



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



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Vigencia 2021



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
MARZO DE 2022**

EQUIPO DE TRABAJO UNAL

Profesor Germán Rueda Saa
Director del Proyecto

Ing. M.Sc Liseth González Delgado
Coordinadora General

Juliana Cardona
Ing. Agrónoma M.Sc.

Luis Euseppe Ortiz
Ing. Agrónomo Esp.

EQUIPO DE TRABAJO CVC

Ing. Herbert Olaya Cuesta
Supervisor

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	7
2.	MARCO REFERENCIAL.....	8
3.	ÁREA DE ESTUDIO	12
3.1	CUENCA AMAIME.....	13
3.2	CUENCA CALI.....	16
3.3	CUENCA GUACHAL	18
3.4	CUENCA SONSO.....	20
4.	METODOLOGÍA.....	22
4.1	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	22
4.2	DISEÑO DE CAMPAÑAS DE MUESTREO	23
	<i>Localización de sitios de muestreo.....</i>	<i>27</i>
	<i>Reconocimiento de la zona de estudio.....</i>	<i>28</i>
4.3	CAMPAÑAS DE MUESTREO	29
	<i>Levantamiento de información en campo.....</i>	<i>31</i>
4.4	ANÁLISIS DE LABORATORIO	32
4.5	LÍNEA BASE DE COS EN EL SUELO	41
5.	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA	43
5.1	ORDENES DEL SUELO.....	43
5.2	COBERTURA DEL SUELO.....	44
6.	DISEÑO CAMPAÑAS DE MUESTREO	49
6.1	LOCALIZACIÓN SITIOS DE MUESTREO.....	49
6.2	DISEÑO DE RUTAS DE MUESTREO DE SUELOS	52
6.3	ALCANCE DE LAS CAMPAÑAS DE MUESTREO.....	55
7.	CAMPAÑAS DE MUESTREO DE SUELOS	56
7.1	CUENCA AMAIME.....	58
7.2	CUENCA CALI.....	66
7.3	CUENCA GUACHAL	71
7.4	CUENCA SONSO.....	82
8.	LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS	91
8.1	LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA AMAIME.....	91

8.1.1	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS.....	92
8.1.2	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS.....	104
8.1.3	ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS	107
8.1.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	115
8.2	LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA CALI.....	118
8.2.1	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS.....	118
8.2.2	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS.....	124
8.2.3	ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS	127
8.2.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	135
8.3	LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA GUACHAL	138
8.3.1	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS.....	138
8.3.2	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS.....	151
8.3.3	ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS	153
8.3.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	162
8.4	LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA SONSO.....	164
8.4.1	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS.....	164
8.4.2	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS.....	168
8.4.3	ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS	171
8.4.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	178
8.5	ANÁLISIS GENERAL	181
9.	ACTIVIDADES TEÓRICO-PRACTICAS	184
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	193
	BIBLIOGRAFÍA.....	194

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de las zonas de estudios por cuenca y municipio.....	12
Tabla 2. Distribución de uso del suelo en la cuenca Amaime.	15
Tabla 3. Distribución de uso del suelo en la cuenca Cali.	17
Tabla 4. Distribución de uso del suelo en la cuenca Guachal.	19
Tabla 5. Distribución de uso del suelo en la zona de interés de la cuenca Sonso.	21
Tabla 6. Distribución cantidad de muestras por cuenca.	25
Tabla 7. Distribución de numero de muestras estratificado proporcional por orden y cobertura.	26
Tabla 8. Parámetros fisicoquímicos determinados en laboratorio acreditados.	33
Tabla 9. Densidad aparente, cobertura y crecimiento radicular, en base a las texturas identificadas en la cuenca Sonso.....	35
Tabla 10. Interpretación del índice de estabilidad.	36
Tabla 11. Rangos de categorización de variables fisicoquímicas del suelo.	38
Tabla 12. Categorización de almacenamiento de COS.....	41
Tabla 13. Distribución de campañas y sitios de muestreo por cuenca.....	56
Tabla 14. Identificación y coordenadas de los puntos muestreados en la cuenca Amaime.....	59
Tabla 15. Cambios de cobertura identificados en la cuenca Amaime.	65
Tabla 16. Identificación y coordenadas de los puntos muestreados en la cuenca Cali.....	67
Tabla 17. Cambios de cobertura identificados en la cuenca Cali.....	70
Tabla 18. Identificación y coordenadas de los puntos muestreados en la cuenca Guachal.....	72
Tabla 19. Cambios de cobertura identificados en la cuenca Guachal.....	80
Tabla 20. Identificación y coordenadas de los puntos muestreados en la zona de estudio de la cuenca Sonso.....	83
Tabla 21. Cambios de cobertura identificados en la cuenca Sonso.....	90
Tabla 22. Contenido de Agua aprovechable y lámina de agua aprovechable según textura y densidad aparente en la en la cuenca Amaime.....	95
Tabla 23. Densidad aparente, cobertura y crecimiento radicular, en base a las texturas identificadas en la cuenca Amaime.	100
Tabla 24. Propiedades químicas del suelo en la cuenca Amaime.	104
Tabla 25. Contenidos de COS calculado y nivel de concentración por sitio muestreado.....	109
Tabla 26. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS fina cuenca Amaime.....	116
Tabla 27. Contenido de Agua aprovechable y lámina de agua aprovechable según textura y densidad aparente en la en la cuenca Cali.	122
Tabla 28. Densidad aparente, cobertura y crecimiento radicular, en base a las texturas identificadas en la cuenca Cali.	123
Tabla 29. Propiedades químicas del suelo en la cuenca Cali.	124
Tabla 30. Contenidos de COS calculado y nivel de concentración por sitio muestreado.....	130
Tabla 31. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS fina.....	135
Tabla 32. Contenido de Agua aprovechable y lámina de agua aprovechable según textura y densidad aparente en la en la cuenca Guachal.	141
Tabla 33. Densidad aparente, cobertura y crecimiento radicular, en base a las texturas identificadas en la cuenca Guachal.....	146
Tabla 34. Propiedades químicas del suelo en la cuenca Guachal.	151
Tabla 35. Contenidos de COS calculado y nivel de concentración por sitio muestreado de la cuenca Guachal.	156
Tabla 36. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS fina.....	162

Tabla 37. Contenido de Agua aprovechable y lámina de agua aprovechable según textura y densidad aparente en la en la cuenca Sonso.	167
Tabla 38. Densidad aparente, cobertura y crecimiento radicular, en base a las texturas identificadas en la cuenca Sonso.	168
Tabla 39. Propiedades químicas del suelo en la cuenca Sonso.	169
Tabla 40. Contenidos de COS calculado y nivel de concentración por sitio muestreado.	174
Tabla 41. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS fina.	178
Tabla 42. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS fina.	182
Tabla 43. Cronograma de socializaciones Actividad 011 “levantamiento de línea base sobre captura de carbono”.	184
Tabla 44. Esquema Horario de socialización Actividad 011 “levantamiento de línea base sobre captura de carbono”.	185

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cuencas hidrográficas de interés.....	13
Figura 2. Distribución de órdenes en la cuenca Amaime.	14
Figura 3. Distribución de órdenes en la cuenca Cali.	16
Figura 4. Distribución de órdenes en la cuenca Guachal.	18
Figura 5. Distribución de órdenes en la zona de interés de la cuenca Guachal.....	20
Figura 6. Etapas ejecutadas para el desarrollo de la Actividad 011.	22
Figura 7. Diagrama del diseño y ejecución de campañas de muestreo.	23
Figura 8. Diseño cilindro de muestreo.....	24
Figura 9. Diagrama de distribución espacial de sitios de muestreo.....	27
Figura 10. Representación de ruta propuesta entre dos sitios de muestreo.	28
Figura 11. Jornadas de socialización <i>in situ</i> y solicitud de autorización para la toma de muestras.	29
Figura 12. Implementos para la toma de muestras de suelo.....	30
Figura 13. Proceso de toma de muestra de cilindro, cajuela para evaluación de perfil del suelo y extracción de tajada para análisis de muestra disturbada.....	30
Figura 14. Embalaje y rotulado de muestras para envío a laboratorio.	31
Figura 15. Vista previa formulario de Qfield y atributos asociados a la capa de muestreo.	32
Figura 16. Distribución de órdenes de suelos en el Departamento del Valle del Cauca (valores en hectáreas / porcentaje).....	43
Figura 17. Distribución de los subórdenes del suelo en el departamento del Valle del Cauca.	44
Figura 18. Distribución de la cobertura del uso del suelo en el Departamento del Valle del Cauca (valores en hectáreas).....	45
Figura 19. Distribución de la cobertura de superficies plantadas en el departamento del Valle del Cauca.....	45
Figura 20. Distribución de áreas en cultivos herbáceos plantados.....	46
Figura 21. Distribución de áreas en cultivos arbustivos plantados.	46
Figura 22. Distribución de áreas en misceláneos de superficie plantada.....	47
Figura 23. Distribución de áreas en cultivos arbóreos plantados.	47
Figura 24. Distribución de cultivos predominantes en el Valle del Cauca.	48
Figura 25. Distribución de puntos de referencia en la cuenca Amaime.....	49
Figura 26. Distribución de puntos de referencia en la cuenca Cali.....	50
Figura 27. Distribución de puntos de referencia en la cuenca Guachal.	51
Figura 28. Distribución de puntos de referencia en la zona de interés en la cuenca Sonso.	52
Figura 29. Rutas de muestreo realizadas en la cuenca Amaime.	53
Figura 30. Rutas de muestreo realizadas en la cuenca Cali.	53
Figura 31. Rutas de muestreo realizadas en la cuenca Guachal.	54
Figura 32. Rutas de muestreo realizadas en la en la zona de interés en la cuenca Sonso.	54
Figura 33. Personas socializadas por cuenca.	55
Figura 34. Acompañamiento de las DAR, DTA y policía en las campañas de muestreo.	57
Figura 35. Distribución de las zonas de reconocimiento y verificación por cuenca.	58
Figura 36. Distribución de puntos muestreados en la cuenca Amaime.....	59
Figura 37. Reconocimiento punto de muestreo en caña de azúcar.	61
Figura 38. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados.	61
Figura 39. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados (CAMA72).....	62
Figura 40. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de maíz (CAMA116).	62

Figura 41. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de maracuyá (CAMA65).	63
Figura 42. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de uva.	63
Figura 43. Reconocimiento punto de muestreo en bosque natural secundario intervenido.	64
Figura 44. Reconocimiento punto de muestreo en variedad de cultivos.	64
Figura 45. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca Amaime.	66
Figura 46. Distribución de puntos muestreados en la cuenca Cali.	67
Figura 47. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados (CCAL22, CCAL11, CCAL09, CCAL07, CCAL06 y CCAL05).	68
Figura 48. Reconocimiento punto de muestreo en café asociado con árboles (CCAL02 Y CCAL16).	68
Figura 49. Reconocimiento punto de muestreo en bosque natural secundario intervenido (CCAL01, CCAL03, CCAL04, CCAL08, CCAL10, CCAL12, CCAL13, CCAL14, CCAL15, CCAL17, CCAL18 y CCAL21).	69
Figura 50. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de papaya (CCAL23).	70
Figura 51. Reconocimiento punto de muestreo CCAL19 Y CCAL20.	70
Figura 52. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca Cali.	71
Figura 53. Distribución de puntos muestreados en la cuenca Guachal.	72
Figura 54. Reconocimiento punto de muestreo en caña de azúcar.	75
Figura 55. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados.	76
Figura 56. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados.	77
Figura 57. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos de plátano.	77
Figura 58. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos de cítricos.	78
Figura 59. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos de maíz.	78
Figura 60. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos de frijol.	79
Figura 61. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos de cebolla larga.	79
Figura 62. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos de mango.	80
Figura 63. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca Guachal.	82
Figura 64. Distribución de puntos muestreados en la zona de estudio en la cuenca Sonso.	83
Figura 65. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de café (CSON01).	84
Figura 66. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de plátano (CSON02).	84
Figura 67. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados (CSON03).	85
Figura 68. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de café asociado con plátano (CSON04).	85
Figura 69. Reconocimiento punto de muestreo en bosque natural secundario intervenido (CSON05).	86
Figura 70. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados (CSON07).	86
Figura 71. Reconocimiento punto de muestreo en bosque secundario intervenido (CSON06).	87
Figura 72. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de caña de azúcar CSON16.	88
Figura 73. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos de tomate y maíz (CSON11).	88
Figura 74. Reconocimiento punto de muestreo en matorral y arbustivo, arborizado (CSON14).	89
Figura 75. Reconocimiento punto de muestreo en pasto cultivado (CSON18).	89
Figura 76. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca sonso.	90
Figura 77. Texturas en la cuenca Amaime.	92
Figura 78. Distribución de agregados en la cuenca Amaime.	93
Figura 79. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca Amaime.	94
Figura 80. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca Amaime.	106
Figura 81. Distribución de los valores de pH de la cuenca Amaime.	107
Figura 82. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general Cuenca Amaime.	108

Figura 83. Distribución de los contenidos de COS en la fracción fina en la cuenca Amaime (tCOS/ha).....	109
Figura 84. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura, cuenca Amaime. ...	113
Figura 85. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico.	114
Figura 86. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS fino, cuenca Amaime.....	117
Figura 87. Texturas en la cuenca Cali.....	119
Figura 88. Distribución de agregados en la cuenca Cali.	120
Figura 89. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca Cali.	121
Figura 90. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca Cali.	126
Figura 91. Distribución de los valores de pH de la cuenca Cali.	127
Figura 92. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general Cuenca Cali.	128
Figura 93. Distribución de los contenidos de COS en la fracción fina en la cuenca Cali (tCOS/ha).	129
Figura 94. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura, cuenca Cali.	132
Figura 95. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico, cuenca Cali.....	133
Figura 96. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS fino en la cuenca Cali.....	137
Figura 97. Texturas en la cuenca Guachal.....	138
Figura 98. Distribución de agregados en la cuenca Guachal.	139
Figura 99. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca Guachal.....	140
Figura 100. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca Guachal.	152
Figura 101. Distribución de los valores de pH de la cuenca Guachal.	153
Figura 102. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general Cuenca Guachal.	154
Figura 103. Distribución de los contenidos de COS en la fracción fina en la cuenca Guachal (tCOS/ha).	155
Figura 104. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura, cuenca Guachal.	159
Figura 105. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico, cuenca Guachal.	160
Figura 106. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS fino.	163
Figura 107. Texturas en la cuenca Sonso.	164
Figura 108. Distribución de agregados en la cuenca Sonso.	165
Figura 109. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca Sonso.	166
Figura 110. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca Sonso.	170
Figura 111. Distribución de los valores de pH de la cuenca Sonso.....	171
Figura 112. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general.....	172
Figura 113. Distribución de los contenidos de COS en la fracción fina en la cuenca Sonso (tCOS/ha).	173
Figura 114. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura.....	175
Figura 115. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico.	176
Figura 116. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS fino.	180
Figura 117. Comparación de almacenamiento de COS fino entre cuencas.....	181
Figura 118. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS fino.	183
Figura 119. Esquema para hacer curvas de Agro nivel.....	187
Figura 120. Socialización de actividades para la cuenca Cali.	189
Figura 121. Socialización de actividades para las cuencas Guachal y Amime.	190
Figura 122. Socialización de actividades para la cuenca Sonso.....	192

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 2021, la CVC priorizó 4 cuencas hidrográficas y municipios en el departamento del Valle del Cauca: Cuenca Amaime (municipios: El Cerrito, Palmira y Pradera), Cuenca Cali (municipios: Cali y Yumbo), Cuenca Guachal (Bolo-Fraile) (municipios: Florida, Pradera, Candelaria y Palmira) que en adelante se menciona como cuenca Guachal y la Cuenca Sonso (municipios: Buga y Guacarí).

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.
- Estimación de la línea base de almacenamiento de carbono (tCOS/ha), incluye el análisis de los contenidos de carbono en los sitios evaluados por cuenca y propiedades del suelo, además se presenta el geoprocetamiento de información obtenida por cuencas, generación de mapas y conclusiones y recomendaciones.

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 CO₂ 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_x, metano-CH₄, 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 (CO₂), metano (CH₄) y óxido

nitroso (N_2O). AFOLU produce tanto emisiones como absorciones de CO_2 , CH_4 y N_2O 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_2 . 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_2 , 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 CO₂) 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 arborea* (12 t/ha) o la especie siempre verde de Chile (17,10 t/ha). Una hectárea cultivada con caña de azúcar podría capturar el CO₂ 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, 2017).

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 nueva 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 2021, se tendrá en cuenta el área aferente de las 4 cuencas de interés (Amaime, Cali, Guachal y Sonso), con la intersección de área de 9 municipios, esto equivale a un área total de 240.702 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)	% DE LA CUENCA
Amaime	El Cerrito	24.931	25,3%
	Palmira	73.667	74,7%
	Pradera	0	0%
	Subtotal Amaime	98.598	100%
Cali	Santiago de Cali	17.977	98,4%
	Yumbo	284	1,6%
	Subtotal Cali	18.261	100%
Guachal	Candelaria	24.038	21,8%
	Florida	31.813	28,8%
	Palmira	20.118	18,2%
	Pradera	34.463	31,2%
	Subtotal Guachal	110.432	100%
Sonso	Guacarí	7.562	56,4%
	Guadalajara de Buga	5.850	43,6%
	Subtotal Sonso	13.411	100%
ÁREA TOTAL		240.702	

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

Al interior de los cruces se identificó el 6% del área total (15.536 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 Amaime, Cali y Guachal se localizan y cubren todo el suroriente hasta el límite del Departamento del Valle del Cauca, mientras que la cuenca Sonso se localiza hacia el centro del departamento.

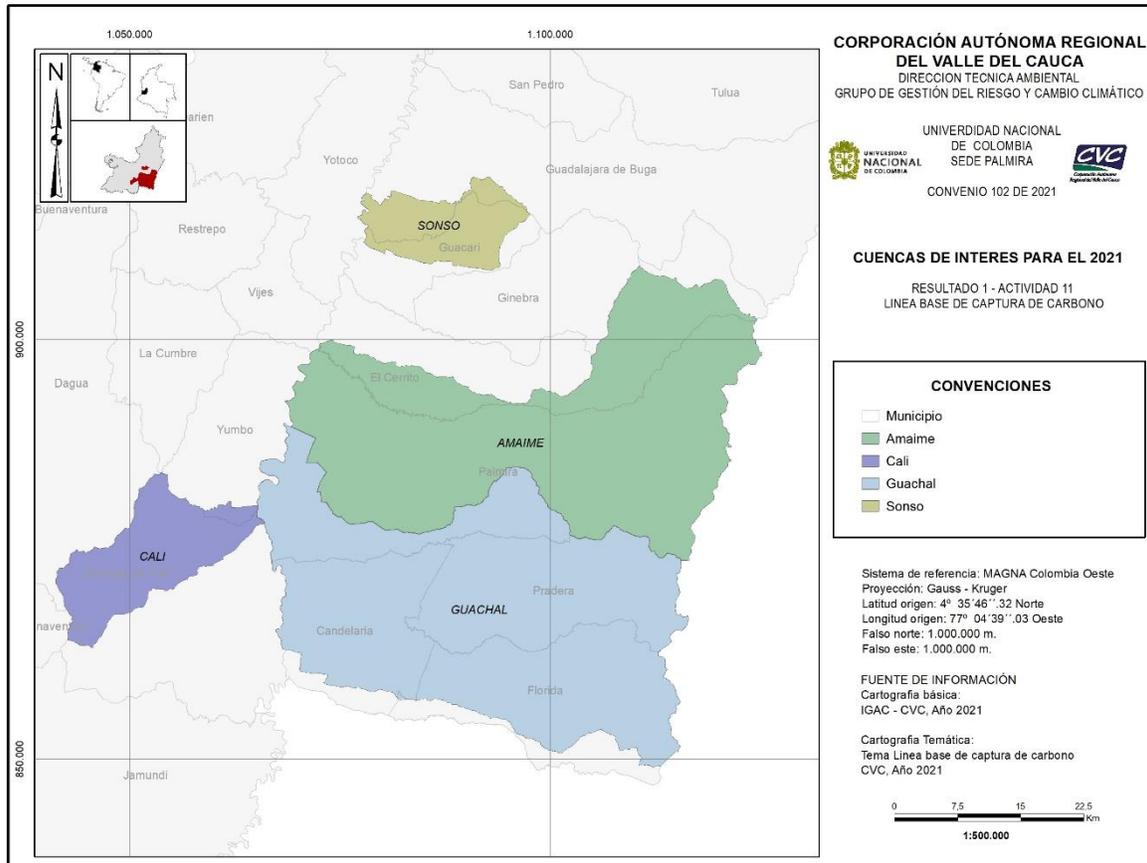


Figura 1. Cuencas hidrográficas de interés.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

A continuación, se incluye la descripción del área de estudio para cada una de las cuencas/municipios incluidas en la vigencia 2021.

3.1 CUENCA AMAIME

La cuenca Río Amaime, hace parte de la zona hídrica Magdalena - Río Cauca, y se encuentra localizada en el departamento del Valle del Cauca, sobre la vertiente occidental de la cordillera Central. Al norte limita con las cuencas del Río Cerrito, Sabaletas y Tuluá, por el oriente con la zona limítrofe del departamento del Tolima, por el sur con la cuenca del Río Bolo y por el occidente con las riberas del río. (POMCH Amaime, 2013). La extensión de la cuenca del río Amaime es de (104.289,4 ha) de las cuales el 43,9% corresponden a terreno escarpado (50-75%) y 36,1% en terreno plano (< 3%), el 19,4% restante se distribuye en diferentes condiciones de inclinación del terreno. El piso térmico predominante en la cuenca es el clima cálido con un área correspondiente de 39,9%,

seguido del clima frío con un 38,9%, esto se debe a la relación existente entre el relieve y los pisos térmicos en la región Andina (CVC, 2020). En cuanto a órdenes de suelo, el 39,9% de la cuenca se encuentra en suelos Andisoles, el 28,4% en suelos Molisoles, el 16,4% en suelos Entisoles, 7,4% en Vertisoles y el restante 7,9% en suelos Inceptisoles, Alfisoles o sin información.

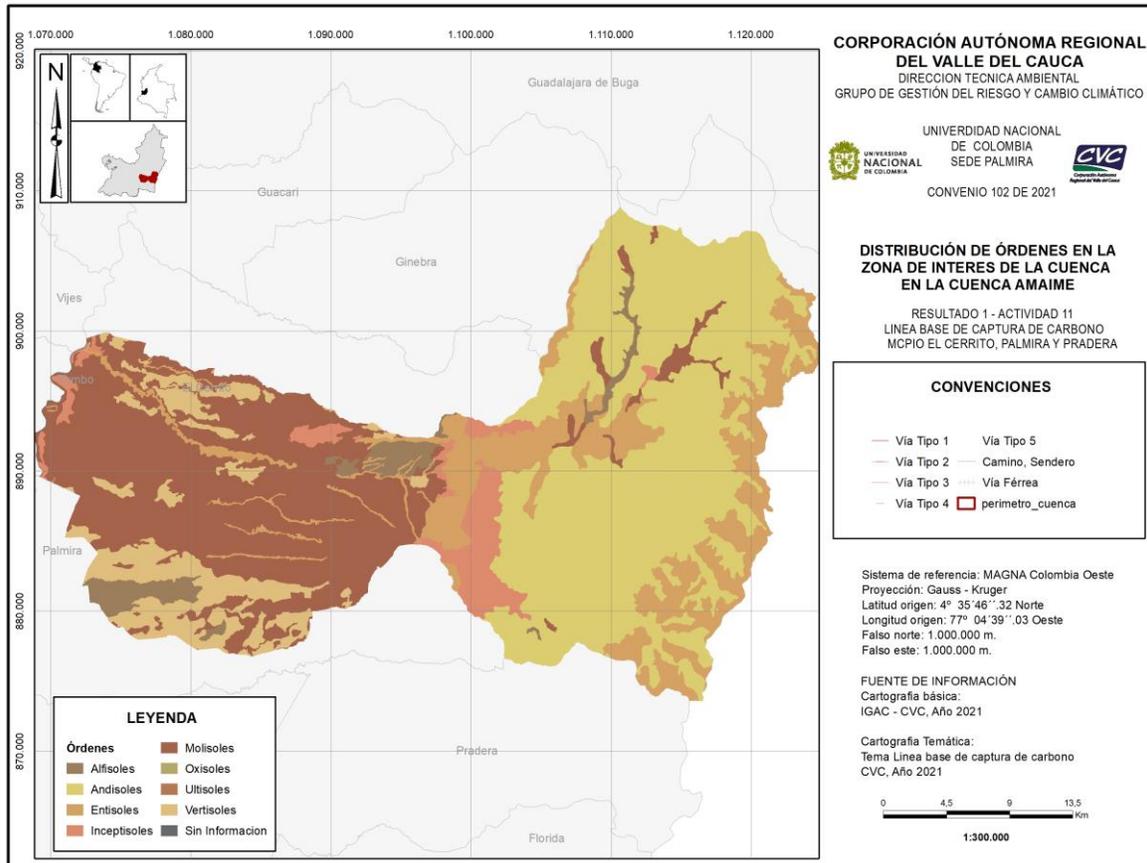


Figura 2. Distribución de órdenes en la cuenca Amaime.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

Los terrenos de la cuenca del Río Amaime son dedicados principalmente a la agricultura. Como se puede observar en la Tabla 2, el 33,5% corresponde a cultivos arbustivos plantados densos, entre los cuales se encuentra la caña de azúcar, el café, café-plátano, maíz, y cacao, y cultivos herbáceos plantados densos, entre los que se encuentran los pastos cultivados, pastos con cultivos, cultivos de piña o cultivos de cebolla larga. Sin embargo, las coberturas naturales también tienen protagonismo en la cuenca con una extensión de Otra de las categorías relevantes es el bosque natural denso que cuenta con un área que corresponde al 17% en esta categoría se encuentra el bosque mixto abierto alto y el bosque mixto abierto bajo. Es importante destacar el cultivo de caña de azúcar ya que es la actividad que ocupa mayor espacio en toda la cuenca abarcando el 33,1% del área total, la cuenca Amaime es un lugar estratégico de vital importancia para el sector azucarero y económico del país (CVC, 2020).

Tabla 2. Distribución de uso del suelo en la cuenca Amaime.

COBERTURA	ÁREA (HA)	% ÁREA
2 - Superficies plantadas	55.418,5	53,1%
221 - Cultivos arbustivos plantados densos	33.325,3	32,0%
231 - Cultivos herbáceos plantados densos	16.945,5	16,2%
211 - Cultivos arbóreos plantados densos	1.786,9	1,7%
241 - Misceláneos de superficies plantadas	1.384,6	1,3%
252 - Áreas de cultivo con suelo desnudo	1.157,6	1,1%
222 - Cultivos arbustivos plantados abiertos	651,2	0,6%
212 - Cultivos arbóreos plantados abiertos	156,1	0,1%
234 - Cultivos confinados	11,4	0,0%
3 - Superficies naturales y seminaturales	43.179,7	41,4%
311 - Bosque natural denso	14.598,2	14,0%
331 - Herbazal natural denso	10.730,4	10,3%
322 - Arbustal y matorral abierto	5.005,5	4,8%
312 - Bosque natural abierto	4.565,9	4,4%
313 - Bosque natural fragmentado	3.862,4	3,7%
321 - Arbustal y matorral denso	2.803,2	2,7%
323 - Vegetación secundaria o transición	999,3	1,0%
352 - Áreas naturales sin vegetación	384,4	0,4%
332 - Herbazal natural abierto	179,3	0,2%
351 - Áreas naturales con poca vegetación	47,0	0,0%
314 - Bosque natural fragmentado	4,2	0,0%
1 - Superficies construidas	4.702,3	4,5%
111 - Zonas urbanas continuas	2.006,8	1,9%
121 - Otras superficies artificiales con construcción	1.704,8	1,6%
122 - Otras superficies artificiales sin construcción	740,1	0,7%
112 - Zonas urbanas discontinuas	250,7	0,2%
4 - Superficies de agua	988,8	0,9%
411 - Aguas continentales naturales	629,6	0,6%
412 - Aguas continentales artificiales	294,4	0,3%
413 - Superficies inundables continentales	51,9	0,0%
414 - Superficies sedimentarias continentales	11,5	0,0%
423 - Palmeras naturales	1,5	0,0%
TOTAL	104.289,4	100%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

La Cuenca hidrográfica del Río Amaime 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 Amaime, 2013).

3.2 CUENCA CALI

La extensión de la cuenca Río Cali es de 21.526 ha, de las cuales el 70.8% corresponde a terreno escarpado (50-75%), el 14.7% en terreno muy escarpado (> 75%) y el 14,3% restante se distribuye en diferentes condiciones de inclinación del terreno. El piso térmico predominante en la cuenca Río Cali es el clima templado o medio con un área de 61,2% seguido del clima frío con el 38,3%. Por otro lado, el orden del suelo de la cuenca se distribuye con el 61,9% en Inceptisoles, el 25.2% en Entisoles, el 12.6% en suelos Andisoles y el 0.4% Molisoles (CVC, 2015).

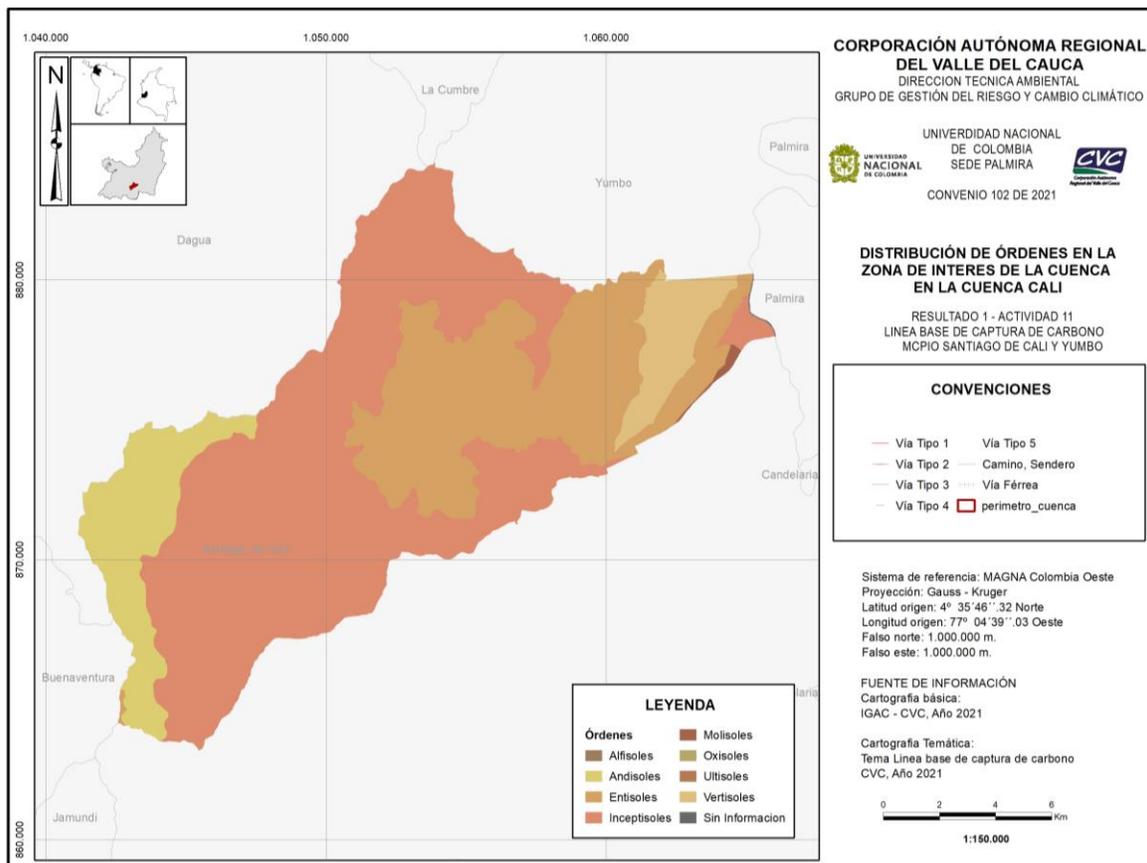


Figura 3. Distribución de órdenes en la cuenca Cali.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

La población residente en la zona rural de la cuenca tiene 2 ocupaciones fundamentales: la producción agropecuaria y la atención al turismo. la zona rural en los corregimientos es en su mayor parte de uso agrícola, en la tabla 2 se observa la cobertura de la cuenca. El 53.6% corresponde a bosque natural denso que está dividido en bosque mixto denso alto de tierra firme y bosque denso bajo de tierra firme, sin embargo, los cultivos herbáceos plantados densos también cuentan con una participación significativa con el 23.1% entre lo que se encuentra el pasto cultivado, el pasto cultivado arbolado y el pasto cultivado enmalezado (CVC, 2015).

Tabla 3. Distribución de uso del suelo en la cuenca Cali.

COBERTURA	ÁREA (HA)	% ÁREA
3 - Superficies naturales y seminaturales	13.200,9	61,3%
311 - Bosque natural denso	9.788,9	45,5%
312 - Bosque natural abierto	2.110,6	9,8%
313 - Bosque natural fragmentado	197,5	0,9%
314 - Bosque natural fragmentado	8,6	0,0%
321 - Arbustal y matorral denso	0,0	0,0%
323 - Vegetación secundaria o transición	737,5	3,4%
331 - Herbazal natural denso	0,0	0,0%
351 - Áreas naturales con poca vegetación	134,4	0,6%
352 - Áreas naturales sin vegetación	223,3	1,0%
2 - Superficies plantadas	5.060,5	23,5%
211 - Cultivos arbóreos plantados densos	168,0	0,8%
221 - Cultivos arbustivos plantados densos	2,5	0,0%
222 - Cultivos arbustivos plantados abiertos	172,1	0,8%
231 - Cultivos herbáceos plantados densos	4.219,8	19,6%
241 - Misceláneos de superficies plantadas	498,1	2,3%
1 - Superficies construidas	3.264,8	15,2%
111 - Zonas urbanas continuas	2.851,1	13,2%
112 - Zonas urbanas discontinuas	202,3	0,9%
121 - Otras superficies artificiales con construcción	16,6	0,1%
122 - Otras superficies artificiales sin construcción	194,9	0,9%
4 - Superficies de agua	0,4	0,0%
412 - Aguas continentales artificiales	0,4	0,0%
TOTAL	21.526,5	100,0%

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

La Cuenca del Río Cali 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 Cali, 2011).

3.3 CUENCA GUACHAL

La cuenca hidrográfica Guachal (Bolo- Frayle), se encuentra localizada en el suroccidente de Colombia en el sur del departamento del Valle del Cauca, en el flanco occidental de la cordillera Central entre las coordenadas Latitud Norte 3°13'49", Longitud Oeste 76°01'47" y Latitud Norte 76°01'47" (CVC, 2008). En el presente informe se describe esta cuenca como Cuenca Guachal.

El área de la cuenca es de 116.281,1 ha de las cuales el 49.6% corresponden a un terreno plano (< 3%), el 31.1% a terreno escarpado (50-75%) y el 19,3% se distribuye en diferentes condiciones de inclinación del terreno. El 56.1% corresponde a un piso térmico cálido seguido del 19.5% que corresponden a un clima frio, por otro lado, el orden del suelo más dominante son los molisoles con un porcentaje del 39.6% de la superficie, seguido del 21.9% que corresponde a suelos Andisoles, los suelos Inceptisoles cuentan con un porcentaje del 13.0% y el restante 25,5% se distribuye entre Entisoles, Vertisoles, Alfisoles y sin información (CVC, 2019).

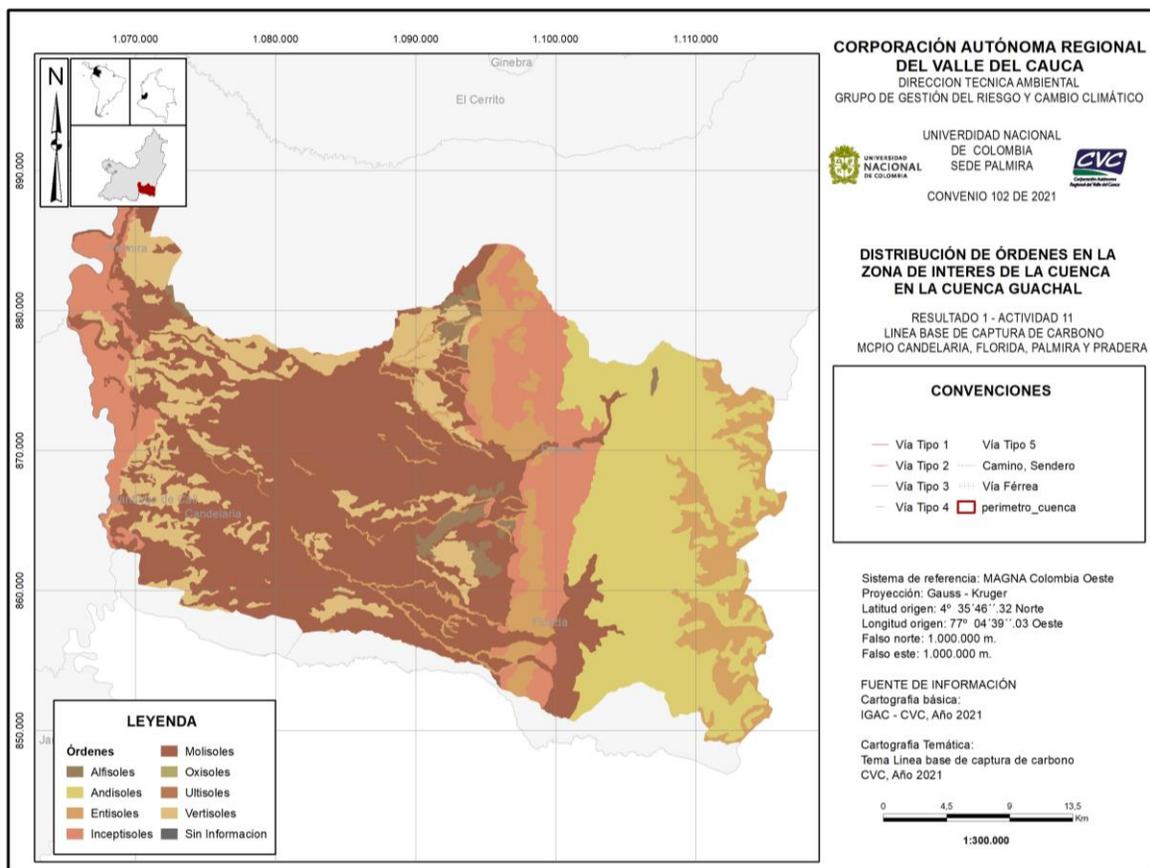


Figura 4. Distribución de órdenes en la cuenca Guachal.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

En esta cuenca se ve presente tanto la agricultura como las zonas agropecuarias. El 47.1% del área corresponden a cultivos arbustivos plantados densos entre los cuales se encuentra principalmente la caña de azúcar que es la más dominante con un área que corresponde al 46.6%, seguido del café y el plátano, también se encuentran los cultivos herbáceos plantados con área correspondiente al 15.7% de esta categoría el más relevante es el pasto cultivado con un área del 10.1%. (CVC2019) (Tabla 4).

Tabla 4. Distribución de uso del suelo en la cuenca Guachal.

COBERTURA	ÁREA (HA)	% ÁREA
2 - Superficies plantadas	75.773,0	65,2%
221 - Cultivos arbustivos plantados densos	54.712,0	47,1%
231 - Cultivos herbáceos plantados densos	18.276,1	15,7%
241 - Misceláneos de superficies plantadas	1.684,0	1,4%
211 - Cultivos arbóreos plantados densos	593,4	0,5%
212 - Cultivos arbóreos plantados abiertos	209,3	0,2%
252 - Áreas de cultivo con suelo desnudo	138,4	0,1%
234 - Cultivos confinados	75,5	0,1%
232 - Cultivos herbáceos plantados abiertos	55,9	0,0%
222 - Cultivos arbustivos plantados abiertos	28,4	0,0%
3 - Superficies naturales y seminaturales	34.658,7	29,8%
323 - Vegetación secundaria o transición	7.881,7	6,8%
313 - Bosque natural fragmentado	6.610,2	5,7%
331 - Herbazal natural denso	5.882,4	5,1%
311 - Bosque natural denso	4.863,0	4,2%
321 - Arbustal y matorral denso	2.615,9	2,2%
312 - Bosque natural abierto	2.469,8	2,1%
351 - Áreas naturales con poca vegetación	2.244,8	1,9%
332 - Herbazal natural abierto	1.702,1	1,5%
322 - Arbustal y matorral abierto	265,4	0,2%
352 - Áreas naturales sin vegetación	123,6	0,1%
1 - Superficies construidas	4.136,3	3,6%
121 - Otras superficies artificiales con construcción	1.356,4	1,2%
111 - Zonas urbanas continuas	1.203,1	1,0%
112 - Zonas urbanas discontinuas	1.103,8	0,9%
122 - Otras superficies artificiales sin construcción	473,1	0,4%
4 - Superficies de agua	1.713,1	1,5%
412 - Aguas continentales artificiales	980,7	0,8%
411 - Aguas continentales naturales	701,1	0,6%
413 - Superficies inundables continentales	29,0	0,0%
414 - Superficies sedimentarias continentales	2,2	0,0%
TOTAL	116.281,1	100,0%

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 SONSO

La cuenca hidrográfica del Río Sonso se localiza en el centro oriente del departamento del Valle del Cauca, pertenece a la vertiente del Río Cauca sobre el flanco occidental de la cordillera Central; de acuerdo con las coordenadas planas de Gauss (Bogotá, oeste) Norte (m) 907.000, 921.000 y Este (m) 1.076.000, 1.099.000 (CVC, 2008). La cuenca tiene una extensión de (14.141 ha), de las cuales el 48.0% corresponde a un terreno plano (< 3%), el 25,5% a terreno escarpado (50-75%) y el 26,5 restante se distribuye en diferentes condiciones de inclinación del terreno. El piso térmico dominante en la cuenca es el clima cálido con un área de 61,5% seguido del clima templado medio que tiene un área del 37.4%. En cuanto a orden del suelo, el 33.9% corresponde a suelos Vertisoles, el 22.9% a suelos Andisoles, el 15.3% a suelos Molisoles, el 14.3% a Inceptisoles, el 11.8% a Entisoles, y el 1.2% a suelos Alfisoles. (CVC, 2017).

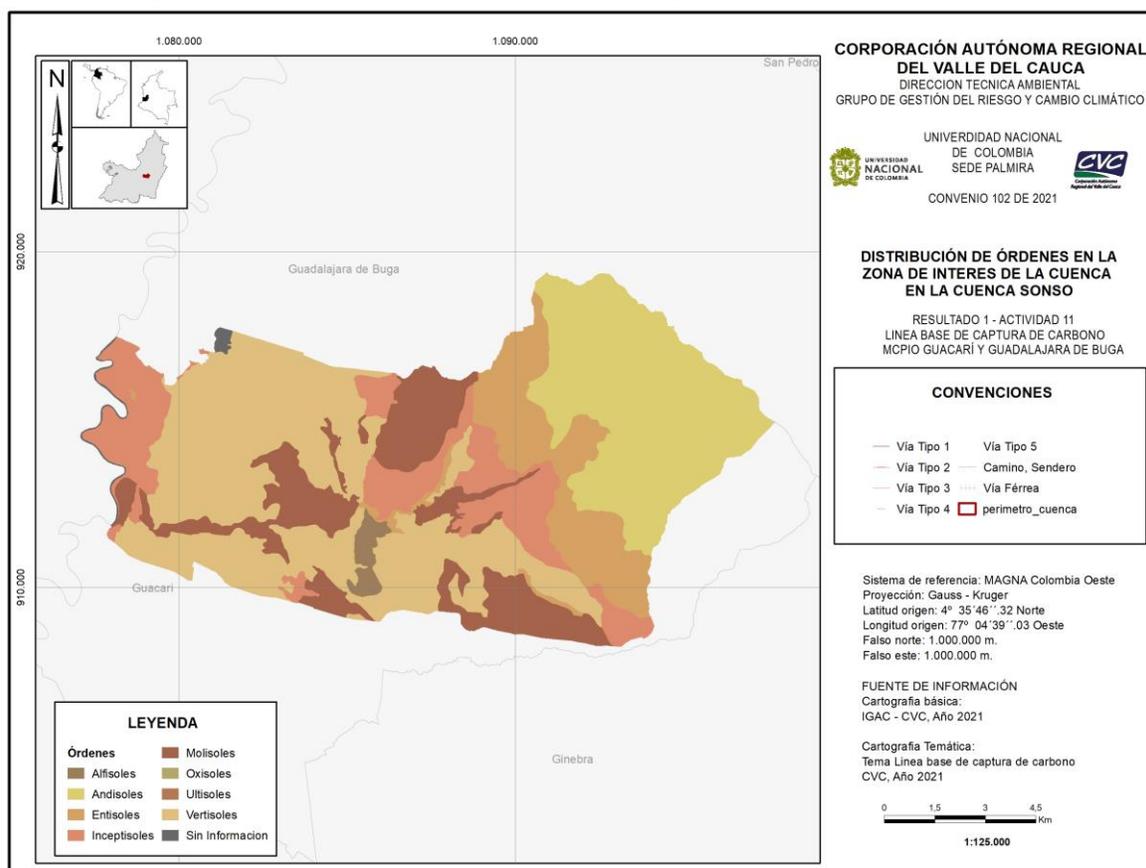


Figura 5. Distribución de órdenes en la zona de interés de la cuenca Guachal.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

El área de la cuenca presenta tanto agricultura como zonas agropecuarias, el 48.8% corresponde a cultivos arbustivos plantados densos, entre los cuales se encuentra el plátano, banano, café, papayo, caña de azúcar entre otros, siendo la caña de azúcar la más dominante con un área que cubre el 41.2%, en segundo lugar se encuentran los cultivos herbáceos plantados densos con un área de 21.2 % entre los cuales se encuentra el pasto cultivado y pasto cultivado enmalezado siendo el principal el pasto cultivado con un área de 18.5% (CVC, 2017).

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

COBERTURA	ÁREA (HA)	% ÁREA
2 - Superficies plantadas	10.409,5	73,6%
221 - Cultivos arbustivos plantados densos	6.900,6	48,8%
231 - Cultivos herbáceos plantados densos	2.995,5	21,2%
241 - Misceláneos de superficies plantadas	170,3	1,2%
211 - Cultivos arbóreos plantados densos	153,5	1,1%
252 - Áreas de cultivo con suelo desnudo	123,2	0,9%
232 - Cultivos herbáceos plantados abiertos	36,9	0,3%
212 - Cultivos arbóreos plantados abiertos	28,3	0,2%
222 - Cultivos arbustivos plantados abiertos	1,1	0,0%
3 - Superficies naturales y seminaturales	3.001,5	21,2%
311 - Bosque natural denso	848,7	6,0%
322 - Arbustal y matorral abierto	663,9	4,7%
312 - Bosque natural abierto	624,0	4,4%
313 - Bosque natural fragmentado	563,1	4,0%
321 - Arbustal y matorral denso	283,1	2,0%
352 - Áreas naturales sin vegetación	10,1	0,1%
331 - Herbazal natural denso	8,6	0,1%
1 - Superficies construidas	368,1	2,6%
121 - Otras superficies artificiales con construcción	155,2	1,1%
122 - Otras superficies artificiales sin construcción	121,6	0,9%
112 - Zonas urbanas discontinuas	51,9	0,4%
111 - Zonas urbanas continuas	39,4	0,3%
4 - Superficies de agua	361,9	2,6%
412 - Aguas continentales artificiales	276,6	2,0%
411 - Aguas continentales naturales	82,5	0,6%
413 - Superficies inundables continentales	2,9	0,0%
TOTAL	14.141,0	100,0%

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 11. 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.

