

SUELOS

TABLA DE CONTENIDO

5	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA	1
5.1	MEDIO ABIÓTICO.....	1
5.1.4	SUELOS Y USO DE LA TIERRA.....	1
5.1.4.1	Descripción de las unidades cartográficas.....	1
5.1.4.2	Elementos y compuestos contaminantes en el suelo.....	65
5.1.4.3	Curvas de infiltración de agua	74
5.1.4.4	Uso Actual del Suelo	92
5.1.4.5	Clasificación agrológica	107
5.1.4.6	Uso potencial (Vocación de uso)	113
5.1.4.7	Conflicto del uso del suelo y del territorio.....	118
5.1.4.8	Estado de degradación de los suelos	121
5.1.4.9	Análisis de los servicios ecosistémicos.....	124

LISTA DE TABLAS

Tabla 5.1.4.1 Leyenda de unidades cartográficas en el área de influencia componente suelo y área de influencia medio abiótico	5
Tabla 5.1.4.2 Áreas de las fases de la Asociación Yarumal	10
Tabla 5.1.4.3 Áreas de las fases de la Asociación El Cinco	12
Tabla 5.1.4.4 Fases de la Asociación Yalí.....	14
Tabla 5.1.4.5 Fase del Complejo Tarazá	16
Tabla 5.1.4.6 Fases del Complejo Girardota	18
Tabla 5.1.4.7 Resumen de suelos presentes en las áreas de influencia de análisis	21
Tabla 5.1.4.8 Resultado <i>in situ</i> perfiles de suelo Typic Dystrudepts.....	26
Tabla 5.1.4.9 Resultados fisicoquímicos y nutricionales Typic Dystrudepts	28
Tabla 5.1.4.10 Resultado <i>in situ</i> perfiles de suelo Oxic Dystrudept.....	33
Tabla 5.1.4.11 Resultados fisicoquímicos y nutricionales Oxic Dystrudepts.....	35
Tabla 5.1.4.12 Resultado <i>in situ</i> perfiles de suelo Typic Eutrudepts.....	39
Tabla 5.1.4.13 Resultados fisicoquímicos y nutricionales Typic Eutrudepts	40
Tabla 5.1.4.14 Resultado <i>in situ</i> perfiles de suelo Vertic Humudepts	43
Tabla 5.1.4.15 Resultados fisicoquímicos y nutricionales Vertic Humudepts	45
Tabla 5.1.4.16 Resultado <i>in situ</i> perfiles de suelo Lithic Ustorthents.....	49
Tabla 5.1.4.17 Resultados fisicoquímicos y nutricionales Lithic Ustorthents	51
Tabla 5.1.4.18 Resultado <i>in situ</i> perfiles de suelo <i>Lithic Udorthents</i>	56
Tabla 5.1.4.19 Resultados fisicoquímicos y nutricionales Lithic Udorthents	57
Tabla 5.1.4.20 Resultados de los análisis físico – químicos y microbiológicos del suelo para el horizonte A del Complejo Girardota (GS).....	59
Tabla 5.1.4.21 Resultados <i>in situ</i> perfiles de suelo Tecnosuelo	63
Tabla 5.1.4.22 Resultados fisicoquímicos y nutricionales del tecnosuelo.....	64
Tabla 5.1.4.23 Valores referenciales para determinar contaminación del suelo	66
Tabla 5.1.4.24 Límites permisibles de parámetros del suelo, con base en actividad industrial que afecta el medio, protocolo de Louisiana 29B	66
Tabla 5.1.4.25 Valores referenciales para determinar contaminación del suelo según el Departamento de Cristalografía, Mineralogía Química Agrícola de la Universidad de Sevilla.....	67
Tabla 5.1.4.26 Criterios de remediación (valores máximos permisibles)	68
Tabla 5.1.4.27 Criterios de remediación (valores máximos permisibles)	69

