M. 2021. Manure application in managed grasslands can contribute to soil organic carbon sequestration: evidence from field experiments across Japan. *Regional Environmental Change* volume.
- McBratney. A.B., Mendonca-Santos. M.L., Minasny. B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma* 117. 3–52. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4).
- Molina Arias, M. (2017). ¿Qué significa realmente el valor de p?. *Pediatría Atención Primaria*. 19(76). Pág. 377-381. ISSN 1139-7632. Disponible en: [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1139-76322017000500014&lng=es&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1139-76322017000500014&lng=es&tlng=es)
- Muñoz, R. d. (1996). Toma de muestra de suelos e interpretación del análisis químico. CORPOICA. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/31663>.
- Orozco Martínez, O. 2016. Diagnóstico de la densidad aparente, estabilidad de agregados, porosidad del suelo y su relación con el estado actual de degradación química en el distrito de riego RUT. Trabajo de grado. Universidad del Valle. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10893/15990>.
- Perez, A. & Moreno, C.I. & Matus, Francisco & Prat, Christian & Etchevers, J. (2011). Fraccionamiento y acumulación de carbono orgánico en tres suelos volcánicos degradados de México.

- Pieri, C. 1995. Long-term soil management experiments in semiarid Francophone Africa. En R. Lal y B. Stewart (Eds.). *Soil management: experimental basis for sustainability and environmental quality* (pp. 225–266).
- propiedades físicas. Recurso electrónico disponible en <http://www.fao.org/soilsportal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>.
- Rhoton, F.E. 2000, Influence of time on soil response to no-till practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64: 700-709. Disponible en: <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.642700x>
- Robert, M. 2001. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. *World Soil Resources Reports*. Edit: FAO. Pag 83. ISBN 92-5-304690-2
- Rubio, A. 2010. La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad de Sevilla. Proyecto fin de carrera.
- Sainepo, BM, Gachene, CK y Karuma, 2018. Assessment of soil organic carbon fractions and carbon management index under different land use types in Olesharo Catchment, Narok County, Kenya. *Carbon Balance Manage* 13, 4. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13021-018-0091-7>.
- Salcedo, E., Galvis, A., Hernández, T. M., Rodríguez, R., Zamora, F., Bugarin, R., Carrillo, R. 2007. La humedad aprovechable y su relación con la materia orgánica y superficie específica del suelo. *Terra Latinoamericana*. 25 (4), 419-425. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57315558010>
- Sun. Z., Bai. H., Ye. H., Zhuo. Z., Huang. W. 2021. Three-dimensional modelling of soil organic carbon density and carbon sequestration potential estimation in a dryland farming region of China. *Journal of Geographical Sciences*.
- USDA. 1998. *Soil Quality Test Kit Guide*. Soil Quality Institute, National Resources Conservation Service, U.S. Department of Agriculture. Pag. 82.
- Vásquez-Polo. J.R., Macías-Vázquez. F., Menjivar-Flores. J.C. 2011. Formas de carbono orgánico en suelos con diferentes usos en el departamento del Magdalena (Colombia). *Acta agronómica*. 60 (4) 2011. p 369-379.
- Vela Blanco, G., López Blanco, J., y Rodríguez Gamiño, M. 2012. Niveles de carbono orgánico total en el suelo de Conservación del Distrito Federal, centro de México. *Investigaciones Geográficas*, (77), 18-30. Disponible en: <https://doi.org/10.14350/rig.31007>.
- Vela Correa. Gilberto. López Blanco. Jorge. y Rodríguez Gamiño. María de Lourdes. 2012. Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Federal. centro de México. *Investigaciones geográficas*. (77). 18-30.
- Wang. B., Liang. C., Yao. H., Yang. E., An. S. 2021. The accumulation of microbial necromass carbon from litter to mineral soil and its contribution to soil organic carbon sequestration. *CATENA*.
- Zhang, L., Chen, X., Xu, Y. et al. 2020. Soil labile organic carbon fractions and soil enzyme activities after 10 years of continuous fertilization and wheat residue incorporation. *Sci Rep* 10, 11318. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68163-3>.