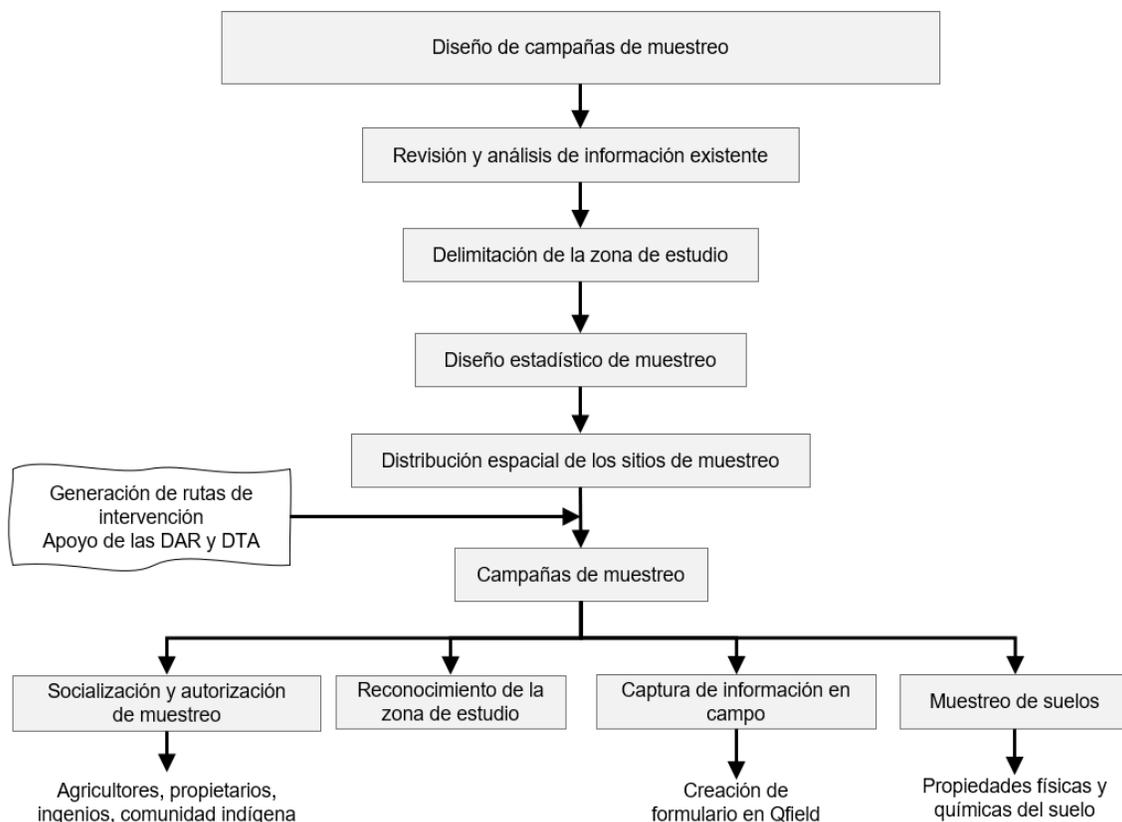


Figura 7. Diagrama del diseño y ejecución de campañas de muestreo.

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 (Figura 8).



Figura 8. Diseño cilindro de muestreo.

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 1.225.886.755.603 (un billón doscientos veinticinco mil ochocientos ochenta y seis millones setecientos cincuenta y cinco mil seiscientos tres) muestras. Este cálculo se ha obtenido de la división entre el área total de las cuencas y el área del cilindro.

$$\text{Población} = \frac{\text{área total de las cuencas}}{\text{área del cilindro}} = \frac{2.407.023.015,95922}{0,00196349540849362} = 1.225.886.755.603$$

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. Para ese cálculo se consideró:

- Margen de error del 5,9%
- Nivel de confianza del 95%
- Tamaño de la población: 1.225.886.755.603 muestras (área del cilindro)
- Proporción esperada desconocida, por lo tanto, será de 0,5.

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

$$n = \frac{1.225.886.755.603 * 1,96 * 1,96 * 0,5 * 0,5}{0,058566184 * 0,058566184 * (1.225.886.755.603 - 1) + (1,96 * 1,96) * 0,5 * 0,5}$$

$$n = \frac{1.177.341.640.080,9}{4.204.789.009} \quad n = 280$$

Del total de 280 muestras obtenidas, se distribuyeron proporcionalmente en cada una de las cuencas como se presenta en la Tabla 6. Adicionalmente, se tomaron 2 muestras por cuenca de los cultivos más representativos que no hayan coincidido con los puntos de muestreo para un total de 288 muestras.

Tabla 6. Distribución cantidad de muestras por cuenca.

CUENCA	ÁREA (ha)	% ÁREA	CANTIDAD DE MUESTRAS DISEÑO	CANTIDAD DE MUESTRAS ADICIONALES
Amaime	98.598	41%	115	2
Cali	18.261	8%	21	2
Guachal	110.432	46%	128	2
Sonso	13.411	6%	16	2
TOTAL	240.702	100%	280	8

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 Cali, 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.

		AMAIME			CALI			GUACHAL			SONSO			
		Área (ha)	%	n	Área (ha)	%	n	Área (ha)	%	n	Área (ha)	%	n	
ORDEN	Andisoles	Subtotal Andisoles	39.493	40,1%	46	2.306	12,6%	3	25.211	22,8%	29	3.193	23,8%	4
		2 - Superficies plantadas	12.067	31%	14	43	2%	0	6.372	25%	7	2.051	64%	3
		3 - Superficies naturales y seminaturales	27.427	69%	32	2.264	98%	3	18.839	75%	22	1.142	36%	1
	Entisoles	Subtotal Entisoles	16.097	16,3%	19	4.594	25,2%	5	14.037	12,7%	16	1.646	12,3%	2
		2 - Superficies plantadas	4.425	27%	5	2.165	47%	2	4.293	31%	5	842	51%	1
		3 - Superficies naturales y seminaturales	11.672	73%	14	2.429	53%	3	9.745	69%	11	803	49%	1
	Inceptisoles	Subtotal Inceptisoles	4.550	4,6%	5	11.296	61,9%	13	14.078	12,7%	16	1.889	14,1%	2
		2 - Superficies plantadas	2.627	58%	3	2.791	25%	3	10.009	71%	11	1.517	80%	2
		3 - Superficies naturales y seminaturales	1.923	42%	2	8.505	75%	10	4.069	29%	5	372	20%	0
	Otro	Subtotal Otro	38.457	39,0%	45	65	0,4%	0	57.105	51,7%	67	6.683	49,8%	8
		2 - Superficies plantadas	36.299	94%	42	62	95%	0	55.099	96%	65	6.000	90%	7
		3 - Superficies naturales y seminaturales	2.158	6%	3	3	5%	0	2.006	4%	2	684	10%	1
TOTAL		98.598	100%	115	18.261	100%	21	110.432	100%	128	13.411	100%	16	

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 9).

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.

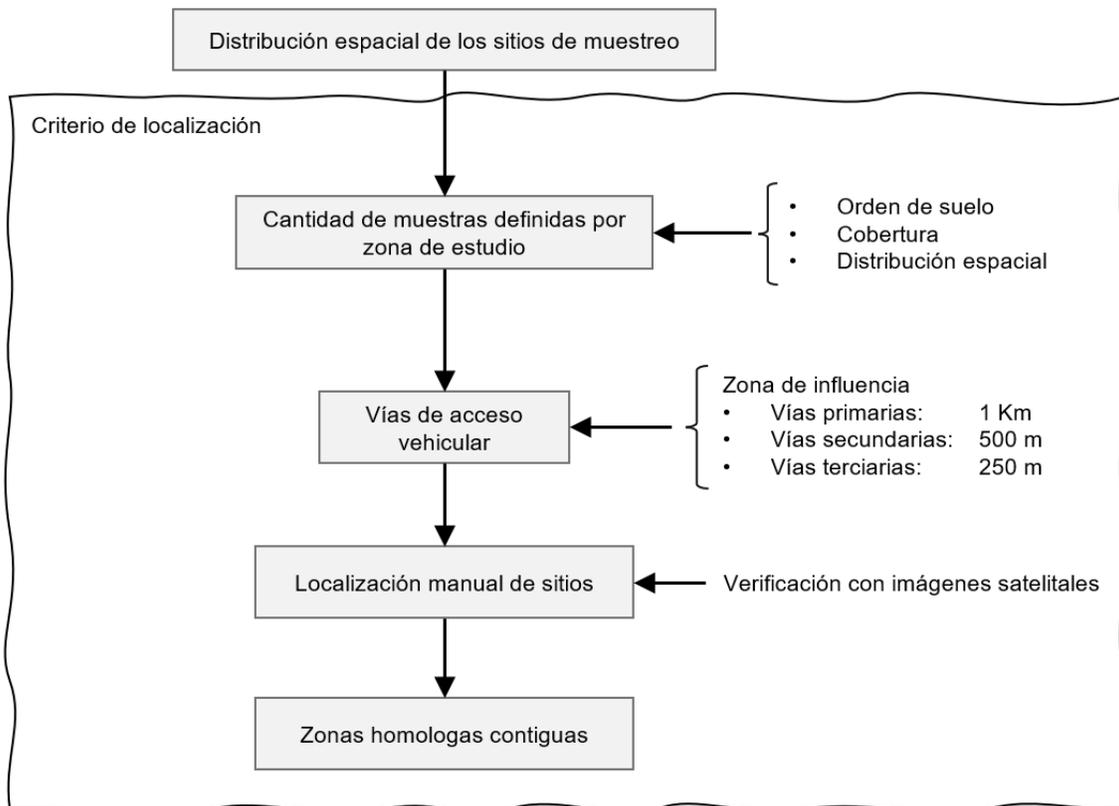


Figura 9. Diagrama de distribución espacial de sitios de muestreo.

Fuente: Elaboración propia.

Rutas de intervención

Se definieron 26 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 10).

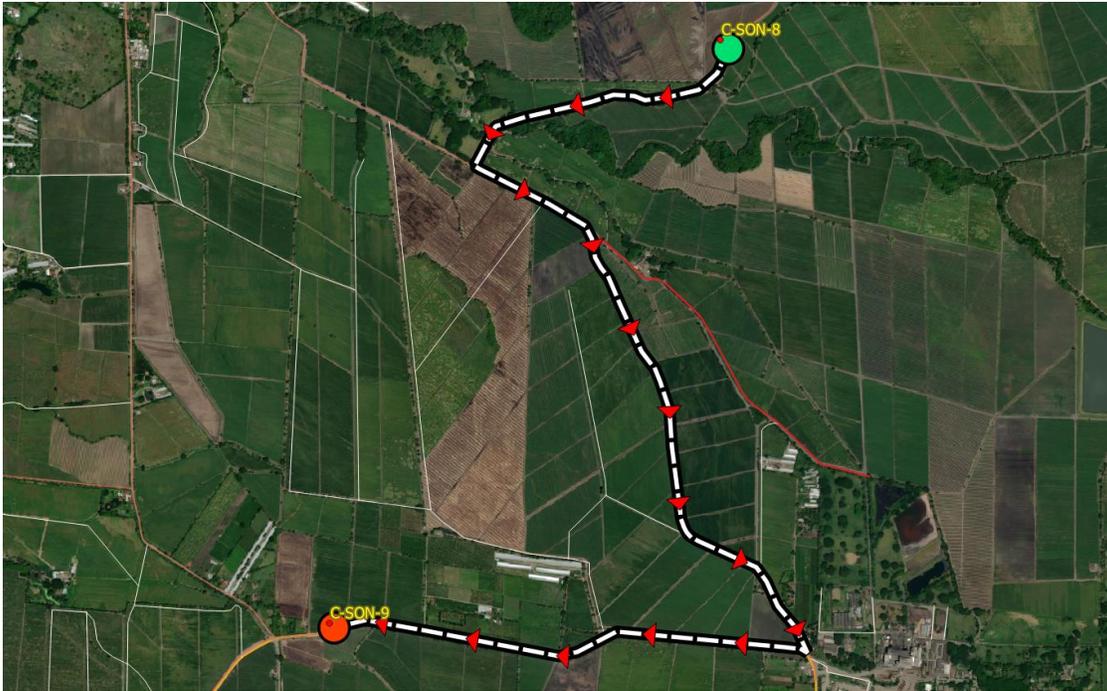


Figura 10. Representación de ruta propuesta entre dos sitios de muestreo.

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 Sonso, seguido de cuencas Cali, Amaime y Guachal. 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 (Figura 11).



Figura 11. 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 (Figura 12).



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

Figura 12. 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 (Figura 13).



Figura 13. 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 (Figura 14).



Figura 14. 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 15).

Para cada sitio evaluado se creó un código alfanumérico único identificador que incluía la actividad (C=Carbono), la cuenca (AMA=Amaime, CAL=Cali, GUA=Guachal y SON=Sonso) y un número consecutivo (1,2,3...) separado por guiones, por ejemplo: C-CAL-15, C-AMA-112, C-GUA-56, C-SON-13.

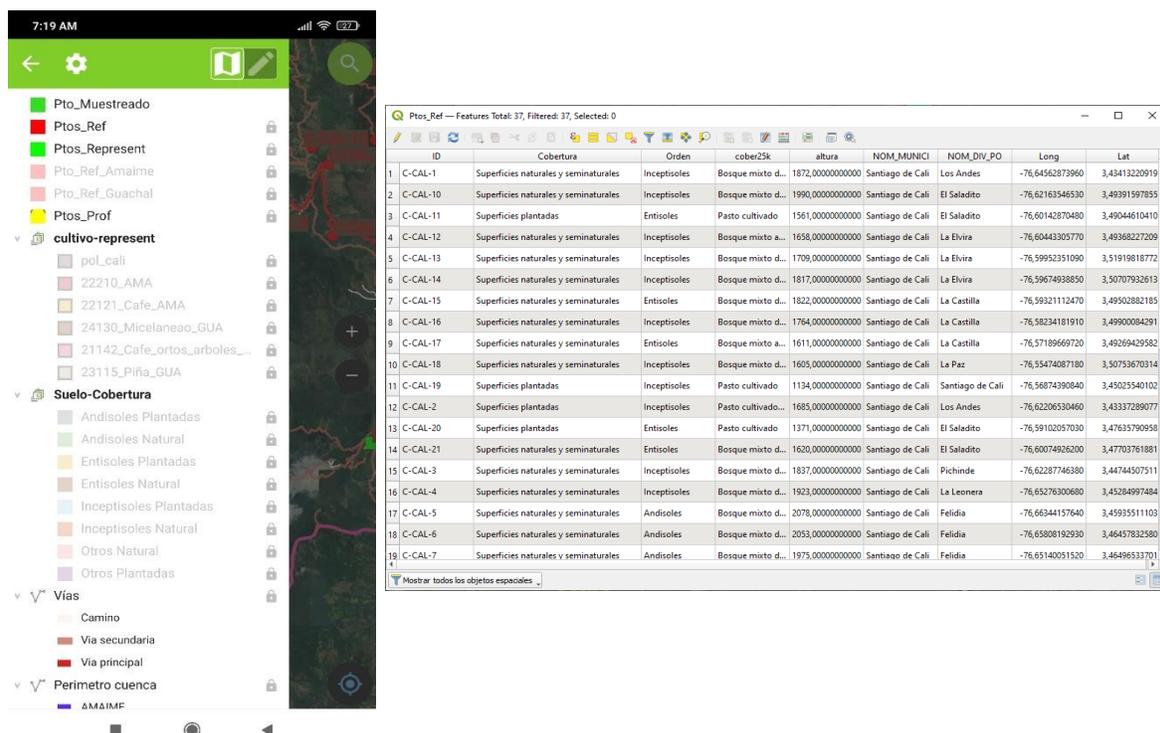


Figura 15. Vista previa formulario de Qfield y atributos asociados a la capa de muestreo.

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					
Propiedad química	16	pH (1:2,5)	Unidades de pH	GA-R-46, versión 05 de 2019-10-02			
	17	Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	dS	NTC 5596:2008. Medición en suspensión suelo/agua relación 1:5 (Peso/vol)			
	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				

N°	PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	LAB
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, Manganeso 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 (Da) 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 Sonso.

TEXTURA DEL SUELO	Da óptimas	Da QUE PUEDEN AFECTAR EL CRECIMIENTO RADICULAR	Da QUE RESTRINGEN EL CRECIMIENTO RADICULAR
	(g/cm ³)		
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), Rotheron (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 1.

$$IE = \frac{\%MO}{(\%L + \%Ar)} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

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 moderado riesgo a la degradación y valores con IE superiores a 9 representan suelos estructuralmente estables (Tabla 10).

Tabla 10. Interpretación del índice de estabilidad.

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

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 3) (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 2).

$$AA = CC - PMP \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

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

$$LAA = \frac{AA}{100} * DA * p * 10 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

LAA: Lámina de agua aprovechable (mm)
DA: Densidad aparente (g/cm³)
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	
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

N°	VARIABLE	UNIDAD	REFERENCIA	CATEGORÍAS
			6.5-7.3	Neutro
			7.4-8.0	Alcalino
			>8.0	Muy alcalino
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		
25	Fosforo (P) Disponible (Bray II)			
	pH < 6.9 - Bray	mg/kg	< 8	Bajo
			8-13	Normal
			13-21	Alto
			>21	Muy Alto
	pH > 7 Olsen		< 12	Bajo
			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

N°	VARIABLE	UNIDAD	REFERENCIA	CATEGORÍAS
			>0.4	Alto
29	Sodio (Na) Disponible	cmol(+)/kg	<1	Bajo
			>1	Alto
			<25	Bajo
30	Hierro (Fe) Olsen Disponible	mg/kg	25-50	Medio
			>50	Alto
			<1	Bajo
31	Cobre (Cu) Olsen Disponible	mg/kg	1-3	Medio
			>3	Alto
			<5	Bajo
32	Manganeso (Mn) Olsen Disponible	mg/kg	5-10	Medio
			>10	Alto
			<1.5	Bajo
33	Zinc (Zn) Olsen Disponible	mg/kg	1.5-3	Medio
			>3	Alto
			<10	Baja
34 y 35	Capacidad Intercambio Catiónico	cmol(+)/kg	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 se estimó utilizando la Ecuación 4. 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 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.

$$COS_{reserva} = p * DA * CO * 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

COS_{reserva}: Carbono orgánico en el suelo (tCOS/ha)

p: profundidad (30 cm)

DA: Densidad aparente (g/cm³)

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

Para este estudio no se considerará el factor de ajuste por fracción gruesa, porque se ingresa el contenido de CO de la fracción fina (<0,106 mm) directamente determinado en laboratorio. Si bien no existe una metodología definida para determinar el contenido de CO que es lábil en el suelo (Zhang, 2020), la aplicación del método de cuantificación de CO en partículas inferiores de 0,250 mm permite obtener el carbono orgánico almacenado más estable (Sainepo, 2018).

El interés del COS estable se relaciona con la capacidad del suelo en resistir los diferentes sistemas de manejo y la inaccesibilidad a los microbios en descomposición por el dominio que ejerce las partículas de arcilla que adsorben fuertemente el carbono y lo protegen de la acción enzimática que conduce al proceso de humificación (Allen, 2010). Ya que las fracciones orgánicas más abundantes en el suelo son las de ciclado más lento, por ello se necesita gran cantidad de años para observar diferencias, mientras que, las fracciones lábiles son más sensibles a los efectos del uso de la tierra, rotación de cultivos, fertilización o del sistema de labranza (Gelantini et al, 2008).

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 (tCOS/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 la variabilidad del contenido de contenido de COS en los sitios medidos en la cuenca, determinado entre el valor mínimo y máximo de la mediana, se estimó el contenido de COS total en toneladas para la cuenca, siguiendo la Ecuación 5.

$$E_{COS} = Ac * m \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

E_{COS} : Estimación de COS (tCOS)

Ac: Área cuenca (ha)

m: valor de la mediana mínimo o máximo (tCOS/ha)

5. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Con el fin de definir el enfoque metodológico para el estudio de línea base de almacenamiento de carbono en suelos, se presenta una revisión y análisis general de los tipos de suelos (orden) y su cobertura, lo cual permitió definir la estrategia de muestreo en sobre las áreas de estudio. Con base en la información recopilada se presenta el siguiente análisis.

5.1 ORDENES DEL SUELO

En taxonomía de suelos el nivel jerárquico se divide en: orden, suborden, gran grupo, subgrupo, familia y serie, siendo el orden el nivel jerárquico superior que permite identificar diferenciación de características similares, por tal motivo se considera como base para su análisis.

En el Departamento del Valle del Cauca sobresalen dos órdenes de suelos: Inceptisoles con un porcentaje de 38,23%, seguido de los Andisoles con 30,73% en relación con la extensión total del suelo en el Departamento del Valle del Cauca. En menor medida se presentan los suelos Entisoles y Molisoles con porcentajes cercanos al 9%, seguido de los suelos de orden Vertisoles, Alfisoles y Oxisoles que tienen la menor presencia, cada uno con menos del 5% de extensión. Cabe resaltar que el 1% del suelo en el departamento se encuentra sin información registrada. En la Figura 16 se presenta la distribución porcentual y en área para los diferentes órdenes del suelo en el departamento.

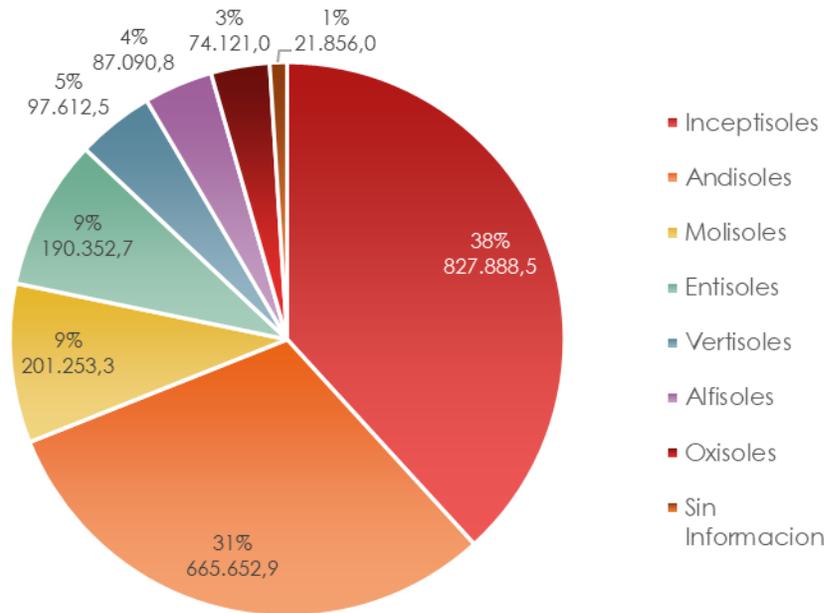


Figura 16. Distribución de órdenes de suelos en el Departamento del Valle del Cauca (valores en hectáreas / porcentaje).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

Para cada uno de los órdenes existen diferentes subórdenes, donde son predominantes los suelos del tipo Inceptisoles Udepts con una extensión de más de 677.309 hectáreas ocupando así más del 31,27% del suelo del departamento (este tipo de suborden tienen un régimen de humedad udic o perudic), seguido se encuentran los Andisoles Udands con un 30,73%. La Figura 17 contiene los subórdenes de mayor predominancia, los cuales representan alrededor del 93% de los suelos del Valle del Cauca.

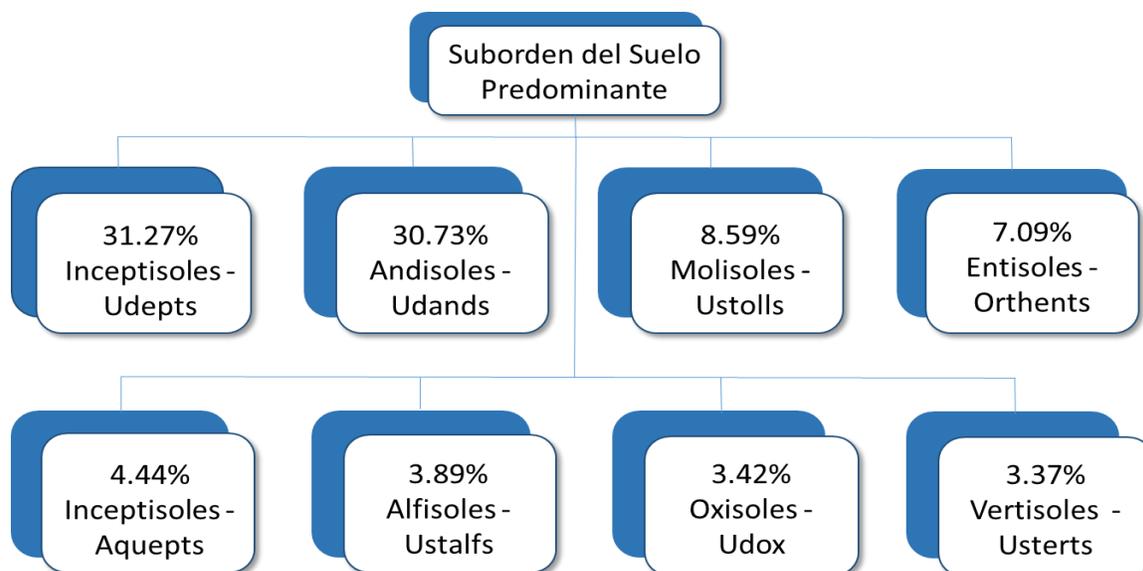


Figura 17. Distribución de los subórdenes del suelo en el departamento del Valle del Cauca.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

5.2 COBERTURA DEL SUELO

Para el Departamento del Valle del Cauca, el 95% del uso del suelo se asocia a 2 grandes tipos de coberturas: superficies naturales y seminaturales (57.26%) y superficies plantadas (38.00%). El 5% restante de cobertura se distribuye en superficies construidas (2.52%) y superficies de agua (2.23%), de acuerdo con la cartografía compartida por la CVC (2021). Se detallan las cantidades de la información a presentar a continuación en el Anexo A. En la Figura 18 se presenta la distribución de la cobertura de usos del suelo en el departamento del Valle del Cauca.

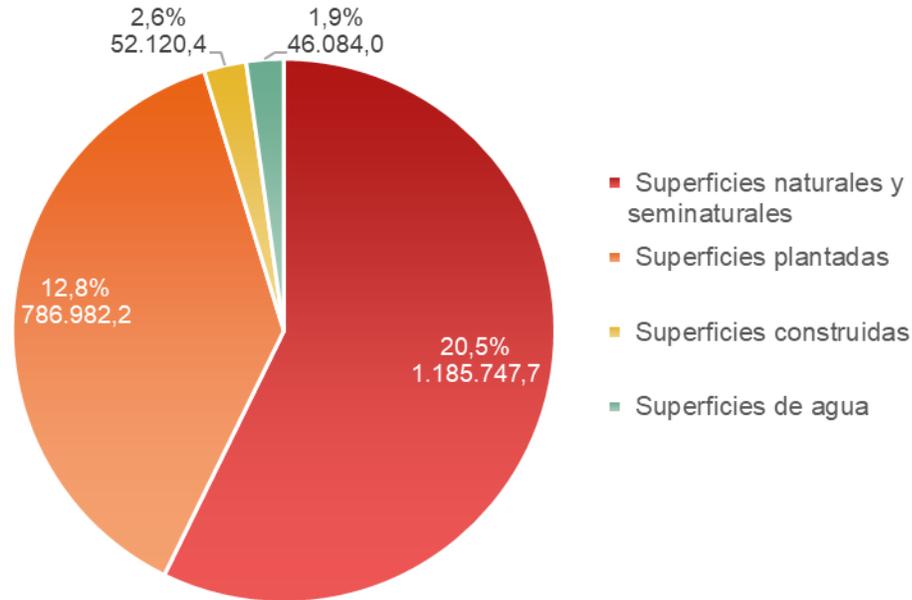


Figura 18. Distribución de la cobertura del uso del suelo en el Departamento del Valle del Cauca (valores en hectáreas).

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

Distribución de las superficies plantadas

Teniendo en cuenta que las superficies plantadas representan el 38% de la cobertura en la región del Valle del Cauca (aproximadamente 800,000 ha), es estos suelos donde se presentan las mayores variaciones en la dinámica de carbono orgánico debido a la intervención antrópica. En el Departamento, del total de esta cobertura, el 20.5% se presenta en cultivos herbáceos plantados y en menor participación, áreas cultivadas sin o con poca vegetación alcanzan el 0.3%. La Figura 19 muestra los porcentajes de cobertura de cada tipo de superficie plantada existente en la zona.

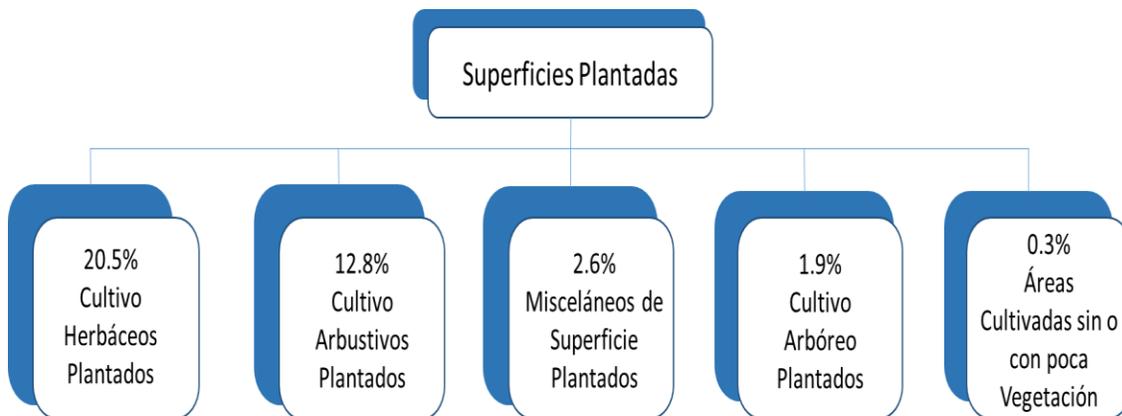


Figura 19. Distribución de la cobertura de superficies plantadas en el departamento del Valle del Cauca.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

Con relación a los cultivos herbáceos plantados, la mayor cobertura se presenta por pastos cultivados con un 15.6%, seguido de pastos enmalezados (2.7%) y arbolados (1.2%). En la Figura 20 se detallan los tipos de cultivos pertenecientes a la cobertura de cultivo herbáceo plantado y su extensión en hectáreas sobre el territorio departamental.

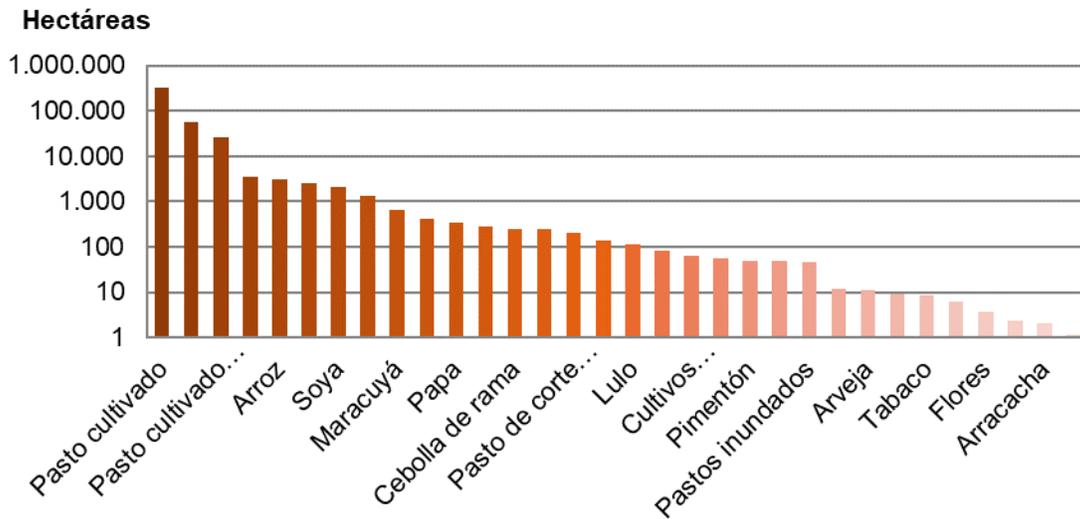


Figura 20. Distribución de áreas en cultivos herbáceos plantados.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

De los cultivos arbustivos plantados con mayor cobertura en la zona se presenta la caña de azúcar ocupando el 9.9 % del territorio. En este tipo de cobertura también se tienen cultivos como: café, maíz, yuca, plátano, mora, cacao, pitaya, entre otros, los cuales se presentan en la Figura 21.

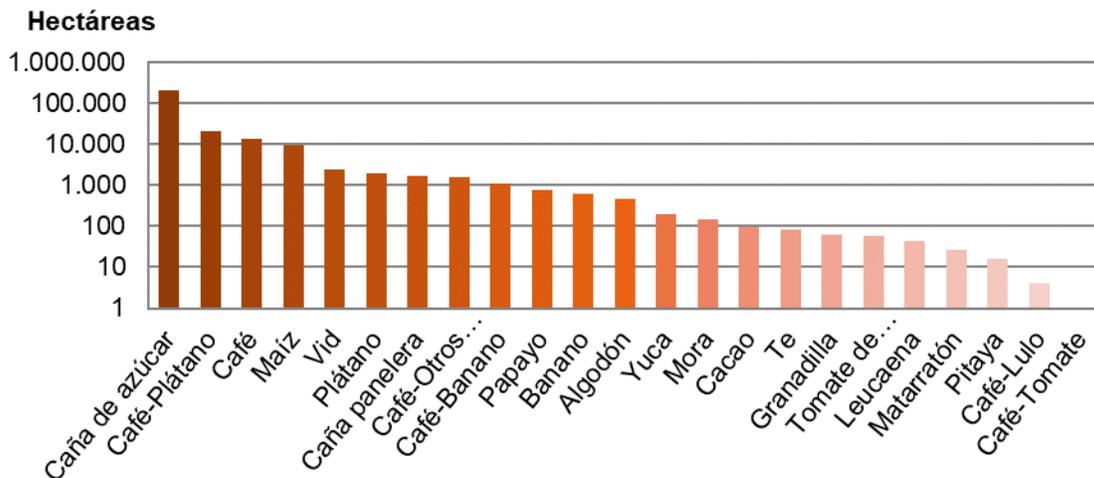


Figura 21. Distribución de áreas en cultivos arbustivos plantados.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

Los misceláneos de superficie más predominantes son los de pastos y cultivos representando el 1.7% de la cobertura del territorio, otros tipos de misceláneos y su extensión en hectáreas se detalla en la Figura 24.

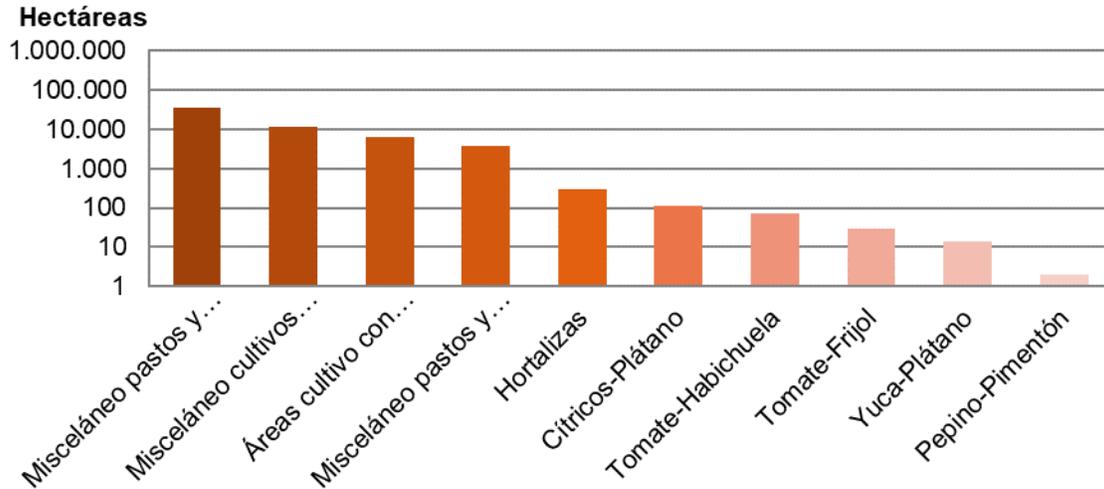


Figura 22. Distribución de áreas en misceláneos de superficie plantada.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

Dentro de los cultivos arbóreos plantados con más prevalencia en el territorio se tiene al eucalipto con 14,928 hectáreas equivalentes a 0.7% de la cobertura total, seguido se encuentra las plantaciones de Pino con aproximadamente 6,455 ha, es decir un 0.3%. Entre otros cultivos arbóreos se tiene al Naranja, el limón, Mandarino, Aguacate, palma de coco, entre otros, pero su extensión es menor a las 2.000 hectáreas. En la Figura 23 se detalla la distribución en hectáreas de cada cultivo.

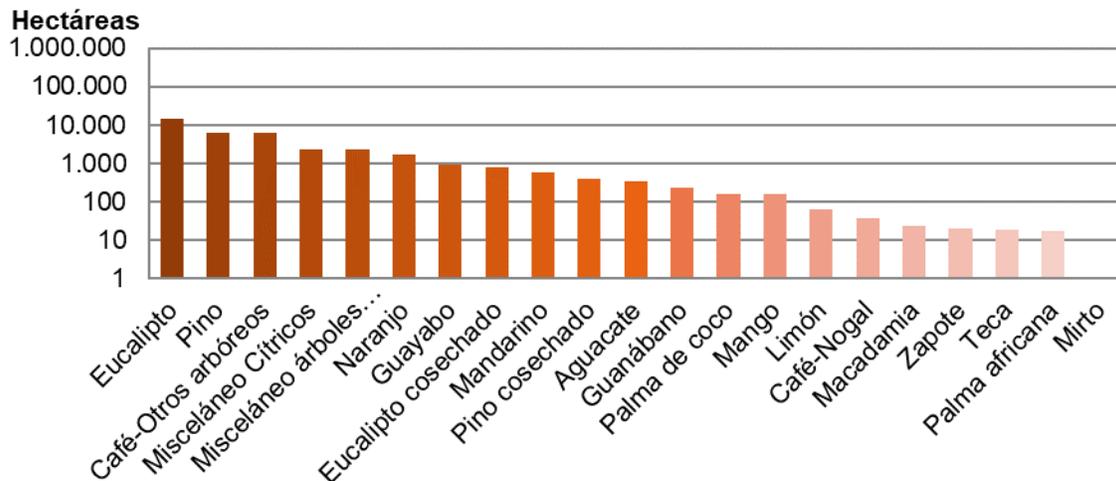


Figura 23. Distribución de áreas en cultivos arbóreos plantados.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

Dentro de la cobertura de superficies plantadas se tienen diferentes cultivos que cubren la mayor extensión del territorio departamental, con mayor predominancia de los Pastos Plantados, seguido de los cultivos de caña de azúcar y los Pasto Plantado Enmalezado. En la Figura 24 se detalla el porcentaje asociado con cada tipo de cultivo en el territorio.

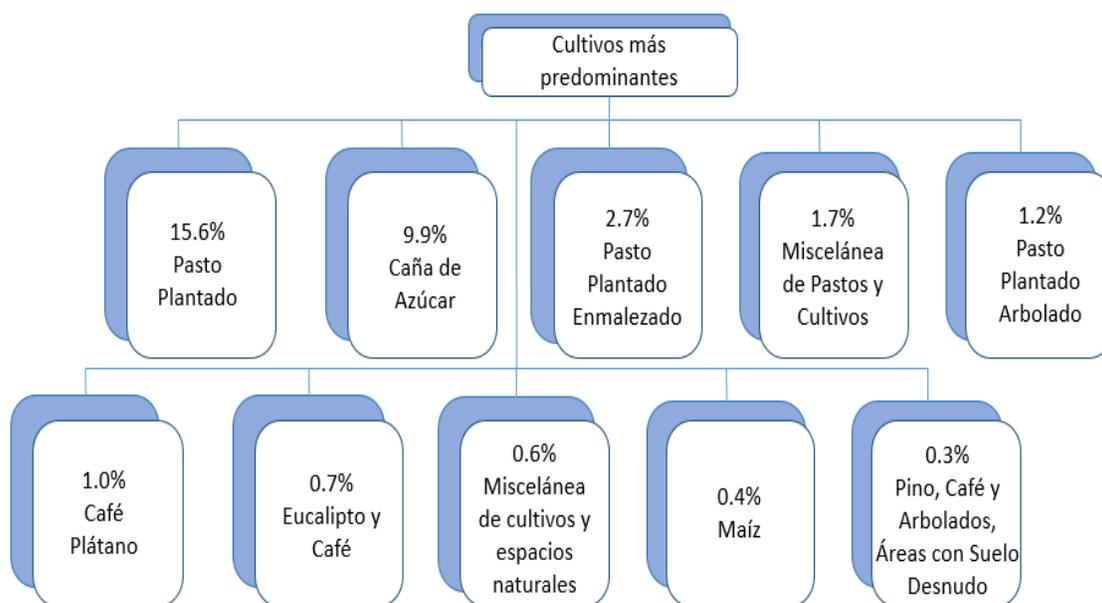


Figura 24. Distribución de cultivos predominantes en el Valle del Cauca.
 Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

6. DISEÑO CAMPAÑAS DE MUESTREO

6.1 LOCALIZACIÓN SITIOS DE MUESTREO

Se definieron 280 sitios de muestreo que se distribuyeron en las cuatro cuencas, tal y como se mencionó en la Tabla 6: Amaime (115 sitios), Cali (21 sitios), Guachal (128 sitios) y Sonso (16 sitios). (Ver Figura 25 a la Figura 28).

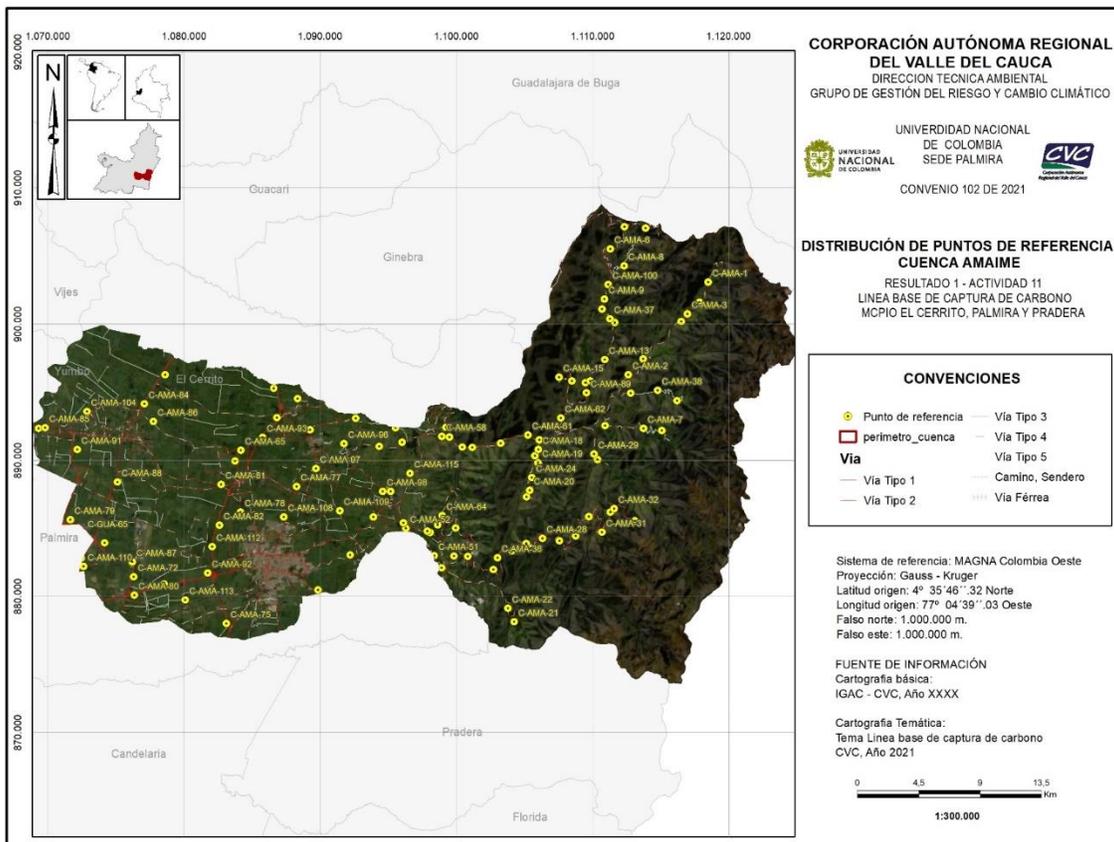


Figura 25. Distribución de puntos de referencia en la cuenca Amaime.
Fuente: Elaboración propia.

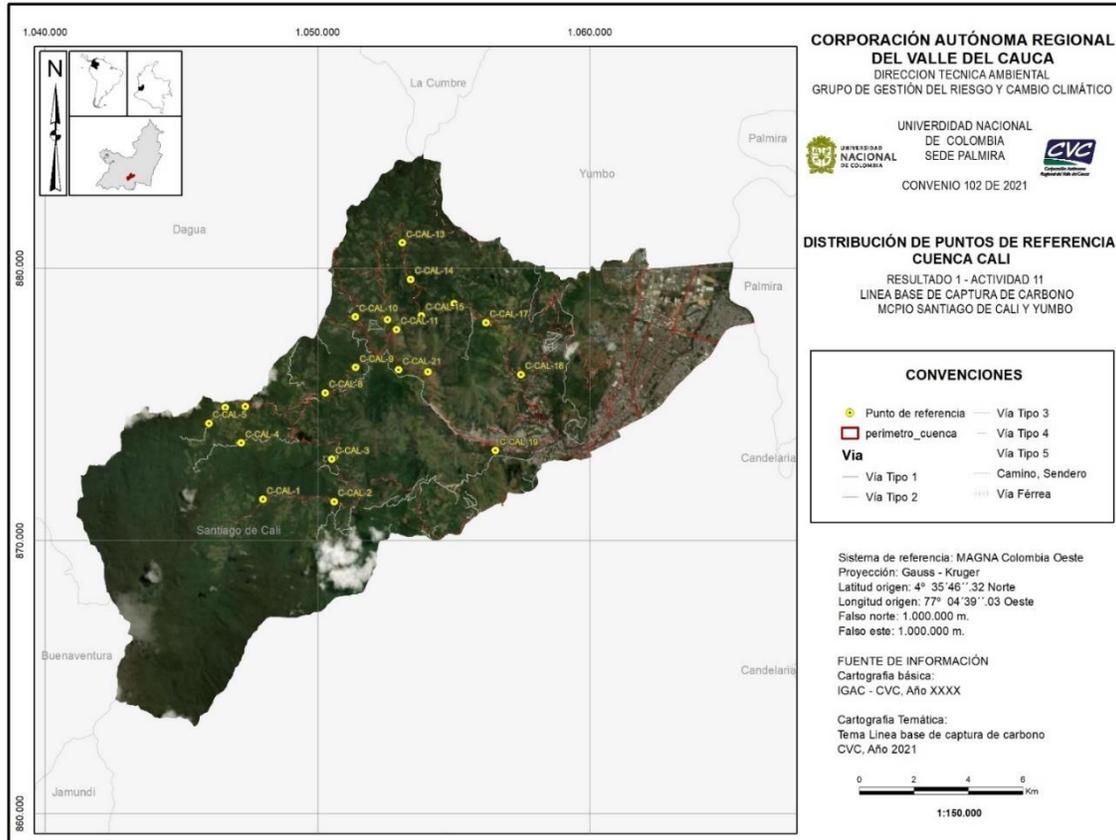


Figura 26. Distribución de puntos de referencia en la cuenca Cali.
Fuente: Elaboración propia.