Tabla 5.1.4.28 Resultados de análisis de metales pesados y compuestos contaminantes muestras de enero 2022	70
Tabla 5.1.4.29 Resultados de análisis de metales pesados y compuestos contaminantes muestras de noviembre 2022	71
Tabla 5.1.4.30 Comparación resultados con estudios previos	74
Tabla 5.1.4.31 Registro de la medición de infiltración de agua en suelo Typic Dystrudepts y cálculo de tasa de infiltración.....	76
Tabla 5.1.4.32 Registro de la medición de infiltración de agua en suelo Oxic Dystrudept y cálculo de tasa de infiltración	78
Tabla 5.1.4.33 Registro de la medición de infiltración de agua en suelo Typic Eutrudept y cálculo de tasa de infiltración	80
Tabla 5.1.4.34 Registro de la medición de infiltración de agua en suelo Vertic Humudept y cálculo de tasa de infiltración	82
Tabla 5.1.4.35 Registro de la medición de infiltración de agua en suelo Lithic Ustorthets y cálculo de tasa de infiltración	84
Tabla 5.1.4.36 Registro de la medición de infiltración de agua en suelo Lithic Udorthets y cálculo de tasa de infiltración	86
Tabla 5.1.4.37 Registro de la medición de infiltración de agua para otros suelos (Deposito aluvial)	88
Tabla 5.1.4.38 Registro de la medición de infiltración de agua para otros suelos (Deposito aluvial) y cálculo de tasa de infiltración	89
Tabla 5.1.4.39 Distribución de uso actual del suelo en el área de estudio	93
Tabla 5.1.4.40 Clasificación del uso de suelo rural en San Roque.....	99
Tabla 5.1.4.41 Relación entre áreas funcionales y clasificación del uso del suelo	100
Tabla 5.1.4.42 Usos específicos del suelo Vereda Guacharacas.....	103
Tabla 5.1.4.43 Distribución de las clases agrológicas en el área de influencia del medio abiótico y del componente suelos.....	107
Tabla 5.1.4.44 Los subgrupos de las clases agrológicas presentes en el área de influencia del medio abiótico y del componente suelos	113
Tabla 5.1.4.45 Uso potencial del suelo en el área de influencia del medio abiótico y del componente suelos	114
Tabla 5.1.4.46 Áreas de conflicto de uso del suelo	118
Tabla 5.1.4.47 Resumen parámetro de compactación	122
Tabla 5.1.4.48 Resumen parámetro de conductividad	123

LISTA DE FIGURAS

Figura 5.1.4.1 Unidades de suelos presentes en el área de influencia del área de influencia y el componente suelos.....	4
Figura 5.1.4.2 Puntos muestreo de suelos realizado por Gramalote en el 2022 y realizadas en el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Gramalote, 2015.19	
Figura 5.1.4.3 Leyenda de suelos	20
Figura 5.1.4.4 Muestreo de suelos del estudio de impacto ambiental 2015.	20
Figura 5.1.4.5 Valores máximos y mínimos de las propiedades del suelo.....	60
Figura 5.1.4.6 Tecnosuelo, Topacio bajo (suelo intervenido)	61
Figura 5.1.4.7 Perfil del suelo (Tenconsuelo).....	61
Figura 5.1.4.8 Curva de abatimiento de la tasa de infiltración para suelos Typic Dystrudepts.....	76
Figura 5.1.4.9 Desplazamiento acumulado para suelos Typic Dystrudepts.....	77
Figura 5.1.4.10 Curva de abatimiento de la tasa de infiltración para suelos Oxic Dystrudept	78
Figura 5.1.4.11 Desplazamiento acumulado para suelos Oxic Dystrudept.....	79
Figura 5.1.4.12 Curva de abatimiento de la tasa de infiltración para suelos Typic Eutrudept	80
Figura 5.1.4.13 Desplazamiento acumulado para suelos Typic Eutrudept	81
Figura 5.1.4.14 Curva de abatimiento de la tasa de infiltración para suelos Vertic Humudept	82
Figura 5.1.4.15 Desplazamiento acumulado para suelos Vertic Humudept.....	83
Figura 5.1.4.16 Curva de abatimiento de la tasa de infiltración para suelos Lithic Ustorthets	84
Figura 5.1.4.17 Desplazamiento acumulado para suelos Lithic Ustorthets.....	85
Figura 5.1.4.18 Curva de abatimiento de la tasa de infiltración para suelos Lithic Udorthets	86
Figura 5.1.4.19 Desplazamiento acumulado para suelos Lithic Udorthets	87
Figura 5.1.4.20 Curva de abatimiento de la tasa de infiltración para suelos (Tecnosuelo).....	89
Figura 5.1.4.21 Desplazamiento acumulado para otros suelos (Tecnosuelo)	90
Figura 5.1.4.22 Uso actual del suelo	94
Figura 5.1.4.23 Determinantes Ambientales del EOT de San Roque	105
Figura 5.1.4.24 Uso potencial del suelo en las áreas de influencia	114

Figura 5.1.4.25 Conflicto de uso del suelo en las áreas de influencia 119

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 5.1.4.1 Perfil típicos de la Asociación Yarumal	8
Fotografía 5.1.4.2 Perfil típicos de Inceptisoles	8
Fotografía 5.1.4.3 Perfiles típicos de Ultisoles	9
Fotografía 5.1.4.4 Perfiles típicos de Entisoles	10
Fotografía 5.1.4.5 Perfiles típicos de Inceptisoles en la asociación El Cinco	12
Fotografía 5.1.4.6 Perfiles típicos de Inceptisoles en la Asociación Yalí	14
Fotografía 5.1.4.7 Perfiles típicos de Entisoles en el Complejo Tarazá	16
Fotografía 5.1.4.8 Perfiles Orden Inceptisol, subgrupo Typic Dystrudepts	23
Fotografía 5.1.4.9 Perfiles Orden Inceptisol, subgrupo Oxic Dystrudepts	31
Fotografía 5.1.4.10 Orden Inceptisol, subgrupo Typic Eutrudepts	37
Fotografía 5.1.4.11 Orden Inceptisol, subgrupo Vertic Humudepts	42
Fotografía 5.1.4.12 Orden Entisol, subgrupo Lithic Ustorthents	47
Fotografía 5.1.4.13 Orden Entisol, subgrupo <i>Lithic Udorthents</i>	53
Fotografía 5.1.4.14 Cultivos permanentes semi-intensivos	95
Fotografía 5.1.4.15 Actividad minera subterránea – Vereda Guacas Abajo	96
Fotografía 5.1.4.16 Pastoreo extensivo en el área de influencia del proyecto (Vereda Peñas Azules – Quebrada Guacas)	97
Fotografía 5.1.4.17 Asentamientos presentes en el área de influencia abiótica y del componente suelo	98
Fotografía 5.1.4.18 Pasturas no tecnificadas con ganadería	125
Fotografía 5.1.4.19 Zona Boscosa	125
Fotografía 5.1.4.20 Barbecho en reposo o rastrojo alto	125
Fotografía 5.1.4.21 Cultivo de caña	126