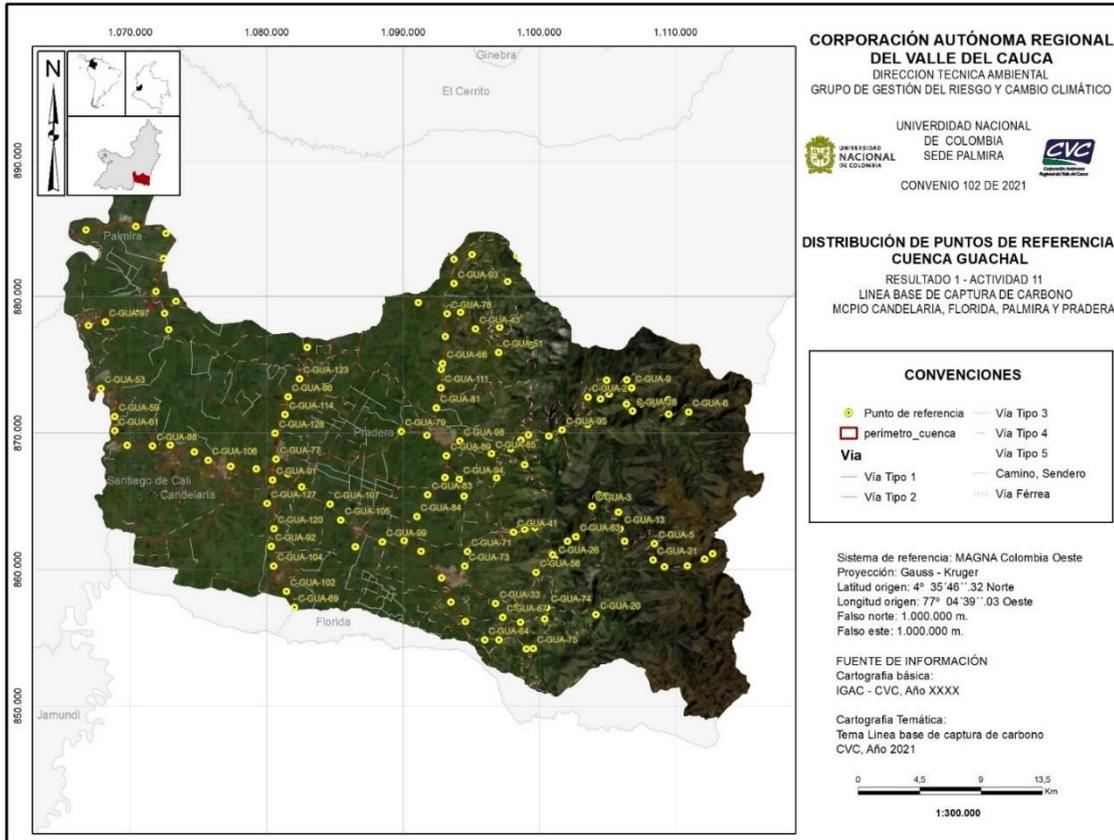


Figura 27. Distribución de puntos de referencia en la cuenca Guachal.
Fuente: Elaboración propia.

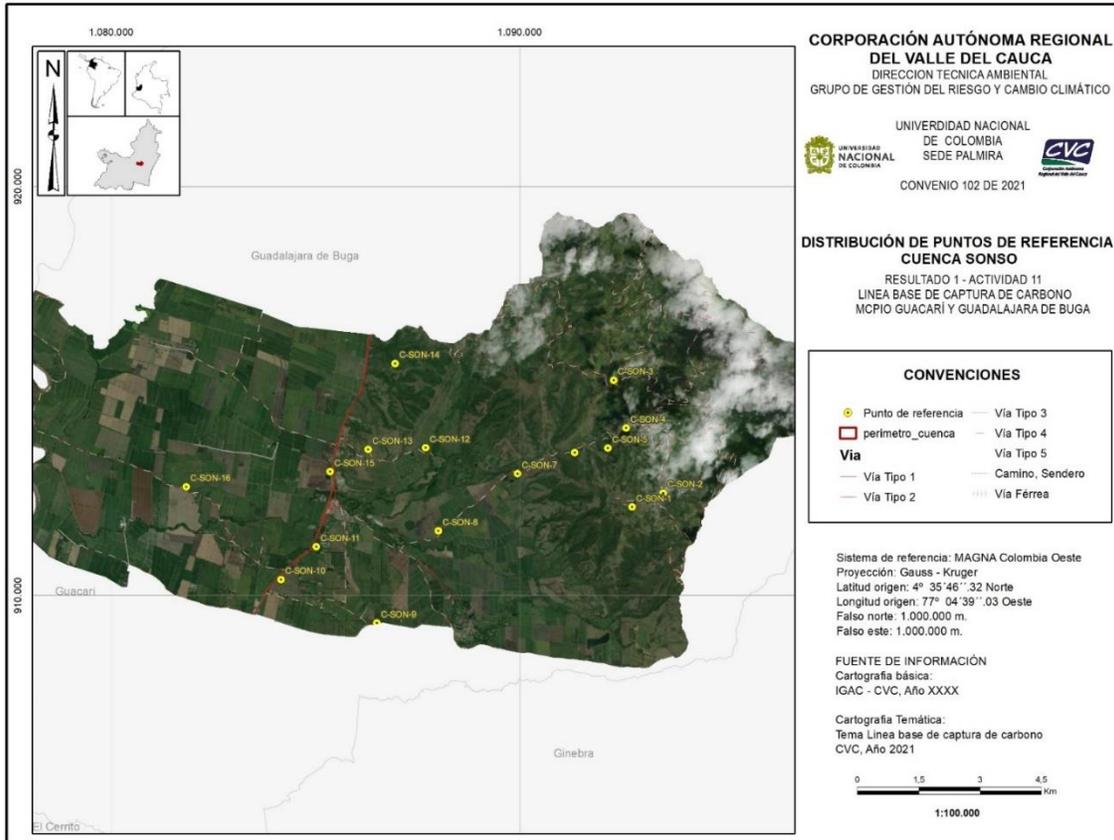


Figura 28. Distribución de puntos de referencia en la zona de interés en la cuenca Sonso.

Fuente: Elaboración propia.

6.2 DISEÑO DE RUTAS DE MUESTREO DE SUELOS

En las Figuras 29 a 32, se presentan las rutas definidas en cada una las zonas de estudio durante las campañas de muestreo.

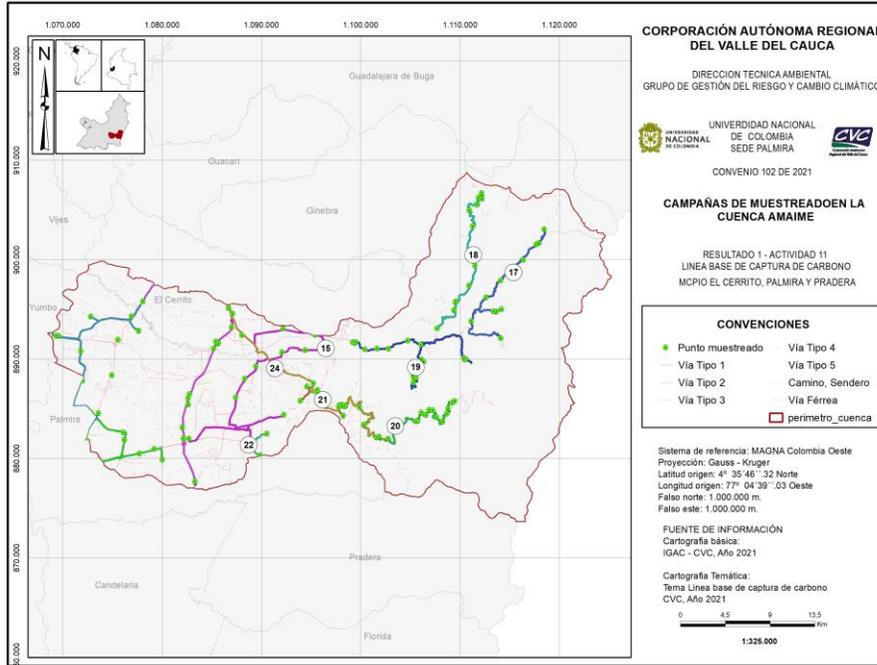


Figura 29. Rutas de muestreo realizadas en la cuenca Amaime.
Fuente: Elaboración propia.

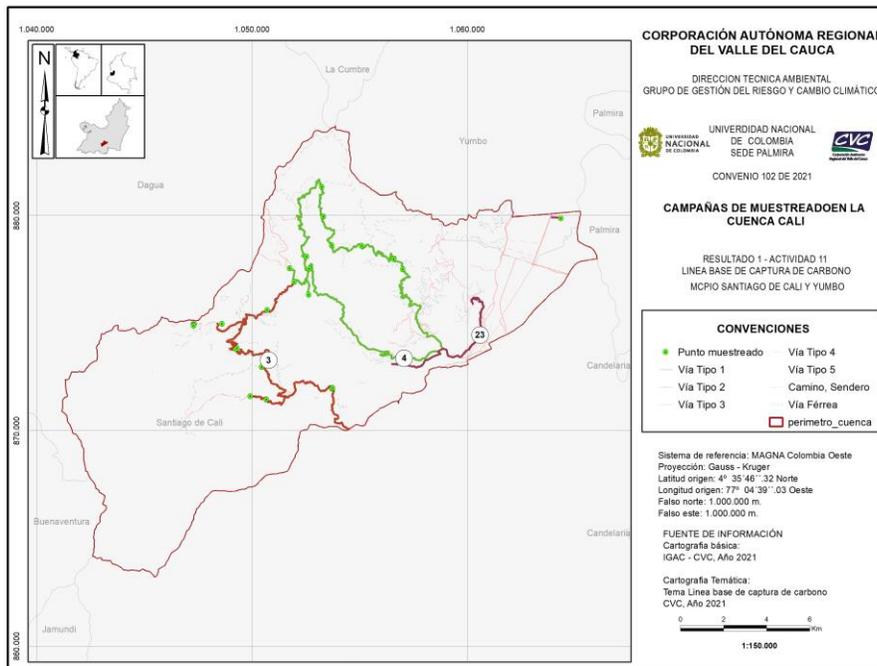


Figura 30. Rutas de muestreo realizadas en la cuenca Cali.
Fuente: Elaboración propia.

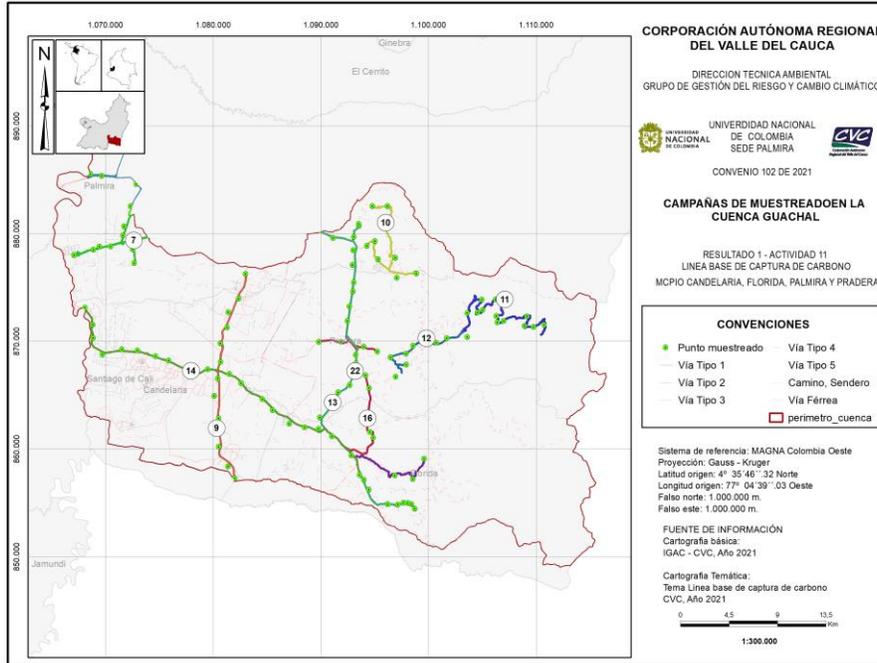


Figura 31. Rutas de muestreo realizadas en la cuenca Guachal.
Fuente: Elaboración propia.

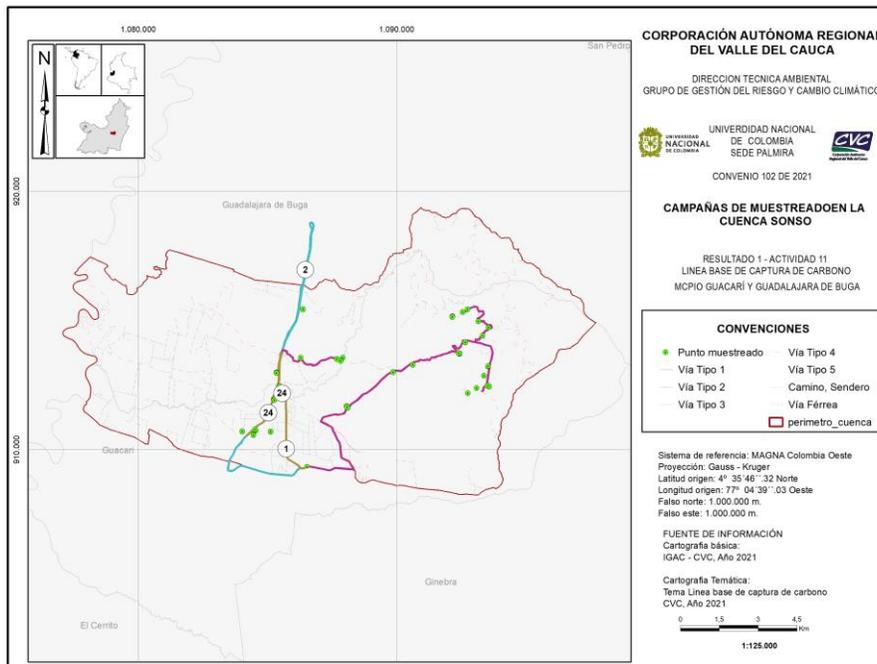


Figura 32. Rutas de muestreo realizadas en la zona de interés en la cuenca Sonso.
Fuente: Elaboración propia.

6.3 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 51 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 Amaime con 28 personas, seguido de la cuenca Guachal con 21 personas y en menor medida las cuencas Sonso y Cali con 1 persona por cuenca Figura 33.

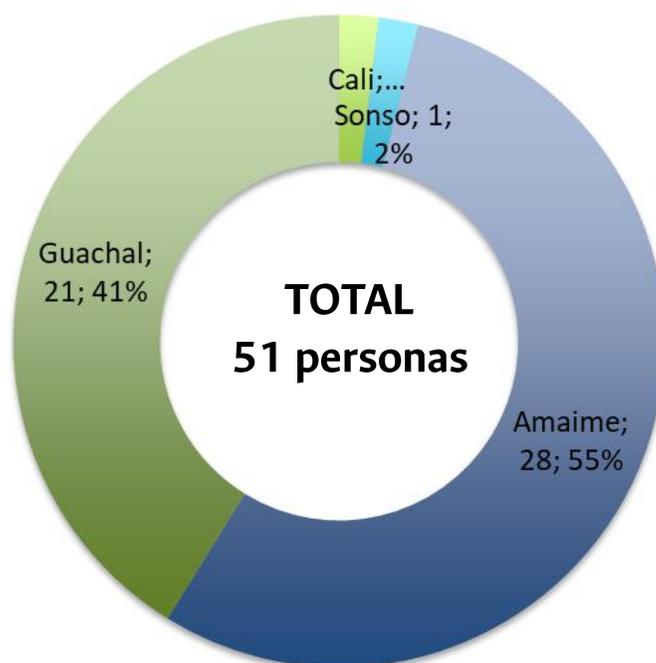


Figura 33. Personas socializadas por cuenca.
 Fuente: Elaboración propia.

7. CAMPAÑAS DE MUESTREO DE SUELOS

Para el desarrollo del proyecto se adelantaron 26 campañas de muestreo distribuidos de la siguiente forma: (3) jornadas en la cuenca Sonso entre los municipios de Guacarí y Guadalajara de Buga, para un total de 17 puntos georreferenciados; tres (3) jornadas en la cuenca Cali entre los municipios de Yumbo y Cali, para un total de 23 puntos georreferenciados; nueve (9) jornadas en la cuenca Amaime entre los municipios de Palmira y El Cerrito, con un total de 117 puntos y once (11) jornadas en la cuenca Guachal con un total de 131 puntos ubicados en los municipios de Candelaria, Florida, Pradera y Palmira (Tabla 13). La toma de las muestras de los puntos georreferenciados se finalizó el 18 de enero 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
AMAIME	9	117	117	100%
CALI	3	23	23	100%
GUACHAL	11	131	131	100%
SONSO	3	17	17	100%
TOTAL	26	288	288	100%

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, papaya, café, plátano, cebolla, tomate de árbol, arveja).

Durante algunos recorridos se contó con el acompañamiento de funcionarios de las DAR y la DTA, en el seguimiento de la labor y reconocimiento del área de estudio, al igual que el acompañamiento parcial de la policía nacional (Figura 34).



Figura 34. 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 35 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.

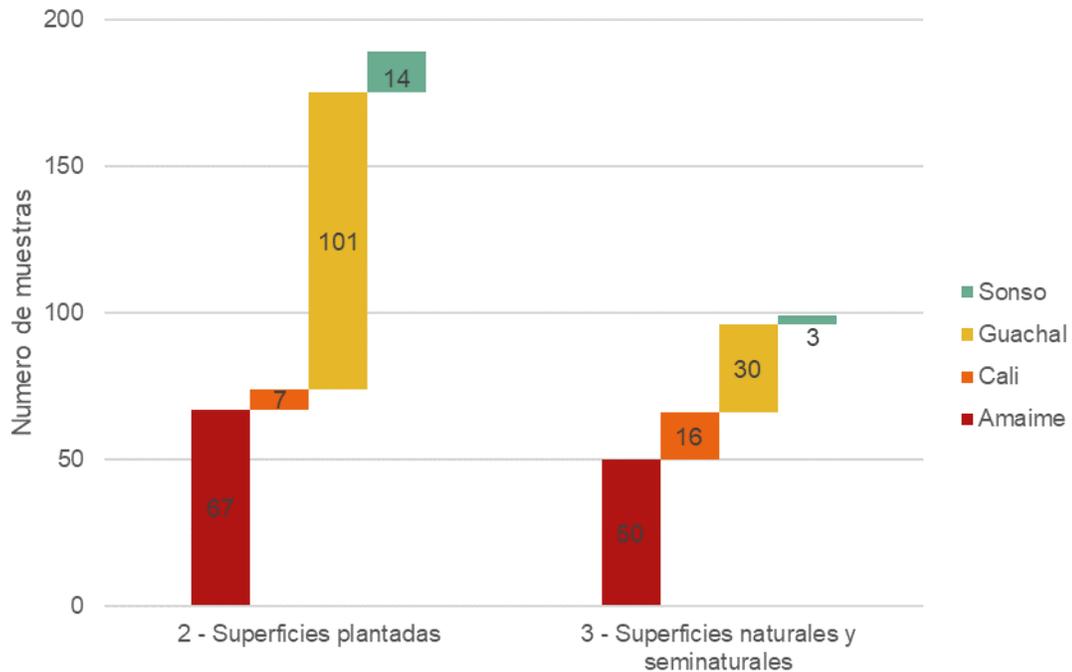


Figura 35. Distribución de las zonas de reconocimiento y verificación por cuenca.
Fuente: Elaboración propia.

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 m²) a diferencia de la escala de la información existente que permite identificar áreas homogéneas por encima de los 10.000 m².

7.1 CUENCA AMAIME

Para la cuenca Amaime se adelantaron tres campañas de muestreo sobre la parte baja de cuenca (terreno plano) y en las campañas restantes en la parte media y media alta (Figura 36).

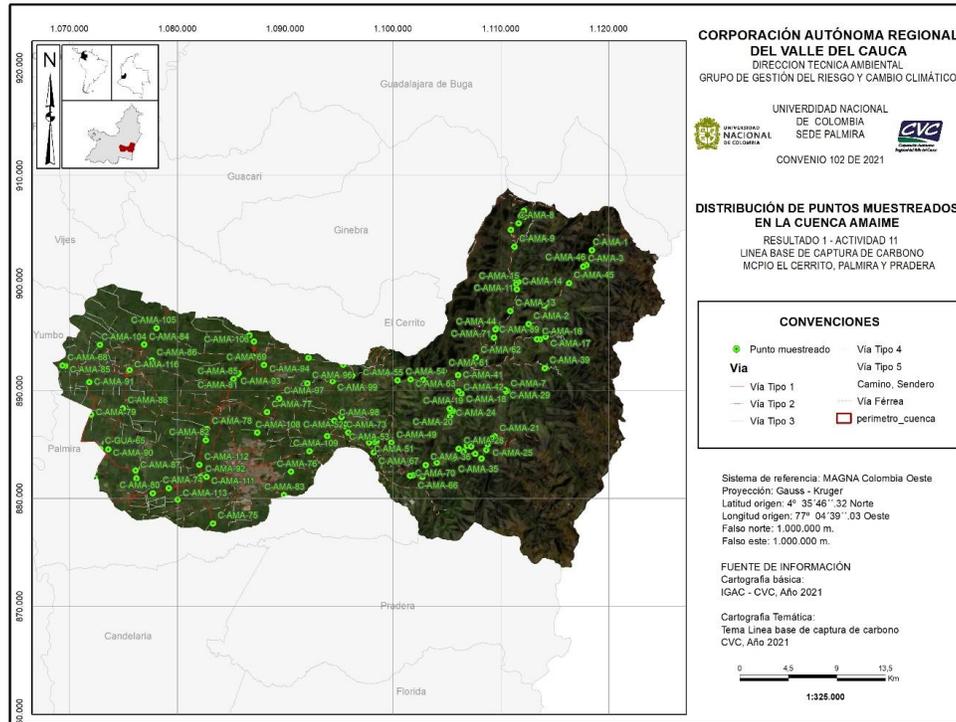


Figura 36. Distribución de puntos muestreados en la cuenca Amaime.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 14 se incluye la localización de los 117 puntos muestreados en la Cuenca Amaime. 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 Amaime.

MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD	MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD
1	C-AMA-1	-76,011224	3,718699	60	C-AMA-60	-76,218885	3,622874
2	C-AMA-2	-76,06398	3,656909	61	C-AMA-61	-76,135049	3,617598
3	C-AMA-3	-76,018396	3,705121	62	C-AMA-62	-76,108181	3,628696
4	C-AMA-4	-76,067991	3,751865	63	C-AMA-63	-76,162772	3,610284
5	C-AMA-5	-76,067538	3,746827	64	C-AMA-64	-76,191219	3,558198
6	C-AMA-6	-76,070768	3,747719	65	C-AMA-65	-76,310606	3,610875
7	C-AMA-7	-76,083125	3,600326	66	C-AMA-66	-76,160887	3,530086
8	C-AMA-8	-76,072406	3,741491	67	C-AMA-67	-76,193404	3,549287
9	C-AMA-9	-76,075936	3,7218	68	C-AMA-68	-76,453142	3,622409
10	C-AMA-10	-76,076821	3,696689	69	C-AMA-69	-76,285108	3,622558
11	C-AMA-11	-76,072698	3,692094	70	C-AMA-70	-76,163171	3,529378
12	C-AMA-12	-76,112148	3,554165	71	C-AMA-71	-76,091309	3,653121
13	C-AMA-13	-76,079313	3,667759	72	C-AMA-72	-76,235813	3,518797
14	C-AMA-14	-76,073839	3,685991	73	C-AMA-73	-76,220445	3,578806
15	C-AMA-15	-76,074336	3,690469	74	C-AMA-74	-76,364713	3,519256

MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD	MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD
16	C-AMA-16	-76,05704	3,644021	75	C-AMA-75	-76,327842	3,489614
17	C-AMA-17	-76,049925	3,64599	76	C-AMA-76	-76,262622	3,533061
18	C-AMA-18	-76,12046	3,598411	77	C-AMA-77	-76,282632	3,583099
19	C-AMA-19	-76,130051	3,585804	78	C-AMA-78	-76,332655	3,568979
20	C-AMA-20	-76,127334	3,583815	79	C-AMA-79	-76,429501	3,581173
21	C-AMA-21	-76,092418	3,562549	80	C-AMA-80	-76,377932	3,515053
22	C-AMA-22	-76,094643	3,560988	81	C-AMA-81	-76,306873	3,615029
23	C-AMA-23	-76,152809	3,528563	82	C-AMA-82	-76,333498	3,559535
24	C-AMA-24	-76,12915	3,584032	83	C-AMA-83	-76,268432	3,513514
25	C-AMA-25	-76,098405	3,555846	84	C-AMA-84	-76,385051	3,639857
26	C-AMA-26	-76,141006	3,54038	85	C-AMA-85	-76,451081	3,622058
27	C-AMA-27	-76,125776	3,544745	86	C-AMA-86	-76,378584	3,626689
28	C-AMA-28	-76,122528	3,552112	87	C-AMA-87	-76,392397	3,534057
29	C-AMA-29	-76,08388	3,6015383	88	C-AMA-88	-76,40304	3,586507
30	C-AMA-30	-76,118574	3,549966	89	C-AMA-89	-76,092988	3,645463
31	C-AMA-31	-76,108829	3,547753	90	C-AMA-90	-76,415052	3,55178
32	C-AMA-32	-76,099506	3,551179	91	C-AMA-91	-76,430912	3,608481
33	C-AMA-33	-76,103556	3,543771	92	C-AMA-92	-76,338079	3,528703
34	C-AMA-34	-76,12989	3,57935	93	C-AMA-93	-76,308657	3,616833
35	C-AMA-35	-76,127258	3,544162	94	C-AMA-94	-76,247937	3,628535
36	C-AMA-36	-76,150203	3,538483	95	C-AMA-95	-76,211497	3,613576
37	C-AMA-37	-76,075787	3,695239	96	C-AMA-96	-76,248896	3,607294
38	C-AMA-38	-76,054702	3,643906	97	C-AMA-97	-76,2725	3,594399
39	C-AMA-39	-76,050752	3,619721	98	C-AMA-98	-76,226393	3,575867
40	C-AMA-40	-76,115759	3,554591	99	C-AMA-99	-76,227815	3,608834
41	C-AMA-41	-76,122999	3,613977	100	C-AMA-100	-76,078777	3,73582
42	C-AMA-42	-76,122603	3,60041	101	C-AMA-101	-76,306447	3,61577
43	C-AMA-43	-76,082134	3,600644	102	C-AMA-102	-76,050949	3,672093
44	C-AMA-44	-76,0919	3,652239	103	C-AMA-103	-76,294458	3,629913
45	C-AMA-45	-76,030309	3,691191	104	C-AMA-104	-76,422051	3,639621
46	C-AMA-46	-76,015845	3,706188	105	C-AMA-105	-76,374729	3,653722
47	C-AMA-47	-76,192649	3,557925	106	C-AMA-106	-76,293326	3,642308
48	C-AMA-48	-76,196725	3,558947	107	C-AMA-107	-76,297125	3,647494
49	C-AMA-49	-76,178738	3,557313	108	C-AMA-108	-76,290714	3,565885
50	C-AMA-50	-76,194401	3,55939	109	C-AMA-109	-76,247186	3,550171
51	C-AMA-51	-76,197429	3,557435	110	C-AMA-110	-76,426329	3,527633
52	C-AMA-52	-76,214778	3,56594	111	C-AMA-111	-76,333257	3,528699
53	C-AMA-53	-76,217909	3,57136	112	C-AMA-112	-76,338963	3,538893
54	C-AMA-54	-76,152351	3,610187	113	C-AMA-113	-76,357111	3,509392
55	C-AMA-55	-76,173584	3,609555	114	C-AMA-114	-76,232256	3,562993
56	C-AMA-56	-76,181957	3,616296	115	C-AMA-115	-76,216791	3,572824
57	C-AMA-57	-76,184617	3,616236	116	C-AMA-116	-76,397334	3,618565
58	C-AMA-58	-76,1831	3,615356	117	C-AMA-117	-76,174724	3,541294
59	C-AMA-59	-76,077532	3,635467				

Fuente: Elaboración propia.

Los puntos CAMA 86, 84, 105, 104, 85, 68, 91, 88, 90, 79, 110, 80, 74, 113, 75, 111, 92, 65, 107, 103 93, 101,81, 78, 82, 112, 106, 69, 95, 96, 99, 97, 77, 108, 83, 98, 115, 109, 72, 76, corresponden a cultivo de caña de azúcar. Son suelos con labranza convencional, ubicados en el municipio de Palmira y El Cerrito entre 939 a 1007 msnm, clima cálido y terreno plano. Se observa homogeneidad del terreno para toma de muestra, se cuenta con suelo bien drenado (Figura 37).



Figura 37. Reconocimiento punto de muestreo en caña de azúcar.

Los puntos CAMA87, 01, 46, 03, 45, 102, 02, 38, 04, 05, 06, 08, 62, 89, 19, 20, 34, 41, 42, 43, 21, 70, 26, 53, 73, corresponden a pastos cultivados. Estos suelos con uso de ganadería, están ubicados en los municipios de Palmira y El Cerrito a más de 956 msnm, desde clima cálido a templado. Se observa homogeneidad del terreno para toma de muestra, se cuenta con suelo bien drenado (Figura 38).



Figura 38. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados.

El punto 72 (CAMA72) no se muestreo debido a las condiciones del terreno, presencia de rocas (Figura 39).

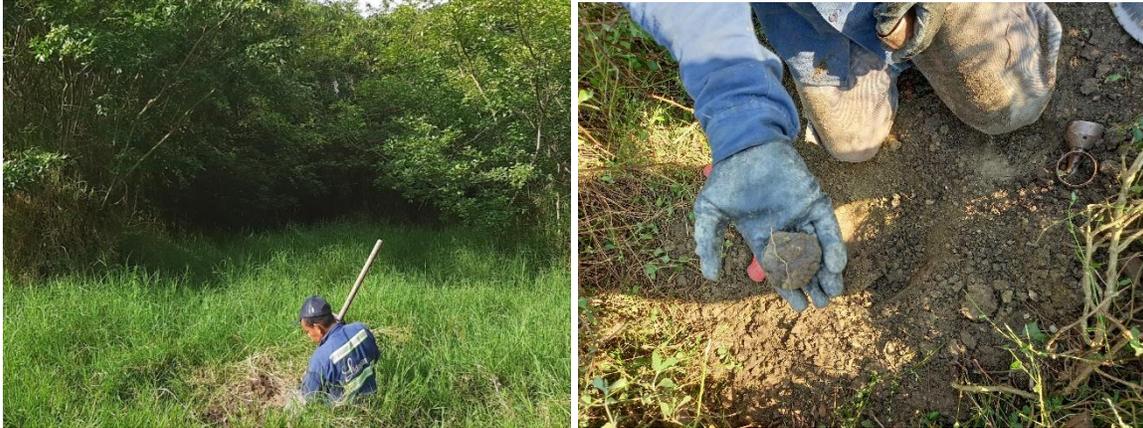


Figura 39. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados (CAMA72).

El punto 116 (CAMA116) corresponde a cultivo de maíz. Suelos con labranza mínima. Ubicados en el municipio de Palmira, clima cálido y terreno plano. Se observa homogeneidad del terreno para toma de muestra, se cuenta con suelo bien drenado (Figura 40).



Figura 40. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de maíz (CAMA116).

El punto 65 (CAMA65) corresponde a cultivo de maracuyá. Suelos con labranza convencional. Ubicados en el municipio de Palmira, clima cálido y terreno plano. Se observa homogeneidad del terreno para toma de muestra, se cuenta con suelo bien drenado (Figura 41).



Figura 41. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de maracuyá (CAMA65).

El punto CAMA94 corresponde a cultivo de uva. Suelos con labranza convencional. Ubicados en el municipio de Cerrito, clima templado a 1250 msnm. Se observa homogeneidad del terreno para toma de muestra, se cuenta con suelo bien drenado (Figura 42).



Figura 42. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de uva.

Los puntos CAMA 60, 09,10, 71, 07, 18, 54, 55, 56, 57, 58, 61, 24, 22, 25, 32, 33, 31, 12, 40, 30, 28, 27, 35, 23, 36, 66, 117, 49 son suelos con cobertura de bosque natural secundario intervenido. Se ubican en los municipios de Palmira y Cerrito, clima templado, buen drenaje natural (escorrentía), por encima de 1300 msnm (Figura 3643).



Figura 43. Reconocimiento punto de muestreo en bosque natural secundario intervenido.

En la zona alta de los municipios de Cerrito y Palmira se encuentran variedad de cultivos que se encuentran entre 1300 a 2300 msnm. Los puntos CAMA 39, 14 son suelos con cultivo de arveja, los puntos CAMA 100, 15 con cultivo de cebolla larga, el punto CAMA 17 cultivo de cilantro, CAMA 29 cultivo de frijol calima, CAMA11 cultivo de tomate de árbol, CAMA37 cultivo de cebolla cabezona, CAMA 44 cultivo de lulo, CAMA13 cultivo de café asociado con plátano y CAMA 63 huerta musáceas (banano-plátano). Se ubican en los municipios de Palmira y Cerrito, clima templado, buen drenaje natural (escorrentía), por encima de 1300 msnm (Figura 44).



Figura 44. Reconocimiento punto de muestreo en variedad de cultivos.

En general, de los 117 sitios muestreados, 93 coinciden con la clasificación de cobertura reportada (79%) por CVC para el año 2020, mientras que 24 (equivalente al 21%) presentan cambios de clasificación. Los cambios se presentaron principalmente de superficies naturales a superficies plantadas donde se presentan actividades agrícolas

(Tabla 14. Identificación y coordenadas de los puntos muestreados en la cuenca Amaime. Tabla 15).

Tabla 15. Cambios de cobertura identificados en la cuenca Amaime.

CÓDIGO	COBERTURA REPORTADA	CONVERSIÓN IDENTIFICADA
C-AMA-1	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	23170 - Pasto cultivado
C-AMA-2	35221 - Áreas naturales desnudas	23172 - Pasto cultivado enmalezado
C-AMA-4	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos
C-AMA-5	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	23170 - Pasto cultivado
C-AMA-6	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	23170 - Pasto cultivado
C-AMA-10	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos
C-AMA-11	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	22213 - Tomate de árbol
C-AMA-13	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	22122 - Café-Plátano
C-AMA-14	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	23212 - Arveja
C-AMA-15	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	23113 - Cebolla de rama
C-AMA-17	32210 - Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme	24140 - Misceláneo de cultivos y espacios naturales
C-AMA-20	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos
C-AMA-24	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos
C-AMA-27	32210 - Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme	21130 - Pino
C-AMA-29	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	23241 - Frijol
C-AMA-33	23170 - Pasto cultivado	32210 - Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme
C-AMA-35	21121 - Eucalipto cosechado	21130 - Pino
C-AMA-36	23172 - Pasto cultivado enmalezado	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos
C-AMA-39	23171 - Pasto cultivado arbolado	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos
C-AMA-42	23170 - Pasto cultivado	23172 - Pasto cultivado enmalezado
C-AMA-61	23170 - Pasto cultivado	32210 - Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme
C-AMA-63	23172 - Pasto cultivado enmalezado	24140 - Misceláneo de cultivos y espacios naturales
C-AMA-70	22210 - Otros cultivos arbustivos plantados abiertos	23170 - Pasto cultivado
C-AMA-117	21130 - Pino	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural

Fuente: Elaboración propia.

La localización de los cambios se presenta en la zona alta y media de la cuenca estos sitios, se identifican en la parte alta y baja de cuenca resaltado en amarillo (Figura 36 45).

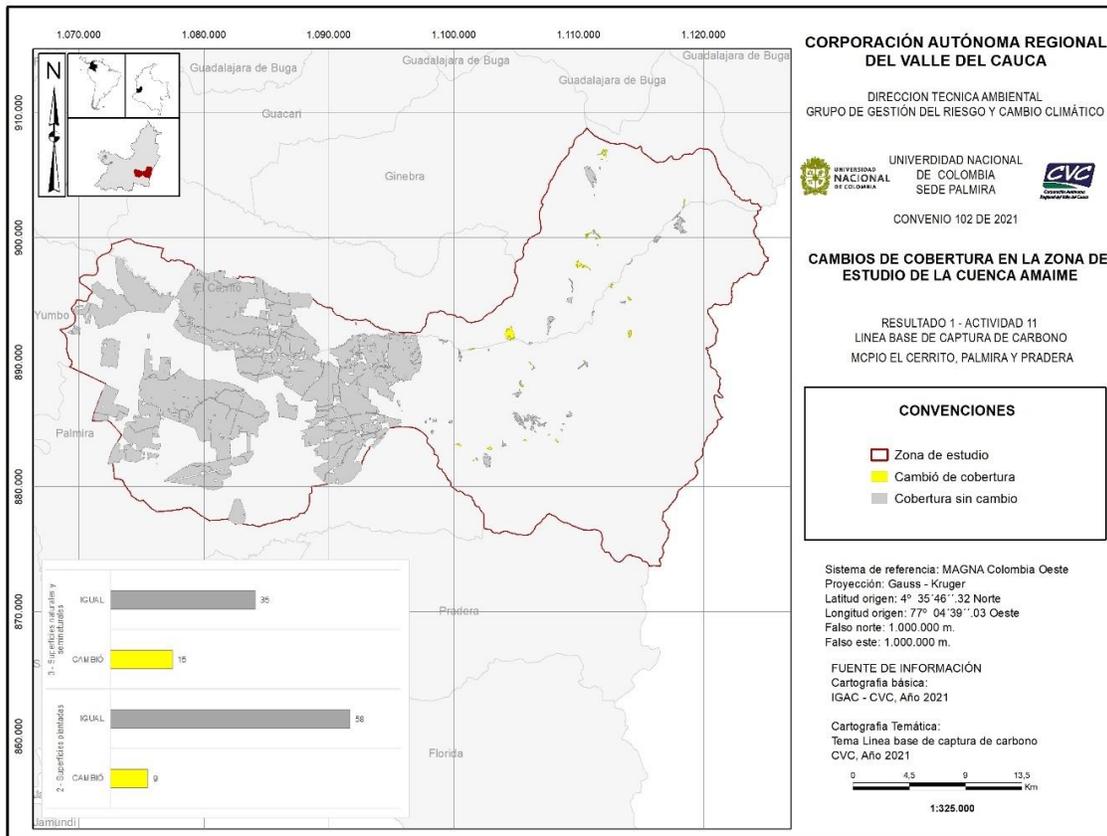


Figura 45. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca Amaime.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

7.2 CUENCA CALI

Se realizaron tres campañas de muestreo en la cuenca Cali, principalmente en la cuenca media y media alta de la cuenca donde se presenta terrenos con pendientes inclinadas y fuertemente inclinadas, en gran medida por ser estas zonas donde se conservan superficies naturales o de vocación agrícola, en comparación con las zonas planas o de pendientes moderadas que ha sufrido procesos de urbanización o asentamientos suburbanos (Figura 46).

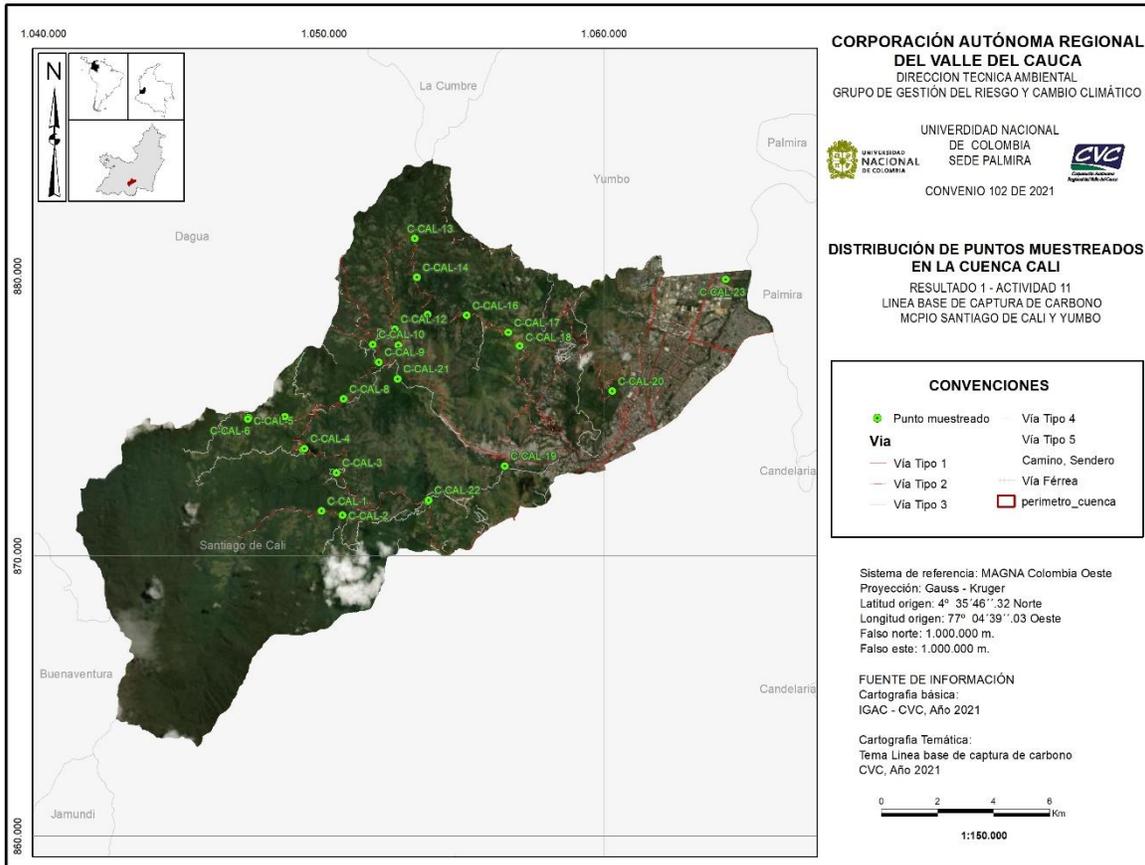


Figura 46. Distribución de puntos muestreados en la cuenca Cali.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 16 se incluye la localización de los 23 puntos muestreados en la Cuenca Cali. 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 Cali.

MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD	MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD
1	C-CAL-1	-76,628351	3,434903	13	C-CAL-13	-76,598366	3,522894
2	C-CAL-2	-76,621552	3,433509	14	C-CAL-14	-76,597679	3,510335
3	C-CAL-3	-76,623514	3,447259	15	C-CAL-15	-76,594257	3,498271
4	C-CAL-4	-76,633847	3,45509	16	C-CAL-16	-76,581724	3,498056
5	C-CAL-5	-76,651989	3,464584	17	C-CAL-17	-76,568304	3,492551
6	C-CAL-6	-76,651707	3,46498	18	C-CAL-18	-76,564541	3,488202
7	C-CAL-7	-76,651977	3,465186	19	C-CAL-19	-76,5694992	3,44938876
8	C-CAL-8	-76,62124	3,471109	20	C-CAL-20	-76,5349761	3,47356077
9	C-CAL-9	-76,609857	3,482942	21	C-CAL-21	-76,603835	3,477561
10	C-CAL-10	-76,611829	3,488712	22	C-CAL-22	-76,593979	3,438385
11	C-CAL-11	-76,603631	3,488443	23	C-CAL-23	-76,498501	3,509629

Fuente: Elaboración propia.

Los puntos 22, 11, 09, 07, 06 y 05 (CCAL22, CCAL11, CCAL09, CCAL07, CCAL06 y CCAL05) corresponde a pastos cultivados. Suelos con uso de ganadería. Ubicados en el municipio de Cali. Se observa homogeneidad del terreno para toma de muestra, se cuenta con suelo bien drenado, labranza cero, clima templado (Figura 47).



Figura 47. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados (CCAL22, CCAL11, CCAL09, CCAL07, CCAL06 y CCAL05).

Los puntos 02 y 16 (CCAL02 y 16), café asociado con árboles. Presenta suelo húmedo, bien drenado, suelos de labranza cero. Ubicado en el municipio de Cali, clima templado y terrenos escarpados (Figura 48).



Figura 48. Reconocimiento punto de muestreo en café asociado con árboles (CCAL02 Y CCAL16).

Los puntos 01, 03, 04, 08, 10,12,13,14,15,17, 18 y 21 (CCAL01, CCAL03, CCAL04, CCAL08, CCAL10, CCAL12, CCAL13, CCAL14, CCAL15, CCAL17, CCAL18 y CCAL21), son suelos con cobertura de bosque natural secundario intervenido. Se ubican en el municipio de Cali, clima templado, buen drenaje natural (escorrentía), por encima de 1600 msnm (Figura 49).



Figura 49. Reconocimiento punto de muestreo en bosque natural secundario intervenido (CCAL01, CCAL03, CCAL04, CCAL08, CCAL10, CCAL12, CCAL13, CCAL14, CCAL15, CCAL17, CCAL18 y CCAL21).

El punto 23 (CCAL23), cultivo de papaya, última cosecha. Ubicado en el municipio de Yumbo, corregimiento de Arroyohondo. Suelos bien drenados, pendiente plana (Figura 50).

Los puntos 19 y 20 (CCAL19 y CCAL20) pertenecen a pastizales en zonas de inclinación fuerte localizados cerca del Zoológico de Cali sobre la parte baja del cerro de las 3 cruces (Figura 51).



Figura 50. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de papaya (CCAL23).



Figura 51. Reconocimiento punto de muestreo CCAL19 Y CCAL20.

De 23 sitios muestreados, 19 coinciden con la clasificación de cobertura reportada (83%) por CVC para el 2015, mientras que 4 (17%) presentan cambios de clasificación (Tabla 17).

Tabla 17. Cambios de cobertura identificados en la cuenca Cali.

CÓDIGO	COBERTURA REPORTADA	CONVERSIÓN IDENTIFICADA
C-CAL-2	23172 - Pasto cultivado enmalezado	21142 - Café-Otros arbóreos
C-CAL-5	32310 - Vegetación secundaria o transición	23170 - Pasto cultivado
C-CAL-6	32310 - Vegetación secundaria o transición	23170 - Pasto cultivado
C-CAL-7	32310 - Vegetación secundaria o transición	23170 - Pasto cultivado

Fuente: Elaboración propia.

Aunque los cambios presentaron en 4 sitios, 3 de ellos coinciden con la misma delimitación de la cobertura, por lo que solo se presentan dos zonas en color amarillo (Figura 4652).

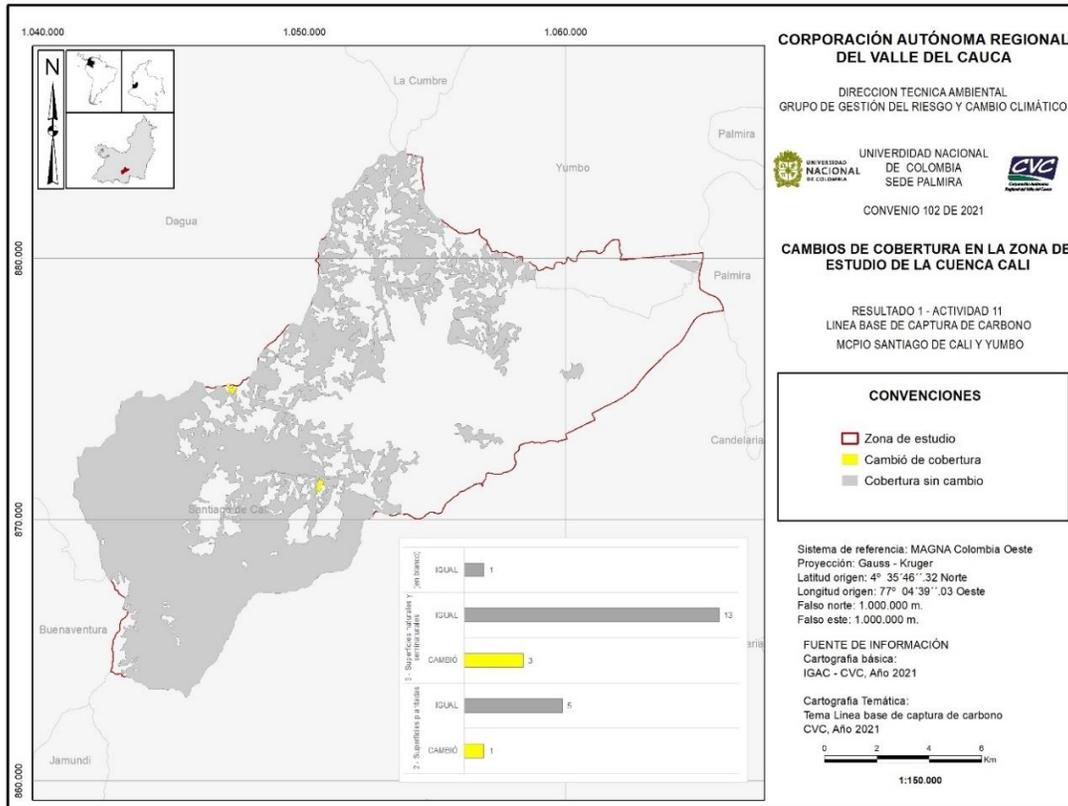


Figura 52. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca Cali.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

7.3 CUENCA GUACHAL

Se desarrollaron nueve campañas de muestreo para la cuenca Guachal abarcando la parte baja, media y parcialmente la parte alta de la cuenca (Figura 53).