MODIFICACIÓN DE LICENCIA AMBIENTAL DEL PROYECTO DE MINERÍA DE ORO A CIELO ABIERTO GRAMALOTE.

ATENCION A REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN ADICIONAL ACTA 30 DE 30 DE JUNIO DE 2026

5 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

5.1 MEDIO ABIÓTICO

5.1.4 SUELOS Y USO DE LA TIERRA

El Complemento del Estudio Ambiental para la Modificación de Licencia Ambiental del proyecto Gramalote en el componente de Suelos y Uso de la Tierra, se presenta teniendo en cuenta el artículo 2.2.2.3.7.2 del Decreto 1076 de 2015 dónde se señalan los requisitos para la modificación de la licencia ambiental, así como, los Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental – EIA para proyectos de Explotación Minera TdeR- 13. (ANLA, 2016) y la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales de 2018 (MADS; ANLA, 2018).

Es de señalar que, en este numeral se presenta la descripción de los aspectos relacionados con el suelo en el área de influencia del medio abiótico y del componente suelos uso de la tierra para la modificación de licencia. Así mismo, se resalta que las unidades cartográficas fueron definidas y descritas conservando el orden de la leyenda de suelos del “Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Antioquia” realizado por el IGAC año 2007 (escala 1:100.000)” (IGAC, 2007) y el levantamiento de suelos del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Gramalote (escala 1:10.000) (GCL, 2015) y complementado con muestreos de suelos realizados en el proyecto Gramalote en el 2022 (enero y diciembre), como se mencionó en la metodología del componente suelos del capítulo de generalidades del presente estudio, empleando dicha información secundaria como elemento para el desarrollo de la caracterización del componente suelos y uso de la tierra.

5.1.4.1 Descripción de las unidades cartográficas

Para realizar la caracterización de los suelos y uso de la tierra se utilizó la información secundaria como fue el “Estudio general de suelos y zonificación de tierras de Antioquia” (IGAC, 2007) y el levantamiento de suelos del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Gramalote (GCL, 2015), identificando cinco (5) unidades cartográficas (tres asociaciones: Yarumal -AY-, El Cinco -EC- y Yalí -JD- y los complejo Tarazá -TR- y Girardota -GS-), dentro de estas unidades cartográficas se encontró que los suelos corresponden a los órdenes Andisol, Inceptisol, Entisoles, Oxisol, Ultisoles y Mollisoles.

En general las asociaciones y complejos son unidades de mapeo que agrupan diferentes tipos de suelos en función de su distribución espacial y relación entre ellos, las asociaciones son agrupaciones de dos o más tipos de suelos que ocurren en un mismo paisaje y que pueden ser cartografiados juntos porque siguen un patrón predecible. Aunque estén diferenciados, su escala de mapeo no permite separarlos con precisión. En cuanto a los complejos, corresponden a combinaciones de suelos que aparecen entremezclados en el terreno de manera tan intrincada que no puede ser separados cartográficamente, incluso si se usara una escala más detallada.

Como se mencionó en el estudio de impacto ambiental (EIA, 2015), dentro de las unidades cartográficas de suelos, los órdenes hacen parte de una categoría más detallada dentro del sistema de clasificación de suelos, y este representa el grupo más general basado en procesos de formación y características dominantes del suelo.

De acuerdo con las condiciones ambientales de la zona, esta presenta un relieve dominado por colinas medias y bajas de cimas redondeadas en un ambiente cálido húmedo. La topografía va de ligeramente plana a moderadamente escarpada, con pendientes de 3 a 75%, en alturas entre 200 y 1.100 msnm. La temperatura es mayor a 24°C y hay precipitaciones anuales de 2.000 a 4.000 mm en promedio. Estos aspectos, corresponden a las zonas de vida bosque húmedo tropical (bh-T) y bosque muy húmedo premontano (bmh-P).

El origen de estos suelos parte de un gran núcleo formado por rocas ígneas plutónicas de la gigantesca intrusión del batolito antioqueño. Junto con sus plutones satélites y cerca de éstos, un gran bloque metamórfico en el que imperan las rocas metasedimentarias.

Bajo estas características de la región se identifica que los órdenes de Andisol, Inceptisol, Entisoles, Oxisol, Ultisoles y Mollisoles, presentan los siguientes rasgos, de acuerdo con la (USDA, 2014):

Los Andisoles se presentan en un ambiente cálido y húmedo, pueden formarse a partir de materiales volcánicos re trabajados o en depósitos coluviales con influencia de cenizas volcánicas. Son suelos bien drenados, con alta capacidad de retención de agua y materia orgánica, aunque pueden presentar limitaciones debido a su alta capacidad de fijación de fósforo. En el área de interés, con la presencia de materiales volcánicos podrían encontrarse en partes altas o en laderas con menor erosión.

Por su parte, los Inceptisoles, dado que son suelos con desarrollo incipiente en zonas con colinas y pendientes variables pueden encontrarse ampliamente distribuidos, especialmente en áreas donde los procesos de intemperismo han comenzado a diferenciar horizontes sin una acumulación marcada de arcillas. Son comunes en terrenos de topografía ondulada a escarpada, en donde la erosión y la fuerte lluvia limitan la evolución del suelo. Tienen fertilidad moderada y pueden ser usados para cultivos con manejo adecuado.

Los Entisoles, en una región con fuertes pendientes y alta pluviosidad, se encontrarían en zonas de erosión activa o en depósitos aluviales recientes a lo largo de los valles y márgenes de ríos. Son suelos jóvenes, poco desarrollados y de baja retención de agua, con fertilidad dependiente del material parental, en este caso, las rocas plutónicas y metamórficas que podrían aportar minerales resistentes. Son más comunes en áreas con pendientes pronunciadas donde la constante movilización de material impide la diferenciación de horizontes.

En un ambiente cálido-húmedo, los Oxisoles pueden ser prominentes en superficies estables de colinas y zonas de menor erosión. Estos suelos están altamente meteorizados y lixiviados debido a la intensa precipitación, lo que los hace pobres en nutrientes y con alta acidez. Presentan colores rojizos o amarillentos debido a la acumulación de óxidos de hierro y aluminio. Su estructura es estable, pero requieren fertilización y encalado para mejorar su productividad agrícola.

Los Ultisoles en zonas con clima húmedo y suelos derivados de rocas ígneas y metamórficas pueden estar bien representados en terrenos de media ladera a menor altitud. Son suelos altamente intemperizados, con acumulación de arcillas en el horizonte subsuperficial y baja saturación de bases debido a la intensa lixiviación. Su fertilidad es baja, pero pueden ser mejorados con prácticas de enmienda, como la adición de cal y fertilizantes.

En cuanto a los Mollisoles, aunque son más típicos de regiones templadas, pueden encontrarse en áreas con topografía más estable y en depresiones donde se ha acumulado materia orgánica. Su fertilidad es alta, y su horizonte superficial es oscuro y rico en materia orgánica. Sin embargo, en un ambiente con precipitaciones altas como el descrito, es menos probable que se desarrollen en grandes extensiones, salvo en zonas con acumulación de material orgánico y mejor drenaje.

Como se indicó en el capítulo de generalidades la nomenclatura de las unidades de suelo consta de dos letras mayúsculas que indican las iniciales del nombre de las unidades cartográficas según su ubicación. Le sigue una letra minúscula y/o un número arábigo que indica la fase del suelo (ver Tabla 5.1.4.1). La localización de estas unidades para el área de influencia del componente suelo, se muestran en la Figura 5.1.4.1 y en mayor detalle en el mapa I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-USUE.

A continuación, se describen las unidades cartográficas de suelos de acuerdo con el orden dado en la leyenda de suelos (ver Tabla 5.1.4.1), iniciando dicha descripción con la integración del paisaje y clima ambiental.