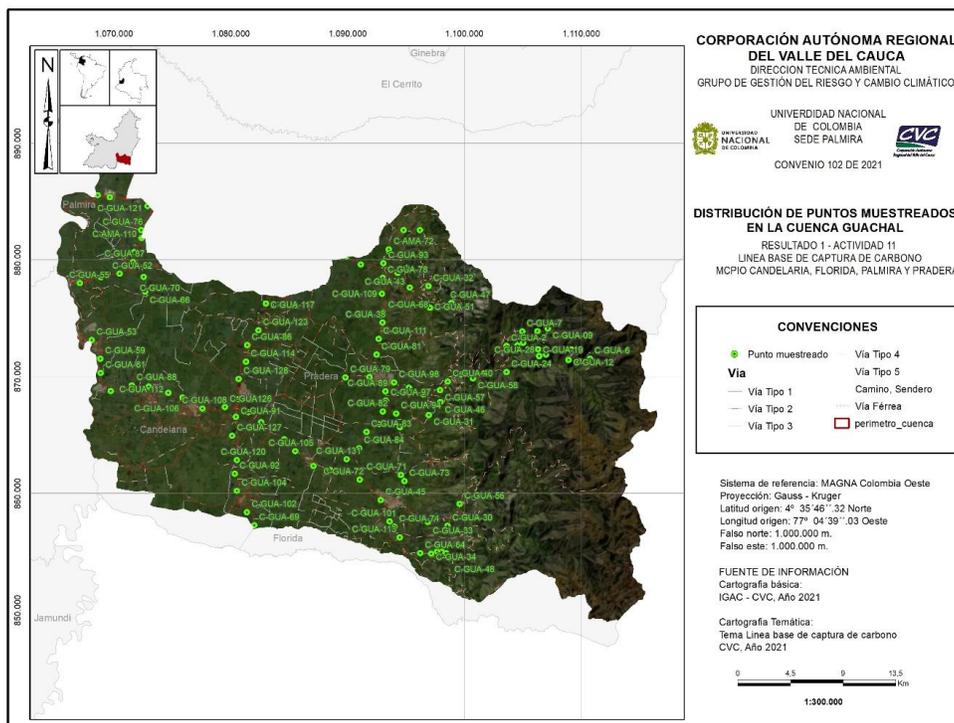


Figura 53. Distribución de puntos muestreados en la cuenca Guachal.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 18 se incluye la localización de los 110 puntos muestreados en la Cuenca Guachal. 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 Guachal.

MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD	MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD
2	C-GUA-2	-76,145314	3,443729	76	C-GUA-76	-76,426619	3,533867
6	C-GUA-6	-76,081103	3,433896	77	C-GUA-77	-76,351386	3,402744
7	C-GUA-7	-76,133217	3,454972	78	C-GUA-78	-76,240518	3,496688
8	C-GUA-08	-76,136799	3,444136	79	C-GUA-79	-76,269343	3,419484
9	C-GUA-09	-76,113448	3,457217	80	C-GUA-80	-76,227358	3,380751
10	C-GUA-10	-76,114785	3,437091	81	C-GUA-81	-76,245251	3,43708
11	C-GUA-11	-76,095403	3,440943	82	C-GUA-82	-76,240679	3,392975
12	C-GUA-12	-76,097398	3,432788	83	C-GUA-83	-76,253162	3,377241
19	C-GUA-19	-76,120971	3,441111	84	C-GUA-84	-76,258846	3,36456
23	C-GUA-23	-76,090014	3,431876	85	C-GUA-85	-76,209203	3,40627
24	C-GUA-24	-76,14523	3,42342	86	C-GUA-86	-76,3451	3,444617
25	C-GUA-25	-76,132534	3,446258	87	C-GUA-87	-76,433053	3,509208
26	C-GUA126	-76,362192	3,396659	88	C-GUA-88	-76,433843	3,413342
27	C-GUA-27	-76,121413	3,455174	89	C-GUA-89	-76,238616	3,408568

MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD	MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD
28	C-GUA-28	-76,120016	3,435915	90	C-GUA-90	-76,220559	3,411418
30	C-GUA-30	-76,190824	3,304342	91	C-GUA-91	-76,353769	3,388993
31	C-GUA-31	-76,205119	3,390344	92	C-GUA-92	-76,354601	3,344907
32	C-GUA-32	-76,205327	3,490136	93	C-GUA-93	-76,240021	3,507821
33	C-GUA-33	-76,205879	3,307445	94	C-GUA-94	-76,23022	3,391403
34	C-GUA-34	-76,20344	3,282862	95	C-GUA-95	-76,162449	3,422612
35	C-GUA-35	-76,224538	3,533593	96	C-GUA-96	-76,235651	3,517045
38	C-GUA-38	-76,240859	3,462063	97	C-GUA-97	-76,238252	3,401591
39	C-GUA-39	-76,222451	3,50425	98	C-GUA-98	-76,231821	3,41564
40	C-GUA-40	-76,190428	3,416199	99	C-GUA-99	-76,281221	3,347907
42	C-GUA-42	-76,180104	3,421749	100	C-GUA-100	-76,269572	3,346426
43	C-GUA-43	-76,219766	3,489003	101	C-GUA-101	-76,235389	3,307909
44	C-GUA-44	-76,191984	3,283256	102	C-GUA-102	-76,345337	3,315123
45	C-GUA-45	-76,242206	3,324429	103	C-GUA-103	-76,294136	3,350834
46	C-GUA-46	-76,19635	3,400314	104	C-GUA-104	-76,353114	3,331584
47	C-GUA-47	-76,187662	3,477076	105	C-GUA-105	-76,308139	3,362315
48	C-GUA-48	-76,189178	3,279313	106	C-GUA-106	-76,39489	3,404015
50	C-GUA-50	-76,211862	3,533612	107	C-GUA-107	-76,316599	3,371425
51	C-GUA-51	-76,204274	3,47352	108	C-GUA-108	-76,379498	3,395548
52	C-GUA-52	-76,452625	3,499776	109	C-GUA-109	-76,241214	3,484314
53	C-GUA-53	-76,464759	3,448614	110	C-GUA-110	-76,257356	3,507098
54	C-GUA-54	-76,229157	3,500284	111	C-GUA-111	-76,24384	3,449253
55	C-GUA-55	-76,473885	3,492608	112	C-GUA-112	-76,405767	3,40763
56	C-GUA-56	-76,181483	3,321295	113	C-GUA-113	-76,227757	3,295476
57	C-GUA-57	-76,19651	3,409637	114	C-GUA-114	-76,345882	3,431811
58	C-GUA-58	-76,171048	3,41882	115	C-GUA-115	-76,4502	3,409088
59	C-GUA-59	-76,458084	3,434041	116	C-GUA-116	-76,443221	3,500082
60	C-GUA-60	-76,460029	3,560886	117	C-GUA-117	-76,330693	3,47678
61	C-GUA-61	-76,457881	3,423155	118	C-GUA-118	-76,420897	3,412384
64	C-GUA-64	-76,211777	3,283227	119	C-GUA-119	-76,431986	3,516741
65	C-GUA-65	-76,421747	3,552468	120	C-GUA-120	-76,352976	3,355503
66	C-GUA-66	-76,423695	3,486013	121	C-GUA-121	-76,450775	3,559342
67	C-GUA-67	-76,198922	3,284309	122	C-GUA-122	-76,334392	3,384756
68	C-GUA-68	-76,239957	3,469439	123	C-GUA-123	-76,3364	3,456012
69	C-GUA-69	-76,339541	3,304831	124	C-GUA-124	-76,250859	3,419796
70	C-GUA-70	-76,424668	3,497497	125	C-GUA-125	-76,344117	3,392624
71	C-GUA-71	-76,226583	3,343898	127	C-GUA-127	-76,356656	3,374349
72	C-GUA-72	-76,258487	3,340276	128	C-GUA-128	-76,351657	3,418432
73	C-GUA-73	-76,223864	3,339014	129	C-GUA-129	-76,209252	3,40634
74	C-GUA-74	-76,231719	3,303773	130	C-GUA-130	-76,243611	3,383145
75	C-GUA-75	-76,195102	3,284132	131	C-GUA-131	-76,268515	3,356006

Fuente: Elaboración propia.

Los puntos CGUA52, CGUA55, CGUA60, CGUA65, CGUA66, CGUA70, CGUA76, CGUA116, CGUA119, CGUA69, CGUA77, CGUA86, CGUA91, CGUA92, CGUA102,

CGUA104, CGUA107, CGUA114, CGUA117, CGUA120, CGUA122, CGUA123, CGUA125, CGUA127, CGUA128, CGUA59, CGUA115, CGUA88, CGUA118, CGUA112, CGUA106, CGUA126, CGUA105, CGUA103, CGUA99, CGUA100, CGUA72, CGUA101, CGUA113, CGUA110, CGUA109, CGUA111, CGUA81, CGUA79, CGUA124, CGUA90, CGUA98, CGUA94, CGUA80, CGUA71, CGUA73, CGUA84, CGUA83, CGUA130, CGUA82, CGUA74, CGUA131, CGUA96 corresponden a cultivo de caña de azúcar. Suelos con labranza convencional. Ubicados en los municipios de Palmira, Candelaria, Pradera y Florida entre 940 a 1100 msnm, clima cálido y terreno plano. Se observa homogeneidad del terreno para toma de muestra, se cuenta con suelo bien drenado (Figura 54).



Figura 54. Reconocimiento punto de muestreo en caña de azúcar.

Los puntos CGUA087, CGUA121, CGUA54, CGUA43, CGUA51, CGUA27, CGUA11, CGUA12, CGUA23, CGUA06, CGUA57, CGUA95, CGUA38, CGUA45, CGUA68, CGUA53, CGUA61, CGUA78, CGUA93, corresponde a pastos cultivados. Suelos con uso de ganadería. Ubicados en los municipios de Palmira y Pradera a más de 940 msnm, clima cálido a templado y terreno plano a escarpado. Se observa homogeneidad del terreno para toma de muestra, se cuenta con suelo bien drenado (Figura 5355).



Figura 55. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados.

Fuente: Elaboración propia.

Los puntos CGUA39, CGUA47, CGUA32, CGUA07, CGUA08, CGUA28, CGUA10, CGUA19, CGUA24, CGUA31, CGUA40, CGUA46, CGUA30, CGUA33, CGUA 50, son suelos con cobertura de bosque natural secundario intervenido. Se ubican en los municipios de Pradera y Florida, clima templado, buen drenaje natural (escorrentía), por encima de 1300 msnm (Figura 56).



Figura 56. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados.
 Fuente: Elaboración propia.

Los puntos CGUA108, CGUA56, CGUA 67 son suelos con cultivo de plátano asociado con cítricos, bijao y yuca, ubicado en los municipios de Palmira, Candelaria y Florida, entre 1000 a 1400 msnm. Se cuenta con suelo bien drenado, labranza mínima (Figura 537).



Figura 57. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos de plátano.
 Fuente: Elaboración propia.

Los puntos CGUA42, CGUA129, CGUA85, CGUA35, CGUA44, CGUA48, CGUA34 son suelos con cultivo de cítricos ubicado en los municipios de Palmira y Pradera, entre 1200 a 1400 msnm. Se cuenta con suelo bien drenado, labranza mínima (Figura 538).



Figura 58. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos de cítricos.
 Fuente: Elaboración propia.

Los puntos CGUA89, CGUA58, CGUA97 son suelos con cultivo de maíz ubicado en el municipio de Pradera, entre 1000 a 1200 msnm. Se cuenta con suelo bien drenado, labranza mínima (Figura 539).



Figura 59. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos de maíz.

El punto CGUA25 cultivo de frijol ubicado en el municipio de Pradera, a 1900 msnm. Se cuenta con suelo bien drenado, labranza mínima (Figura 5360).



Figura 60. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos de frijol.
Fuente: Elaboración propia.

El punto CGUA09 cultivo de cebolla larga ubicado en el municipio de Pradera, a 1800 msnm. Se cuenta con suelo bien drenado, labranza mínima (Figura 5361).



Figura 61. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos de cebolla larga.
Fuente: Elaboración propia.

Los puntos CGUA75, CGUA64 son suelos con cultivo de mango TOMMY ubicado en el municipio de Florida, entre 1000 a 1200 msnm. Se cuenta con suelo bien drenado, labranza mínima (Figura 5362).



Figura 62. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos de mango.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, de los 131 sitios muestreados, 102 corresponden (78%) a la clasificación de cobertura reportada por la CVC en el año 2019, mientras que 29 sitios (22%) presentan cambios de clasificación. Los cambios se presentaron en superficies plantadas donde se presentan actividades agrícolas, pasando de un cultivo a otro, mientras las superficies naturales cambiaron de vegetación secundaria a vegetación más robusta y densa (Tabla 19).

Tabla 19. Cambios de cobertura identificados en la cuenca Guachal.

CÓDIGO	COBERTURA REPORTADA	COBERTURA IDENTIFICADA
CGUA-1	22131 - Cacao	21112 - Aguacate
C-GUA-5	23170 - Pasto cultivado	23231 - Maracuyá
C-GUA-8	32310 - Vegetación secundaria o transición	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural
C-GUA-11	32310 - Vegetación secundaria o transición	23170 - Pasto cultivado
C-GUA-12	32310 - Vegetación secundaria o transición	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos
C-GUA-16	32310 - Vegetación secundaria o transición	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural
C-GUA-19	32310 - Vegetación secundaria o transición	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural
C-GUA-21	32310 - Vegetación secundaria o transición	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural
C-GUA-25	23172 - Pasto cultivado enmalezado	23241 - Frijol
C-GUA-26	22171 - Caña de azúcar	21114 - Guayabo
C-GUA-28	23170 - Pasto cultivado	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos
C-GUA-29	22171 - Caña de azúcar	21221 - Misceláneo de árboles frutales

CÓDIGO	COBERTURA REPORTADA	COBERTURA IDENTIFICADA
C-GUA-34	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	23221 - Habichuela
C-GUA-37	35221 - Áreas naturales desnudas	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos
C-GUA-42	23170 - Pasto cultivado	21230 - Misceláneo de Cítricos
C-GUA-43	23170 - Pasto cultivado	23172 - Pasto cultivado enmalezado
C-GUA-44	22131 - Cacao	21230 - Misceláneo de Cítricos
C-GUA-46	32310 - Vegetación secundaria o transición	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural
C-GUA-47	32310 - Vegetación secundaria o transición	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural
C-GUA-49	22131 - Cacao	21233 - Mandarino
C-GUA-50	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural
C-GUA-58	23170 - Pasto cultivado	22181- Maíz
C-GUA-62	32310 - Vegetación secundaria o transición	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural
C-GUA-64	22171 - Caña de azúcar	21116 - Mango
C-GUA-89	22171 - Caña de azúcar	22181- Maíz
C-GUA-90	23161 - Pasto de corte	23170 - Pasto cultivado
C-GUA-97	24110 - Otras asociaciones de cultivos	22181- Maíz
C-GUA-108	23413 - Cultivos ornamentales en invernadero	22113 - Plátano
C-GUA-130	23115 - Piña	22171 - Caña de azúcar

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la localización de estos sitios, se identifican en la parte alta de la cuenca resaltado en amarillo (Figura 653).

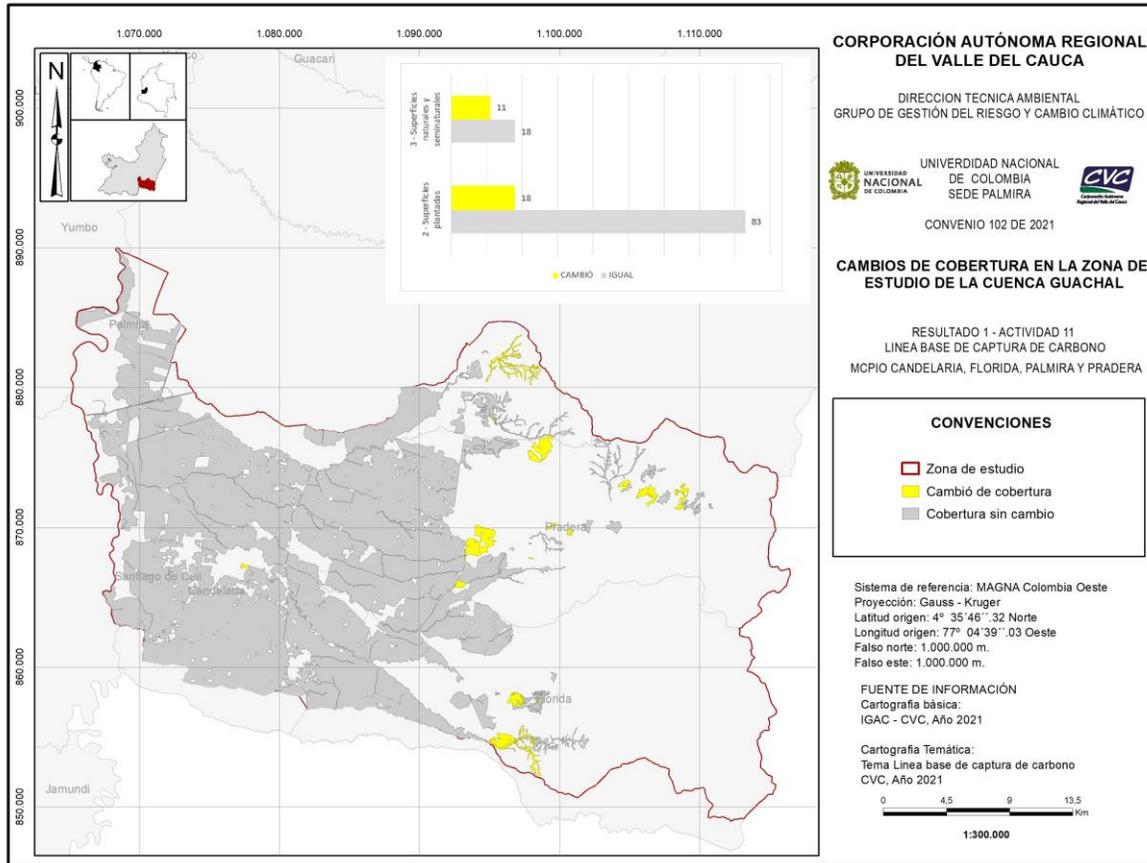


Figura 63. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca Guachal.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

7.4 CUENCA SONSO

Las dos primeras campañas de muestreo se realizaron en la cuenca Sonso. El recorrido se llevó a cabo desde la parte alta hasta la parte plana con el acompañamiento sobre la parte alta del funcionario de la DAR. La tercera campaña se desarrolló en la parte plana de cuenca para completar el total de 17 sitios de muestreo identificados (Figura 64).

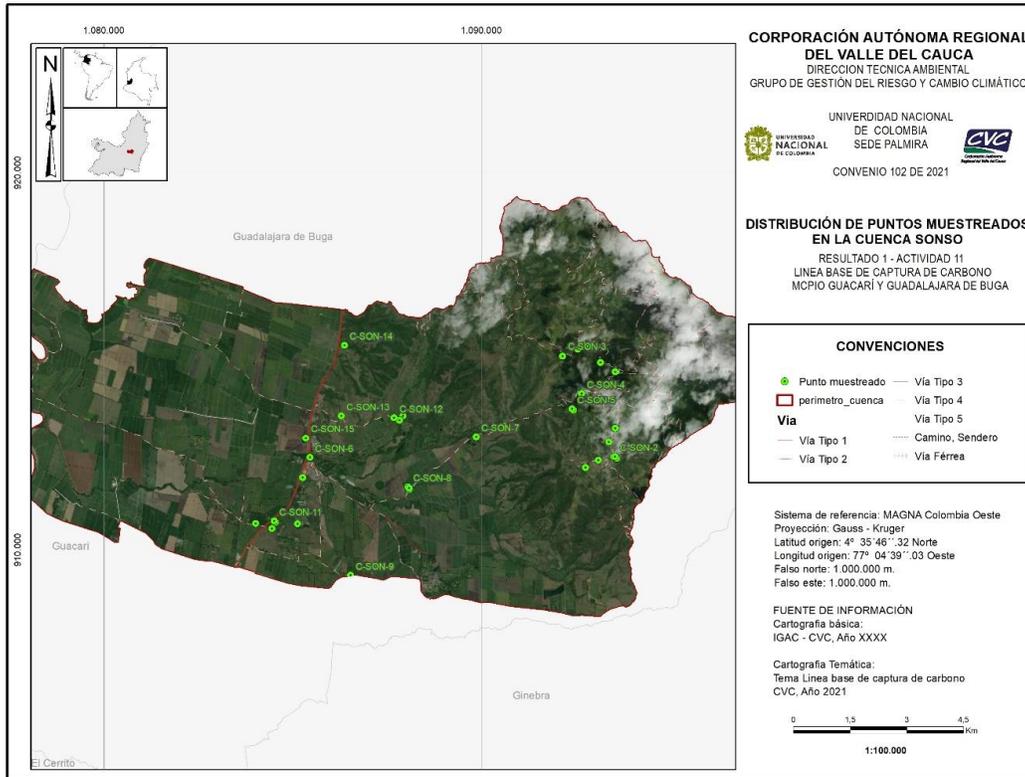


Figura 64. Distribución de puntos muestreados en la zona de estudio en la cuenca Sonso.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 20 se incluye la localización de los 17 puntos muestreados en la Cuenca Sonso. 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 zona de estudio de la cuenca Sonso.

MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD	MUESTRA	ID	LONGITUD	LATITUD
1	C-SON-1	-76,242452	3,801581	10	C-SON-10	-76,317227	3,787027
2	C-SON-2	-76,235465	3,804213	11	C-SON-11	-76,316695	3,788858
3	C-SON-3	-76,247832	3,828482	12	C-SON-12	-76,288077	3,813569
4	C-SON-4	-76,243339	3,819345	13	C-SON-13	-76,300664	3,814035
5	C-SON-5	-76,245683	3,815645	14	C-SON-14	-76,299929	3,83103
6	C-SON-6	-76,308204	3,804077	15	C-SON-15	-76,309168	3,808784
7	C-SON-7	-76,268504	3,808979	16	C-SON-16	-76,321149	3,788241
8	C-SON-8	-76,284771	3,796983	17	C-SON-17	-76,311164	3,788149
9	C-SON-9	-76,298534	3,775808				

Fuente: Elaboración propia.

El primer punto (CSON01) corresponde al cultivo de café, ubicado en el municipio de Guacarí, alto de Julia, a 1608 msnm, edad del cultivo mayor a 5 años. Se observa homogeneidad del terreno para toma de muestra, se cuenta con suelo bien drenado, terreno escarpado, labranza cero. Clima templado (Figura 65).



Figura 65. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de café (CSON01).

Fuente: Elaboración propia.

Punto dos (CSON002), cultivo de plátano asociado con árboles de aguacate, ubicado en el municipio de Guacarí, corregimiento alto de Julia, a 1603 msnm edad de cultivo mayor a 5 años. Se observa homogeneidad del terreno, se cuenta con suelo bien drenado, labranza mínima, terreno fuertemente quebrado, clima templado (Figura 65).



Figura 66. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de plátano (CSON02).

Fuente: Elaboración propia.

El punto 3 (CSON03) se encuentra con pastos cultivados, cultivo mayor a 5 años de edad. Ubicado en el municipio de Guacarí, corregimiento Alto de Guacas, a 1454 msnm, terreno fuertemente quebrado y clima templado. Suelos bien drenados, labranza cero, aplicación de Materia orgánica (origen animal) (Figura 657).



Figura 67. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados (CSON03).

Fuente: Elaboración propia.

El punto 4 (CSON04), se encuentra con cultivo de café asociado con plátano más de 20 años edad de cultivo. Ubicado en el municipio de Guacarí, corregimiento de Santa Rosa de Tapias, a 1317 msnm, terreno fuertemente inclinado y clima templado. Suelos bien drenados, labranza mínima, aplicación de Materia orgánica (origen animal) y fertilizante inorgánico (NPK) (Figura 658).



Figura 68. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de café asociado con plátano (CSON04).

Fuente: Elaboración propia.

El Punto 5 (CSON05), Bosque natural secundario intervenido, protegido por la CVC. Ubicado en el municipio de Guacarí, corregimiento Alto de Julia, a 1332 msnm, terreno fuertemente quebrado y clima templado. Este punto se encuentra cerca de un río, se observa quema y tumba de la vegetación. Suelos de conservación (Figura 659).



Figura 69. Reconocimiento punto de muestreo en bosque natural secundario intervenido (CSON05).

Fuente: Elaboración propia.

El Punto 7(CSON07) se encuentra en pastos cultivados, más de 5 años edad de cultivo. Ubicado en el municipio de Guacarí, corregimiento Sonso, a 1094 msnm, terreno ligeramente inclinado y clima cálido. Suelos de uso ganadería (Figura 6570).



Figura 70. Reconocimiento punto de muestreo en pastos cultivados (CSON07).

Fuente: Elaboración propia.

El punto 8 (CSON08), se encuentra cultivado con caña de azúcar (monocultivo). Ubicado en el municipio de Guacarí, corregimiento Sonso, a 1016 msnm, terreno ligeramente

inclinado y clima cálido. Suelos con manejo de labranza convencional (mecanizado), suelo húmedo.

El Punto 12 y 13 (CSON12 y CSON13) se encuentra en pastos cultivados, más de 5 años edad de cultivo. Ubicado en el municipio de Buga, corregimiento El Vínculo, a 1050 y 1019 msnm respectivamente, terreno fuertemente inclinado y clima cálido. Suelos de uso ganadería. Se tomó en el punto 13 densidad aparente a diferentes profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm.

La segunda campaña de muestreo, correspondiente al 22 de octubre, se realizó la planeación del recorrido con el tecnólogo encargado de manejar el aplicativo Qfield.

El punto 06 (CSON06), se encuentra con bosque secundario intervenido, cerca de una quebrada, suelo con buen drenaje, presenta arena después de 25 cm de profundidad. Se tomó densidad aparente a diferentes profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm. Suelo seco. Ubicado en el municipio de Guacarí, corregimiento Sonso, a 980 msnm, terreno plano y clima cálido. Suelos de conservación (Figura 6571).



Figura 71. Reconocimiento punto de muestreo en bosque secundario intervenido (CSON06).

Fuente: Elaboración propia.

El punto 09 (CSON09), se tomó la muestra de suelo en cultivo de caña de azúcar del ingenio Pichichí. Ubicado en el municipio de Guacarí, corregimiento Sonso, a 1018 msnm, terreno plano y clima cálido. Suelos con manejo de labranza convencional (mecanizado). Para medición de densidad aparente se tomaron cilindros a diferentes profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm. Suelo húmedo, compactado.

El punto 10 (CSON10), cultivo caña de azúcar, suelo húmedo, compactado, suelos con manejo de labranza convencional (mecanizado). Ubicado en el municipio de Guacarí, corregimiento Sonso, a 978 msnm, terreno plano y clima cálido.

El punto 16 (CSON16), cultivo de caña de azúcar. Suelo húmedo, compactado, labranza convencional (mecanizado). Ubicado en el municipio de Guacarí, corregimiento Sonso, a 954 msnm, terreno plano y clima cálido (Figura 6572).



Figura 72. Reconocimiento punto de muestreo en cultivo de caña de azúcar CSON16.

Fuente: Elaboración propia.

El punto 11 (CSON11), Cultivo de tomate, pequeño agricultor, rotación de cultivo con maíz, labranza convencional (maquinaria pequeña). suelo relativamente húmedo. Ubicado en el municipio de Guacarí, corregimiento Sonso, a 987 msnm, terreno plano y clima cálido (Figura 6573).



Figura 73. Reconocimiento punto de muestreo en cultivos de tomate y maíz (CSON11).

Fuente: Elaboración propia.

El punto 14 (CSON14), cobertura matorral y arbustivo, arborizado, suelo húmedo, bien drenado, suelos de conservación. Ubicado en el municipio de Buga, corregimiento El Vínculo, a 1019 msnm, terreno plano y clima cálido (Figura 6574).



Figura 74. Reconocimiento punto de muestreo en matorral y arbustivo, arborizado (CSON14).

Fuente: Elaboración propia.

El punto 15 (CSON15), cultivo de maíz, labranza convencional (suelo mecanizado), compactado, suelo húmedo. Se tomó densidad aparente a diferentes profundidades: 0-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm. Ubicado en el municipio de Buga, corregimiento El Vínculo, a 975 msnm, terreno plano y clima cálido.

El punto 18 (CSON18), se observa en campo suelo con pasto cultivado, uso ganadería, aledaño a una porqueriza. Suelo con buen drenaje. Ubicado en el municipio de Guacarí, corregimiento Sonso, a 1100 msnm, terreno plano y clima cálido (Figura 65).



Figura 75. Reconocimiento punto de muestreo en pasto cultivado (CSON18).

Fuente: Elaboración propia.

El punto 17 (CSON17) se trasladado hacia otra cobertura de interés de la cuenca Guachal, ya que el sitio no presentaba cobertura de referencia al momento de la verificación.

Finalmente, de los 17 sitios muestreados, 13 corresponden (76%) a la clasificación de cobertura reportada por la CVC en el año 2017, mientras que 4 sitios (24%) presentan

cambios de clasificación. Los cambios se presentaron en superficies plantadas donde se presentan actividades agrícolas, pasando de Otros cultivos herbáceos plantados densos a Café (3,5 ha), de Café-Plátano a Plátano (48,2 ha) y de Caña de azúcar a Tomate (12,7 ha) (Tabla 21).

Tabla 21. Cambios de cobertura identificados en la cuenca Sonso.

CÓDIGO	COBERTURA REPORTADA	COBERTURA IDENTIFICADA
C-SON-1	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	22121 - Café
C-SON-2	22122 - Café-Plátano	22113 - Plátano
C-SON-11	22171 - Caña de azúcar	23218 - Tomate
C-SON-23	25210 - Áreas de cultivo con suelo desnudo	23170 - Pasto cultivado

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la localización de estos sitios, se identifican en la parte alta y baja de cuenca resaltado en amarillo (Figura 65).

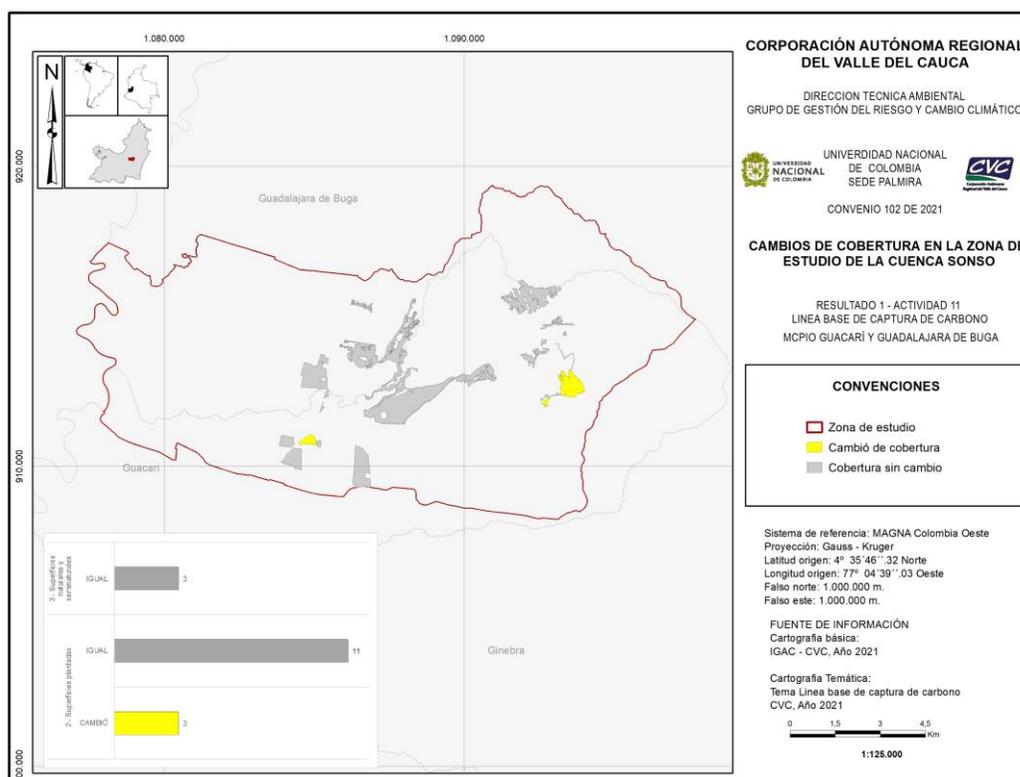


Figura 76. Identificación de cambios de cobertura en la cuenca sonso.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de GeoCVC.

8. 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 zonas de estudio al interior de las cuencas de interés, denominado por la Corporación “Estudio de Línea Base de Almacenamiento de Carbono”. Se emplearon técnicas de mapeo digital de suelo y correlación de covariables formadoras de suelo bajo análisis de modelos de regresión lineal múltiple y Kriging con procesos de validación de regresión.

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 en la fracción fina. 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 almacenados en la fracción fina del suelo (línea base de almacenamiento de carbono en suelos), 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 2021.

8.1 LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA AMAIME

La determinación de la línea base de almacenamiento de carbono en suelos de la cuenca Amaime 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. Al final de este ítem se presenta el análisis del almacenamiento de carbono para los suelos muestreados en esta cuenca.

8.1.1 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 Amaime predominan las clases texturales Francos (F), suelos de textura equilibrada entre los diferentes tamaños de partículas, con menor presencia de suelos pesados de partículas más finas (Ar, FL, ArA). De acuerdo con la Figura 77, 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.

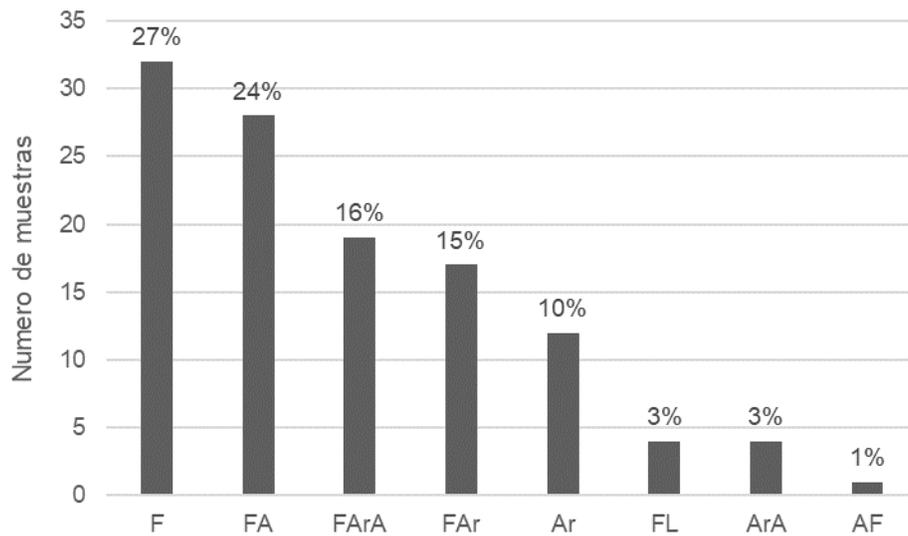


Figura 77. Texturas en la cuenca Amaime.
 Fuente: Elaboración propia.

Estabilidad de agregados

De acuerdo con la Figura 78, la distribución de los agregados del suelo presenta una tímida tendencia hacia las partículas más finas, menores a 0,25 mm de diámetro, donde el porcentaje promedio es cercano al 23% mientras que los demás diámetros oscilan entre

10 y 17%, sin embargo este mismo diámetro (menores a 0,25mm) presenta la mayor variabilidad en el contenido de agregados, al igual que el diámetro superior (mayor a 4mm), 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.

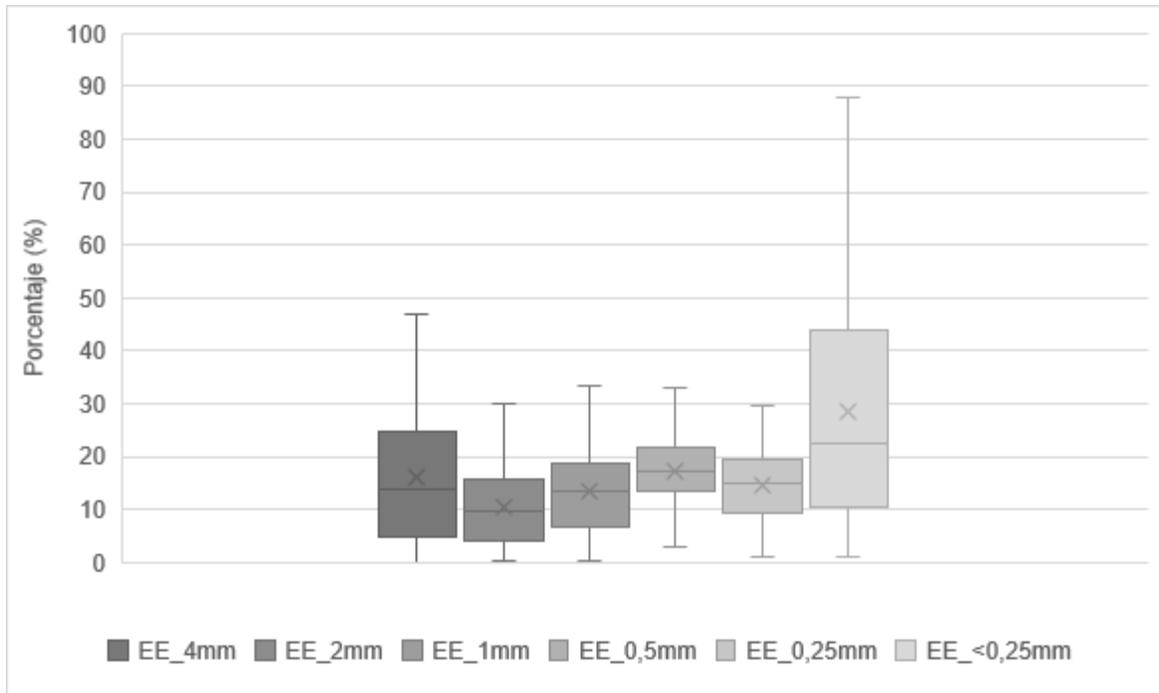


Figura 78. Distribución de agregados en la cuenca Amaime.

Fuente: Elaboración propia.

Índice de estabilidad

Según el índice, los puntos muestreados en la cuenca concentran un panorama de distribución equilibrada en donde el 35% de los sitios evaluados se consideran suelo degradados ($IE < 5$), el 27% en alto riesgo de degradación (IE en el rango de 5-7) y el 38% presentó características de estructura estable ($IE > 9$) o sin degradación. 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 equilibradas), 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 79).

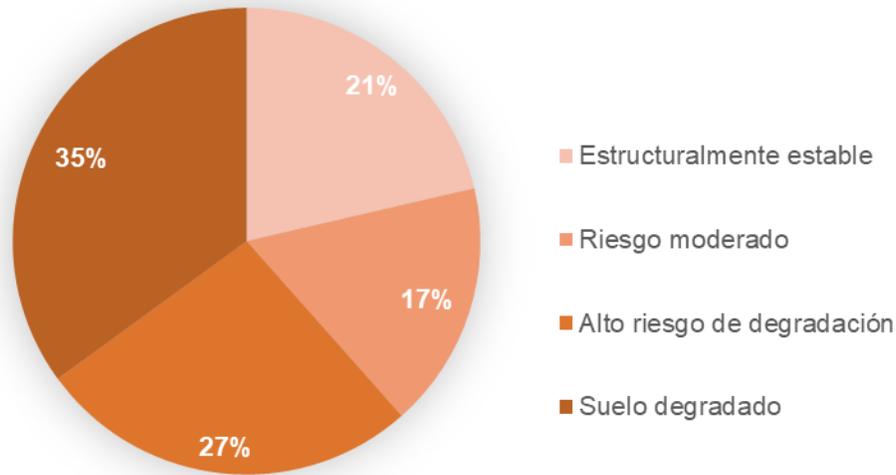


Figura 79. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca Amaime.

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-GUA-23 y C-GUA-27) 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 Amaime.

CÓDIGO MUESTRA	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	TEXTURA	DA (g/cm ³)
C-AMA-1	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	4,9	3,1	FL	0,53
C-AMA-2	35221 - Áreas naturales desnudas	11,0	3,0	F	1,22
C-AMA-3	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	9,7	2,3	FA	1,41
C-AMA-4	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	3,9	3,8	FA	0,35
C-AMA-5	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	7,2	4,0	FA	0,60
C-AMA-6	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	8,9	4,4	FA	0,67
C-AMA-7	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	26,9	5,4	FA	1,67
C-AMA-8	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	6,8	2,6	F	0,86
C-AMA-9	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	30,6	5,9	F	1,72
C-AMA-10	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	14,0	3,3	FARa	1,42
C-AMA-11	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	18,6	4,9	F	1,27
C-AMA-12	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	20,6	4,6	FA	1,49
C-AMA-13	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	19,2	4,2	FARa	1,51
C-AMA-14	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	20,1	4,2	F	1,61
C-AMA-15	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	12,8	3,8	F	1,13
C-AMA-16	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	11,4	2,7	FA	1,41
C-AMA-17	32210 - Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme	10,2	2,1	F	1,63
C-AMA-18	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	7,8	2,6	F	0,98
C-AMA-19	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	13,2	3,7	F	1,20
C-AMA-20	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	19,0	5,0	F	1,28
C-AMA-21	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	11,5	3,6	FA	1,08
C-AMA-22	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	11,3	3,6	FA	1,04
C-AMA-23	32210 - Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme	10,8	3,9	FARa	0,92
C-AMA-24	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	10,9	3,0	FA	1,21
C-AMA-25	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	7,6	4,8	F	0,52
C-AMA-26	32310 - Vegetación secundaria o transición	10,1	3,3	F	1,02
C-AMA-27	32210 - Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme	11,5	3,7	FL	1,03

CÓDIGO MUESTRA	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	TEXTURA	DA (g/cm ³)
C-AMA-28	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	10,0	3,2	F	1,06
C-AMA-29	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	10,0	2,4	FA	1,39
C-AMA-30	32111 - Arbustal y matorral denso bajo de tierra firme	6,0	4,4	FA	0,46
C-AMA-31	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	11,9	6,7	F	0,59
C-AMA-32	31351 - Bosque mixto relictual	14,7	4,5	FA	1,10
C-AMA-33	23170 - Pasto cultivado	10,4	3,8	F	0,91
C-AMA-34	23170 - Pasto cultivado	6,8	1,7	F	1,31
C-AMA-35	21121 - Eucalipto cosechado	9,9	2,4	F	1,37
C-AMA-36	23172 - Pasto cultivado enmalezado	10,7	4,1	F	0,86
C-AMA-37	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	8,1	2,0	F	1,34
C-AMA-38	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	4,6	1,5	F	1,01
C-AMA-39	23171 - Pasto cultivado arbolado	7,4	1,6	F	1,50
C-AMA-40	23170 - Pasto cultivado	15,2	3,7	FA	1,36
C-AMA-41	23171 - Pasto cultivado arbolado	11,5	2,8	FA	1,38
C-AMA-42	23170 - Pasto cultivado	5,9	1,7	FA	1,17
C-AMA-43	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	11,3	2,4	F	1,56
C-AMA-44	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	13,2	3,0	FArA	1,48
C-AMA-45	23170 - Pasto cultivado	6,8	2,5	FA	0,91
C-AMA-46	23170 - Pasto cultivado	7,7	3,0	FA	0,85
C-AMA-47	33130 - Helechal	16,1	5,3	Ar	1,01
C-AMA-48	35221 - Áreas naturales desnudas	8,6	2,7	FArA	1,06
C-AMA-49	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	10,8	2,9	FArA	1,23
C-AMA-50	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	9,3	2,5	Ar	1,22
C-AMA-51	23170 - Pasto cultivado	14,2	3,1	FArA	1,51
C-AMA-52	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	13,9	3,5	FAr	1,31
C-AMA-53	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	10,4	2,3	FAr	1,54
C-AMA-54	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	8,8	2,7	FAr	1,09
C-AMA-55	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	14,5	2,8	AF	1,73
C-AMA-56	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	16,5	3,4	FArA	1,62
C-AMA-57	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	11,7	2,4	FA	1,65
C-AMA-58	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	10,0	2,6	FA	1,28

CÓDIGO MUESTRA	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	TEXTURA	DA (g/cm ³)
C-AMA-59	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	7,1	1,6	FA	1,46
C-AMA-60	31352 - Bosque de guadua	9,8	2,5	FA	1,30
C-AMA-61	23170 - Pasto cultivado	16,9	3,9	FARa	1,43
C-AMA-64	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	9,8	4,9	FAR	0,67
C-AMA-62	23170 - Pasto cultivado	22,9	4,9	FA	1,55
C-AMA-65	22171 - Caña de azúcar	16,6	4,5	FARa	1,22
C-AMA-63	23172 - Pasto cultivado enmalezado	22,9	4,9	FA	1,55
C-AMA-66	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	16,8	4,9	F	1,14
C-AMA-67	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	9,3	2,8	Ar	1,10
C-AMA-68	22171 - Caña de azúcar	22,5	5,4	Ar	1,40
C-AMA-69	22171 - Caña de azúcar	7,7	2,0	F	1,31
C-AMA-70	22210 - Otros cultivos arbustivos plantados abiertos	12,2	4,8	FAR	0,84
C-AMA-71	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	23,6	4,9	FARa	1,61
C-AMA-72	31352 - Bosque de guadua	16,1	4,0	FAR	1,35
C-AMA-73	32210 - Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme	18,0	4,3	FA	1,41
C-AMA-74	22171 - Caña de azúcar	15,2	3,2	Ar	1,58
C-AMA-75	22171 - Caña de azúcar	21,0	5,0	ARa	1,39
C-AMA-76	22171 - Caña de azúcar	24,0	5,1	FAR	1,56
C-AMA-77	22171 - Caña de azúcar	9,4	2,2	FAR	1,40
C-AMA-78	22171 - Caña de azúcar	11,0	3,0	FARa	1,21
C-AMA-79	22171 - Caña de azúcar	32,2	7,9	Ar	1,35
C-AMA-80	22171 - Caña de azúcar	21,5	5,3	Ar	1,34
C-AMA-81	22171 - Caña de azúcar	23,4	5,7	FAR	1,38
C-AMA-82	22171 - Caña de azúcar	35,6	7,9	FARa	1,50
C-AMA-83	22171 - Caña de azúcar	6,6	1,4	FAR	1,58
C-AMA-84	22171 - Caña de azúcar	33,7	9,1	ARa	1,24
C-AMA-85	22171 - Caña de azúcar	43,1	9,8	Ar	1,47
C-AMA-86	22171 - Caña de azúcar	11,2	2,5	FA	1,51
C-AMA-87	23170 - Pasto cultivado	15,1	3,8	Ar	1,31
C-AMA-88	22171 - Caña de azúcar	32,7	8,7	FA	1,25
C-AMA-89	23170 - Pasto cultivado	14,7	3,6	F	1,35
C-AMA-90	22171 - Caña de azúcar	23,1	5,3	FARa	1,45
C-AMA-91	22171 - Caña de azúcar	20,0	4,7	Ar	1,41
C-AMA-92	22171 - Caña de azúcar	22,7	5,2	FAR	1,46
C-AMA-93	22171 - Caña de azúcar	17,0	4,3	FARa	1,32

CÓDIGO MUESTRA	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	TEXTURA	DA (g/cm ³)
C-AMA-94	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	8,6	2,1	F	1,37
C-AMA-95	22171 - Caña de azúcar	15,5	3,8	FArA	1,37
C-AMA-96	22171 - Caña de azúcar	10,2	2,3	FAr	1,46
C-AMA-97	22171 - Caña de azúcar	10,7	2,3	FAr	1,55
C-AMA-98	22171 - Caña de azúcar	10,1	2,5	FAr	1,35
C-AMA-99	22171 - Caña de azúcar	11,8	2,6	FAr	1,54
C-AMA-100	23113 - Cebolla de rama	6,5	2,4	FL	0,89
C-AMA-101	22171 - Caña de azúcar	17,9	4,7	FArA	1,28
C-AMA-102	23170 - Pasto cultivado	6,1	1,6	FA	1,28
C-AMA-103	22171 - Caña de azúcar	10,9	2,7	F	1,37
C-AMA-104	22171 - Caña de azúcar	30,9	6,8	FAr	1,52
C-AMA-105	22171 - Caña de azúcar	8,8	2,0	F	1,50
C-AMA-106	22171 - Caña de azúcar	6,8	1,6	FL	1,42
C-AMA-107	22171 - Caña de azúcar	14,7	3,4	FArA	1,45
C-AMA-108	22171 - Caña de azúcar	10,4	2,3	F	1,50
C-AMA-109	22171 - Caña de azúcar	7,7	1,6	F	1,58
C-AMA-110	22171 - Caña de azúcar	36,5	9,2	FArA	1,32
C-AMA-111	22171 - Caña de azúcar	19,7	4,0	Ar	1,63
C-AMA-112	22171 - Caña de azúcar	7,7	1,9	ArA	1,37
C-AMA-113	22171 - Caña de azúcar	12,8	3,1	Ar	1,37
C-AMA-114	22171 - Caña de azúcar	9,2	2,1	F	1,49
C-AMA-115	23172 - Pasto cultivado enmalezado	12,4	3,3	F	1,24
C-AMA-116	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	24,5	6,4	ArA	1,28
C-AMA-117	21130 - Pino	11,8	3,5	FAr	1,11

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 Amaime se presentaron densidades que varían entre 0,63 y 1,73 g/cm³, de acuerdo con las categorías definidas por Arshad et al., (1996) se diferencian 62 sitios en categoría de ideales (<1,10 en texturas ArL y <1,40 en texturas F, FA, FAr, FArA, FArL, FL), 53 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 (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 Amaime.

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	Da (g/cm ³)	CATEGORÍA
AF	C-AMA-55	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1,73	Posible afectación radicular
Ar	C-AMA-47	33130 - Helechal	1,01	Ideal
	C-AMA-67	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	1,10	Posible afectación radicular
	C-AMA-50	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	1,22	Posible afectación radicular
	C-AMA-87	23170 - Pasto cultivado	1,31	Posible afectación radicular
	C-AMA-80	22171 - Caña de azúcar	1,34	Posible afectación radicular
	C-AMA-79	22171 - Caña de azúcar	1,35	Posible afectación radicular
	C-AMA-113	22171 - Caña de azúcar	1,37	Posible afectación radicular
	C-AMA-68	22171 - Caña de azúcar	1,40	Posible afectación radicular
	C-AMA-91	22171 - Caña de azúcar	1,41	Posible afectación radicular
	C-AMA-85	22171 - Caña de azúcar	1,47	Posible afectación radicular
	C-AMA-74	22171 - Caña de azúcar	1,58	Afectación radicular
	C-AMA-111	22171 - Caña de azúcar	1,63	Afectación radicular
	ArA	C-AMA-84	22171 - Caña de azúcar	1,24
C-AMA-116		23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	1,28	Posible afectación radicular
C-AMA-112		22171 - Caña de azúcar	1,37	Posible afectación radicular
C-AMA-75		22171 - Caña de azúcar	1,39	Posible afectación radicular
F	C-AMA-25	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	0,52	Ideal
	C-AMA-31	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	0,59	Ideal
	C-AMA-36	23172 - Pasto cultivado enmalezado	0,86	Ideal
	C-AMA-8	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	0,86	Ideal
	C-AMA-33	23170 - Pasto cultivado	0,91	Ideal
	C-AMA-18	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	0,98	Ideal
	C-AMA-38	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	1,01	Ideal
	C-AMA-26	32310 - Vegetación secundaria o transición	1,02	Ideal
	C-AMA-28	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	1,06	Ideal
	C-AMA-15	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	1,13	Ideal
	C-AMA-66	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	1,14	Ideal
	C-AMA-19	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1,20	Ideal

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	Da (g/cm ³)	CATEGORÍA
	C-AMA-2	35221 - Áreas naturales desnudas	1,22	Ideal
	C-AMA-115	23172 - Pasto cultivado enmalezado	1,24	Ideal
	C-AMA-11	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	1,27	Ideal
	C-AMA-20	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	1,28	Ideal
	C-AMA-34	23170 - Pasto cultivado	1,31	Ideal
	C-AMA-69	22171 - Caña de azúcar	1,31	Ideal
	C-AMA-37	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	1,34	Ideal
	C-AMA-89	23170 - Pasto cultivado	1,35	Ideal
	C-AMA-103	22171 - Caña de azúcar	1,37	Ideal
	C-AMA-35	21121 - Eucalipto cosechado	1,37	Ideal
	C-AMA-94	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	1,37	Ideal
	C-AMA-114	22171 - Caña de azúcar	1,49	Posible afectación radicular
	C-AMA-105	22171 - Caña de azúcar	1,50	Posible afectación radicular
	C-AMA-108	22171 - Caña de azúcar	1,50	Posible afectación radicular
	C-AMA-39	23171 - Pasto cultivado arbolado	1,50	Posible afectación radicular
	C-AMA-43	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	1,56	Posible afectación radicular
	C-AMA-109	22171 - Caña de azúcar	1,58	Posible afectación radicular
	C-AMA-14	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	1,61	Posible afectación radicular
	C-AMA-17	32210 - Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme	1,63	Posible afectación radicular
	C-AMA-9	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	1,72	Posible afectación radicular
FAr	C-AMA-64	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	0,67	Ideal
	C-AMA-70	22210 - Otros cultivos arbustivos plantados abiertos	0,84	Ideal
	C-AMA-54	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	1,09	Ideal
	C-AMA-117	21130 - Pino	1,11	Ideal
	C-AMA-52	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	1,31	Ideal
	C-AMA-72	31352 - Bosque de guadua	1,35	Ideal
	C-AMA-98	22171 - Caña de azúcar	1,35	Ideal
	C-AMA-81	22171 - Caña de azúcar	1,38	Ideal
	C-AMA-77	22171 - Caña de azúcar	1,40	Posible afectación radicular
	C-AMA-92	22171 - Caña de azúcar	1,46	Posible afectación radicular

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	Da (g/cm ³)	CATEGORÍA
	C-AMA-96	22171 - Caña de azúcar	1,46	Posible afectación radicular
	C-AMA-104	22171 - Caña de azúcar	1,52	Posible afectación radicular
	C-AMA-53	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1,54	Posible afectación radicular
	C-AMA-99	22171 - Caña de azúcar	1,54	Posible afectación radicular
	C-AMA-97	22171 - Caña de azúcar	1,55	Posible afectación radicular
	C-AMA-76	22171 - Caña de azúcar	1,56	Posible afectación radicular
	C-AMA-83	22171 - Caña de azúcar	1,58	Posible afectación radicular
FArA	C-AMA-23	32210 - Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme	0,92	Ideal
	C-AMA-48	35221 - Áreas naturales desnudas	1,06	Ideal
	C-AMA-78	22171 - Caña de azúcar	1,21	Ideal
	C-AMA-65	22171 - Caña de azúcar	1,22	Ideal
	C-AMA-49	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1,23	Ideal
	C-AMA-101	22171 - Caña de azúcar	1,28	Ideal
	C-AMA-110	22171 - Caña de azúcar	1,32	Ideal
	C-AMA-93	22171 - Caña de azúcar	1,32	Ideal
	C-AMA-95	22171 - Caña de azúcar	1,37	Ideal
	C-AMA-10	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	1,42	Posible afectación radicular
	C-AMA-61	23170 - Pasto cultivado	1,43	Posible afectación radicular
	C-AMA-107	22171 - Caña de azúcar	1,45	Posible afectación radicular
	C-AMA-90	22171 - Caña de azúcar	1,45	Posible afectación radicular
	C-AMA-44	23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos	1,48	Posible afectación radicular
	C-AMA-82	22171 - Caña de azúcar	1,50	Posible afectación radicular
	C-AMA-13	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	1,51	Posible afectación radicular
	C-AMA-51	23170 - Pasto cultivado	1,51	Posible afectación radicular
C-AMA-71	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	1,61	Posible afectación radicular	
C-AMA-56	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1,62	Posible afectación radicular	
FA	C-AMA-4	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	0,35	Ideal
	C-AMA-30	32111 - Arbustal y matorral denso bajo de tierra firme	0,46	Ideal
	C-AMA-5	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	0,60	Ideal
	C-AMA-6	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	0,67	Ideal

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	Da (g/cm ³)	CATEGORÍA
	C-AMA-46	23170 - Pasto cultivado	0,85	Ideal
	C-AMA-45	23170 - Pasto cultivado	0,91	Ideal
	C-AMA-22	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1,04	Ideal
	C-AMA-21	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	1,08	Ideal
	C-AMA-32	31351 - Bosque mixto relictual	1,10	Ideal
	C-AMA-42	23170 - Pasto cultivado	1,17	Ideal
	C-AMA-24	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	1,21	Ideal
	C-AMA-88	22171 - Caña de azúcar	1,25	Ideal
	C-AMA-102	23170 - Pasto cultivado	1,28	Ideal
	C-AMA-58	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1,28	Ideal
	C-AMA-60	31352 - Bosque de guadua	1,30	Ideal
	C-AMA-40	23170 - Pasto cultivado	1,36	Ideal
	C-AMA-41	23171 - Pasto cultivado arbolado	1,38	Ideal
	C-AMA-29	32211 - Arbustal y matorral abierto bajo de tierra firme	1,39	Ideal
	C-AMA-16	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	1,41	Posible afectación radicular
	C-AMA-3	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1,41	Posible afectación radicular
	C-AMA-73	32210 - Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme	1,41	Posible afectación radicular
	C-AMA-59	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1,46	Posible afectación radicular
	C-AMA-12	31212 - Bosque mixto abierto bajo de tierra firme	1,49	Posible afectación radicular
	C-AMA-86	22171 - Caña de azúcar	1,51	Posible afectación radicular
	C-AMA-62	23170 - Pasto cultivado	1,55	Posible afectación radicular
	C-AMA-63	23172 - Pasto cultivado enmalezado	1,55	Posible afectación radicular
C-AMA-57	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1,65	Posible afectación radicular	
C-AMA-7	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	1,67	Posible afectación radicular	
FL	C-AMA-1	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	0,53	Ideal
	C-AMA-100	23113 - Cebolla de rama	0,89	Ideal
	C-AMA-27	32210 - Arbustal y matorral abierto alto de tierra firme	1,03	Ideal
	C-AMA-106	22171 - Caña de azúcar	1,42	Posible afectación radicular

Fuente: Elaboración propia.

8.1.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS

En la Tabla 24 se presentan los resultados de las propiedades químicas para los sitios muestreados en la Cuenca Amaime. 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 Amaime.

PROPIEDAD	UNID	PROM	MÍN	MÁX	DESV
Azufre (S)	mg/kg	9,38	0,00	97,81	12,78
Boro (B)	mg/kg	0,30	0,00	1,28	0,19
Calcio (Ca)	cmol(+)/kg	16,78	1,62	62,73	10,84
Capacidad inter. Cat. Aceta (CICA)	cmol(+)/kg	23,09	8,11	47,16	8,85
Capacidad inter. Cat. Efect. (CICE)	cmol(+)/kg	25,06	3,52	82,24	15,36
Cobre (Cu)	mg/kg	5,05	1,00	13,61	2,69
Conductividad eléctrica (CE)	dS/m	0,37	0,08	2,94	0,36
Fósforo (P)	mg/kg	55,11	1,29	931,32	124,31
Hierro (Fe)	mg/kg	92,82	5,74	533,08	97,47
Magnesio (Mg)	cmol(+)/kg	7,23	0,50	20,48	5,49
Manganeso (Mn)	mg/kg	6,30	1,00	37,53	6,31
Materia orgánica (MO)	g/100 g	3,65	0,60	19,00	2,33
Nitrógeno (Nt)	g/100 g	0,22	0,03	1,09	0,16
pH	unid. pH	6,75	4,87	8,61	0,91
Potasio (K)	cmol(+)/kg	0,71	0,09	13,58	1,45
Sodio (Na)	cmol(+)/kg	0,27	0,14	3,65	0,41
Zinc (Zn)	mg/kg	3,60	1,00	67,54	7,28

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 80 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 (0,22 g/100 g), Fosforo (55,11 mg/kg) y Potasio (0,71 cmol(+)/kg), al igual que los microelementos principales Calcio (16,78 cmol(+)/kg) y el Magnesio (6,30 mg/Kg) en una adecuada proporción 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⁺ 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 fósforo 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 (9.38 mg/kg), Boro y Molibdeno 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.

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 Amaime son 0,37 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.

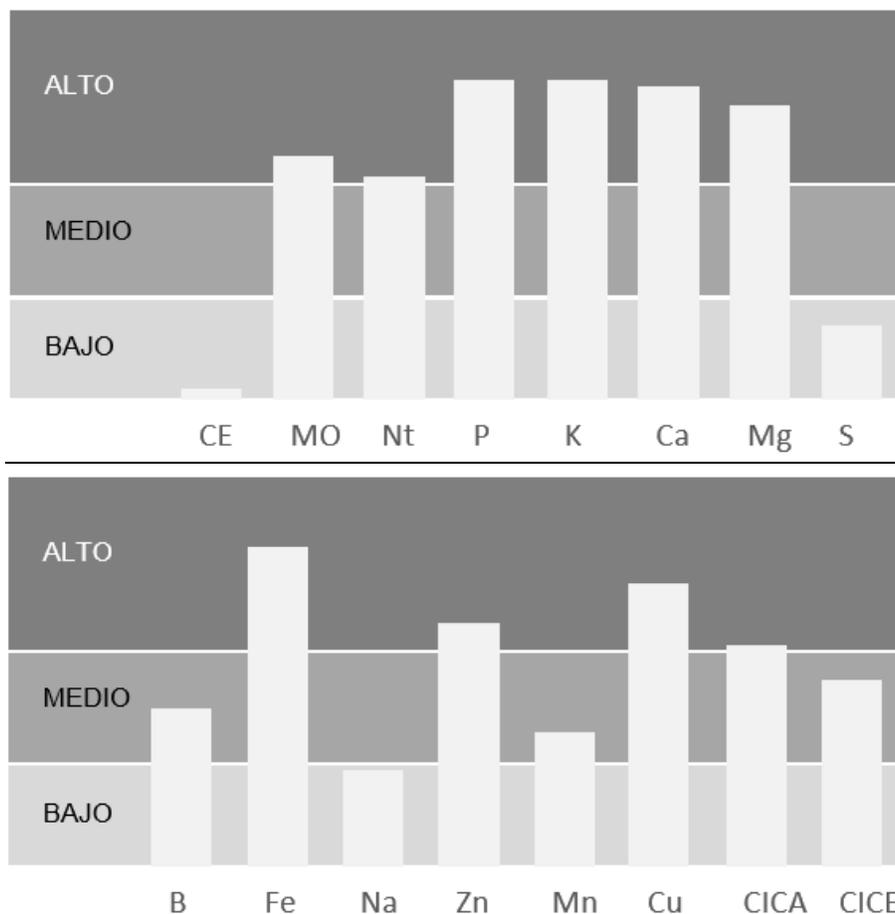


Figura 80. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca Amaime.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al pH, en la Figura 81 se observa que, la mediana es de 6,72, mientras que la mitad de las muestras se concentran en la condición entre 6,06 y 7,32 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.

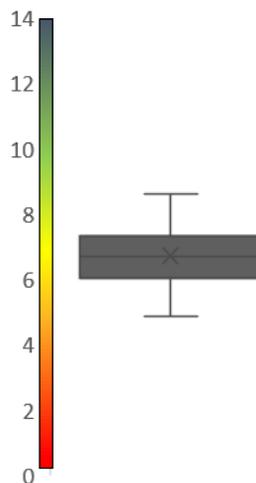


Figura 81. Distribución de los valores de pH de la cuenca Amaime.
 Fuente: Elaboración propia.

8.1.3 ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS

De acuerdo con la estimación de almacenamiento de COS en el suelo, la mediana para la cuenca Amaime es 63,0 tCOS/ha en el COS general, 73,7 tCOS/ha en el COS grueso y 101,2 tCOS/ha en COS almacenado en la fracción fina (Figura 82). Para el caso del COS fino es considerado en un nivel Alto (entre 80 y 119,9 tCOS/ha) mientras que el contenido de COS general y grueso se establecen en un nivel medio (entre 40 y 79,9 tCOS/ha) (Loayza et al., 2020). En forma general se aprecia que las variaciones en el contenido del COS oscilan entre rangos de 150 tCOS/ha en las tres fracciones, presentado valores atípicos que sobresalen de la desviación estándar de cada una de las fracciones. Sin embargo, la fracción fina presenta la mayor desviación estándar y se presenta un valor atípico muy alto de 485,6 tCOS/ha en zona de pasto cultivado, muy por encima de los valores presentados en esta cobertura cercanos a los 108,2 tCOS/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.

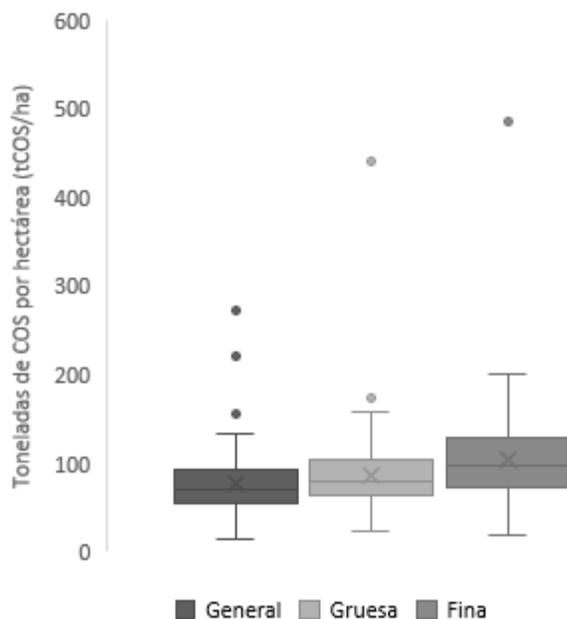


Figura 82. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general Cuenca Amaime.

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 Amaime el 50% de los datos de almacenamiento de COS fino se encontraron entre 72,8 y 127,5 tCOS/ha, con una mediana de 97,4 tCOS/ha, presentando contenidos similares a los estimados por el IGAC para la región Andina (Bolívar et al., 2019). Sin embargo, en la Figura 83 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).

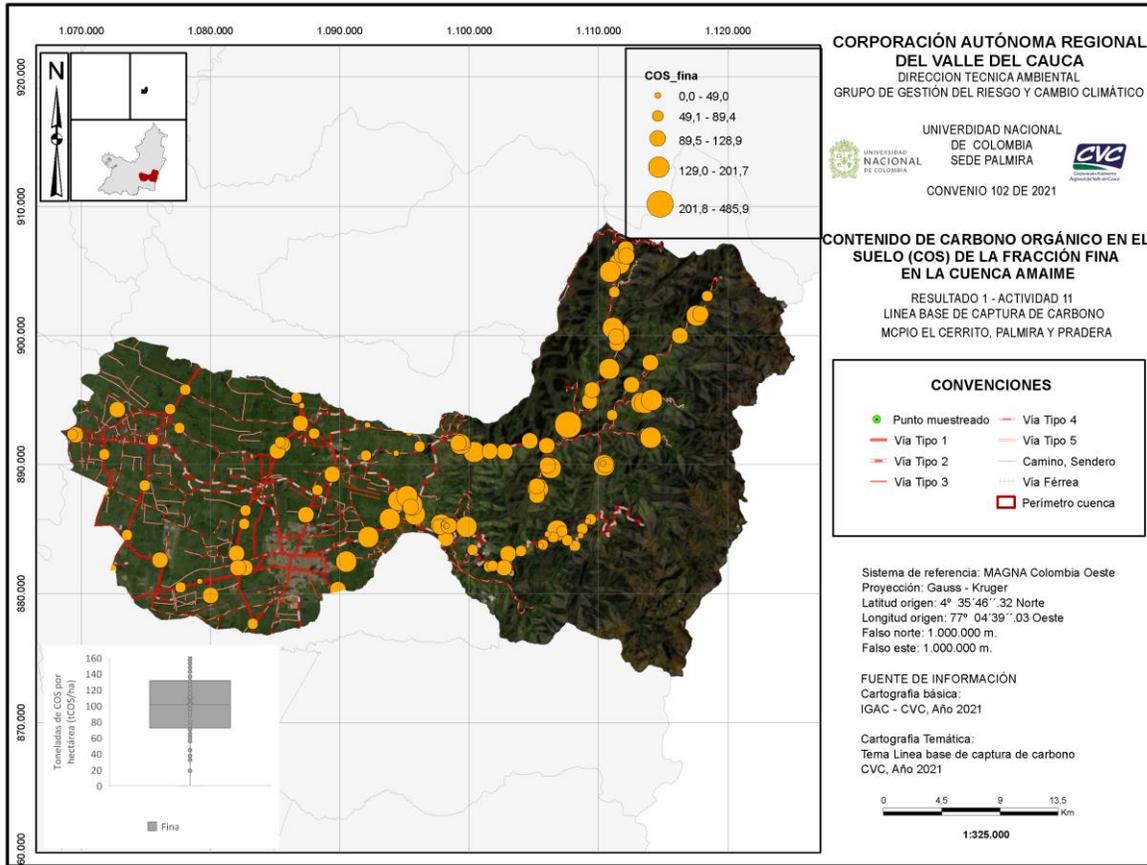


Figura 83. Distribución de los contenidos de COS en la fracción fina en la cuenca Amaime (tCOS/ha).

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la categorización de las estimaciones de COS en la cuenca Amaime (Tabla 25), al utilizar la Da y el contenido de carbono orgánico en la fracción fina, en 37 de los 117 sitios se tiene un nivel Muy Alto (>120 tCOS/ha), 44 se encuentran en un nivel Alto (80 - 119,9 tCOS/ha), 29 sitios se encuentran en un nivel Medio (40 - 79,9 tCOS/ha) y 7 sitios se encuentran en un nivel Bajo (<40 tCOS/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 25. Contenidos de COS calculado y nivel de concentración por sitio muestreado.

CÓDIGO	DA	COS	COS Fina	NIVEL	CÓDIGO	DA	COS	COS Fina	NIVEL
C-AMA-1	0,53	84,0	87,6	Alto	C-AMA-60	1,30	47,2	44,4	Bajo
C-AMA-2	1,22	94,1	124,9	Muy Alto	C-AMA-61	1,43	80,7	81,7	Alto
C-AMA-3	1,41	156,9	201,7	Muy Alto	C-AMA-64	0,67	67,8	77,1	Alto

CÓDIGO	DA	COS	COS Fina	NIVEL	CÓDIGO	DA	COS	COS Fina	NIVEL
C-AMA-4	0,35	134,6	116,0	Alto	C-AMA-62	1,55	271,6	440,5	Muy Alto
C-AMA-5	0,60	117,9	103,9	Alto	C-AMA-65	1,22	64,1	96,3	Alto
C-AMA-6	0,67	221,5	126,0	Muy Alto	C-AMA-63	1,55	89,0	71,1	Muy Alto
C-AMA-7	1,67	120,7	152,8	Muy Alto	C-AMA-66	1,14	46,2	64,3	Medio
C-AMA-8	0,86	72,8	140,7	Muy Alto	C-AMA-67	1,10	84,2	99,5	Alto
C-AMA-9	1,72	56,2	66,8	Medio	C-AMA-68	1,40	71,0	84,7	Medio
C-AMA-10	1,42	83,1	131,7	Muy Alto	C-AMA-69	1,31	72,3	65,9	Alto
C-AMA-11	1,27	155,8	187,5	Muy Alto	C-AMA-70	0,84	68,3	84,9	Alto
C-AMA-12	1,49	31,3	67,3	Medio	C-AMA-71	1,61	69,1	70,0	Alto
C-AMA-13	1,51	89,7	142,6	Muy Alto	C-AMA-72	1,35	72,5	78,5	Alto
C-AMA-14	1,61	61,8	110,3	Alto	C-AMA-73	1,41	99,8	111,2	Muy Alto
C-AMA-15	1,13	92,9	106,7	Alto	C-AMA-74	1,58	33,7	35,7	Medio
C-AMA-16	1,41	101,9	168,9	Muy Alto	C-AMA-75	1,39	51,7	67,5	Medio
C-AMA-17	1,63	100,7	131,1	Muy Alto	C-AMA-76	1,56	116,1	131,2	Muy Alto
C-AMA-18	0,98	85,6	136,6	Muy Alto	C-AMA-77	1,40	65,9	63,5	Medio
C-AMA-19	1,20	71,6	101,8	Alto	C-AMA-78	1,21	65,3	87,3	Alto
C-AMA-20	1,28	73,0	123,6	Muy Alto	C-AMA-79	1,35	61,2	35,5	Bajo
C-AMA-21	1,08	58,3	63,7	Medio	C-AMA-80	1,34	43,4	63,2	Medio
C-AMA-22	1,04	35,6	37,9	Bajo	C-AMA-81	1,38	64,6	102,8	Alto
C-AMA-23	0,92	66,2	104,7	Alto	C-AMA-82	1,50	53,6	69,7	Medio
C-AMA-24	1,21	124,5	130,8	Muy Alto	C-AMA-83	1,58	99,1	91,2	Alto
C-AMA-25	0,52	49,6	63,2	Medio	C-AMA-84	1,24	56,9	77,0	Alto
C-AMA-26	1,02	41,3	61,9	Medio	C-AMA-85	1,47	63,9	82,9	Alto
C-AMA-27	1,03	47,3	74,1	Medio	C-AMA-86	1,51	55,7	71,1	Alto
C-AMA-28	1,06	68,1	41,3	Medio	C-AMA-87	1,31	57,8	74,2	Alto
C-AMA-29	1,39	14,6	133,0	Muy Alto	C-AMA-88	1,25	34,5	46,2	Medio
C-AMA-30	0,46	56,2	60,7	Medio	C-AMA-89	1,35	79,8	94,6	Alto
C-AMA-31	0,59	31,2	60,7	Medio	C-AMA-90	1,45	44,8	54,9	Medio
C-AMA-32	1,10	31,0	41,7	Medio	C-AMA-91	1,41	93,1	70,0	Medio
C-AMA-33	0,91	42,6	71,9	Medio	C-AMA-92	1,46	70,5	79,8	Alto
C-AMA-34	1,31	60,1	111,1	Alto	C-AMA-93	1,32	46,3	57,9	Medio
C-AMA-35	1,37	20,6	18,9	Bajo	C-AMA-94	1,37	43,2	22,7	Bajo
C-AMA-36	0,86	54,2	105,3	Alto	C-AMA-95	1,37	74,4	48,7	Medio
C-AMA-37	1,34	128,6	193,0	Muy Alto	C-AMA-96	1,46	73,6	38,8	Medio
C-AMA-38	1,01	107,6	156,6	Muy Alto	C-AMA-97	1,55	71,6	79,1	Alto
C-AMA-39	1,50	133,2	160,8	Muy Alto	C-AMA-98	1,35	120,7	133,8	Muy Alto
C-AMA-40	1,36	86,9	182,4	Muy Alto	C-AMA-99	1,54	62,8	44,6	Medio
C-AMA-41	1,38	24,4	96,8	Alto	C-AMA-100	0,89	128,2	139,5	Muy Alto
C-AMA-42	1,17	69,5	121,7	Muy Alto	C-AMA-101	1,28	52,6	77,2	Alto

CÓDIGO	DA	COS	COS Fina	NIVEL	CÓDIGO	DA	COS	COS Fina	NIVEL
C-AMA-43	1,56	78,6	92,7	Alto	C-AMA-102	1,28	77,2	82,1	Alto
C-AMA-44	1,48	63,9	108,4	Alto	C-AMA-103	1,37	92,1	105,5	Alto
C-AMA-45	0,91	81,6	90,7	Alto	C-AMA-104	1,52	60,2	94,7	Alto
C-AMA-46	0,85	119,1	128,9	Muy Alto	C-AMA-105	1,50	56,3	72,8	Medio
C-AMA-47	1,01	33,6	32,5	Bajo	C-AMA-106	1,42	51,5	46,2	Medio
C-AMA-48	1,06	63,3	149,2	Muy Alto	C-AMA-107	1,45	97,9	74,5	Medio
C-AMA-49	1,23	115,9	150,2	Muy Alto	C-AMA-108	1,50	99,9	63,5	Alto
C-AMA-50	1,22	40,6	39,2	Bajo	C-AMA-109	1,58	99,5	126,8	Muy Alto
C-AMA-51	1,51	45,3	97,7	Alto	C-AMA-110	1,32	45,9	73,9	Alto
C-AMA-52	1,31	113,2	147,7	Muy Alto	C-AMA-111	1,63	72,4	109,2	Muy Alto
C-AMA-53	1,54	71,6	91,1	Alto	C-AMA-112	1,37	83,0	101,3	Alto
C-AMA-54	1,09	69,7	126,4	Muy Alto	C-AMA-113	1,37	66,6	74,3	Alto
C-AMA-55	1,73	75,8	160,1	Muy Alto	C-AMA-114	1,49	84,0	124,7	Muy Alto
C-AMA-56	1,62	92,8	127,0	Muy Alto	C-AMA-115	1,24	109,4	133,4	Muy Alto
C-AMA-57	1,65	73,3	114,1	Alto	C-AMA-116	1,28	55,7	85,9	Alto
C-AMA-58	1,28	100,6	157,6	Muy Alto	C-AMA-117	1,11	66,3	65,3	Medio
C-AMA-59	1,46	53,4	80,1	Alto					

Fuente: Elaboración propia.

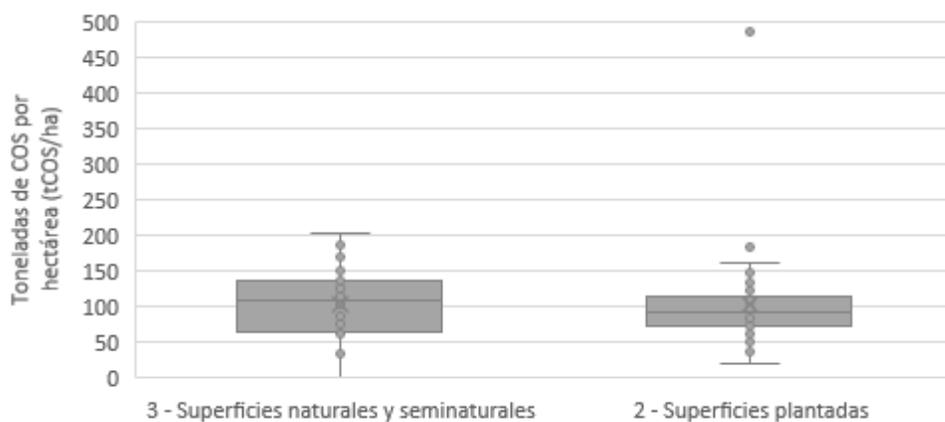
Los resultados indican que las reservas de COS en suelos de la cuenca Amaime son altas para la fracción fina, sin embargo, para que los suelos conserven sus propiedades físicas y químicas favorables para la captura y almacenamiento de carbono es necesario implementar técnicas y prácticas agronómicas 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 84), específicamente la comparación entre superficies plantadas y las superficies naturales evaluadas, se pudo establecer que las superficies naturales presentan una mediana de 109,0 tCOS/ha superior a 92,1 tCOS/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 mayor 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 tCOS/ha) con 33130 – Helechal (32,5 tCOS/ha) o 31351 - Bosque mixto relictual (41,7 tCOS/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 Amaime, se puede establecer que los cultivos con contenidos almacenamiento de COS superiores a la mediana de la cuenca fueron del siguiente orden:

- 22213 - Tomate de árbol (187,5 tCOS/ha)
- 22122 - Café-Plátano (142,6 tCOS/ha)
- 23170 - Pasto cultivado (137,2 tCOS/ha)
- 23241 – Frijol (133,0 tCOS/ha)
- 23172 - Pasto cultivado enmalezado (129,9 tCOS/ha)
- 24140 - Misceláneo de cultivos y espacios naturales (127,3 tCOS/ha)
- 24130 - Misceláneo de pastos y cultivos (126,6 tCOS/ha)
- 23113 - Cebolla de rama (120,6 tCOS/ha)
- 23212 – Arveja (110,3 tCOS/ha)
- 23110 - Otros cultivos herbáceos plantados densos (104,8 tCOS/ha)
- 23171 - Pasto cultivado arbolado (96,8 tCOS/ha)



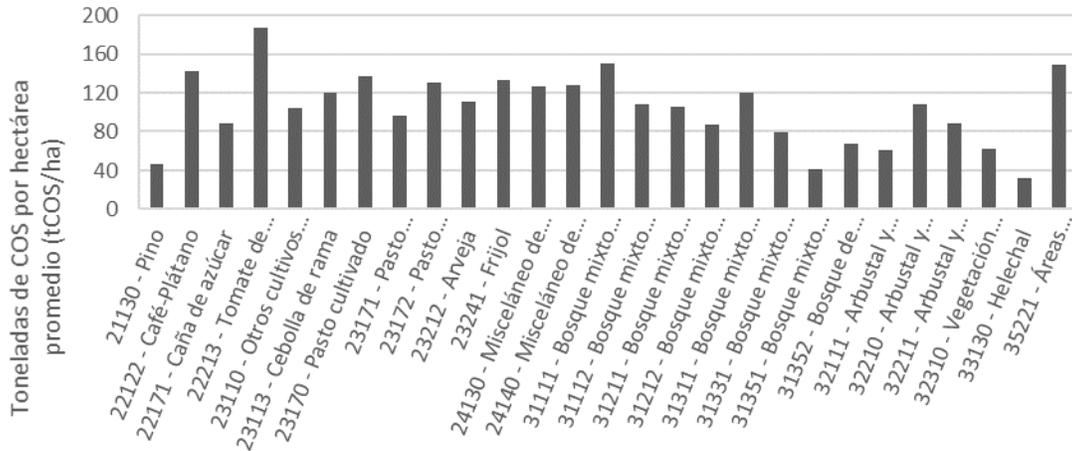


Figura 84. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura, cuenca Amaime.

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 85 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 (86,2 tCOs/ha) y fuertemente inclinado (87,6 tCOs/ha), el segundo grupo las concentraciones media en zonas de pendientes ligeramente inclinadas (109,3 tCOs/ha), fuertemente quebrado (118,5 tCOs/ha) y escarpado (119,4 tCOs/ha), y finalmente el tercer grupo con las concentraciones más altas en zonas inclinadas (134,5 tCOs/ha). Por otro lado, el contenido de COS promedio en zonas templadas es superior a los contenidos promedio de las zonas cálidas o zonas frías, 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, 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.

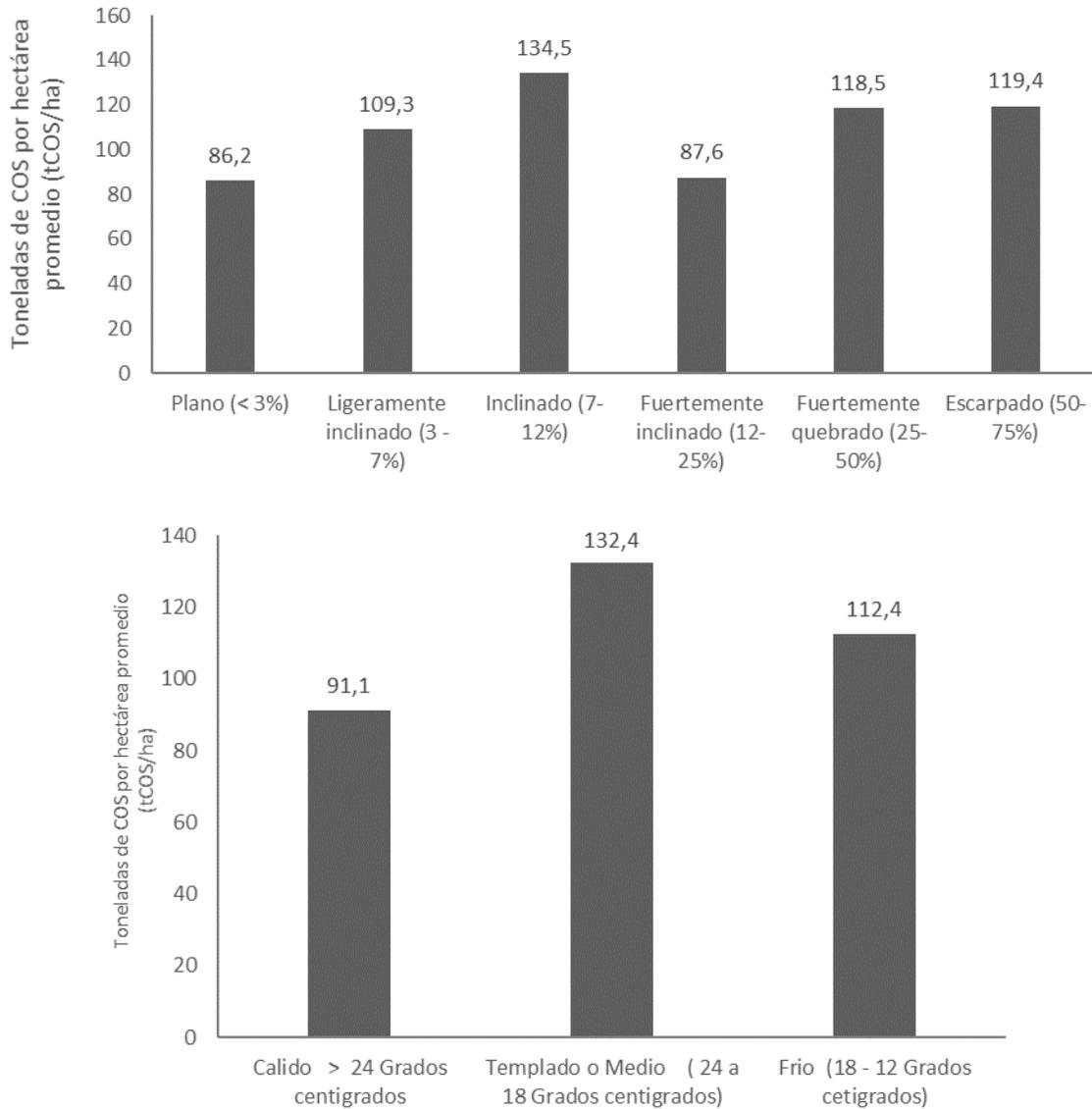


Figura 85. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos para la cuenca Amaime, 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 Amaime es de 98.598 ha y que el 50% de los valores se concentran entre 72,8 tCOS/ha y 127,5 tCOS/ha, el COS fino almacenado estimado para la cuenca estaría entre 7.177.934 y 12.571.245 tCOS.

$$E_{cos} = Ac * \min$$

$$E_{cos} = 98.598 * 72,8$$

$$E_{cos} \cong 7.177.934 \text{ tCOS mínimo}$$

$$E_{cos} = Ac * \min$$

$$E_{cos} = 98.598 * 127,5$$

$$E_{cos} \cong 12.571.245 \text{ tCOS máximo}$$

8.1.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con el objetivo de conocer la relación entre los diferentes niveles de COS fino y las propiedades fisicoquímicas en la cuenca Amaime, 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 fino. 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 fina cuenca Amaime.

PROPIEDADES	COS FINA	
	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 86, 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).

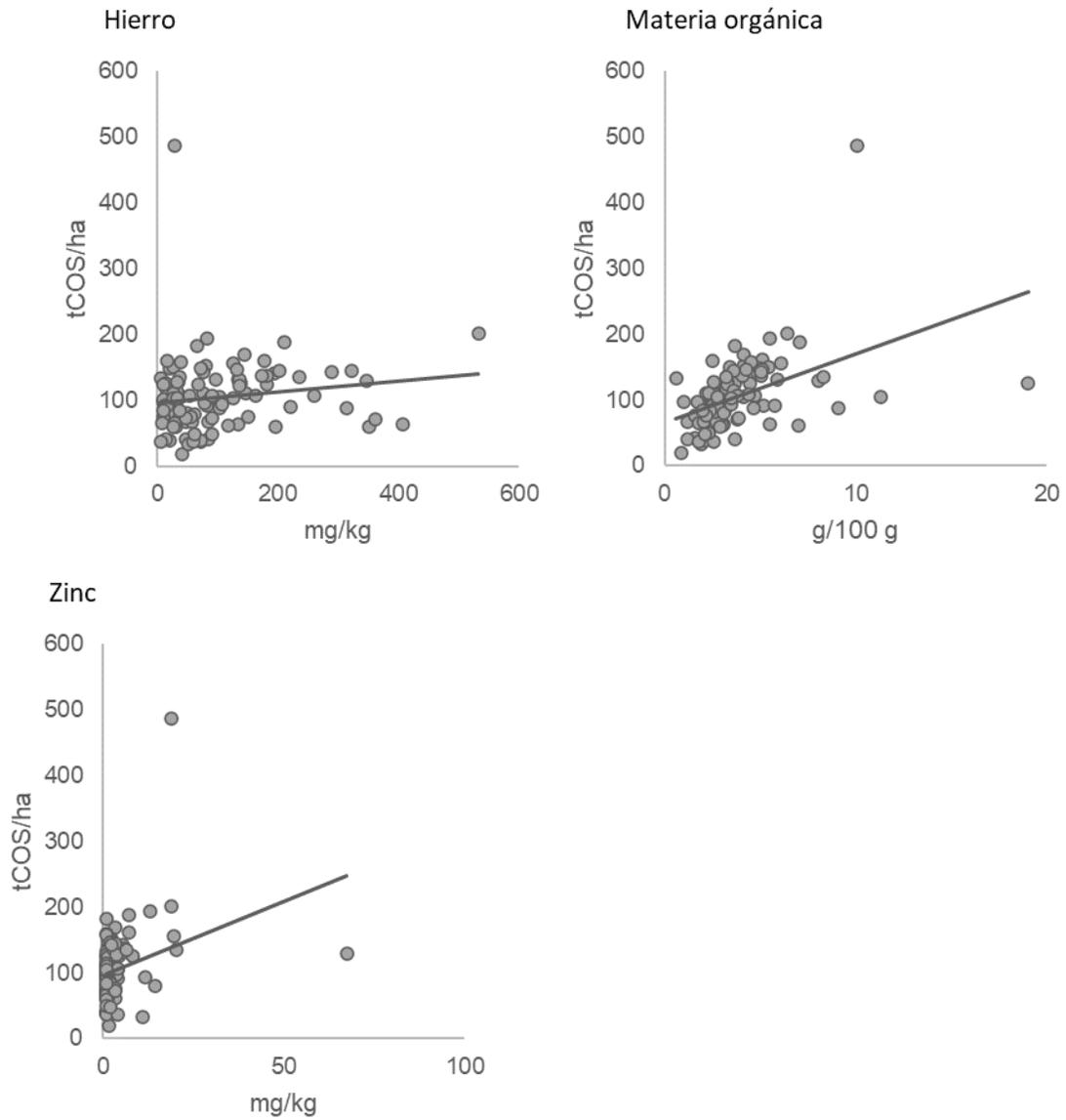


Figura 86. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS fino, cuenca Amaime.

8.2 LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA CALI

La determinación de la línea base de almacenamiento de carbono en suelos de la cuenca Cali 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. Al final de este ítem se presenta el análisis del almacenamiento de carbono para los suelos muestreados en esta cuenca.

8.2.1 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 Cali predominan las clases texturales de Arcillosas (Ar) y Franco Arcillosas (FAr), con leve presencia de suelos Franco Arenosos (FA) y Francos (F). De acuerdo con la Figura 87, 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.

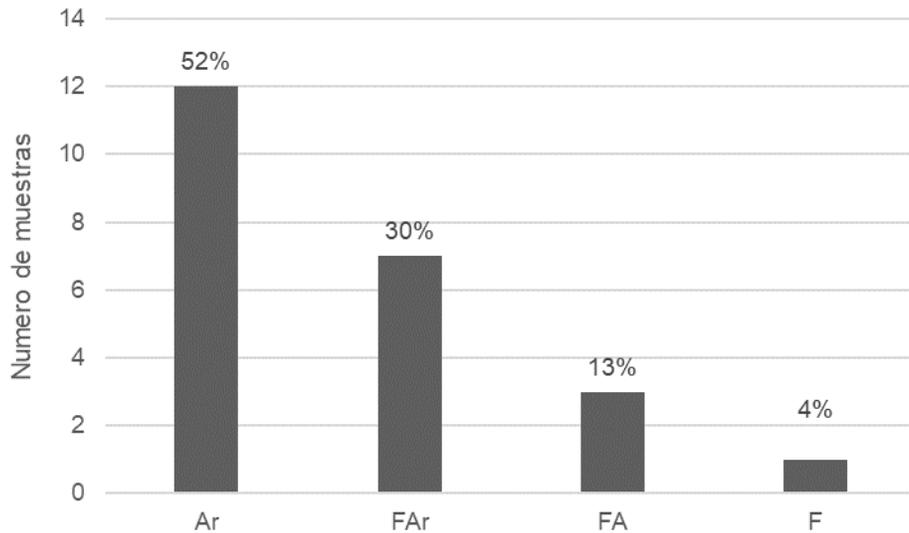


Figura 87. Texturas en la cuenca Cali.

Fuente: Elaboración propia.

Estabilidad de agregados

De acuerdo con la Figura 88, 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.

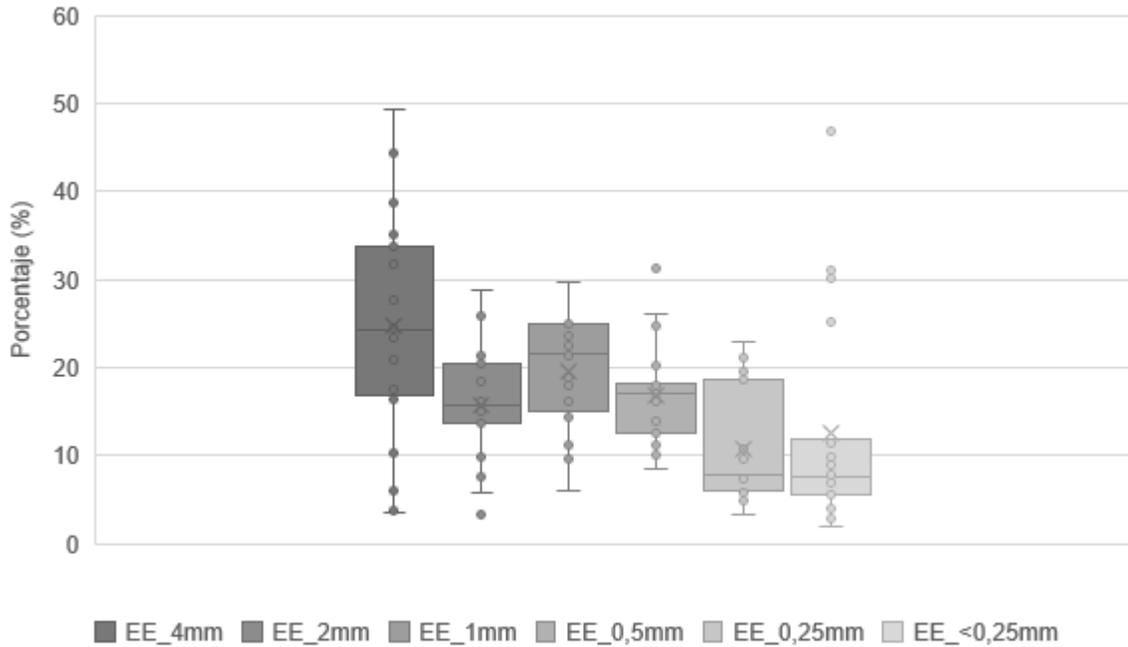


Figura 88. Distribución de agregados en la cuenca Cali.

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 39% de los sitios evaluados se consideran suelo degradados ($IE < 5$), el 26% en alto riesgo de degradación (IE en el rango de 5-7) y el 35% presentó características de estructura estable ($IE > 9$) o sin degradación. 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 89).

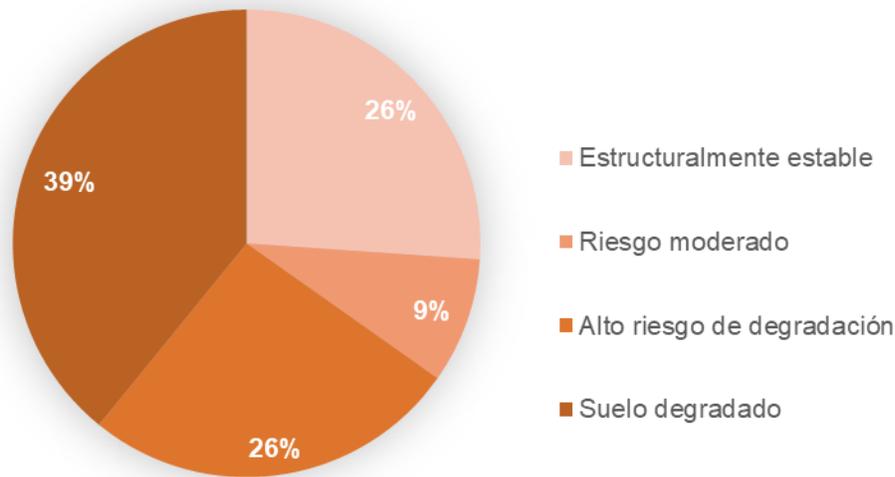


Figura 89. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca Cali.
Fuente: Elaboración propia.