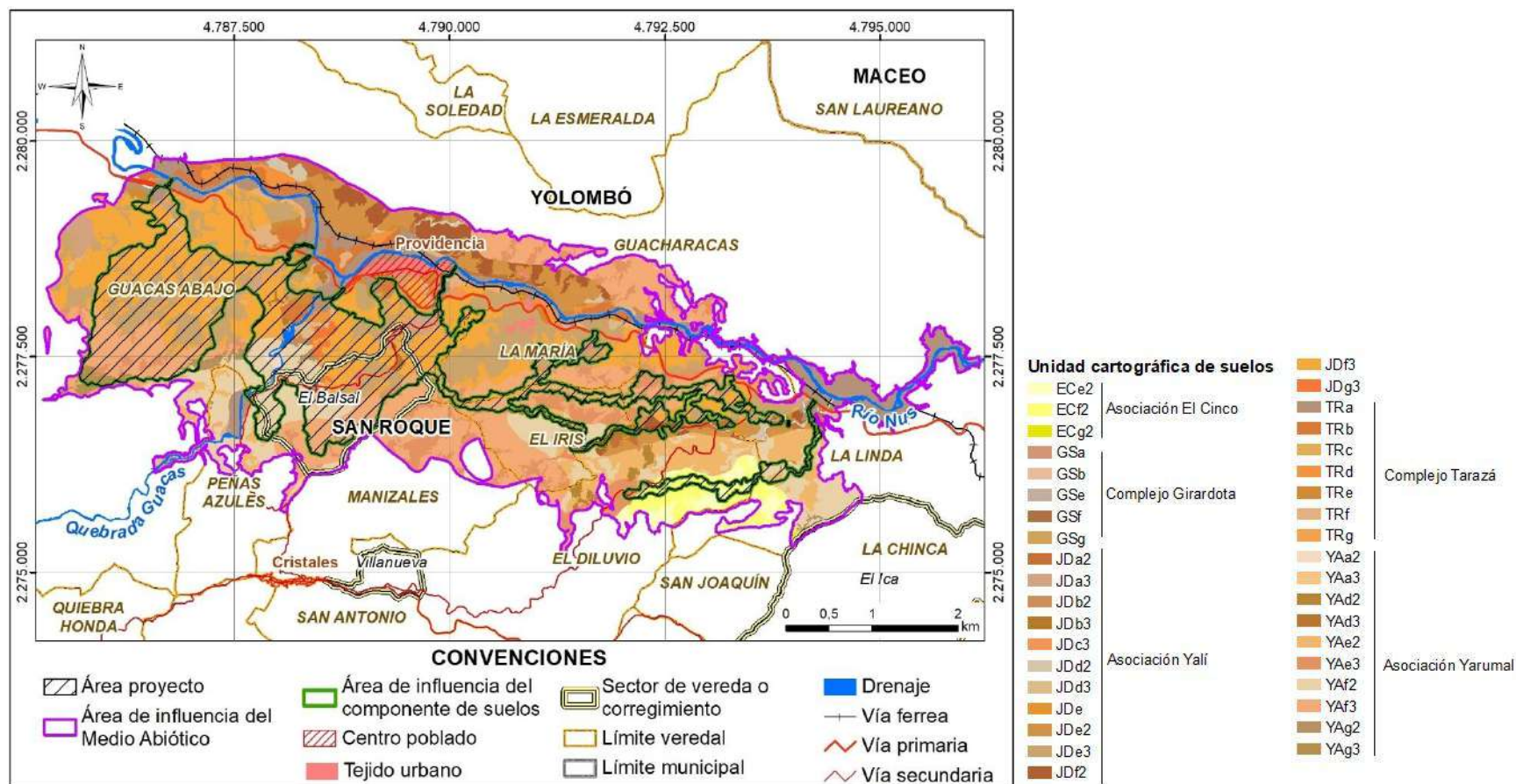


Figura 5.1.4.1 Unidades de suelos presentes en el área de influencia del área de influencia y el componente suelos

Fuente: Integral S.A., 2025 con información del EIA, 2015.

Tabla 5.1.4.1 Leyenda de unidades cartográficas en el área de influencia componente suelo y área de influencia medio abiótico

Relieve	Clima	Unidad fisiográfica	Material parental	Características de los suelos	Unidad cartográfica	S*	F*	Área influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
								ha	%	ha	%
Colinas	Cálido húmedo	Colinas	Rocas ígneas, cuarzodioritas y granitos con depósitos de cenizas volcánicas.	Profundos, limitados por fragmentos de roca, bien drenados, texturas medias a finas, erosión por escurrimiento difuso, patas de vaca y pequeños deslizamientos; fertilidad muy baja	Asociación Yarumal	YA	a2, a3, e2, e3, f2, f3, g2, g3	255,84	36,38	978,98	39,23
			Rocas ígneas, (cuarzodioritas y granito)	Profundos de fuertemente ácidos a moderadamente ácidos, erosión por patas de vaca y surcos	Asociación Yalí	JD	a3, c3, d3, e3, f3, g3.	393,43	55,95	1.004,75	40,27
			Rocas metamórficas (esquistos)	Profundos a superficiales, bien drenados, limitados por fragmentos de roca texturas finas a medias, erosión ligera y moderada, fertilidad baja,	Asociación El Cinco	EC	a1, d1, e1, f1, g1.	16,37	2,33	101,18	4,05

Relieve	Clima	Unidad fisiográfica	Material parental	Características de los suelos	Unidad cartográfica	S*	F*	Área influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
							ha	%	ha	%	
				reacción moderadamente ácida							
		Vallecitos	Sedimentos coluvioaluviales mixtos,	De poca evolución, superficiales y moderadamente profundos, nivel freático alto; presenta inundaciones o encharcamientos en época de lluvias, fertilidad baja.	Complejo Tarazá	TR	a, b, c, d, e, f, g.	29,86	4,25	328,46	13,16
			Sedimentos heterogéneos mixtos coluvioaluviales recientes.	Superficiales a moderadamente profundos, moderadamente ácidos, drenaje externo lento, inundaciones por desbordamiento.	Complejo Girardota	GS	a, b, e, f, g.	-	-	3,07	0,12
Otras áreas (cuerpos de agua y superficie urbanizada)								7,68	1,09	78,85	3,16
Total								703,18	100,00	2.495,27	100,00