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 Cali.

CÓDIGO	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	TEXTURA	DA
C-CAL-1	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	10,84	4,65	FAr	0,78
C-CAL-2	23172 - Pasto cultivado enmalezado	8,50	3,89	Ar	0,73
C-CAL-3	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	13,69	4,76	F	0,96
C-CAL-4	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	12,24	4,89	FAr	0,83
C-CAL-5	32310 - Vegetación secundaria o transición	19,47	8,14	Ar	0,80
C-CAL-6	32310 - Vegetación secundaria o transición	13,63	5,60	FAr	0,81
C-CAL-7	32310 - Vegetación secundaria o transición	16,23	4,74	Ar	1,14
C-CAL-8	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	13,77	5,05	FAr	0,91
C-CAL-9	23170 - Pasto cultivado	13,23	3,52	FAr	1,25
C-CAL-10	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	11,62	3,70	Ar	1,05
C-CAL-11	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	16,86	4,53	FAr	1,24
C-CAL-12	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	17,34	4,37	FAr	1,32
C-CAL-13	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	7,71	3,46	Ar	0,74
C-CAL-14	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	11,50	4,04	Ar	0,95
C-CAL-15	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	11,71	4,52	FA	0,86
C-CAL-16	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	10,52	3,89	Ar	0,90
C-CAL-17	32310 - Vegetación secundaria o transición	14,22	4,17	Ar	1,14
C-CAL-18	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	17,21	3,77	Ar	1,52
C-CAL-19	23171 - Pasto cultivado arbolado	14,23	2,84	FA	1,67
C-CAL-20	23171 - Pasto cultivado arbolado	22,89	4,89	FA	1,56
C-CAL-21	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	12,94	4,16	Ar	1,04
C-CAL-22	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	13,32	4,29	Ar	1,03
C-CAL-23	22210 - Otros cultivos arbustivos plantados abiertos	18,24	4,95	Ar	1,23

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 Cali se presentaron densidades que varían entre 0,63 y 1,73 g/cm³, de acuerdo con las categorías definidas por Arshad et al., (1996) se diferencian 17 sitios en categoría de ideal (<1,10 en textura Arcillosa; <1,40 en texturas Franco, Franco Arcillosa y Franco Arenosa), 5 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 2 sitios en categoría de restricción al crecimiento de raíces por posible compactación (>1,46 en texturas Arcillosas) en zonas con cobertura de Bosque mixto denso alto de tierra firme (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 Cali.

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA	CATEGORÍA
Ar	C-CAL-10	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,73	Ideal
	C-CAL-13	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,74	Ideal
	C-CAL-14	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,80	Ideal
	C-CAL-16	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	0,90	Ideal
	C-CAL-17	32310 - Vegetación secundaria o transición	0,95	Ideal
	C-CAL-18	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1,03	Ideal
	C-CAL-2	23172 - Pasto cultivado enmalezado	1,04	Ideal
	C-CAL-21	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1,05	Ideal
	C-CAL-22	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	1,14	Posible afectación radicular
	C-CAL-23	22210 - Otros cultivos arbustivos plantados abiertos	1,14	Posible afectación radicular
	C-CAL-5	32310 - Vegetación secundaria o transición	1,23	Posible afectación radicular
	C-CAL-7	32310 - Vegetación secundaria o transición	1,52	Afectación radicular
F	C-CAL-3	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,96	Ideal

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA	CATEGORÍA
FAr	C-CAL-1	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	0,78	Ideal
	C-CAL-11	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,81	Ideal
	C-CAL-12	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	0,83	Ideal
	C-CAL-4	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	0,91	Ideal
	C-CAL-6	32310 - Vegetación secundaria o transición	1,24	Ideal
	C-CAL-8	31111 - Bosque mixto denso alto de tierra firme	1,25	Ideal
	C-CAL-9	23170 - Pasto cultivado	1,32	Ideal
FA	C-CAL-15	31211 - Bosque mixto abierto alto de tierra firme	0,86	Ideal
	C-CAL-19	23171 - Pasto cultivado arbolado	1,56	Posible afectación radicular
	C-CAL-20	23171 - Pasto cultivado arbolado	1,67	Posible afectación radicular

Fuente: Elaboración propia.

8.2.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS

En la Tabla 29 se presentan los resultados de las propiedades químicas para los sitios muestreados en la Cuenca Cali. 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 Cali.

PROPIEDAD	UNID	PROM	MÍN	MÁX	DESV
Azufre (S)	mg/kg	10,29	4,52	21,34	4,82
Boro (B)	mg/kg	0,13	0,04	0,49	0,13
Calcio (Ca)	cmol(+)/kg	13,42	1,15	37,31	9,42
Capacidad inter. Cat. Aceta (CICA)	cmol(+)/kg	25,98	15,90	40,79	6,19
Capacidad inter. Cat. Efectiva (CICE)	cmol(+)/kg	25,90	2,39	89,37	21,13
Cobre (Cu)	mg/kg	6,29	1,68	11,88	3,30
Conductividad eléctrica (CE)	dS/m	0,20	0,07	0,42	0,10
Fósforo (P)	mg/kg	18,56	1,29	266,98	57,97
Hierro (Fe)	mg/kg	105,28	11,30	358,08	92,57
Magnesio (Mg)	cmol(+)/kg	11,67	0,61	51,81	13,69

PROPIEDAD	UNID	PROM	MÍN	MÁX	DESV
Manganeso (Mn)	mg/kg	8,01	2,07	18,34	5,07
Materia orgánica (MO)	g/100 g	4,45	1,33	12,59	2,45
Nitrógeno (Nt)	g/100 g	0,27	0,11	0,65	0,13
pH	unid. pH	6,16	4,70	7,58	0,73
Potasio (K)	cmol(+)/kg	0,39	0,09	2,47	0,55
Sodio (Na)	cmol(+)/kg	0,14	0,14	0,20	0,02
Humedad aprovechable (HA)	%	2,32	1,00	6,10	1,59
Zinc (Zn)	mg/kg	10,29	4,52	21,34	4,82

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 90 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 (0,27 g/100 g) y Potasio (0,39 cmol(+)/kg) se encuentran en niveles altos, al igual que los microelementos principales Calcio (13,42 cmol(+)/kg) y el Magnesio (8,10 mg/Kg) aunque estos últimos en desequilibrio de la proporción adecuada 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⁺ 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 (10,29 mg/kg), Boro (0,13 mg/kg), Zinc (10,29 mg/kg) y Manganeso (8,01 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 Cali 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.

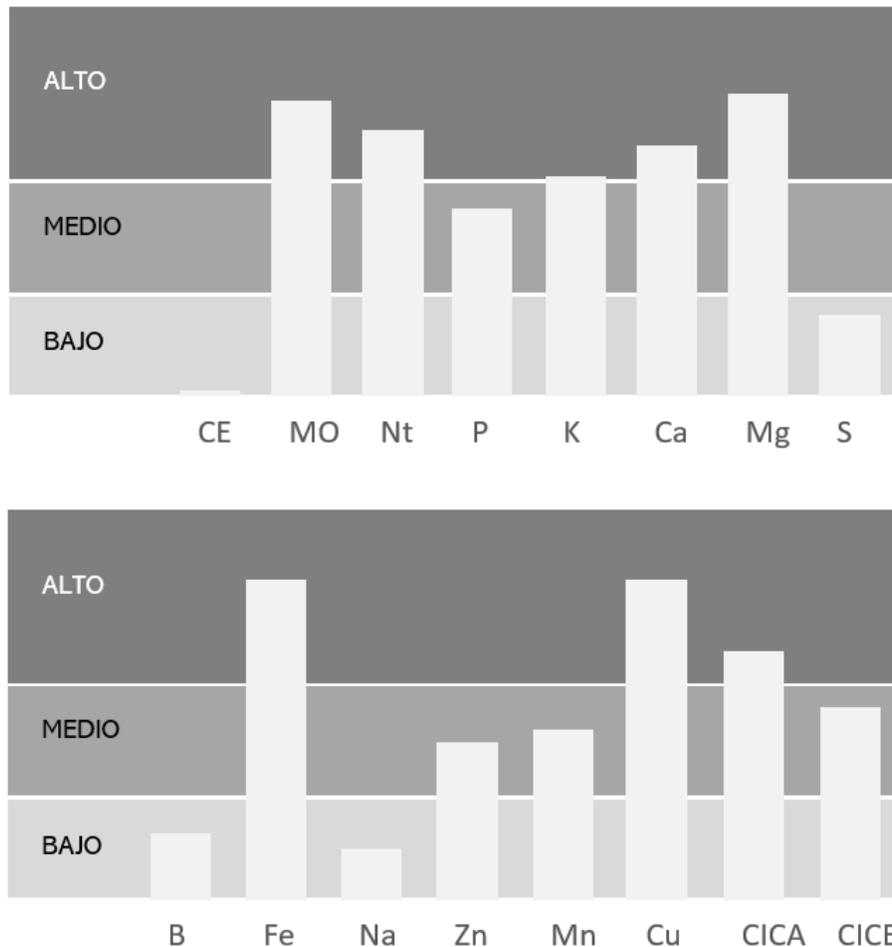


Figura 90. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca Cali.
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al pH, en la Figura 91 se observa que, la mediana es de 6,9 mientras que la mitad de las muestras se concentran en la condición entre 5,53 y 6,72 equivalente a las categorías de moderadamente ácido (5,5 a 5,9) 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.

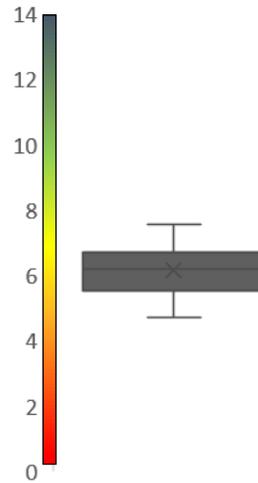


Figura 91. Distribución de los valores de pH de la cuenca Cali.
 Fuente: Elaboración propia.

8.2.3 ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS

De acuerdo con la estimación de almacenamiento de COS en el suelo, la mediana para la cuenca Cali es 69,8 tCOS/ha en el COS general, 69,0 tCOS/ha en el COS grueso y 85,2 tCOS/ha en COS almacenado en la fracción fina (Figura 92). Para el caso del COS fino es considerados en un nivel Alto (80 – 119,9 tCOS/ha) mientras que el contenido de COS general y grueso se establecen en un nivel medio (40 – 79,9 tCOS/ha) (Loayza et al., 2020). En forma general se aprecia que las variaciones en el contenido del COS oscilan entre rangos de 100 tCOS/ha en las tres fracciones, presentado un valor atípico alto de 159,5 tCOS/ha en zona cultivada con café y otros arbóreos.

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.

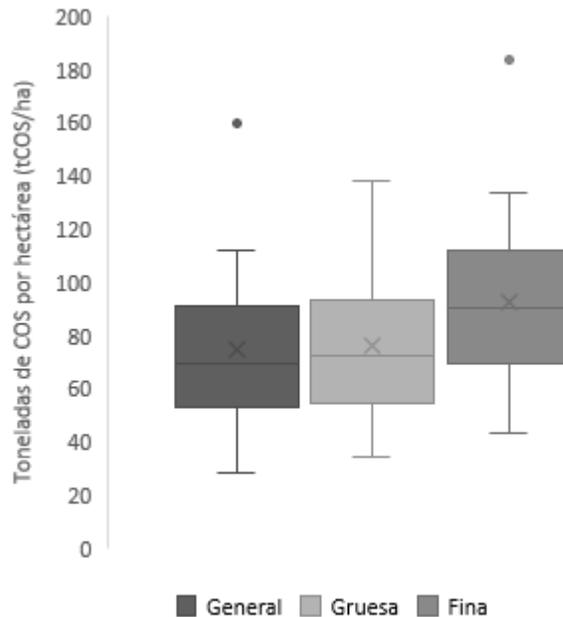


Figura 92. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general Cuenca Cali.

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 Cali el 50% de los datos de almacenamiento de COS fino se encontraron entre 71,7 y 107,5 tCOS/ha, con una mediana de 85,2 tCOS/ha, presentando contenidos similares a los estimados por el IGAC para la región Andina (Bolívar et al., 2019). Sin embargo, en la Figura 93 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).

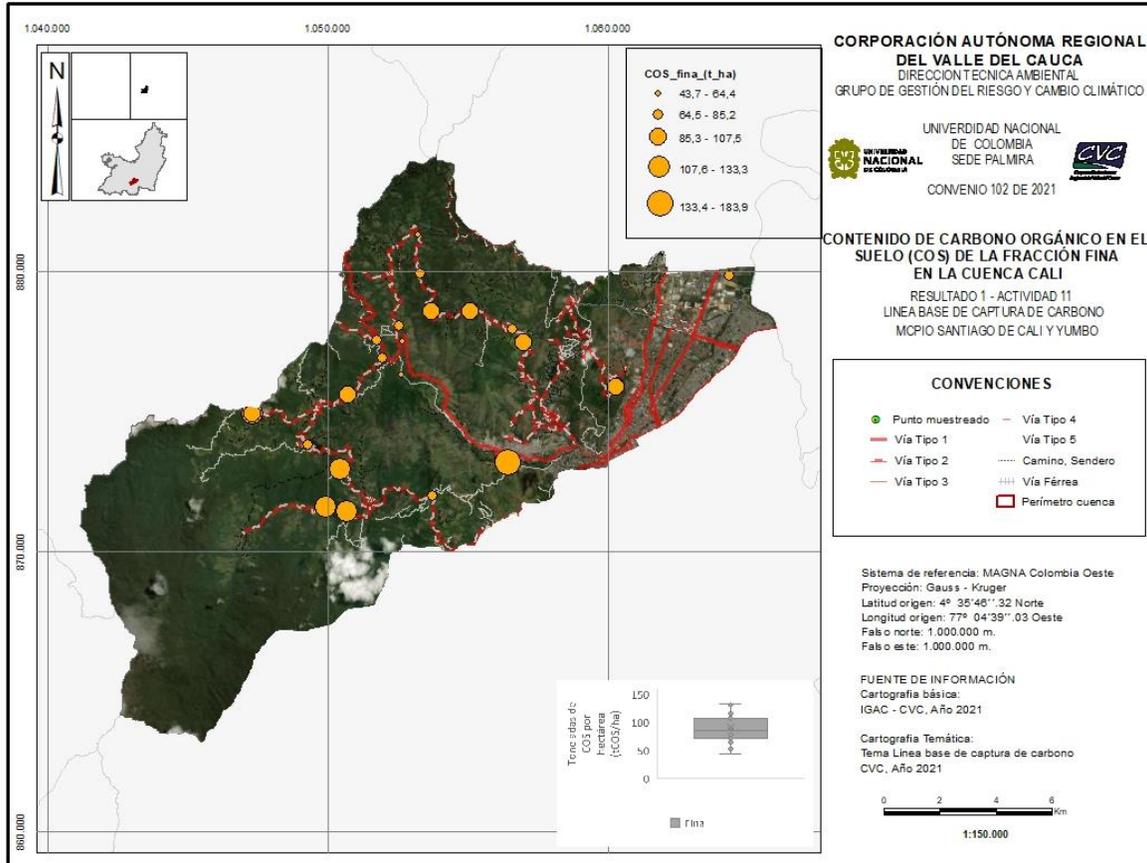


Figura 93. Distribución de los contenidos de COS en la fracción fina en la cuenca Cali (tCOS/ha).

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la categorización de las estimaciones de COS en la cuenca Cali (Tabla 30), al utilizar la Da y el contenido de carbono orgánico en la fracción fina, en 4 de los 23 sitios se tiene un nivel Muy Alto (>120 tCOS/ha), 10 se encuentran en un nivel Alto (80 - 119,9 tCOS/ha) y 9 sitios se encuentran en un nivel Medio (40 - 79,9 tCOS/ha) sin sitio en categoría de nivel Bajo (<40 tCOS/ha) (Vela et al., 2012; Loayza et al., 2020). Siendo un factor positivo identificar la mayor parte de los sitios evaluados (61%) 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	COS	COS Fina	NIVEL
C-CAL-1	0,78	94,7	116,3	Alto
C-CAL-2	0,73	159,5	133,3	Muy Alto
C-CAL-3	0,96	76,7	131,1	Muy Alto
C-CAL-4	0,83	69,8	85,2	Alto
C-CAL-5	0,80	75,9	43,7	Medio
C-CAL-6	0,81	104,9	120,1	Muy Alto
C-CAL-7	1,14	66,8	107,5	Alto
C-CAL-8	0,91	67,4	95,4	Alto
C-CAL-9	1,25	40,6	82,0	Alto
C-CAL-10	1,05	49,6	78,8	Medio
C-CAL-11	1,24	28,7	53,2	Medio
C-CAL-12	1,32	50,8	71,7	Medio
C-CAL-13	0,74	52,3	64,4	Medio
C-CAL-14	0,95	66,6	67,1	Medio
C-CAL-15	0,86	81,4	92,5	Alto
C-CAL-16	0,90	88,2	95,8	Alto
C-CAL-17	1,14	74,6	81,9	Alto
C-CAL-18	1,52	57,9	90,2	Alto
C-CAL-19	1,67	104,2	183,9	Muy Alto
C-CAL-20	1,56	112,3	90,1	Alto
C-CAL-21	1,04	53,8	58,2	Medio
C-CAL-22	1,03	74,2	79,5	Medio
C-CAL-23	1,23	42,4	77,4	Medio

Fuente: Elaboración propia.

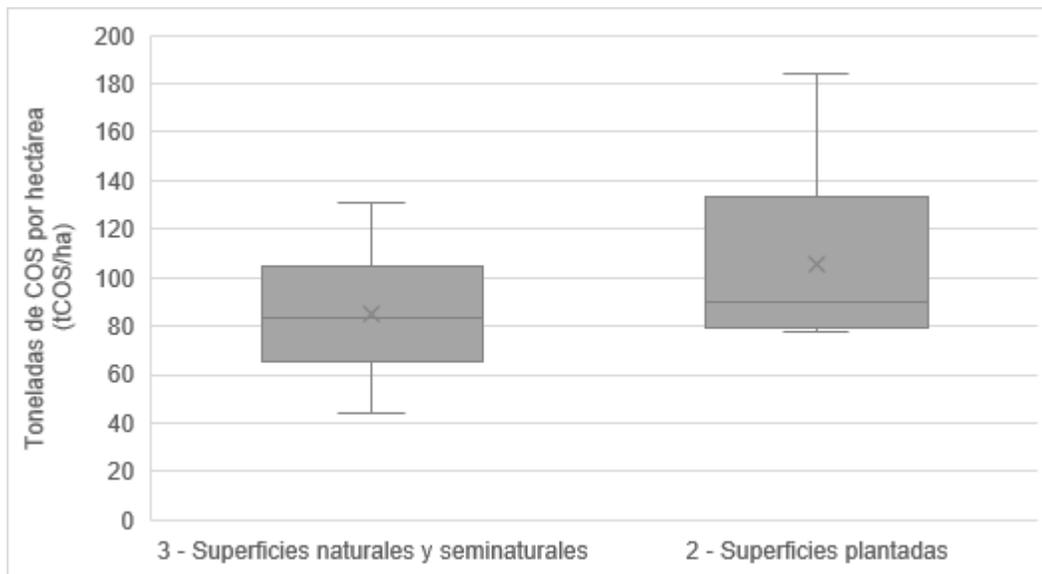
Los resultados indican que las reservas de COS en suelos de la cuenca Cali son altas para la fracción fina, sin embargo, para que los suelos conserven sus propiedades físicas y químicas favorables para la captura y almacenamiento de carbono, es necesario implementar técnicas y prácticas agronómicas orientadas 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 94), específicamente la comparación entre superficies plantadas y las superficies naturales evaluadas, se pudo establecer que las superficies plantadas presentan una mediana de 90,1 tCOS/ha superior a 83,6 tCOS/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 tCOS/ha) con 23171 - Pasto cultivado arbolado (137,0 tCOS/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:

- 23171 - Pasto cultivado arbolado (137,0 tCOS/ha)
- 21142 - Café-Otros arbóreos (133,3 tCOS/ha)
- 23170 - Pasto cultivado (88,3 tCOS/ha)



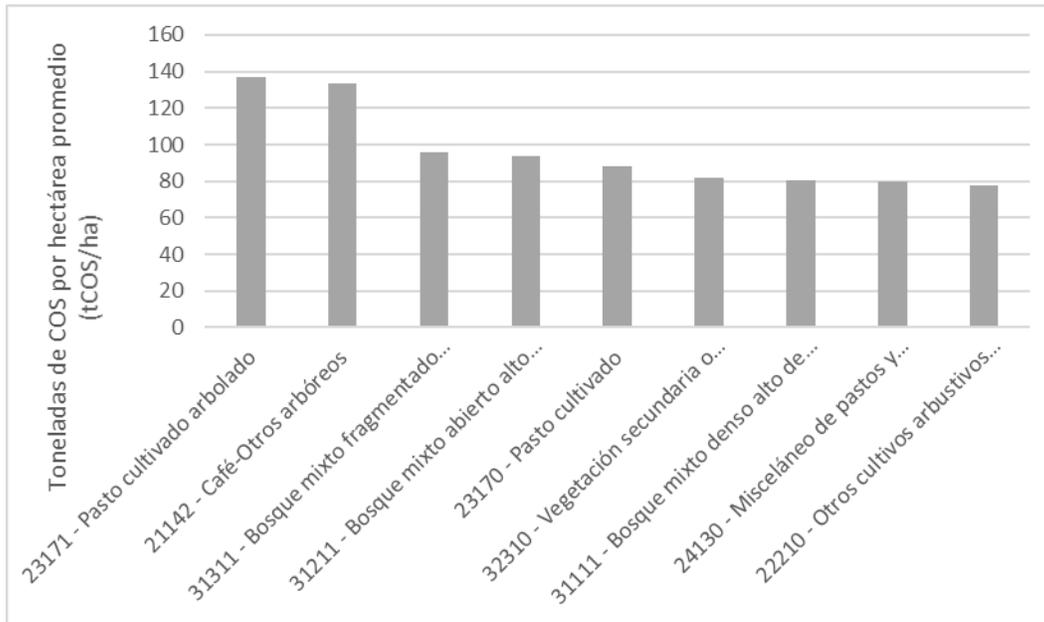


Figura 94. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura, cuenca Cali.

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 95 se presentan el análisis. Se observa que los valores de COS fueron inferiores en zonas planas (74,2 tCOS/ha) y fuertemente inclinadas (71,7 tCOS/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 90,2 tCOS/ha, 90,5 tCOS/ha y 91,9 tCOS/ha en promedio. Por otro lado, el contenido de COS promedio en zonas cálidas, es inferior a los contenidos promedio de las zonas templadas, 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.

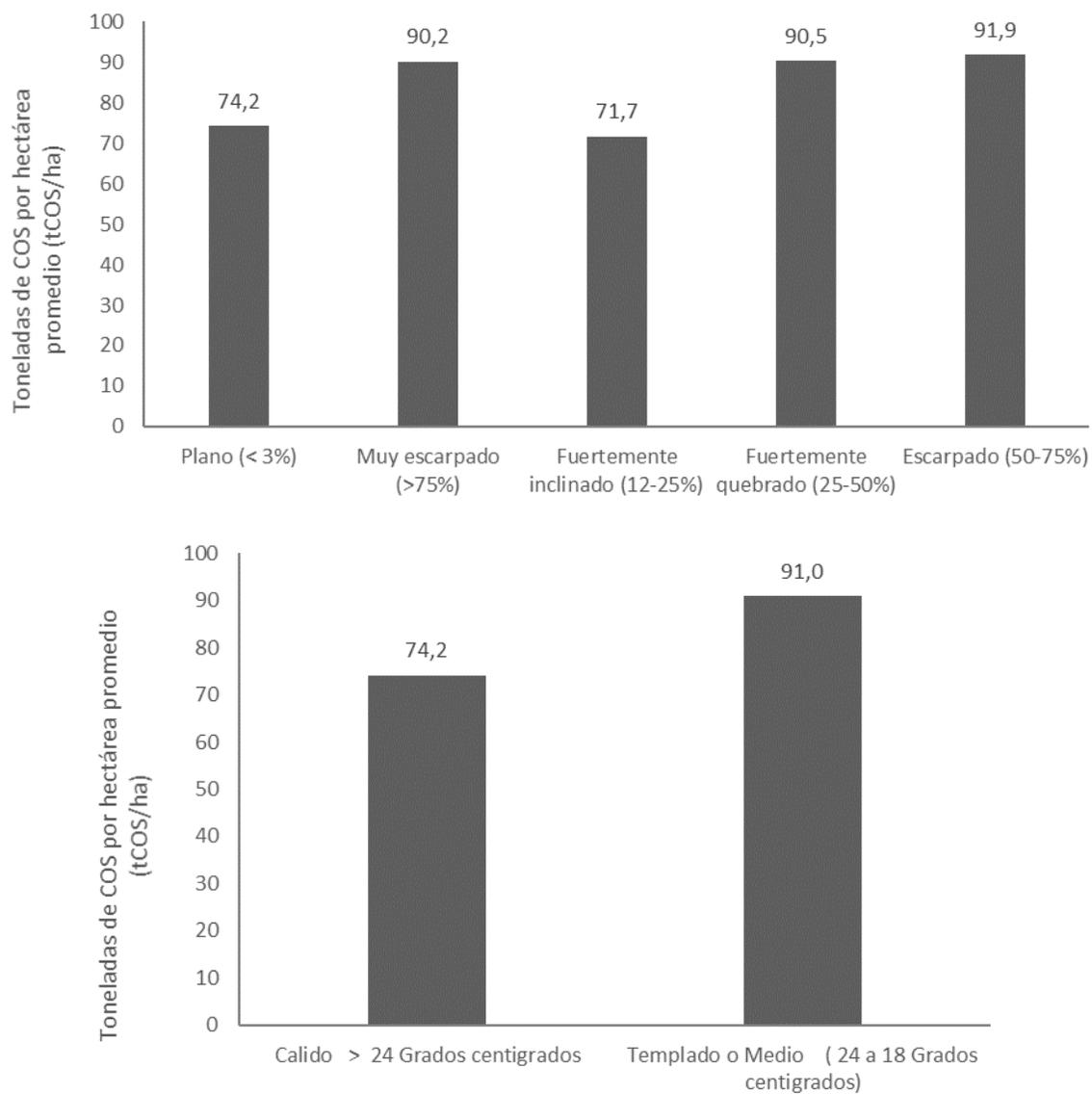


Figura 95. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico, cuenca Cali.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos para la cuenca Cali, 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 Cali es de 18.261 ha y que el 50% de los valores se concentran entre 71,7 tCOS/ha y 107,5 tCOS/ha, el COS fino almacenado estimado para la cuenca estaría entre 1.963.058 y 1.309.314 tCOS.

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

$$E_{COS} = 18.261 * 71,7$$

$$E_{COS} \cong 1.309.314 \text{ tCOS mínimo}$$

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

$$E_{COS} = 18.261 * 107,5$$

$$E_{COS} \cong 1.963.058 \text{ tCOS máximo}$$

8.2.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con el objetivo de conocer la relación entre los diferentes niveles de COS fino y las propiedades fisicoquímicas en la cuenca Cali, 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 fino. 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 fina, 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 fina, decrecerán los niveles de Arcilla, Calcio, Capacidad Intercambio Catiónica Efectiva (CICE), Cobre, Magnesio y pH, aunque solamente resultan significativas las correlaciones entre la COS fina vs la Arcilla y el Cobre.

Tabla 31. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS fina.

PROPIEDADES	COS FINA	
	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

PROPIEDADES	COS FINA	
	CORR	p-VALOR
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
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 96, 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.

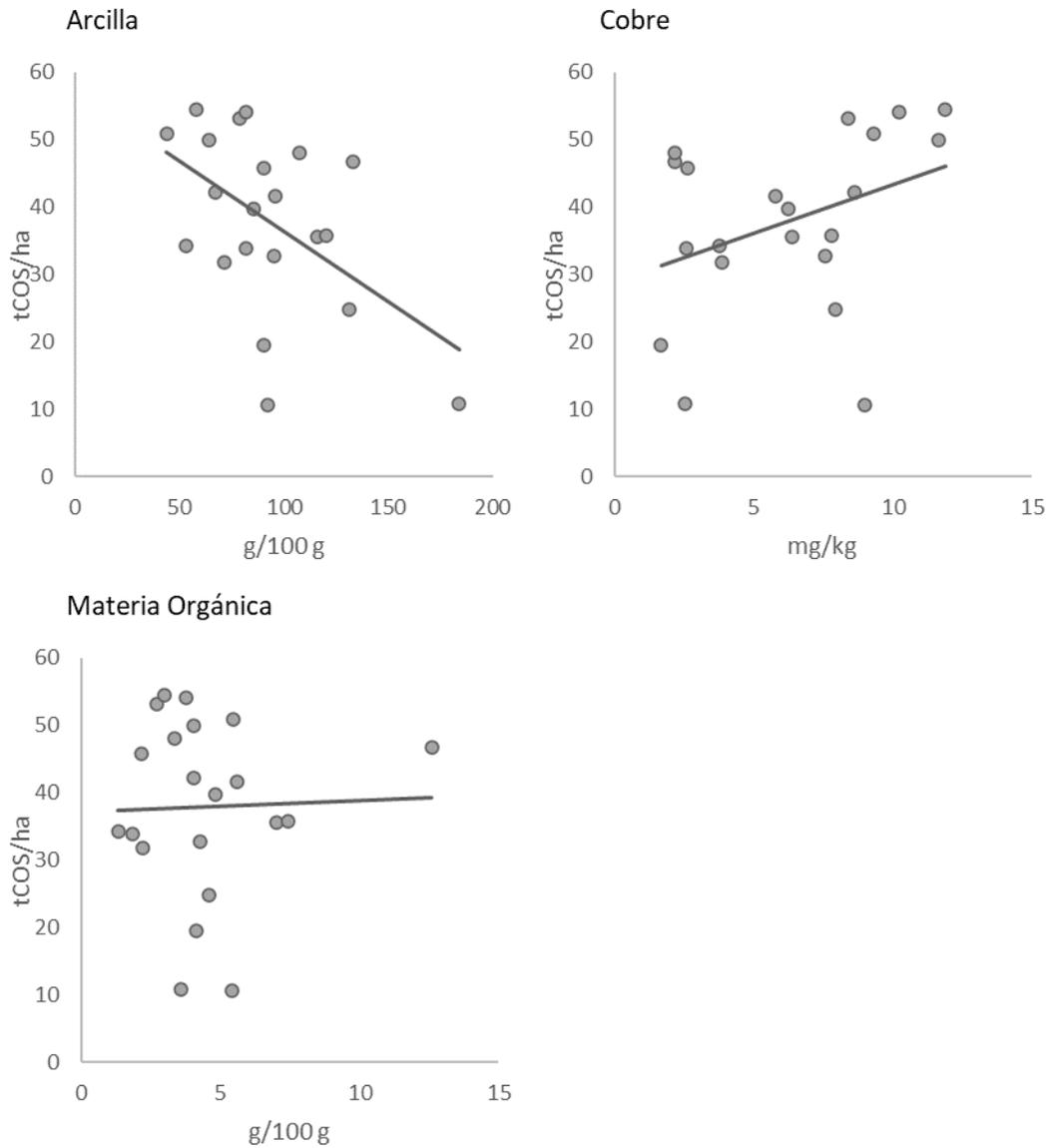


Figura 96. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS fino en la cuenca Cali.

8.3 LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA GUACHAL

La determinación de la línea base de almacenamiento de carbono en suelos de la cuenca Guachal 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. Al final de este ítem se presenta el análisis del almacenamiento de carbono para los suelos muestreados en esta cuenca.

8.3.1 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 Guachal predominan las clases texturales Francos (F), suelos de textura equilibrada entre los diferentes tamaños de partículas, con menor presencia de suelos pesados de partículas más finas (FL, ArA, FArL, ArL). De acuerdo con la Figura 97, 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.

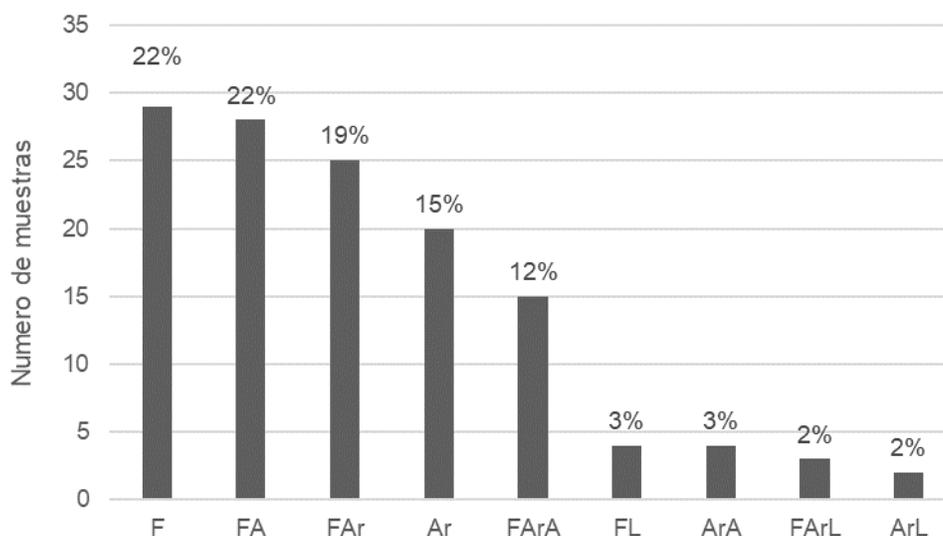


Figura 97. Texturas en la cuenca Guachal.

Fuente: Fuente: Elaboración propia.

Estabilidad de agregados

De acuerdo con la Figura 98, la distribución de los agregados del suelo presenta una tendencia hacia las partículas más finas, menores a 0,25 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 (menores a 0,25mm) presenta la mayor variabilidad en el contenido de agregados, al igual que el diámetro superior (mayor a 4mm), 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.

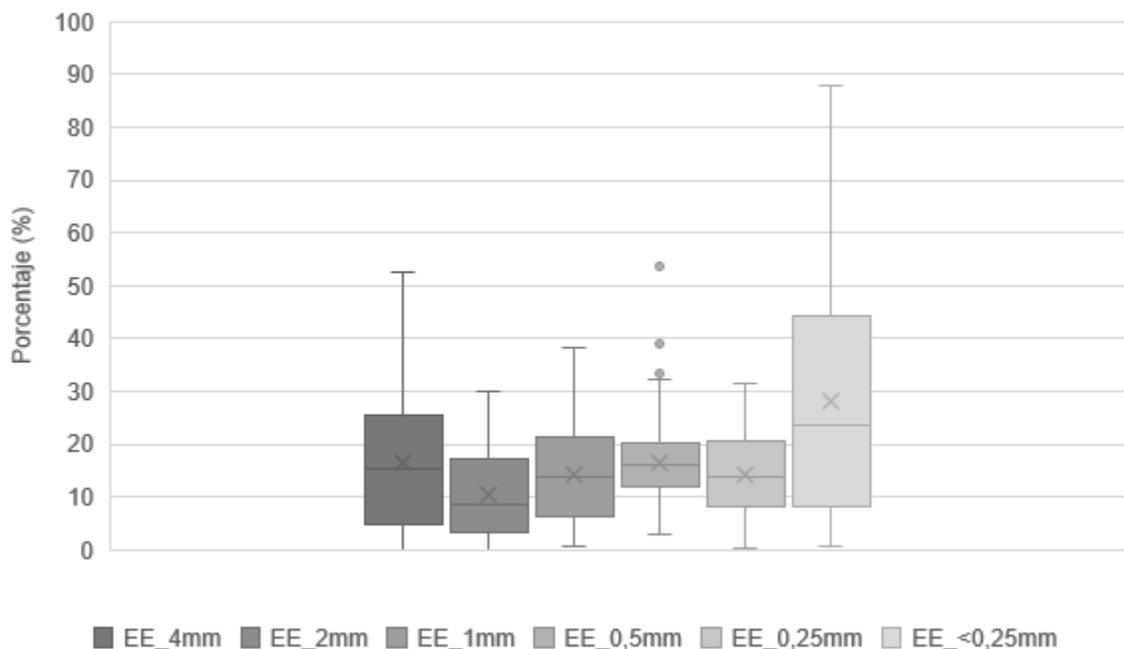


Figura 98. Distribución de agregados en la cuenca Guachal.

Fuente: Elaboración propia.

Índice de estabilidad

Según el índice, los puntos muestreados en la cuenca concentran un panorama de alerta, en donde el 47% de los sitios evaluados se consideran suelo degradados (IE<5), el 26% en alto riesgo de degradación (IE en el rango de 5-7) y el 27% 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 99).

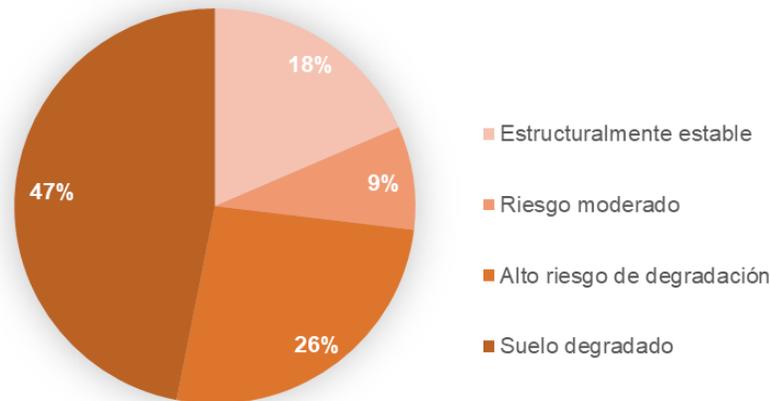


Figura 99. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca Guachal.
 Fuente: Elaboración propia.

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 Guachal.

CÓD	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	T	DA	CÓD	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	T	DA
C-GUA-1	22131 - Cacao	8,38	2,56	FAr	1,09	C-GUA-67	22131 - Cacao	11,25	3,86	Ar	0,97
C-GUA-2	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	6,10	2,84	Ar	0,72	C-GUA-68	23171 - Pasto cultivado arbolado	7,94	2,79	Ar	0,95
C-GUA-3	23170 - Pasto cultivado	11,61	2,65	F	1,46	C-GUA-69	22171 - Caña de azúcar	28,63	6,76	FArA	1,41
C-GUA-4	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	7,45	2,45	Ar	1,01	C-GUA-70	22171 - Caña de azúcar	7,52	1,79	ArA	1,40
C-GUA-5	23170 - Pasto cultivado	10,26	3,21	FAr	1,07	C-GUA-71	22171 - Caña de azúcar	10,80	2,45	F	1,47
C-GUA-6	32310 - Vegetación secundaria o transición	10,54	3,29	FArL	1,07	C-GUA-72	22171 - Caña de azúcar	6,80	1,48	FA	1,53
C-GUA-7	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	14,73	3,29	FAr	1,49	C-GUA-73	22171 - Caña de azúcar	11,67	2,39	F	1,63
C-GUA-8	32310 - Vegetación secundaria o transición	5,67	1,95	Ar	0,97	C-GUA-74	22171 - Caña de azúcar	17,48	4,04	FA	1,44
C-GUA-9	32310 - Vegetación secundaria o transición	13,82	3,29	F	1,40	C-GUA-75	21116 - Mango	20,98	5,04	FAr	1,39
C-GUA-10	32310 - Vegetación secundaria o transición	4,49	3,23	F	0,46	C-GUA-76	22171 - Caña de azúcar	15,66	3,65	ArL	1,43
C-GUA-11	32310 - Vegetación secundaria o transición	4,49	3,23	FA	0,46	C-GUA-77	22171 - Caña de azúcar	24,71	5,42	FArA	1,52
C-GUA-12	32310 - Vegetación secundaria o transición	8,59	2,95	FA	0,97	C-GUA-78	23170 - Pasto cultivado	7,33	2,54	F	0,96
C-GUA-13	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	9,24	2,28	F	1,35	C-GUA-79	22171 - Caña de azúcar	6,95	1,39	FL	1,66
C-GUA-14	23172 - Pasto cultivado enmalezado	3,13	1,66	Ar	0,63	C-GUA-80	22171 - Caña de azúcar	8,57	2,03	FAr	1,41
C-GUA-15	23172 - Pasto cultivado enmalezado	11,43	2,97	Ar	1,28	C-GUA-81	22171 - Caña de azúcar	11,44	3,25	FAr	1,17

CÓD	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	T	DA
C-GUA-16	32310 - Vegetación secundaria o transición	9,44	2,94	FArA	1,07
C-GUA-17	23170 - Pasto cultivado	12,65	3,35	F	1,26
C-GUA-18	32310 - Vegetación secundaria o transición	8,51	2,12	F	1,34
C-GUA-19	32310 - Vegetación secundaria o transición	7,55	4,18	F	0,60
C-GUA-20	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	7,66	2,45	Ar	1,04
C-GUA-21	32310 - Vegetación secundaria o transición	9,20	2,76	FAr	1,11
C-GUA-22	22171 - Caña de azúcar	12,65	2,65	FArA	1,59
C-GUA-23	23170 - Pasto cultivado	9,48	4,42	F	0,72
C-GUA-24	23172 - Pasto cultivado enmalezado	12,22	3,96	FA	1,03
C-GUA-25	23172 - Pasto cultivado enmalezado	12,81	3,62	FA	1,18
C-GUA-26	22171 - Caña de azúcar	11,21	2,32	F	1,61
C-GUA-27	23170 - Pasto cultivado	6,93	3,21	F	0,72
C-GUA-28	23170 - Pasto cultivado	11,43	4,44	FL	0,86
C-GUA-29	22171 - Caña de azúcar	9,96	2,32	F	1,43
C-GUA-30	32310 - Vegetación secundaria o transición	18,30	4,22	FArL	1,44
C-GUA-31	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	15,54	4,22	FA	1,23
C-GUA-32	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	6,69	2,34	F	0,95

CÓD	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	T	DA
C-GUA-82	22171 - Caña de azúcar	15,04	2,96	Ar	1,69
C-GUA-83	22171 - Caña de azúcar	13,78	2,98	Ar	1,54
C-GUA-84	22171 - Caña de azúcar	15,41	3,68	FAr	1,39
C-GUA-85	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	15,63	3,83	FAr	1,36
C-GUA-86	22171 - Caña de azúcar	22,67	4,99	FArA	1,51
C-GUA-87	23170 - Pasto cultivado	12,39	2,79	FA	1,48
C-GUA-88	22171 - Caña de azúcar	15,87	3,71	Ar	1,42
C-GUA-89	22171 - Caña de azúcar	16,21	3,13	FL	1,73
C-GUA-90	23161 - Pasto de corte	13,93	3,32	FAr	1,40
C-GUA-91	22171 - Caña de azúcar	26,32	5,84	FA	1,50
C-GUA-92	22171 - Caña de azúcar	16,67	3,98	FA	1,40
C-GUA-93	23171 - Pasto cultivado arbolado	14,88	5,01	F	0,99
C-GUA-94	22171 - Caña de azúcar	21,13	4,79	FAr	1,47
C-GUA-95	23172 - Pasto cultivado enmalezado	15,19	5,01	FAr	1,01
C-GUA-96	22171 - Caña de azúcar	20,44	5,13	F	1,33
C-GUA-97	24110 - Otras asociaciones de cultivos	18,46	4,26	FAr	1,44
C-GUA-98	22171 - Caña de azúcar	23,09	4,84	FAr	1,59

CÓD	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	T	DA
C-GUA-33	32310 - Vegetación secundaria o transición	12,65	3,79	FA	1,11
C-GUA-34	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	10,37	3,11	F	1,11
C-GUA-35	32310 - Vegetación secundaria o transición	14,74	3,98	FA	1,23
C-GUA-36	22171 - Caña de azúcar	9,66	2,01	FA	1,60
C-GUA-37	35221 - Áreas naturales desnudas	10,52	3,28	Ar	1,07
C-GUA-38	32310 - Vegetación secundaria o transición	8,50	2,92	F	0,97
C-GUA-39	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	11,69	2,63	F	1,48
C-GUA-40	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	11,71	3,03	FAr	1,29
C-GUA-41	23171 - Pasto cultivado arbolado	8,58	2,25	FAr	1,27
C-GUA-42	23170 - Pasto cultivado	19,52	4,66	F	1,40
C-GUA-43	23170 - Pasto cultivado	10,30	3,65	Ar	0,94
C-GUA-44	22131 - Cacao	16,65	4,72	FA	1,18
C-GUA-45	23170 - Pasto cultivado	17,59	4,72	FArL	1,24
C-GUA-46	32310 - Vegetación secundaria o transición	13,70	3,71	F	1,23
C-GUA-47	32310 - Vegetación secundaria o transición	19,56	4,46	F	1,46
C-GUA-48	31331 - Bosque mixto fragmentado con	0,00	0,00		

CÓD	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	T	DA
C-GUA-99	22171 - Caña de azúcar	12,86	2,63	FAr	1,63
C-GUA-100	22171 - Caña de azúcar	12,90	2,45	FA	1,76
C-GUA-101	22171 - Caña de azúcar	12,55	2,57	FA	1,63
C-GUA-102	22171 - Caña de azúcar	28,75	6,85	FAr	1,40
C-GUA-103	22171 - Caña de azúcar	10,46	2,20	FA	1,59
C-GUA-104	22171 - Caña de azúcar	18,90	4,29	FA	1,47
C-GUA-105	22171 - Caña de azúcar	9,03	1,91	F	1,58
C-GUA-106	22171 - Caña de azúcar	6,79	1,59	FL	1,42
C-GUA-107	22171 - Caña de azúcar	30,34	6,94	FArA	1,46
C-GUA-108	23413 - Cultivos ornamentales en invernadero	9,29	2,30	F	1,35
C-GUA-109	22171 - Caña de azúcar	8,75	2,21	FArA	1,32
C-GUA-110	22171 - Caña de azúcar	8,09	2,23	Ar	1,21
C-GUA-111	22171 - Caña de azúcar	7,83	2,34	Ar	1,12
C-GUA-112	22171 - Caña de azúcar	11,79	2,45	FA	1,60
C-GUA-113	22171 - Caña de azúcar	10,96	2,11	FA	1,73
C-GUA-114	22171 - Caña de azúcar	21,60	4,51	FArA	1,60

CÓD	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	T	DA
	vegetación natural				
C-GUA-49	22131 - Cacao	14,44	3,76	FAr	1,28
C-GUA-50	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	5,91	2,19	Ar	0,90
C-GUA-51	23170 - Pasto cultivado	10,27	2,41	FAr	1,42
C-GUA-52	22171 - Caña de azúcar	15,37	3,94	ArL	1,30
C-GUA-53	23170 - Pasto cultivado	7,83	1,90	FArA	1,37
C-GUA-54	23170 - Pasto cultivado	7,03	2,19	Ar	1,07
C-GUA-55	22171 - Caña de azúcar	12,49	3,62	ArA	1,15
C-GUA-56	23172 - Pasto cultivado enmalezado	8,61	2,72	Ar	1,06
C-GUA-57	23170 - Pasto cultivado	9,17	2,88	FAr	1,06
C-GUA-58	23170 - Pasto cultivado	9,89	3,61	FA	0,91
C-GUA-59	22171 - Caña de azúcar	6,45	1,57	FAr	1,37
C-GUA-60	22171 - Caña de azúcar	15,51	3,59	Ar	1,44
C-GUA-61	23170 - Pasto cultivado	9,55	2,56	FAr	1,24
C-GUA-62	32310 - Vegetación secundaria o transición	11,22	2,73	FArA	1,37
C-GUA-63	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	13,48	3,54	FA	1,27
C-GUA-64	22171 - Caña de azúcar	14,73	3,29	FA	1,49
C-GUA-65	23170 - Pasto cultivado	20,83	4,96	FArA	1,40
C-GUA-66	22171 - Caña de azúcar	13,50	3,26	FA	1,38

CÓD	USO DEL SUELO	LAA (mm)	AA (%)	T	DA
C-GUA-115	22171 - Caña de azúcar	9,11	2,08	FAr	1,46
C-GUA-116	22171 - Caña de azúcar	15,88	3,92	ArA	1,35
C-GUA-117	22171 - Caña de azúcar	23,57	5,46	ArA	1,44
C-GUA-118	22171 - Caña de azúcar	11,42	2,32	FA	1,64
C-GUA-119	22171 - Caña de azúcar	16,87	3,45	FArA	1,63
C-GUA-120	22171 - Caña de azúcar	22,47	4,66	FArA	1,61
C-GUA-121	23170 - Pasto cultivado	19,20	4,13	F	1,55
C-GUA-122	22171 - Caña de azúcar	14,88	3,25	FA	1,53
C-GUA-123	22171 - Caña de azúcar	18,18	4,42	FArA	1,37
C-GUA-124	22171 - Caña de azúcar	7,14	1,63	F	1,46
C-GUA-125	22171 - Caña de azúcar	17,71	4,47	F	1,32
C-GUA-126	22171 - Caña de azúcar	11,21	2,45	FA	1,53
C-GUA-127	22171 - Caña de azúcar	15,94	4,07	FArA	1,31
C-GUA-128	22171 - Caña de azúcar	11,11	2,43	F	1,52
C-GUA-129	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	8,01	2,30	FA	1,16
C-GUA-130	23115 - Piña	8,10	2,39	Ar	1,13
C-GUA-131	22171 - Caña de azúcar	15,80	3,58	FAr	1,47

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 Guachal se presentaron densidades que varían entre 0,46 y 1,76 g/cm³, de acuerdo con las categorías definidas por Arshad et al., (1996) se diferencian 62 sitios en categoría de ideales (<1,10 en texturas ArL y <1,40 en texturas F, FA, FAr, FArA, FArL, FL), 65 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 (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 Guachal.

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA (g/cm ³)	CATEGORÍA
Ar	C-GUA-14	23172 - Pasto cultivado enmalezado	0,63	Ideal
	C-GUA-2	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	0,72	Ideal
	C-GUA-50	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	0,90	Ideal
	C-GUA-43	23170 - Pasto cultivado	0,94	Ideal
	C-GUA-68	23171 - Pasto cultivado arbolado	0,95	Ideal
	C-GUA-67	22131 - Cacao	0,97	Ideal
	C-GUA-8	32310 - Vegetación secundaria o transición	0,97	Ideal
	C-GUA-4	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	1,01	Ideal
	C-GUA-20	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	1,04	Ideal
	C-GUA-56	23172 - Pasto cultivado enmalezado	1,06	Ideal
	C-GUA-37	35221 - Áreas naturales desnudas	1,07	Ideal
	C-GUA-54	23170 - Pasto cultivado	1,07	Ideal
	C-GUA-111	22171 - Caña de azúcar	1,12	Posible afectación radicular
	C-GUA-130	23115 - Piña	1,13	Posible afectación radicular
	C-GUA-110	22171 - Caña de azúcar	1,21	Posible afectación radicular
	C-GUA-15	23172 - Pasto cultivado enmalezado	1,28	Posible afectación radicular
	C-GUA-88	22171 - Caña de azúcar	1,42	Posible afectación radicular
	C-GUA-60	22171 - Caña de azúcar	1,44	Posible afectación radicular
	C-GUA-83	22171 - Caña de azúcar	1,54	Afectación radicular
	C-GUA-82	22171 - Caña de azúcar	1,69	Afectación radicular
ArA	C-GUA-55	22171 - Caña de azúcar	1,15	Posible afectación radicular
	C-GUA-116	22171 - Caña de azúcar	1,35	Posible afectación radicular
	C-GUA-70	22171 - Caña de azúcar	1,40	Posible afectación radicular
	C-GUA-117	22171 - Caña de azúcar	1,44	Posible afectación radicular
ArL	C-GUA-52	22171 - Caña de azúcar	1,30	Posible afectación radicular
	C-GUA-76	22171 - Caña de azúcar	1,43	Posible afectación radicular
F	C-GUA-10	32310 - Vegetación secundaria o transición	0,46	Ideal
	C-GUA-19	32310 - Vegetación secundaria o transición	0,60	Ideal

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA (g/cm ³)	CATEGORÍA
	C-GUA-23	23170 - Pasto cultivado	0,72	Ideal
	C-GUA-27	23170 - Pasto cultivado	0,72	Ideal
	C-GUA-32	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	0,95	Ideal
	C-GUA-78	23170 - Pasto cultivado	0,96	Ideal
	C-GUA-38	32310 - Vegetación secundaria o transición	0,97	Ideal
	C-GUA-93	23171 - Pasto cultivado arbolado	0,99	Ideal
	C-GUA-34	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1,11	Ideal
	C-GUA-46	32310 - Vegetación secundaria o transición	1,23	Ideal
	C-GUA-17	23170 - Pasto cultivado	1,26	Ideal
	C-GUA-125	22171 - Caña de azúcar	1,32	Ideal
	C-GUA-96	22171 - Caña de azúcar	1,33	Ideal
	C-GUA-18	32310 - Vegetación secundaria o transición	1,34	Ideal
	C-GUA-108	23413 - Cultivos ornamentales en invernadero	1,35	Ideal
	C-GUA-13	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	1,35	Ideal
	C-GUA-42	23170 - Pasto cultivado	1,40	Posible afectación radicular
	C-GUA-9	32310 - Vegetación secundaria o transición	1,40	Posible afectación radicular
	C-GUA-29	22171 - Caña de azúcar	1,43	Posible afectación radicular
	C-GUA-3	23170 - Pasto cultivado	1,46	Posible afectación radicular
	C-GUA-47	32310 - Vegetación secundaria o transición	1,46	Posible afectación radicular
	C-GUA-124	22171 - Caña de azúcar	1,46	Posible afectación radicular
	C-GUA-71	22171 - Caña de azúcar	1,47	Posible afectación radicular
	C-GUA-39	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	1,48	Posible afectación radicular
	C-GUA-128	22171 - Caña de azúcar	1,52	Posible afectación radicular
	C-GUA-121	23170 - Pasto cultivado	1,55	Posible afectación radicular
	C-GUA-105	22171 - Caña de azúcar	1,58	Posible afectación radicular
	C-GUA-26	22171 - Caña de azúcar	1,61	Posible afectación radicular
	C-GUA-73	22171 - Caña de azúcar	1,63	Posible afectación radicular
FA	C-GUA-11	32310 - Vegetación secundaria o transición	0,46	Ideal
	C-GUA-58	23170 - Pasto cultivado	0,91	Ideal

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA (g/cm ³)	CATEGORÍA
	C-GUA-12	32310 - Vegetación secundaria o transición	0,97	Ideal
	C-GUA-24	23172 - Pasto cultivado enmalezado	1,03	Ideal
	C-GUA-33	32310 - Vegetación secundaria o transición	1,11	Ideal
	C-GUA-129	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	1,16	Ideal
	C-GUA-44	22131 - Cacao	1,18	Ideal
	C-GUA-25	23172 - Pasto cultivado enmalezado	1,18	Ideal
	C-GUA-31	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	1,23	Ideal
	C-GUA-35	32310 - Vegetación secundaria o transición	1,23	Ideal
	C-GUA-63	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1,27	Ideal
	C-GUA-66	22171 - Caña de azúcar	1,38	Ideal
	C-GUA-92	22171 - Caña de azúcar	1,40	Posible afectación radicular
	C-GUA-74	22171 - Caña de azúcar	1,44	Posible afectación radicular
	C-GUA-104	22171 - Caña de azúcar	1,47	Posible afectación radicular
	C-GUA-87	23170 - Pasto cultivado	1,48	Posible afectación radicular
	C-GUA-64	22171 - Caña de azúcar	1,49	Posible afectación radicular
	C-GUA-91	22171 - Caña de azúcar	1,50	Posible afectación radicular
	C-GUA-122	22171 - Caña de azúcar	1,53	Posible afectación radicular
	C-GUA-126	22171 - Caña de azúcar	1,53	Posible afectación radicular
	C-GUA-72	22171 - Caña de azúcar	1,53	Posible afectación radicular
	C-GUA-103	22171 - Caña de azúcar	1,59	Posible afectación radicular
	C-GUA-36	22171 - Caña de azúcar	1,60	Posible afectación radicular
	C-GUA-112	22171 - Caña de azúcar	1,60	Posible afectación radicular
	C-GUA-101	22171 - Caña de azúcar	1,63	Posible afectación radicular
	C-GUA-118	22171 - Caña de azúcar	1,64	Posible afectación radicular
	C-GUA-113	22171 - Caña de azúcar	1,73	Posible afectación radicular
	C-GUA-100	22171 - Caña de azúcar	1,76	Posible afectación radicular
FAr	C-GUA-95	23172 - Pasto cultivado enmalezado	1,01	Ideal
	C-GUA-57	23170 - Pasto cultivado	1,06	Ideal
	C-GUA-5	23170 - Pasto cultivado	1,07	Ideal

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA (g/cm ³)	CATEGORÍA
	C-GUA-1	22131 - Cacao	1,09	Ideal
	C-GUA-21	32310 - Vegetación secundaria o transición	1,11	Ideal
	C-GUA-81	22171 - Caña de azúcar	1,17	Ideal
	C-GUA-61	23170 - Pasto cultivado	1,24	Ideal
	C-GUA-41	23171 - Pasto cultivado arbolado	1,27	Ideal
	C-GUA-49	22131 - Cacao	1,28	Ideal
	C-GUA-40	31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural	1,29	Ideal
	C-GUA-85	24130 - Misceláneo de pastos y cultivos	1,36	Ideal
	C-GUA-59	22171 - Caña de azúcar	1,37	Ideal
	C-GUA-75	21116 - Mango	1,39	Ideal
	C-GUA-84	22171 - Caña de azúcar	1,39	Ideal
	C-GUA-102	22171 - Caña de azúcar	1,40	Posible afectación radicular
	C-GUA-90	23161 - Pasto de corte	1,40	Posible afectación radicular
	C-GUA-80	22171 - Caña de azúcar	1,41	Posible afectación radicular
	C-GUA-51	23170 - Pasto cultivado	1,42	Posible afectación radicular
	C-GUA-97	24110 - Otras asociaciones de cultivos	1,44	Posible afectación radicular
	C-GUA-115	22171 - Caña de azúcar	1,46	Posible afectación radicular
	C-GUA-94	22171 - Caña de azúcar	1,47	Posible afectación radicular
	C-GUA-131	22171 - Caña de azúcar	1,47	Posible afectación radicular
	C-GUA-7	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1,49	Posible afectación radicular
	C-GUA-98	22171 - Caña de azúcar	1,59	Posible afectación radicular
	C-GUA-99	22171 - Caña de azúcar	1,63	Posible afectación radicular
	FArA	C-GUA-16	32310 - Vegetación secundaria o transición	1,07
C-GUA-127		22171 - Caña de azúcar	1,31	Ideal
C-GUA-109		22171 - Caña de azúcar	1,32	Ideal
C-GUA-62		32310 - Vegetación secundaria o transición	1,37	Ideal
C-GUA-123		22171 - Caña de azúcar	1,37	Ideal
C-GUA-53		23170 - Pasto cultivado	1,37	Ideal
C-GUA-65		23170 - Pasto cultivado	1,40	Posible afectación radicular

TEXTURA	CÓDIGO	COBERTURA DEL SUELO	DA (g/cm ³)	CATEGORÍA
	C-GUA-69	22171 - Caña de azúcar	1,41	Posible afectación radicular
	C-GUA-107	22171 - Caña de azúcar	1,46	Posible afectación radicular
	C-GUA-86	22171 - Caña de azúcar	1,51	Posible afectación radicular
	C-GUA-77	22171 - Caña de azúcar	1,52	Posible afectación radicular
	C-GUA-22	22171 - Caña de azúcar	1,59	Posible afectación radicular
	C-GUA-114	22171 - Caña de azúcar	1,60	Posible afectación radicular
	C-GUA-120	22171 - Caña de azúcar	1,61	Posible afectación radicular
	C-GUA-119	22171 - Caña de azúcar	1,63	Posible afectación radicular
FArL	C-GUA-6	32310 - Vegetación secundaria o transición	1,07	Ideal
	C-GUA-45	23170 - Pasto cultivado	1,24	Posible afectación radicular
	C-GUA-30	32310 - Vegetación secundaria o transición	1,44	Posible afectación radicular
FL	C-GUA-28	23170 - Pasto cultivado	0,86	Ideal
	C-GUA-106	22171 - Caña de azúcar	1,42	Posible afectación radicular
	C-GUA-79	22171 - Caña de azúcar	1,66	Posible afectación radicular
	C-GUA-89	22171 - Caña de azúcar	1,73	Afectación radicular

Fuente: Elaboración propia.

8.3.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS

En la Tabla 34 se presentan los resultados de las propiedades químicas para los sitios muestreados en la cuenca Guachal. 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 Guachal.

PROPIEDAD	UNID	PROM	MÍN	MÁX	DESV
Azufre (S)	mg/kg	11,98	2,05	359,71	32,40
Boro (B)	mg/kg	0,30	0,03	2,01	0,23
Calcio (Ca)	cmol(+)/kg	16,37	3,38	42,08	9,62
Capacidad inter. Cat. Aceta (CICA)	cmol(+)/kg	25,69	6,27	59,21	13,52
Capacidad inter. Cat. Efectiva (CICE)	cmol(+)/kg	24,39	4,40	57,72	14,43
Cobre (Cu)	mg/kg	5,17	1,00	26,52	3,63
Conductividad eléctrica (CE)	dS/m	0,39	0,11	10,28	0,93
Fósforo (P)	mg/kg	43,62	1,29	1042,39	124,42
Hierro (Fe)	mg/kg	88,43	8,68	413,66	81,67
Magnesio (Mg)	cmol(+)/kg	7,17	0,90	22,72	5,58
Manganeso (Mn)	mg/kg	5,48	1,00	39,76	5,45
Materia orgánica (MO)	g/100 g	3,59	0,79	17,29	2,61
Nitrógeno (Nt)	g/100 g	0,23	0,08	0,89	0,15
pH	unid. pH	6,72	4,94	8,86	0,79
Potasio (K)	cmol(+)/kg	0,49	0,09	5,08	0,78
Sodio (Na)	cmol(+)/kg	0,30	0,14	7,79	0,74
Humedad aprovechable (HA)	%	2,44	1,00	27,38	3,64
Zinc (Zn)	mg/kg	11,98	2,05	359,71	32,40

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 100 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 (0,23 g/100 g), Fosforo (43,62 mg/kg) y Potasio (0,49 cmol(+)/kg),, al igual que los microelementos principales Calcio (16,37 cmol(+)/kg) y el Magnesio (5,48 mg/Kg) en una adecuada proporción 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⁺ 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 (88,43 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 (11,98 mg/kg), Boro (0,30 mg/kg) y Manganeseo (5,48 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 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 Guachal 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.

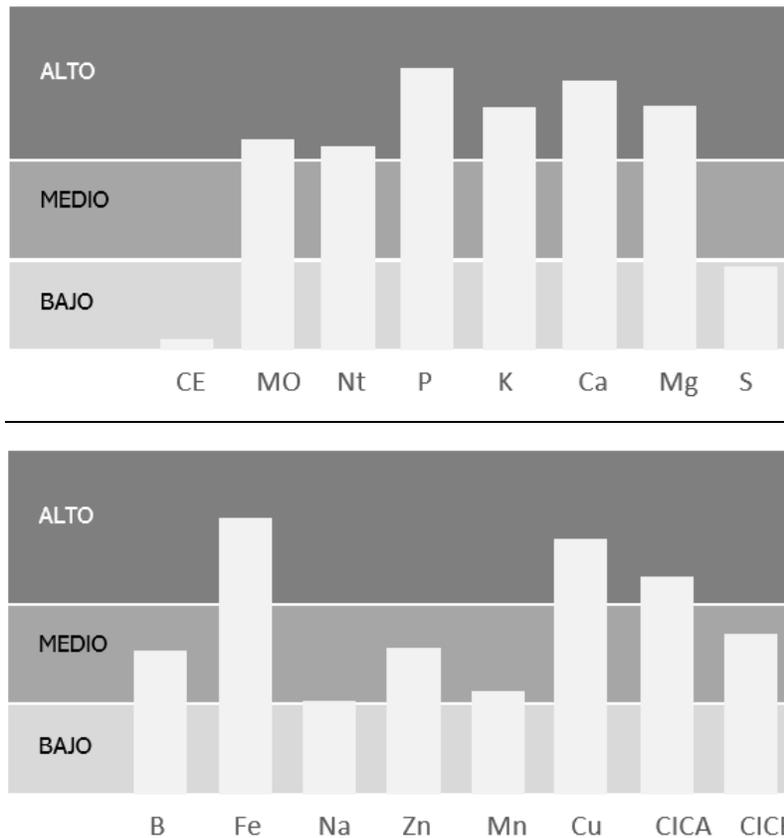


Figura 100. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca Guachal.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al pH, en la Figura 101 se observa que, la mediana es de 6,67 mientras que la mitad de las muestras se concentran en la condición entre 6,20 y 7,18 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.

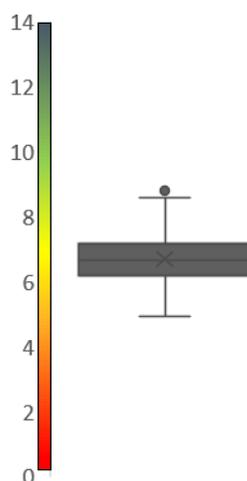


Figura 101. Distribución de los valores de pH de la cuenca Guachal.

Fuente: Elaboración propia.

8.3.3 ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS

De acuerdo con la estimación de almacenamiento de COS en el suelo, la mediana para la cuenca Guachal es 63,0 tCOS/ha en el COS general, 73,7 tCOS/ha en el COS grueso y 101,2 tCOS/ha en COS almacenado en la fracción fina (Figura 102). Para el caso del COS fino es considerado en un nivel Alto (80 – 119,9 tCOS/ha) mientras que el contenido de COS general y grueso se establecen en un nivel medio (40 – 79,9 tCOS/ha) (Loayza et al., 2020). En general se aprecia que las variaciones en el contenido del COS oscilan entre rangos de 150 tCOS/ha en las tres fracciones, presentado valores atípicos que sobresalen de la desviación estándar de cada una de las fracciones. Sin embargo, la fracción fina presenta la mayor desviación estándar y los valores atípicos más altos se

presenta en zona de cultivo de cebolla larga (425,5 tCOS/ha) y Bosque secundario nativo (314,6 tCOS/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 1012).

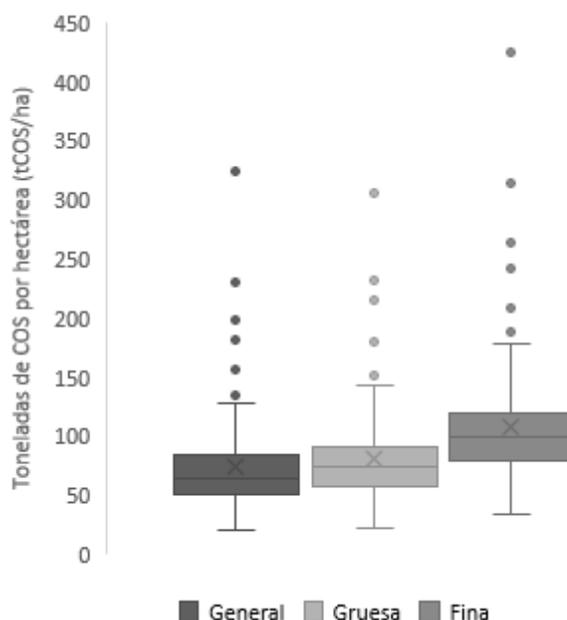


Figura 102. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general Cuenca Guachal.
Fuente: Elaboración propia.

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 Guachal el 50% de los datos de almacenamiento de COS fino se encontraron entre 79,9 y 123,3 tCOS/ha,

con una mediana de 101,2 tCOS/ha, presentando contenidos similares a los estimados por el IGAC para la región Andina (Bolívar et al., 2019). Sin embargo, en la Figura 103 se identifica un gradiente de concentración de occidente a oriente asociados al gradiente de altura o piso térmico que favorece el aumento el contenido de COS a menor temperatura o mayor altura, como lo reporta Arguello (1991).

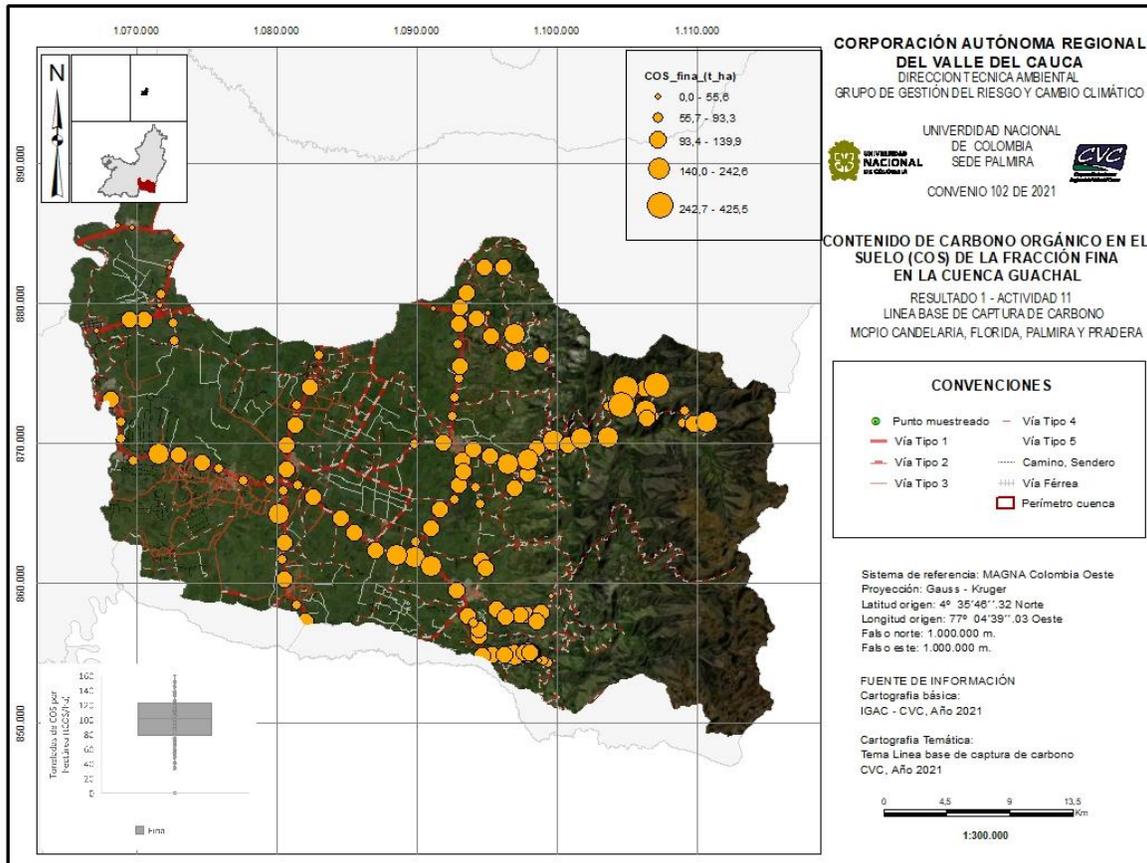


Figura 103. Distribución de los contenidos de COS en la fracción fina en la cuenca Guachal (tCOS/ha).

Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, la categorización de las estimaciones de COS en la cuenca Guachal (Tabla 35), al utilizar la Da y el contenido de carbono orgánico en la fracción fina, en 35 de los 117 sitios se tiene un nivel Muy Alto (>120 tCOS/ha), 63 se encuentran en un nivel Alto (80 - 119,9 tCOS/ha), 30 sitios se encuentran en un nivel Medio (40 - 79,9 tCOS/ha) y 3 sitios se encuentran en un nivel Bajo (<40 tCOS/ha) (Vela et al., 2012; Loayza et al., 2020). Siendo un factor positivo identificar la mayor parte de los sitios evaluados (75%) en condiciones de almacenamiento de COS entre Altos y Muy Altos.

Tabla 35. Contenidos de COS calculado y nivel de concentración por sitio muestreado de la cuenca Guachal.

CÓDIGO	DA	COS	COS Fina	NIVEL
C-GUA-1	1,09	91,2	117,3	Alto
C-GUA-2	0,72	50,6	64,7	Medio
C-GUA-3	1,46	68,7	96,1	Alto
C-GUA-4	1,01	48,4	68,9	Medio
C-GUA-5	1,07	36,5	136,2	Muy Alto
C-GUA-6	1,07	155,8	188,3	Muy Alto
C-GUA-7	1,49	235,2	263,8	Muy Alto
C-GUA-8	0,97	230,9	314,6	Muy Alto
C-GUA-9	1,40	324,8	425,5	Muy Alto
C-GUA-10	0,46	43,3	67,3	Medio
C-GUA-11	0,46	91,3	74,2	Medio
C-GUA-12	0,97	72,4	72,7	Medio
C-GUA-13	1,35	35,3	65,9	Medio
C-GUA-14	0,63	46,5	57,9	Medio
C-GUA-15	1,28	92,0	134,8	Muy Alto
C-GUA-16	1,07	51,4	78,5	Medio
C-GUA-17	1,26	37,0	59,8	Medio
C-GUA-18	1,34	82,0	107,7	Alto
C-GUA-19	0,60	181,0	208,6	Muy Alto
C-GUA-20	1,04	85,5	110,3	Alto
C-GUA-21	1,11	90,6	113,6	Alto
C-GUA-22	1,59	63,4	99,9	Alto
C-GUA-23	0,72	134,5	105,9	Alto
C-GUA-24	1,03	124,1	173,5	Muy Alto
C-GUA-25	1,18	77,2	134,1	Muy Alto
C-GUA-26	1,61	51,7	80,9	Alto
C-GUA-27	0,72	127,3	123,6	Muy Alto
C-GUA-28	0,86	107,0	109,0	Alto
C-GUA-29	1,43	81,5	99,0	Alto
C-GUA-30	1,44	110,5	97,7	Alto
C-GUA-31	1,23	91,3	122,5	Muy Alto
C-GUA-32	0,95	99,4	151,2	Muy Alto

CÓDIGO	DA	COS	COS Fina	NIVEL
C-GUA-66	1,38	34,8	72,9	Medio
C-GUA-67	0,97	57,4	139,9	Muy Alto
C-GUA-68	0,95	70,1	114,3	Alto
C-GUA-69	1,41	64,3	96,3	Alto
C-GUA-70	1,40	38,2	87,4	Alto
C-GUA-71	1,47	58,3	104,1	Alto
C-GUA-72	1,53	136,8	213,3	Muy Alto
C-GUA-73	1,63	62,0	102,6	Alto
C-GUA-74	1,44	39,8	75,4	Medio
C-GUA-75	1,39	52,4	114,9	Alto
C-GUA-76	1,43	20,6	34,1	Bajo
C-GUA-77	1,52	68,9	121,7	Muy Alto
C-GUA-78	0,96	83,0	99,3	Alto
C-GUA-79	1,66	53,8	86,7	Alto
C-GUA-80	1,41	49,5	74,6	Medio
C-GUA-81	1,17	60,9	73,0	Medio
C-GUA-82	1,69	80,8	137,9	Muy Alto
C-GUA-83	1,54	63,7	102,9	Alto
C-GUA-84	1,39	61,5	99,6	Alto
C-GUA-85	1,36	84,9	148,4	Muy Alto
C-GUA-86	1,51	56,8	78,3	Medio
C-GUA-87	1,48	20,4	34,2	Bajo
C-GUA-88	1,42	67,9	146,7	Muy Alto
C-GUA-89	1,73	77,6	116,1	Alto
C-GUA-90	1,40	75,5	108,9	Alto
C-GUA-91	1,50	44,2	71,0	Medio
C-GUA-92	1,40	39,8	67,9	Medio
C-GUA-93	0,99	61,8	133,2	Muy Alto
C-GUA-94	1,47	48,1	61,3	Medio
C-GUA-95	1,01	101,2	162,5	Muy Alto
C-GUA-96	1,33	46,2	95,7	Alto
C-GUA-97	1,44	55,1	116,5	Alto

CÓDIGO	DA	COS	COS Fina	NIVEL
C-GUA-33	1,11	70,0	78,1	Medio
C-GUA-34	1,11	111,2	151,2	Muy Alto
C-GUA-35	1,23	108,2	119,4	Alto
C-GUA-36	1,6	49,9	98,2	Alto
C-GUA-37	1,07	69,7	123,3	Muy Alto
C-GUA-38	0,97	97,6	75,1	Medio
C-GUA-39	1,48	38,6	40,6	Medio
C-GUA-40	1,29	50,6	111,7	Alto
C-GUA-41	1,27	122,6	144,8	Muy Alto
C-GUA-42	1,40	81,7	149,1	Muy Alto
C-GUA-43	0,94	76,2	101,4	Alto
C-GUA-44	1,18	40,9	80,3	Alto
C-GUA-45	1,24	48,1	134,5	Muy Alto
C-GUA-46	1,23	80,2	113,9	Alto
C-GUA-47	1,46	63,1	97,4	Alto
C-GUA-48		0,0	0,0	Sin datos
C-GUA-49	1,28	108,7	96,6	Alto
C-GUA-50	0,90	93,0	115,9	Alto
C-GUA-51	1,42	199,0	242,6	Muy Alto
C-GUA-52	1,30	52,3	111,6	Alto
C-GUA-53	1,37	52,3	95,2	Alto
C-GUA-54	1,07	72,3	102,3	Alto
C-GUA-55	1,15	36,2	51,1	Medio
C-GUA-56	1,06	84,6	54,7	Medio
C-GUA-57	1,06	85,7	178,2	Muy Alto
C-GUA-58	0,91	48,2	98,7	Alto
C-GUA-59	1,37	61,5	64,7	Medio
C-GUA-60	1,44	44,5	55,6	Medio
C-GUA-61	1,24	61,6	93,3	Alto
C-GUA-62	1,37	62,5	98,2	Alto
C-GUA-63	1,27	86,5	148,7	Muy Alto
C-GUA-64	1,49	51,9	96,5	Alto
C-GUA-65	1,40	60,9	86,4	Alto

CÓDIGO	DA	COS	COS Fina	NIVEL
C-GUA-98	1,59	52,5	102,3	Alto
C-GUA-99	1,63	85,6	153,5	Muy Alto
C-GUA-100	1,76	125,9	193,6	Muy Alto
C-GUA-101	1,63	81,6	128,4	Muy Alto
C-GUA-102	1,40	47,0	83,3	Alto
C-GUA-103	1,59	64,3	126,2	Muy Alto
C-GUA-104	1,47	67,4	109,0	Alto
C-GUA-105	1,58	34,6	119,9	Alto
C-GUA-106	1,42	56,7	78,5	Medio
C-GUA-107	1,46	57,3	95,8	Alto
C-GUA-108	1,35	60,3	86,4	Alto
C-GUA-109	1,32	55,3	62,5	Medio
C-GUA-110	1,21	69,6	53,3	Medio
C-GUA-111	1,12	78,7	69,4	Medio
C-GUA-112	1,60	59,6	113,5	Alto
C-GUA-113	1,73	41,0	95,6	Alto
C-GUA-114	1,60	74,7	117,1	Alto
C-GUA-115	1,46	38,9	73,0	Medio
C-GUA-116	1,35	61,6	100,3	Alto
C-GUA-117	1,44	55,7	86,7	Alto
C-GUA-118	1,64	64,5	128,2	Muy Alto
C-GUA-119	1,63	43,0	87,7	Alto
C-GUA-120	1,61	71,8	109,8	Alto
C-GUA-121	1,55	29,3	49,3	Medio
C-GUA-122	1,53	62,8	119,4	Alto
C-GUA-123	1,37	49,4	105,3	Alto
C-GUA-124	1,46	62,8	113,9	Alto
C-GUA-125	1,32	63,5	87,4	Alto
C-GUA-126	1,53	47,7	88,7	Alto
C-GUA-127	1,31	112,8	188,7	Muy Alto
C-GUA-128	1,52	55,8	100,9	Alto
C-GUA-129	1,16	84,0	135,5	Muy Alto
C-GUA-130	1,13	58,0	91,4	Alto

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados indican que las reservas de COS en suelos de la cuenca Guachal son altas para la fracción fina, 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 104), específicamente la comparación entre superficies plantadas y las superficies naturales evaluadas, se pudo establecer que las superficies naturales presentan una mediana de 111,7 tCOS/ha superior a 100,3 tCOS/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 mayor 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 tCOS/ha) con 31331 - Bosque mixto fragmentado con vegetación natural (82,5 tCOS/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 Guachal, se pudo establecer que los cultivos con contenidos almacenamiento de COS superiores a la mediana de la cuenca fueron del siguiente orden:

- 24130 - Misceláneo de pastos y cultivos (148,4 tCOS/ha)
- 23172 - Pasto cultivado enmalezado (116,6 tCOS/ha)
- 23170 - Pasto cultivado (111,1 tCOS/ha)
- 23171 - Pasto cultivado arbolado (108,1 tCOS/ha)
- 21116 – Mango (101,3 tCOS/ha)

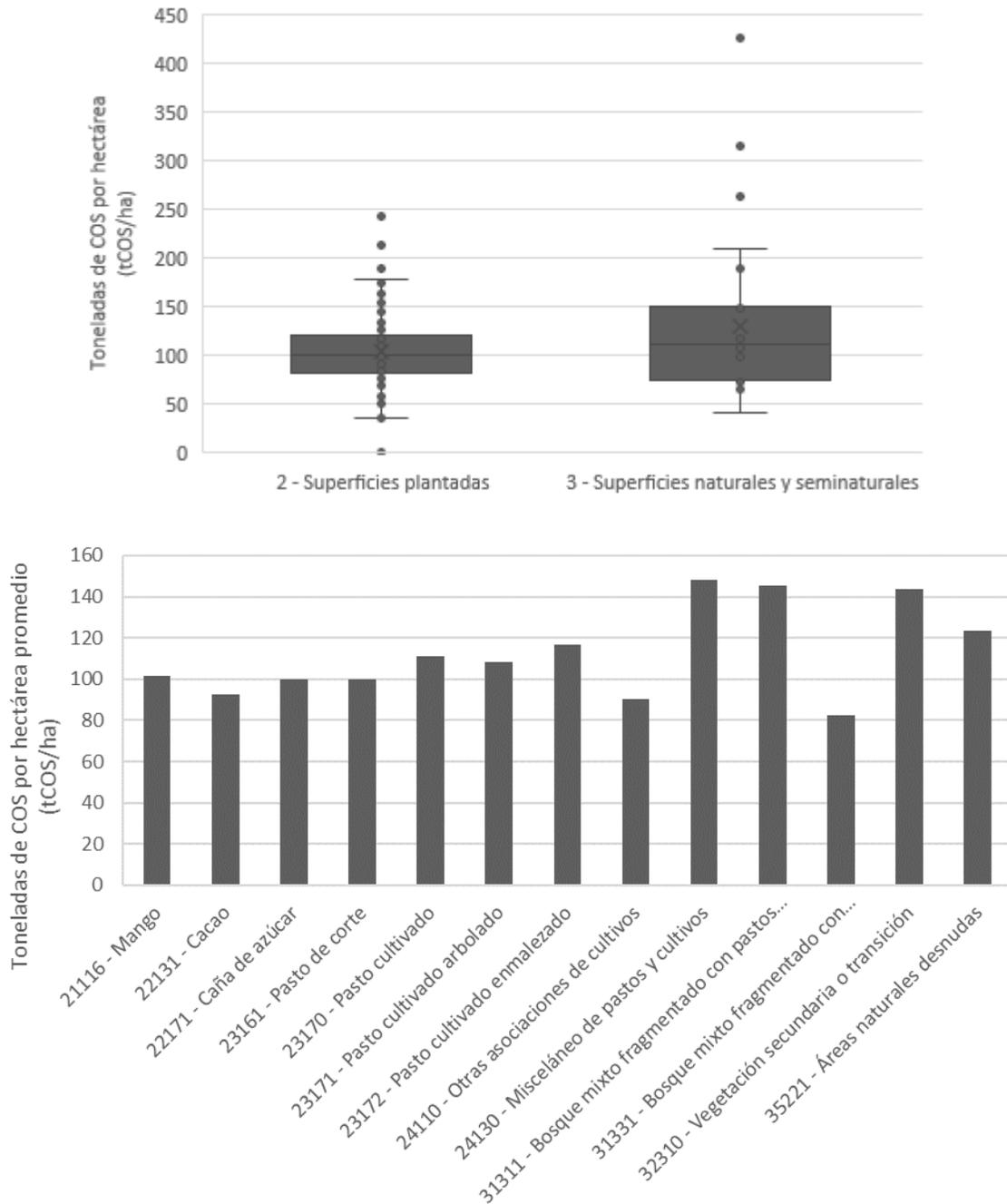


Figura 104. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura, cuenca Guachal.

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 105 se presentan el análisis. Se observa que los valores de COS fueron inferiores en zonas planas (37,3 tCOS/ha), mientras que en el resto de las zonas el

comportamiento de las muestras es similar a la mediana de la cuenca, variando entre 81,6 tCOS/ha y 107,6 tCOS/ha en promedio. Por otro lado, el contenido de COS promedio en zonas frías es superior 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.

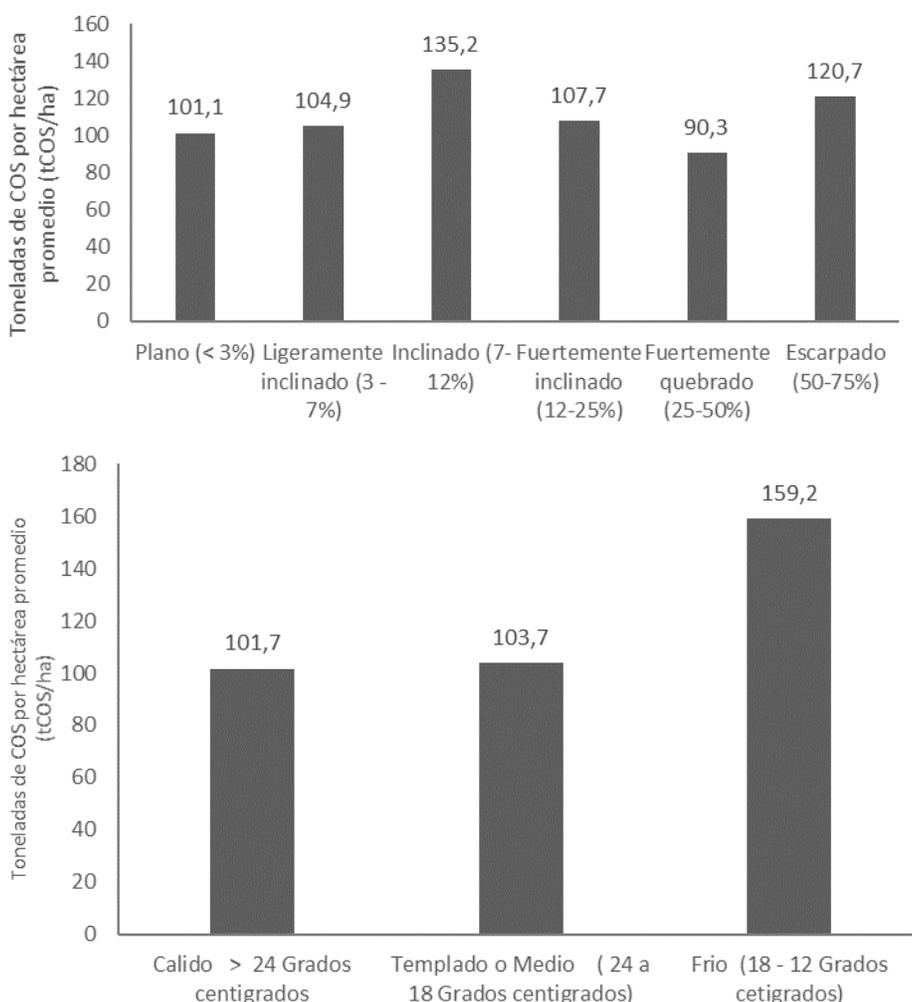


Figura 105. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico, cuenca Guachal.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos para la cuenca Guachal, 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 Guachal es de 110.432 ha y que el 50% de los valores varían entre 79,9 tCOS/ha y 123,3 tCOS/ha, el COS fino almacenado estimado para la cuenca estaría entre 8.823.517 y 13.616.266 tCOS.

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

$$E_{COS} = 110.432 * 79,9$$

$$E_{COS} \cong 8.823.517 \text{ tCOS mínimo}$$

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

$$E_{COS} = 110.432 * 123,3$$

$$E_{COS} \cong 13.616.266 \text{ tCOS máximo}$$

8.3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con el objetivo de conocer la relación entre los diferentes niveles de COS fino y las propiedades fisicoquímicas en la cuenca Guachal, 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 fino. 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 fina y la Materia Orgánica, así como con el Nitrógeno. Esto se traduce, a que entre mayor niveles de materia orgánica y nitrógeno se encuentren presentes en la cuenca, mayor será el nivel de COS fina. 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 fina.

PROPIEDADES	COS FINA	
	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

PROPIEDADES	COS FINA	
	CORR	p-VALOR
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 106, 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 fina más bajos.

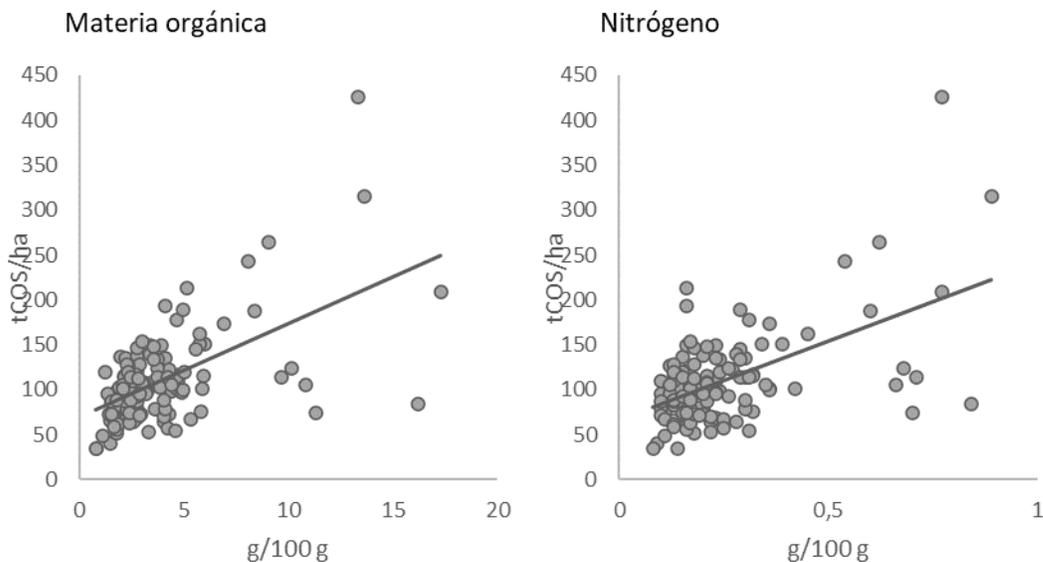


Figura 106. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS fina.

8.4 LÍNEA BASE DE ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN SUELOS DE LA CUENCA SONSO

La determinación de la línea base de almacenamiento de carbono en suelos de la cuenca Sonso 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. Al final de este ítem se presenta el análisis del almacenamiento de carbono para los suelos muestreados en esta cuenca.

8.4.1 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 Sonso predominan las clases texturales de Arcillosas (Ar) y Franco Arcillosas (FAr), con leve presencia de suelos Francos (F). De acuerdo con la Figura 107, 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.

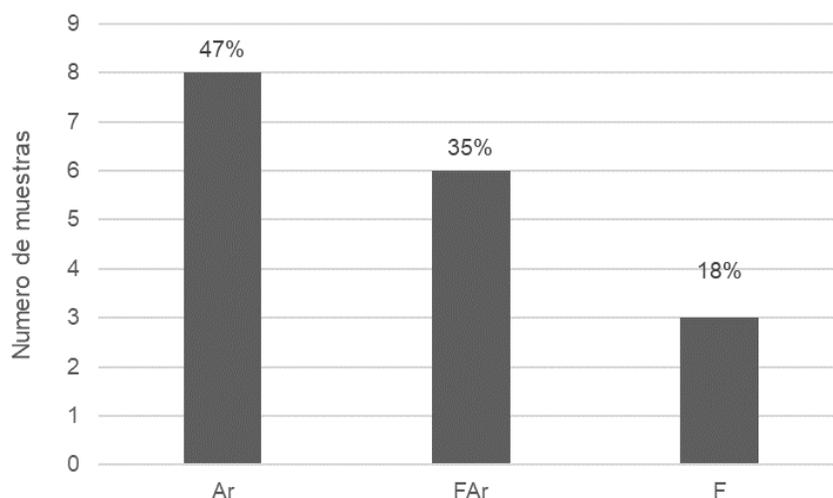


Figura 107. Texturas en la cuenca Sonso.

Fuente: Fuente: Elaboración propia.

Estabilidad de agregados

De acuerdo con la Figura 108, la distribución de los agregados del suelo presenta una tendencia hacia las partículas más finas, menores a 0,25 mm de diámetro, donde el porcentaje promedio es cercano al 40% mientras que los demás diámetros oscilan entre 5 y 20%. 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.

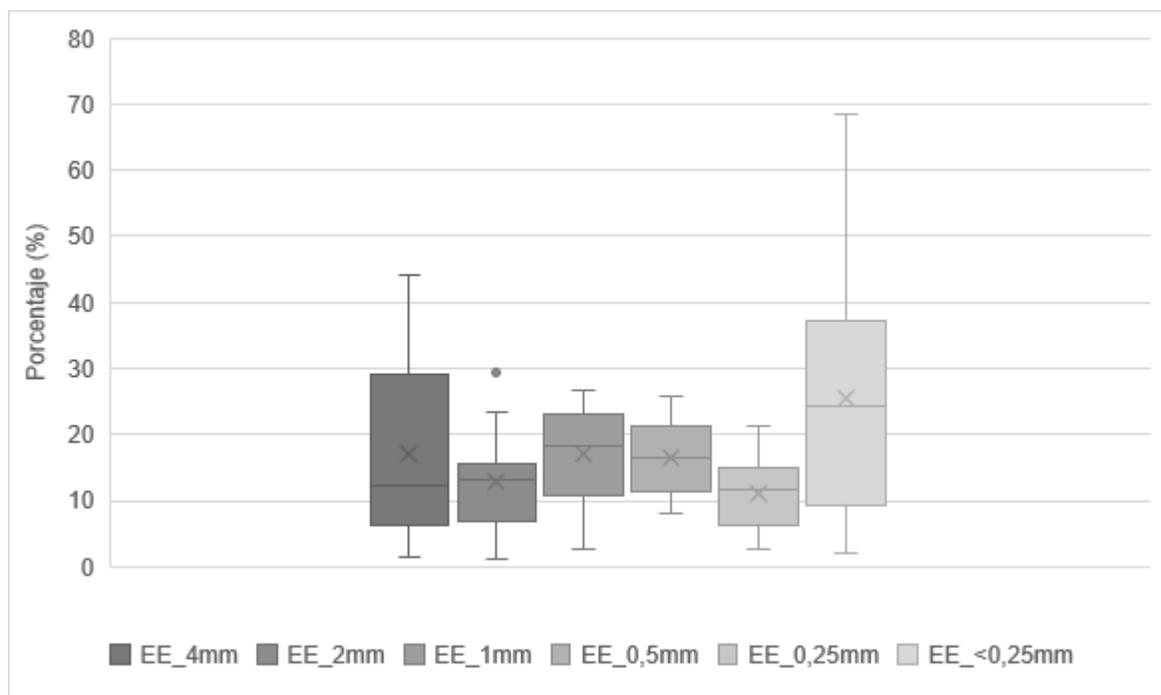


Figura 108. Distribución de agregados en la cuenca Sonso.

Fuente: Fuente: Elaboración propia.

Índice de estabilidad

Según el índice, los puntos muestreados en la cuenca concentran un panorama de alerta, en donde el 59% de los sitios evaluados se consideran suelo degradados ($IE < 5$), el 23% en alto riesgo de degradación (IE en el rango de 5-7) y solamente el 12% 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 109).