Fuente: Integral S.A., 2025

Nota: S: Símbolo, F: Fase

Las unidades cartográficas presentes en el área de influencia son:

5.1.4.1.1 Asociación Yarumal (YA)

La asociación Yarumal se caracteriza por presentar relieves moderadamente inclinados a fuertemente escarpados, las pendientes en su gran mayoría están entre 50 y 75%. Los suelos se han formado a partir de rocas ígneas, cuarzodioritas y granitos con cenizas volcánicas, en las zonas de menor pendiente. Son de texturas medias y finas, bien drenados, profundos, limitados por factores físicos (piedras o gravilla en el perfil). Presentan erosión por escurrimiento difuso, terracetas, pata de vaca, movimientos en masa y pequeños deslizamientos. La asociación se conforma por andisoles, inceptisoles e inclusiones de ultisoles (IGAC, 2007). Esta asociación se presenta en la vereda Guacharacas del municipio de Yolombó y en las veredas Guacas abajo incluyendo el sector El Balsal, Peñas Azules, Manizales, La María, El Iris, La Linda y el Diluvio del municipio de San Roque.

- Andisol: están localizados en las partes más altas y de pendientes suaves a ligeramente escarpadas de la asociación, principalmente en las áreas donde predominan los relieves ligeramente escarpados, de pendientes entre 12-50% (Veredas La María, Guacas abajo, El Diluvio, La Linda); los suelos se derivan de cenizas volcánicas depositadas sobre cuarzodioritas y granitos; bien drenados; en verano aparecen grietas de poca amplitud y profundidad (ver Fotografía 5.1.4.1). Estos suelos tienen una moderada evolución pedogenética. Presentan epipedón ócrico, endopedón cámbico. Además, tienen un régimen de humedad údico, saturación de bases menor del 35% y altos valores de cenizas volcánicas (IGAC, 2007).
- Inceptisol: se encuentran en las partes altas e intermedias de las laderas, donde imperan los relieves moderadamente escarpados. Las pendientes varían entre 50 a 75% (vereda La María, El Diluvio, El Iris, La Linda, Guacas abajo y Manizales, del municipio de San Roque y en la vereda Guacharacas del municipio de Yolombó). Los suelos, desarrollados a partir de cuarzodioritas, son profundos con altas saturaciones de aluminio y bien drenados (ver Fotografía 5.1.4.2).



Fotografía 5.1.4.1 Perfil típicos de la Asociación Yarumal

Fuente: GCL, 2015



Fotografía 5.1.4.2 Perfil típicos de Inceptisoles

Fuente: GCL, 2015

- Ultisol (Inclusión): se encuentran en todas las laderas, en especial en las partes altas e intermedias y mejor drenadas. Predominan los relieves moderadamente escarpados, de pendientes entre 25 a 75% (vereda La María y Guacas abajo). Los suelos, desarrollados

a partir de cuarzodioritas, son moderadamente profundos, con limitantes por toxicidad con aluminio para las plantas. Son suelos bien drenados (ver Fotografía 5.1.4.3).



Fotografía 5.1.4.3 Perfiles típicos de Ultisoles

Fuente: GCL, 2015

Adicionalmente en los muestreos realizados en el 2022, se identificó la presencia de Entisoles que se consideran los suelos más recientes y menos evolucionados que los Inceptisoles, ya que presentan poco espesor de los horizontes -poco desarrollados, por lo que presentan menor influencia de los factores formadores (tiempo, material parental, relieve, factores climáticos y biología), con respecto a otros suelos, y se desarrollan sobre materiales rocosos denominados macizo rocoso, contacto lítico o paralítico (USDA, 2014).

Estos suelos, se encuentran distribuidos en donde predominan los relieves moderadamente escarpados, de pendientes entre 25 a 75% (Guacas abajo, El Iris, La Linda y El Diluvio), en donde la erosión y la fuerte lluvia limitan la evolución del suelo, especialmente en áreas donde los procesos de intemperismo han comenzado a diferenciar horizontes sin una acumulación marcada de arcillas.



Fotografía 5.1.4.4 Perfiles típicos de Entisoles

Fuente: Integral S.A., 2022

La asociación en el área de estudio está conformada por los suelos Typic Dystrudepts (30%), Oxíc Dystrudepts (22%), Vertic Humudepts (3%), Typic Eutrudept (15%), Lithic Ustorthents (20%) y Lithic Udorthents (8%).

En las áreas de influencia se encuentran las fases que se presentan en la Tabla 5.1.4.2, en la Figura 5.1.4.1 se puede ver la especialización de las fases mencionadas, para mayor detalle ver el mapa I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-USUE).

Tabla 5.1.4.2 Áreas de las fases de la Asociación Yarumal

Fase	Nombre	Área de influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
		ha	%	ha	%
YAA2	Asociación Yarumal, pendiente plana y grado de erosión moderado	2,97	1,16	3,93	0,40
YAA3	Asociación Yarumal, pendiente plana y grado de erosión severo	0,32	0,13	4,42	0,45
YAd2	Asociación Yarumal, pendiente fuertemente inclinada y grado de erosión moderado	1,23	0,48	10,00	1,02
YAd3	Asociación Yarumal, pendiente fuertemente inclinada y grado de erosión severo	0,72	0,28	2,76	0,28
YAE2	Asociación Yarumal, pendiente ligeramente escarpada y grado de erosión moderado	8,00	3,13	115,94	11,84

Fase	Nombre	Área de influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
		ha	%	ha	%
YAe3	Asociación Yarumal, pendiente ligeramente escarpada y grado de erosión severo	22,63	8,84	142,24	14,53
YAf2	Asociación Yarumal, pendiente moderadamente escarpada y grado de erosión moderado	74,21	29,01	241,69	24,69
YAf3	Asociación Yarumal, pendiente moderadamente escarpada y grado de erosión severa	129,92	50,78	429,11	43,83
YAg2	Asociación Yarumal, pendiente fuertemente escarpada y grado de erosión moderado	6,55	2,56	12,12	1,24
YAg3	Asociación Yarumal, pendiente fuertemente escarpada y grado de erosión severo	9,28	3,63	16,76	1,71
Total, Asociación Yarumal		255,84	100,00	979,62	100,00

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir del EIA, 2015 de GCL.

Los suelos de la asociación Yarumal, dentro del área de interés (área de influencia del componente suelo y uso de la tierra y área de influencia del componente abiótico), presentan coberturas de pastos limpios, pastos arbolados, vegetación secundaria y bosque de galería y/o ripario, esta última cobertura asociada a quebradas presentes en el territorio. Identificando en los puntos de muestreo usos del suelo como: ganadería y agricultura para el cultivo de caña como los más relevantes.

5.1.4.1.2 Asociación El Cinco (EC)

Esta asociación se identificó dentro de la vereda El Diluvio, La Linda y Manizales del municipio de San Roque, la mayoría de estos suelos han evolucionado en clima cálido húmedo a muy húmedo. Geomorfológicamente, se encuentran en el paisaje de espinazo con un parche de cono o lóbulo de flujo de lodo y tierra, con relieve moderadamente quebrado a moderadamente escarpado y pendientes hasta del 75%.

Los suelos se han desarrollado a partir de rocas metamórficas de diferentes clases (neis y esquistos). Son suelos superficiales a profundos, limitados por fragmentos de roca, la mayoría presenta erosión laminar ligera a moderada por escurrimiento difuso, además de algunas cárcavas y deslizamientos. En general, son de baja evolución pedogenética excepto los Oxisoles que son de muy alta evolución; son bien drenados, de texturas finas a moderadamente gruesas (FArA) y de muy baja a moderada fertilidad.

En la Fotografía 5.1.4.5 se puede observar un perfil de inceptisoles en la asociación El Cinco que en algunos sectores se presenta pedregosidad en superficie.



Fotografía 5.1.4.5 Perfiles típicos de Inceptisoles en la asociación El Cinco

Fuente: GCL, 2015

Esta asociación comprende un área de 101,18 ha en el área de influencia del medio abiótico y 16,29 ha en el área de influencia de suelos, en ella se encuentran las fases que se presentan en la Tabla 5.1.4.3.

Tabla 5.1.4.3 Áreas de las fases de la Asociación El Cinco

Fase	Nombre	Área influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
		ha	%	ha	%
ECe2	Asociación El Cinco, pendiente ligeramente escarpada y grado de erosión moderado	4,08	24,92	46,56	46,02
ECf2	Asociación El Cinco, pendiente moderadamente escarpada y grado de erosión moderado	12,29	75,08	54,07	53,44
ECg2	Asociación El Cinco, pendiente fuertemente escarpada y grado de erosión moderado	-	-	0,54	0,53
Total, asociación El Cinco		16,37	100,00	101,18	100,00

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir del EIA, 2015 de GCL.

Los suelos de la asociación El Cinco, dentro del área de influencia del componente suelos y uso de la tierra, son utilizados en ganadería extensiva y agricultura, en esta asociación se presentan coberturas de pastos limpios, pastos arbolados, vegetación secundaria alta, bosque fragmentado con vegetación secundaria, bosque de galería y/o ripario y caña.

Dentro del estudio realizado para la presente modificación se encontraron hasta nivel de subgrupos los suelos que se presentan en el área de influencia de este componente, el cual se encuentran Lithic Ustorthents (71%) y Typic Dystrudets (29%).