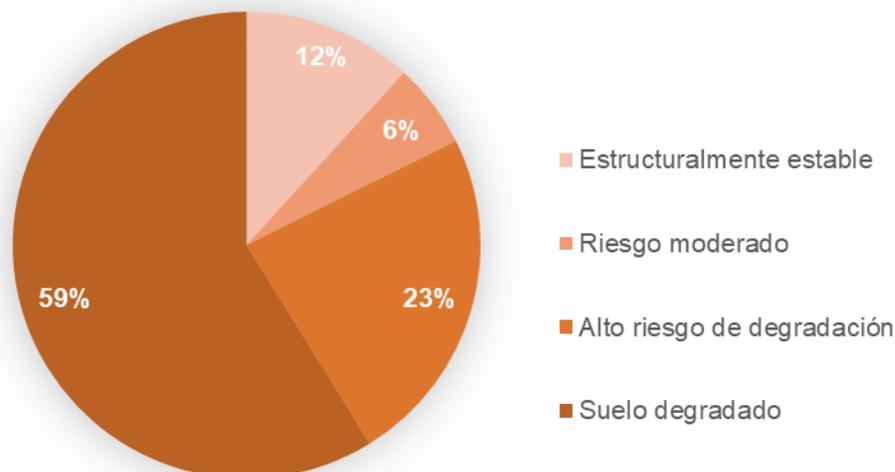


Figura 109. Indicador de estabilidad de agregados para la cuenca Sonso.

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).

Un ejemplo del efecto del manejo del suelo, en relación con las propiedades de D_a y LAA se pueden destacar en el predio (C-SON-3) con pastos cultivados, destinados para la rotación de ganado vacuno con prácticas de incorporación de gallinaza por periodos prolongados de tiempo mejoran las condiciones del suelo y disponibilidad agua, lo que diferencia este suelo del resto, incluso con texturas más livianas.

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

CÓDIGO	USO DE SUELO	LAA (mm)	AA (%)	TEXTURA	DA
C-SON-1	22121 - Café	6,2	4,2	F	0,50
C-SON-2	22113 - Plátano	10,3	5,0	F	0,68
C-SON-3	23170 - Pasto cultivado	18,0	6,3	Ar	0,96
C-SON-4	22122 - Café-Plátano	10,2	3,7	Ar	0,91
C-SON-5	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	11,4	4,4	FAr	0,87
C-SON-6	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	15,1	3,6	F	1,40
C-SON-7	23170 - Pasto cultivado	17,7	4,6	Ar	1,28
C-SON-8	22171 - Caña de azúcar	14,8	3,6	FAr	1,38
C-SON-9	22171 - Caña de azúcar	12,1	3,3	Ar	1,23
C-SON-10	22171 - Caña de azúcar	16,5	4,6	Ar	1,20
C-SON-11	23218 - Tomate	20,1	4,5	FAr	1,50
C-SON-12	23170 - Pasto cultivado	12,1	3,1	FAr	1,28
C-SON-13	23170 - Pasto cultivado	22,1	5,5	FAr	1,34
C-SON-14	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	11,9	3,7	Ar	1,06
C-SON-15	22181 - Maíz	14,5	4,2	Ar	1,14
C-SON-16	22171 - Caña de azúcar	13,7	3,5	Ar	1,29
C-SON-18	23170 - Pasto cultivado	14,9	3,5	FAr	1,43

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.

De acuerdo con las categorías definidas por Arshad et al., (1996), en la cuenca Sonso se presentaron densidades que varían entre ideales (<1,10 en textura Arcillosa y <1,40 en texturas Franco y Franco Arcillosa) y 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), siendo los

valores más extremos entre 0,50 y 1,50 g/cm³, con una leve tendencia a identificar posibles afectaciones por compactación en suelos con coberturas plantadas (Tabla 38). Sin embargo, no se identificaron zonas compactadas que se consideren en niveles críticos que generen restricción al crecimiento de raíces, lo que se considera positivo para la cuenca.

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

TEXTURA	MUESTRA	COBERTURA	DA (g/cm ³)	CATEGORÍA
Ar	C-SON-4	22122 - Café-Plátano	0,91	Ideal
	C-SON-3	23170 - Pasto cultivado	0,96	Ideal
	C-SON-14	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	1,06	Ideal
	C-SON-15	22181 - Maíz	1,14	Posible afectación radicular
	C-SON-10	22171 - Caña de azúcar	1,20	Posible afectación radicular
	C-SON-9	22171 - Caña de azúcar	1,23	Posible afectación radicular
	C-SON-7	23170 - Pasto cultivado	1,28	Posible afectación radicular
	C-SON-16	22171 - Caña de azúcar	1,29	Posible afectación radicular
F	C-SON-1	22121 - Café	0,50	Ideal
	C-SON-2	22113 - Plátano	0,68	Ideal
	C-SON-6	31311 - Bosque mixto fragmentado con pastos y cultivos	1,40	Posible afectación radicular
FAr	C-SON-5	31112 - Bosque mixto denso bajo de tierra firme	0,87	Ideal
	C-SON-12	23170 - Pasto cultivado	1,28	Posible afectación radicular
	C-SON-13	23170 - Pasto cultivado	1,34	Posible afectación radicular
	C-SON-8	22171 - Caña de azúcar	1,38	Posible afectación radicular
	C-SON-18	23170 - Pasto cultivado	1,43	Posible afectación radicular
	C-SON-11	23218 - Tomate	1,50	Posible afectación radicular

Fuente: Elaboración propia.

8.4.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS

En la Tabla 39 se presentan los resultados de las propiedades químicas para los sitios muestreados en la Cuenca Sonso. 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 Sonso.

PROPIEDAD	UNID	PROM	MÍN	MÁX	DESV
Azufre (S)	mg/kg	8,04	0,83	25,80	6,04
Boro (B)	mg/kg	0,28	0,09	0,62	0,16
Calcio (Ca)	cmol(+)/kg	15,00	3,39	22,90	6,18
Capacidad inter. Cat. Aceta (CICA)	cmol(+)/kg	29,20	13,10	50,00	10,80
Capacidad inter. Cat. Efectiva (CICE)	cmol(+)/kg	37,80	6,00	80,00	25,30
Cobre (Cu)	mg/kg	5,04	1,00	13,10	3,43
Conductividad eléctrica (CE)	dS/m	0,26	0,13	0,49	0,11
Fósforo (P)	mg/kg	30,40	3,29	146,00	39,40
Hierro (Fe)	mg/kg	79,10	8,45	325,00	95,50
Magnesio (Mg)	cmol(+)/kg	22,10	0,91	58,10	19,80
Manganeso (Mn)	mg/kg	3,82	1,58	13,20	3,15
Materia orgánica (MO)	g/100 g	4,17	1,69	16,20	3,31
Nitrógeno (Nt)	g/100 g	0,28	0,13	0,84	0,18
pH	unid. pH	6,73	5,07	8,06	0,73
Potasio (K)	cmol(+)/kg	0,49	0,09	1,70	0,43
Sodio (Na)	cmol(+)/kg	0,20	0,14	0,34	0,06
Humedad aprovechable (HA)	%	4.2	3.1	6.3	0.86
Zinc (Zn)	mg/kg	4,12	1,00	13,00	4,15

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 110 se pueden observar valores altos de los elementos nutricionales, lo que permite deducir que los suelos de la cuenca Sonso 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⁺ 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 Sonso 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.

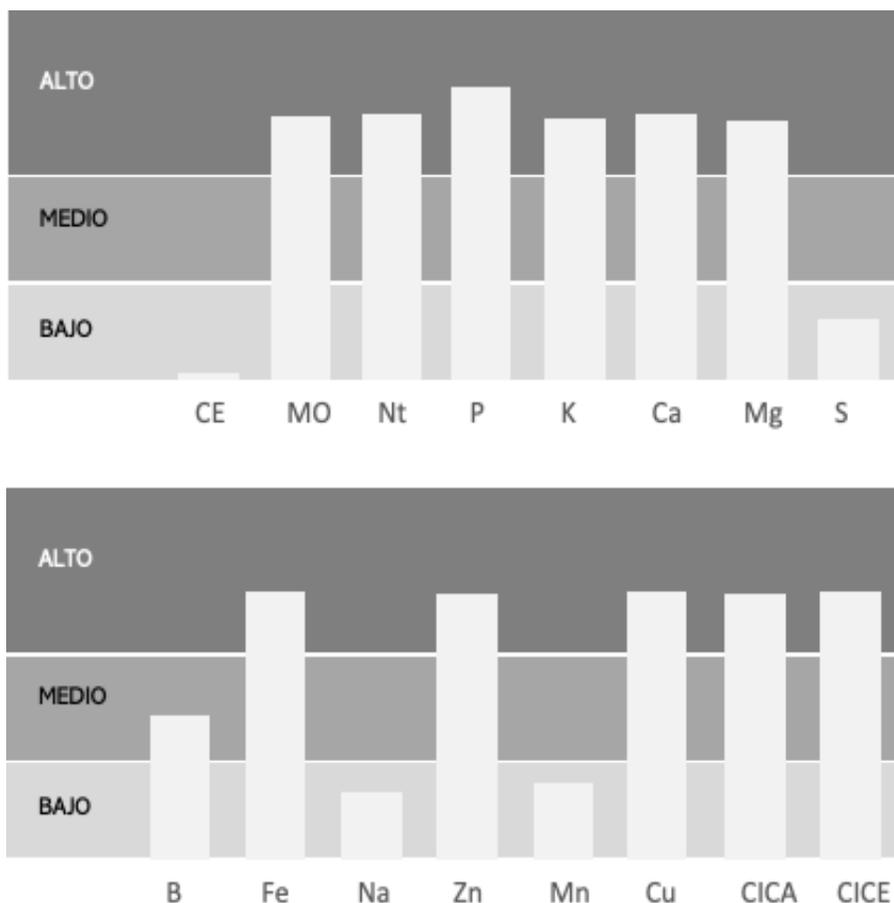


Figura 110. Categorización de las propiedades químicas de la cuenca Sonso.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al pH, en la Figura 111 se observa que la mitad de las muestras se concentran en la condición entre 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.

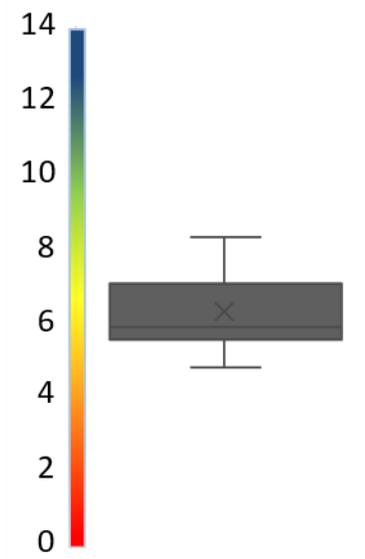


Figura 111. Distribución de los valores de pH de la cuenca Sonso.
 Fuente: Elaboración propia.

8.4.3 ESTIMACIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE COS

De acuerdo con la estimación de almacenamiento de COS en el suelo, la mediana para la cuenca Sonso es, 67,9 tCOS/ha en el COS general, 80,9 tCOS/ha en el COS grueso y 92,8 tCOS/ha en COS almacenado en la fracción fina (Figura 112). Para el caso del COS fino, considerados en nivel Alto (80 – 119,9 tCOS/ha) a excepción del COS general en nivel medio (40 – 79,9 tCOS/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 encima de la desviación estándar) en la zona alta de la cuenca, donde en dos sitios cultivados con café y plátano, se encontraron valores altos de COS, incluso superiores a todos los valores de COS observados en la fracción fina; se resalta que este carbono almacenado en el suelo se considera menos estable (más lábil),

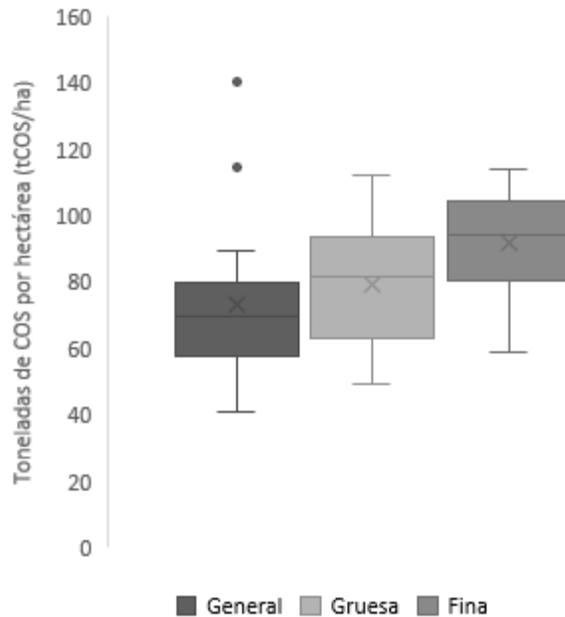


Figura 112. COS por hectárea en la fracción fina, gruesa y general.

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 Sonso el almacenamiento de COS fino se encontró en el rango 59,1 y 113,8 tCOS/ha, con una mediana de 92,8 tCOS/ha, presentando contenidos similares a los estimados por el IGAC para la región Andina (Bolívar et al., 2019). Sin embargo, en la Figura 113 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).

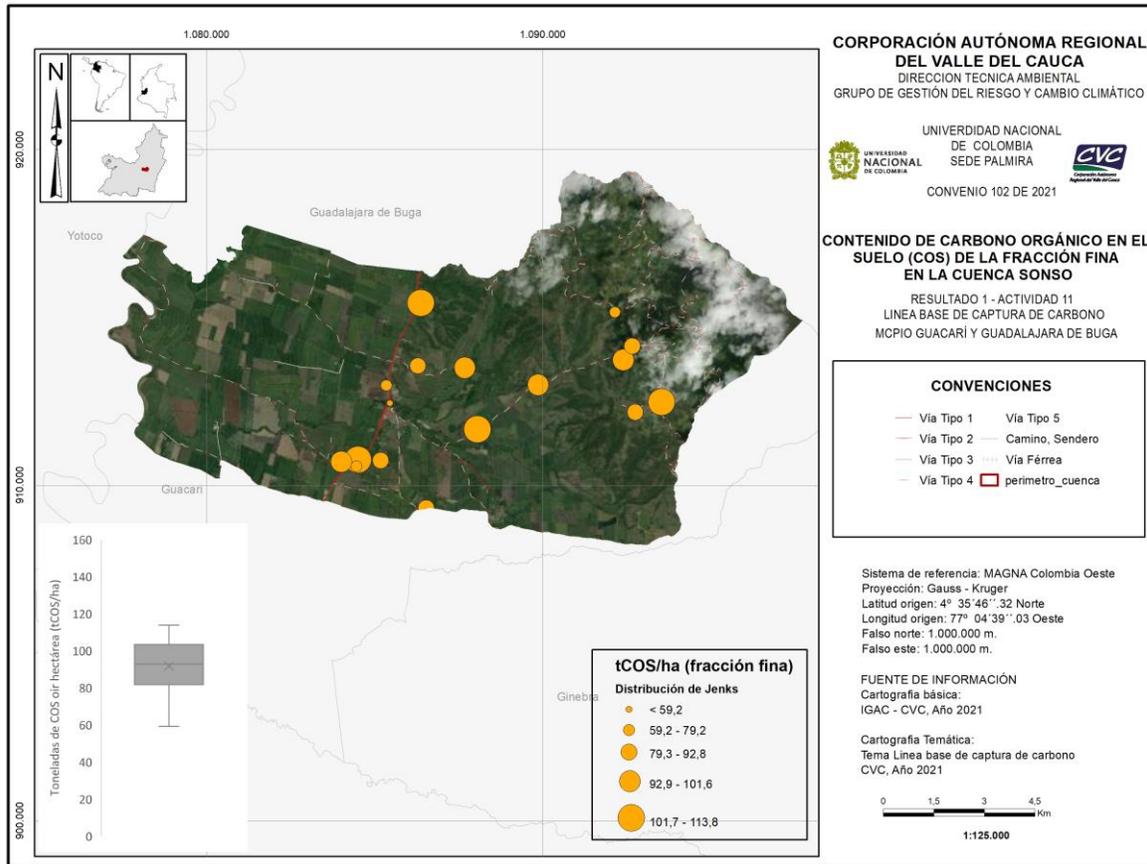


Figura 113. Distribución de los contenidos de COS en la fracción fina en la cuenca Sonso (tCOS/ha).

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con las estimaciones de COS en la cuenca Sonso (Tabla 40), al utilizar la Da y el contenido de carbono orgánico en la fracción fina, en 13 de los 17 sitios se tiene un nivel Alto (80 – 119,9 tCOS/ha) y en 4 sitios se encuentran en un nivel Medio (<40 tCOS/ha) para la cuenca Sonso. 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 Sonso son altas para la fracción fina, 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	CO	COS FINA	NIVEL
CSON-1	0,50	56,29	84,1	Alto
CSON-2	0,68	55,84	113,8	Alto
CSON-3	0,96	27,61	79,2	Medio
CSON-4	0,91	32,41	88,4	Alto
CSON-5	0,87	38,92	101,6	Alto
CSON-6	1,40	14,12	59,1	Medio
CSON-7	1,28	25,33	97,6	Alto
CSON-8	1,38	26,06	107,6	Alto
CSON-9	1,23	25,18	92,8	Alto
CSON-10	1,20	20,70	74,8	Medio
CSON-11	1,50	25,02	112,2	Alto
CSON-12	1,28	24,97	96,2	Alto
CSON-13	1,34	22,01	88,7	Alto
CSON-14	1,06	32,92	105,0	Alto
CSON-15	1,14	20,92	71,8	Medio
CSON-16	1,29	24,73	96,0	Alto
CSON-18	1,43	21,03	90,1	Alto

Fuente: Elaboración propia.

El análisis del almacenamiento de COS y su relación con el tipo de cobertura (Figura 114), específicamente, la comparación de la respuesta del COS en el suelo para las superficies plantadas y las superficies naturales evaluadas se pudo establecer que las superficies plantadas (café y caña de azúcar) presentan menores valores en los stocks de COS y la mediana se localiza en 91,4 tCOS/ha. Sin embargo, las superficies naturales, aunque presentan una mediana de 101,6 tCOS/ha, superior a las reservas de COS en superficies plantadas, presentan un rango de variabilidad mayor, es decir, se encontraron algunos superficies naturales con valores bajos hasta de 45.9 tCOS/ha, 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 Sonso, se pudo 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: plátano (113,8 tCOS/ha), tomate (112,2 tCOS/ha), caña de azúcar (92,8 tCOS/ha, +/- 13,6 tCOS/ha) mientras que por debajo de la mediana se identificaron los pastos cultivados

(90,4 tCOS/ha, +/- 7,3 tCOS/ha), café-plátano (88,4 tCOS/ha), café (84,1 tCOS/ha) y maíz (71,8 tCOS/ha).

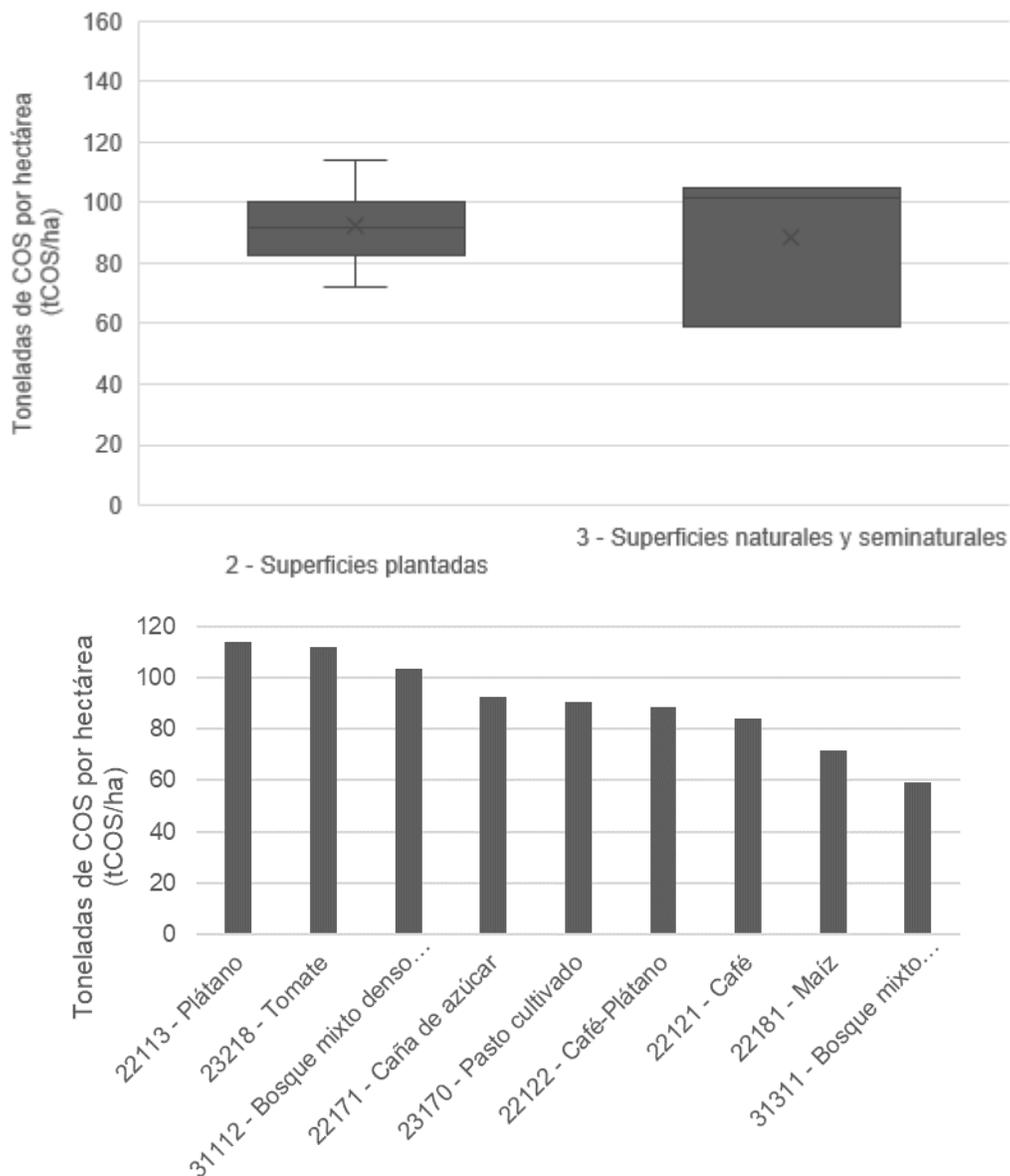


Figura 114. Almacenamiento de COS por nivel 1 y nivel 5 (CLC) de cobertura.

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 115 se presentan el análisis. Se observa que los valores de COS fueron inferiores en zonas planas (37,3 tCOS/ha), mientras que en el resto de las zonas el comportamiento de las muestras es similar a la mediana de la cuenca, variando entre 81,6

tCOS/ha y 107,6 tCOS/ha en promedio. Por otro lado, el contenido de COS promedio en zonas cálidas, es inferior a los contenidos promedio de las zonas templadas (Figura 115), 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.

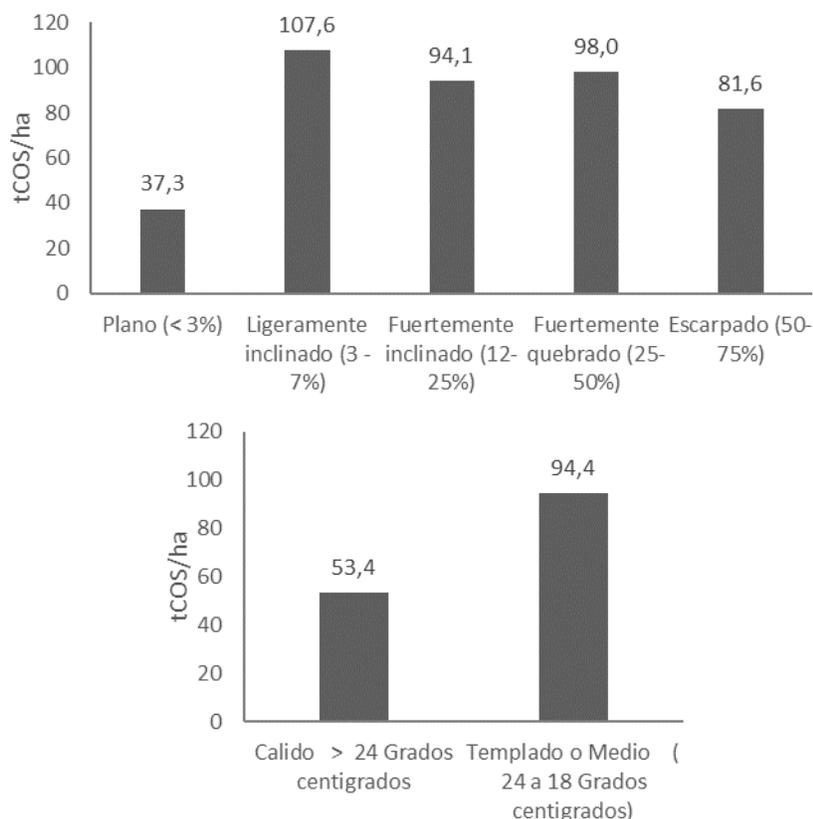


Figura 115. Almacenamiento de COS por porcentaje de pendiente y piso térmico.
 Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos para la cuenca Sonso, 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 13.411 ha y la mediana varía entre 59,1 tCOS/ha y 113,8 tCOS/ha, el COS fino almacenado estimado para la cuenca estaría entre 792.590 y 1.526.171 tCOS.

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

$$E_{cos} = 13.411 * 59,1$$

$$E_{cos} \cong 792.590 \text{ tCOS mínimo}$$

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

$$E_{cos} = 13.411 * 113,8$$

$$E_{cos} \cong 1.526.172 \text{ tCOS máximo}$$

8.4.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con el objetivo de conocer la relación entre los diferentes niveles de COS fino y las propiedades fisicoquímicas en la cuenca Sonso, 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 fino. 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 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 Manganeseo (Mn) y su comportamiento es antagonista, a mayor contenido del elemento menor contenido de COS.

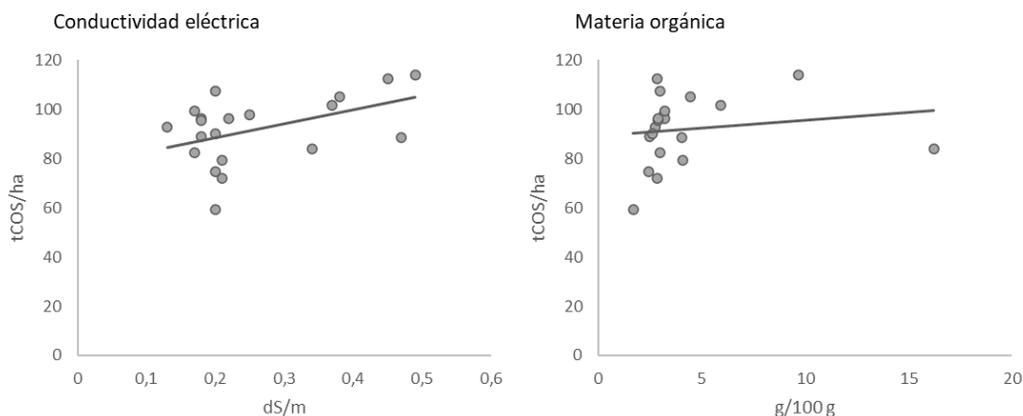
Tabla 41. Propiedades fisicoquímicas y correlación con el COS fina.

PROPIEDADES	COS FINA	
	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 116, 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.



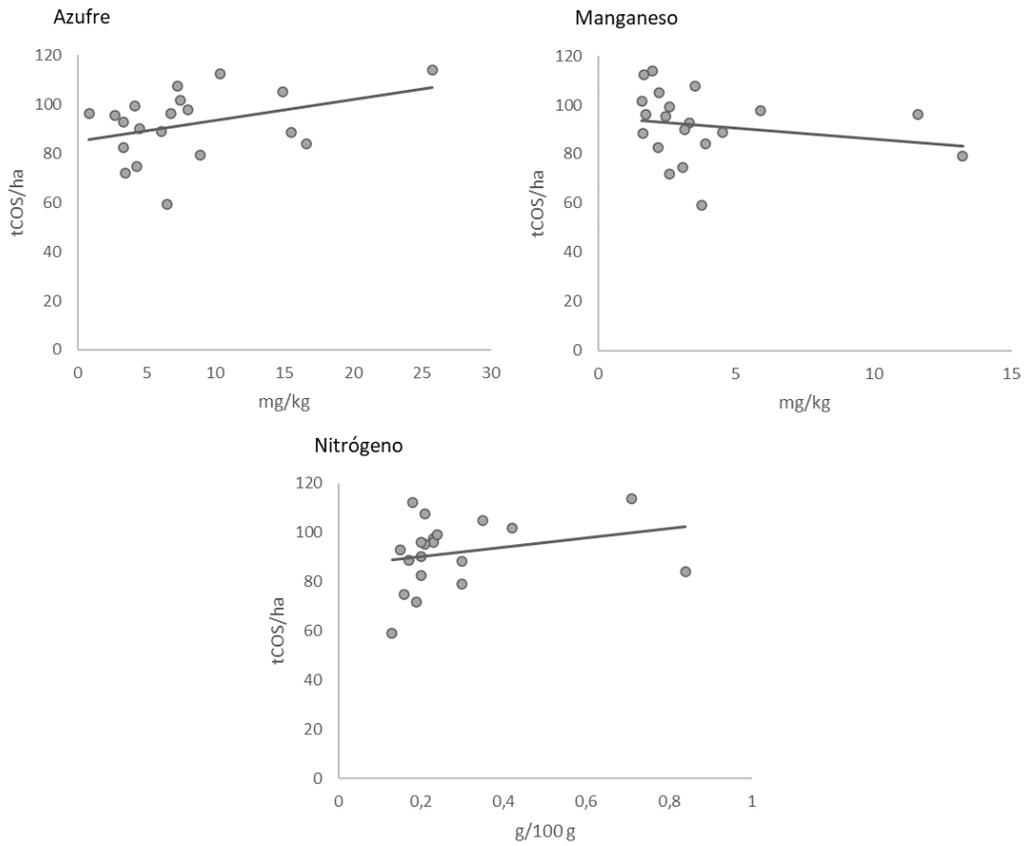


Figura 116. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS fino.

8.5 ANÁLISIS GENERAL

En comparación del almacenamiento de COS entre las cuatro cuencas, en Figura 117 se identifica que las cuencas Amaime y Guachal presentan la mayor capacidad (mediana) de almacenamiento de COS fino en comparación a las cuencas Sonso y Cali, sin embargo, Amaime y Guachal son las cuencas con la mayor variabilidad en la distribución de valores respecto a la media y desviación estándar a diferencia de la cuenca Sonso. Por otro lado, la cuenca Guachal 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 similar, 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 alteraciones que impactan en el contenido de COS.

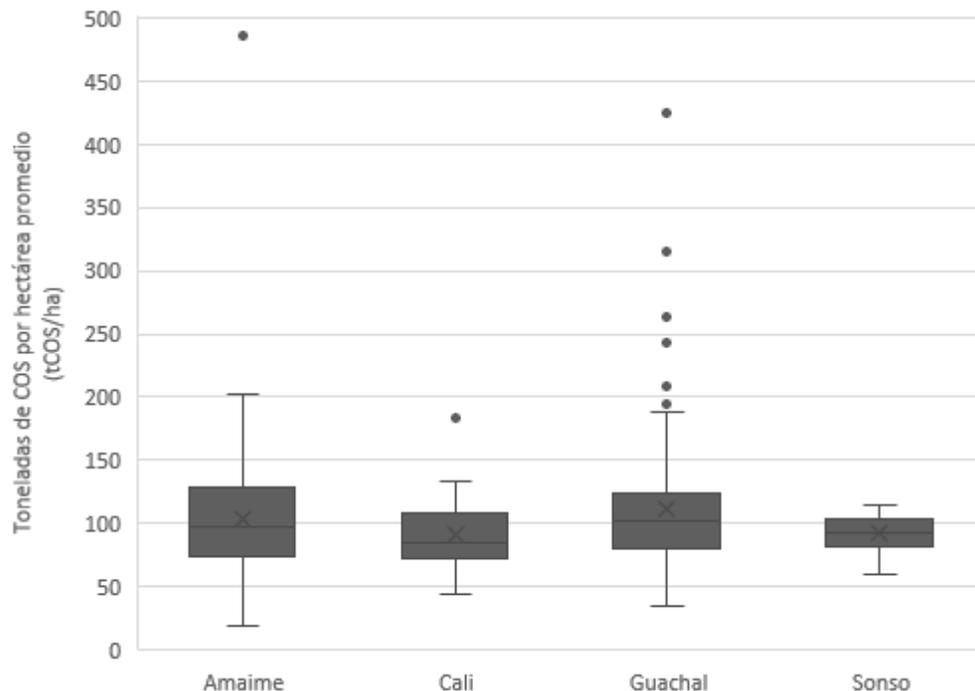


Figura 117. Comparación de almacenamiento de COS fino entre cuencas.

Fuente: Elaboración propia.

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 fina, estas correlaciones resultan ser significativas. Por lo que al aumento de los niveles de cada una de ellas aumentaría el nivel de COS fina. 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 fina más bajo. Aunque estas correlaciones no resultan ser fuertes, si son significativas (Tabla 42).

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

PROPIEDADES	COS FINA	
	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
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

De acuerdo con el análisis presentado en la Figura 118, se presentan correlaciones positivas fuertes entre el COS fina 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.

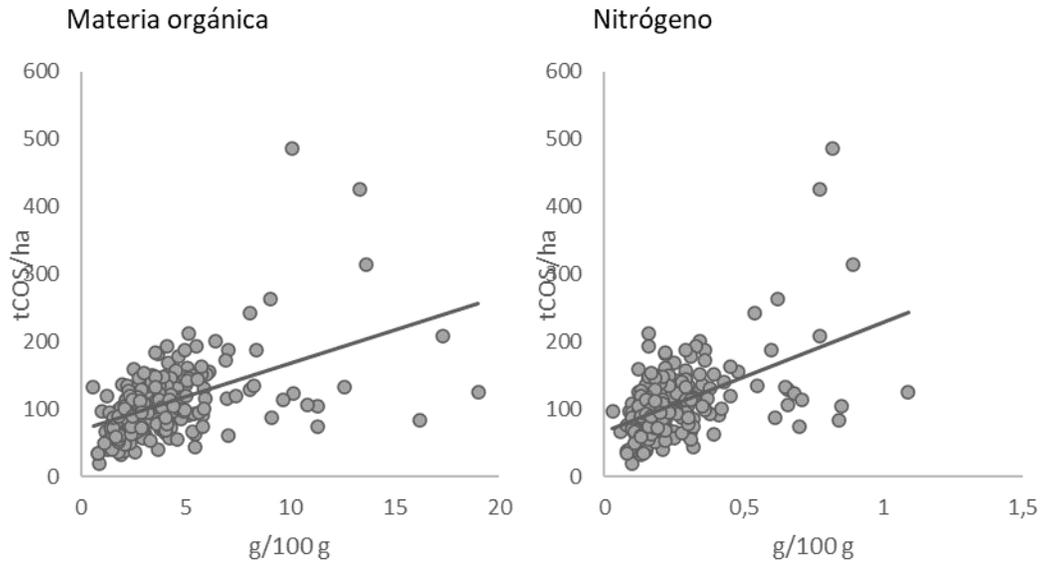


Figura 118. Comparativa de variables fisicoquímicas y el COS fino.

9. ACTIVIDADES TEÓRICO-PRACTICAS

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 Cali, Amaime, Guachal y Sonso, que ayude a fortalecer en las comunidades el conocimiento y la protección del suelo.

Se realizó un desarrollo logístico previo asociado con:

- Selección de finca y espacios para desarrollo de prácticas agroecológicas.
- Proyección de público objetivo, cantidad de personas para cumplimiento de protocolos COVID-19 y opción de desplazamiento a las fincas a seleccionar.
- Proveedor de refrigerios y almuerzos, los correspondientes elementos para su consumo.
- Material de apoyo para la capacitación.
- Elaboración de certificados de asistencia a los participantes.
- Divulgación de actividad.

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
Cali	2 marzo 2022	Finca La Vitrina Huerta Orgánica, ubicada en el corregimiento La Leonera en el municipio de Cali.
Amaime y Guachal	4 marzo 2022	Finca Agrosilvopastoril, EL HATICO, ubicada en el municipio de El Cerrito.
Sonso	5 marzo 2022	Cuenca Sonso: Finca Apícola BELLAFLOR, ubicada en el corregimiento de Costa Rica del municipio El Cerrito.

Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo de cada actividad teórico-práctica presento el siguiente horario, con una duración aproximada de 5-6 horas, donde se socializaron los conceptos, se hicieron

recorridos por las fincas y se desarrollaron actividades prácticas. Esto incluye los tiempos del refrigerio y el almuerzo.

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. Palabras de personal de CVC y UNAL.
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	Recorrido e Inicio actividad Práctica. Reconocimiento de actividades en la finca agroecológica donde se mostrará las prácticas que allí se realizan. Posteriormente se da inicio a la actividad de trabajo en equipo en campo.
11:30 am	Recorrido
1:00 pm	Almuerzo. Entrega de resultados de análisis de suelo y certificados de asistencia por BIODISS.

Fuente: Elaboración propia.

Como actividad práctica principal se propuso enseñar a realizar **curvas de nivel o agro-nivel, medición de pendientes** como se describe a continuación. El nivel “A” o agro-nivel es un instrumento que es utilizado para el trazo de curvas a nivel o desnivel y es muy útil para el buen manejo y prevenir la erosión en terrenos con pendientes. Está formado por tres reglas amarradas en forma de “A” y una plomada.

Construcción del nivel "a" o agro-nivel:

Para construir el nivel "A" o agro-nivel se necesitan los siguientes materiales:

- Dos tubos de PVC o dos reglas de madera de 2 m de largo por 2.5 cm (1 pulgada) de grueso.
- Un tubo o una regla de madera de 1 m de largo por 2.5 cm de grueso.
- Cinta métrica (metro).
- Dos estacas de 20-25 cm de alto y 5 cm de diámetro.
- Un nivel de burbuja.
- Cuerda fina, cabuya o cáñamo de costurar sacos.
- Tijeras.
- Una piedra, o botella con su tapa o rosca para utilizarla como plomada.

Coloque el nivel en un terreno inclinado y con dos estacas marque donde las patas tocan el suelo. La plomada debe quedar en el centro del travesaño. Después, se cambia la posición de las patas, nuevamente la cabuya debe coincidir con la marca central.

Para tomar la pendiente del terreno:

Esta permite medir la inclinación que tiene la ladera lo cual nos sirve para seleccionar el cultivo, el tipo de práctica de conservación de suelos más adecuado y para determinar así el distanciamiento de las mismas.

Para medir la pendiente se coloca una estaca en la parte alta, se amarra, en la estaca, un extremo de la cabuya de un metro (100 cm), se estira y se le coloca el nivel de burbuja para que este a nivel. Luego en el otro extremo se coloca la regla o vara para medir la altura. Es importante tomar un mínimo de 5 lecturas en la misma inclinación del terreno en puntos representativos del mismo. El valor medido es el valor de la pendiente en porcentaje (%).

Con el dato anterior (%pendiente) se traza la línea madre, que está formada por los puntos o guías en el terreno en donde se establecerán las obras de conservación. Esta línea madre se hace ubicándose en la parte más alta del terreno y trazando una línea imaginaria hacia abajo, colocando estacas a la distancia recomendada en la pendiente del terreno y la clase de cultivo que se establecerá.

El trazado de las curvas a nivel o a desnivel, se hace usando el nivel "A" o agro-nivel, y se inicia a partir de cada una de las estacas de la línea madre. Se inicia el trazado de las curvas colocando una de las patas del nivel "A" exactamente en la estaca de la línea madre, y la otra se mueve hasta que la plomada o la gota del nivel de cuerda indica que está a nivel, colocándose en ese punto otra estaca y repitiendo este procedimiento hasta cubrir ese lado de la parcela. Luego se repite el procedimiento al otro lado y seguidamente se hace lo mismo en cada una de las estacas de la línea madre.

Cuando se ha terminado de trazar las curvas, se puede observar que en algunas partes de la misma hay algunas estacas salidas de la línea curva que queremos formar, por lo que se deben hacer las correcciones necesarias.

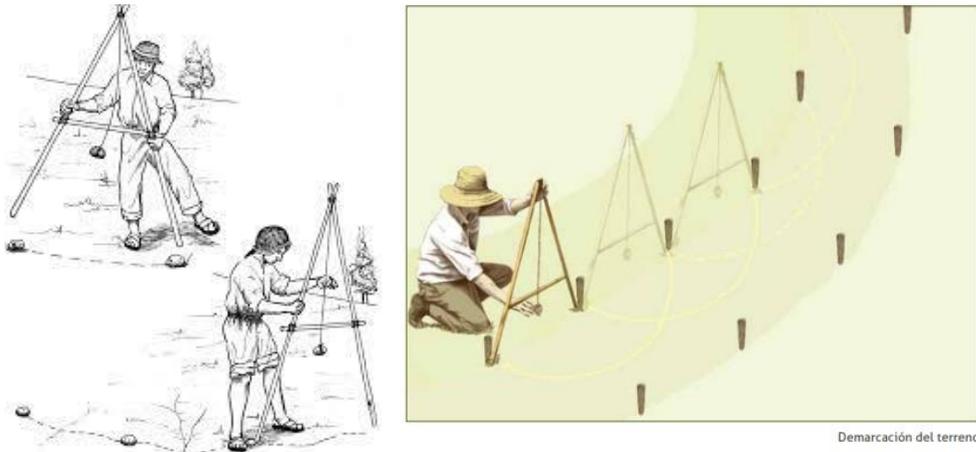


Figura 119. Esquema para hacer curvas de Agro nivel.

Fuente: Proyecto Jalda 2016.

Actividades desarrolladas para la Cuenca Cali

Las actividades se realizaron en la Huerta Orgánica La Vitrina en el corregimiento de Leonera, que corresponde a la cuenca Cali. En representación de la CVC se encontraba el ingeniero Gustavo Romero y el ingeniero Herbert Olaya, en representación de la UNAL se encontraba la ingeniera Liseth González, y los profesionales Delmar Montoya y Manuel Castro. Entre los invitados la mayoría eran agricultores/ganaderos de la región que estuvieron dispuestos a compartir sus experiencias de trabajo en el campo.

Se realizó el proceso de inscripción de participantes, se procede con la explicación del Convenio 102 de 2021 entre la CVC y la Universidad, se hace énfasis en la actividad d011 y de los resultados obtenidos en la cuenca. Posteriormente se continúa con la actividad teórica con conceptos asociados al suelo: ¿cómo está compuesto?, ¿Cómo se comporta con el cambio climático? ¿Cuáles son las respuestas del suelo a la intervención del ser humano? Al ubicarse en zonas de pendientes fuertes, se hizo énfasis en explicar cómo las prácticas agrícolas, ganaderas y el almacenamiento de agua afectan el suelo de esa región 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 el recorrido por el predio, se observa y discute sobre las prácticas desarrolladas y se hace la interacción entre los participantes asociada con el manejo de siembra, vivero, tanque Zamorano, preparación de compost. Se da el almuerzo a los participantes. Adicionalmente se hace visita al predio Bichacue Yath Arte y naturaleza y se explica la importancia de conservar el suelo y diferentes ecosistemas, se hace énfasis en la protección del musgo y se observa los beneficios de conservación de agua del mismo.





Figura 120. Socialización de actividades para la cuenca Cali.

Fuente: Elaboración propia.

Actividades desarrolladas para las Cuencas Amaime y Guachal

Las actividades se desarrollaron en la Finca El Hatico, reserva ubicada en el municipio de El Cerrito, de la familia Molina Durán trabaja la producción de caña y ganadería en un sistema agrosilvopastoril para la conservación de 40 hectáreas de bosques nativos durante varias generaciones.

Se realizó el proceso de inscripción de participantes, se procede con la explicación del Convenio 102 de 2021 entre la CVC y la Universidad, se hace énfasis en la actividad d011 y de los resultados obtenidos en la cuenca. Se procede con la explicación de las actividades realizadas en la Finca, relacionada con:

- Sistemas agroforestales como árboles dispersos en potreros, cercas vivas, bancos mixtos de forraje, pastoreo en cultivos forestales, sistemas silvopastoriles intensivos y con maderables, han sido implantados en el predio. Eso ha generado un aumento de la biodiversidad. El Hatico tiene riqueza de aves, hormigas, arañas, mariposas, escarabajos, lombrices, moscas y sapos.
- Esa cantidad de biodiversidad asociada a los sistemas silvopastoriles, genera un sinnúmero de beneficios económicos. Entre ellos el control biológico de las moscas, reciclaje de los nutrientes, aireación del suelo, fertilización orgánica, control de parásitos internos y dispersión de las semillas.
- El ganado cuenta con bebederos móviles, se rota en potreros divididos permitiendo su recuperación. El pasto se combina con palmas, árboles, arbustos y leguminosas. La producción de leche ha aumentado y la emisión de metano ha disminuido debido a la alimentación variada que les proveen a las vacas. De esta forma se está produciendo la primera leche orgánica del país, ya que también utilizan productos biológicos para el control de plagas del ganado.

- Los cultivos de caña se combinan con árboles y arvenses, en las que viven especies que controlan de forma natural las plagas. Las arvenses se controlan mecánicamente con ovejas que las consumen y que además producen carne.
- Los residuos de cosecha de la caña no se queman, sino que se integran al suelo aportando nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Manteniendo la materia orgánica, la cual suministra una dinámica biológica en el suelo aumentando su calidad.



Figura 121. Socialización de actividades para las cuencas Guachal y Amime.

Fuente: Elaboración propia.

Actividades desarrolladas para la Cuenca Sonso

Las actividades se realizaron en la Finca Apícola Bellaflor, ubicada en el municipio de El Cerrito es una finca con producción integral. Elaboran lombricompost con los residuos orgánicos producidos por ellos y con el estiércol de los caballos de la finca, produciendo humus sólido y humus líquido. Tienen aproximadamente una hectárea sembrada uva, el cual tiene una fertilización orgánica con base al humus elaborado con el lombricompost. Elaboran algunos productos como vinos, cremas, bocadillos y jugos con la uva que se cosecha en la finca. Adicionalmente, tienen un apiario con abejas africanas donde producen y comercializan miel. Hacen también rescates de colmenas de abejas, las cuales se desplazan a la finca dentro del apiario, el cual está rodeado de vegetación y bosque nativo, lo que les permite a las abejas recoger polen permanentemente para la producción de la miel.

Se realizó el proceso de inscripción de participantes, se procede con la explicación del Convenio 102 de 2021 entre la CVC y la Universidad, se hace énfasis en la actividad d011 y de los resultados obtenidos en la cuenca. Posteriormente se continua con la actividad teórica con conceptos asociados al suelo: ¿cómo está compuesto?, ¿Cómo se comporta con el cambio climático? ¿Cuáles son las respuestas del suelo a la intervención del ser humano? Al ubicarse en zonas de pendientes fuertes, se hizo énfasis en explicar cómo las prácticas agrícolas, ganaderas y el almacenamiento de agua afectan el suelo de esa región 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 el recorrido por el predio, se observa y discute sobre las practicas desarrolladas y se hace la interacción entre los participantes eran agricultores/ganaderos de la región. Se desarrolló la actividad practica de generación de curvas de agro nivel y medición de pendiente.



Figura 122. Socialización de actividades para la cuenca Sonso.

Fuente: Elaboración propia.

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

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El estudio permitió generar la línea base de almacenamiento de COS (tC/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 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.
- Basados en la capacidad de almacenamiento de COS, estimado en millones de toneladas de COS (MtCOS) por cuenca, estarían entre 7,18 y 12,57 MtCOS para la cuenca Amaime, entre 1,31 y 1,96 MtCOS para la cuenca Cali, entre 8,82 y 13,62 MtCOS para la cuenca Guachal y entre 0,79 y 1.53 MtCOS para la cuenca Sonso, para un total entre 18,76 y 29,02 MtCOS 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 donde se presenta la mayor concentración de COS y la alteración de coberturas bosques mixtos fragmentados alcanzan una reducción en hasta 46 tCOS/ha en la capacidad de almacenamiento.
- Superficies plantadas en cultivos de café, café con plátano, café en asocio con otros arbóreos, pastos cultivados y algunos cultivos de caña presentaron altos contenidos de COS por encima de la mediana de cada la cuenca e incluso por encima de superficies naturales, por lo que se atribuye este comportamiento a las prácticas de manejo: incorporación de materia orgánica, 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.
- 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.
- CORPOICA-PRONATTA. 2003. Recomendaciones para el manejo del riego a nivel predial por el método de aspersion. 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 Amaime. Disponible en: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Planes_y_Programas/Planes_de_Ordenacion_y_Manejo_de_Cuencas_Hidrografica/Amaime/POMCH_Amaime_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/.
- 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. 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., Mendonça-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
- 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-Vásquez. 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>