5.1.4.1.3 Asociación Yalí (JD)

Esta asociación se identificó en la vereda Guacas abajo, La María, La Linda, El Diluvio y El Iris del municipio de San Roque y en la vereda Guacharacas del municipio de Yolombó, se

localiza en clima cálido húmedo, transicional a medio húmedo, en paisaje de colina con relieve de glacis coluvial y coluvios de remoción. La glacis coluvial es una superficie suavemente inclinada localizada al pie de colinas, lomas u ondulaciones formada por acumulación de materiales de texturas arenosas, arenosas francas y franco arenosas por acción del escurrimiento difuso; mientras que los coluvios de remoción son depósitos de laderas procedentes de desprendimientos de tierra con fragmentos rocosos heterométricos y que carecen de una forma definida. El relieve de esta asociación es moderado a fuertemente ondulado y las pendientes son mayores al 7%. (IGAC, 2007).

Los suelos derivados de rocas ígneas (cuarzodioritas y granito) con mantos de materiales finos, son profundos, bien drenados, de texturas moderadamente finas y finas en algunos horizontes, muy fuertes a fuertemente ácidos, bajo a muy alto contenido de aluminio y fertilidad baja a muy baja; presenta erosión hídrica ligera a moderada, principalmente pata de vaca, y abundantes movimientos en masa (IGAC, 2007). En la Fotografía 5.1.4.6 se puede observar un perfil típico presente en esta asociación.





Fotografía 5.1.4.6 Perfiles típicos de Inceptisoles en la Asociación Yalí

Fuente: GCL, 2015

Esta asociación comprende un área de 1.009,67 ha del área de influencia de medio abiótico y 393,51 ha del área de influencia del componente suelos, en ella se encuentran las fases que se muestran en la Tabla 5.1.4.4.

Tabla 5.1.4.4 Fases de la Asociación Yalí

Fase	Nombre	Área de influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
		ha	%	ha	%
JDa2	Asociación Yalí, pendiente plana y grado de erosión moderado	3,55	0,90	24,84	2,47
JDa3	Asociación Yalí, pendiente plana y grado de erosión severo	15,23	3,87	33,16	3,30
JDb2	Asociación Yalí, pendiente ligeramente inclinada y grado de erosión moderado	0,45	0,11	2,78	0,28
JDb3	Asociación Yalí, pendiente ligeramente inclinada y grado de erosión severo	4,34	1,10	5,46	0,54
JDc3	Asociación Yalí, pendiente moderadamente inclinada y grado de erosión severo	-	-	2,13	0,21
JDd2	Asociación Yalí, pendiente fuertemente inclinada y grado de erosión moderado	0,39	0,10	15,00	1,49
JDd3	Asociación Yalí, pendiente fuertemente inclinada y grado de erosión severo	7,09	1,80	11,82	1,18
JDe	Asociación Yalí, pendiente ligeramente escarpada	0,02	0,01	0,65	0,06
JDe2	Asociación Yalí, pendiente ligeramente escarpada y grado de erosión moderado	3,73	0,95	95,12	9,47
JDe3	Asociación Yalí, pendiente ligeramente escarpada y grado de erosión severo	115,80	29,43	291,91	29,05

Fase	Nombre	Área de influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
		ha	%	ha	%
JDf2	Asociación Yalí, pendiente moderadamente escarpada y grado de erosión moderado	4,80	1,22	54,46	5,42
JDf3	Asociación Yalí, pendiente moderadamente escarpada y grado de erosión severo	230,66	58,63	460,04	45,79
JDg3	Asociación Yalí, pendiente fuertemente escarpada y grado de erosión severo	7,37	1,87	7,37	0,73
Total, asociación Yalí		393,43	100,00	1.004,75	100,00

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir del EIA, 2015 de GCL.

Los suelos de la asociación Yalí, dentro del área de influencia del medio abiótico y del área de influencia del componente suelo y uso de la tierra, son utilizados en ganadería extensiva, en esta asociación se presentan coberturas de pastos limpios, pastos arbolados y bosque de galería y/o ripario.

Dentro del estudio realizado para la presente modificación se encontraron hasta nivel de subgrupos, y está compuesto por Oxic Dystrudepts (37%), Typic Dystrudepts (35%), Vertic Humudepts (10%), Lithic Udorthents (7%) y Lithic Ustorthents (8%), otro porcentaje está asociado a Tecnosuelos (3%).

Los *Tecnosuelos* (*Tecnosoles*), según la base mundial del recurso suelo de la FAO (2006/2007) y Cosío & Ibañez (2015), corresponden a suelos o sustratos que contienen una cantidad significativa de materiales u objetos elaborados o extraídos de la tierra por el hombre, de naturaleza más o menos tecnológica, creados, depositados y/o confeccionados por los seres humanos, con propiedades o materiales parentales diferentes de la meteorización de las rocas naturales. Los *Tecnosoles* incluyen suelos de residuos o desechos como rellenos, lodos, escorias, escombros o residuos de minería y cenizas, pavimentos con sus materiales subyacentes no consolidados, suelos con geomembranas y aquellos construidos en o sobre materiales elaborados o trabajados por el hombre como escombros mezclados material terroso, entre otros. Son frecuentemente denominados “suelos urbanos” o de minas y se reconocen en el nuevo sistema de clasificación como suelos de tecnogénicas superficiales (FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA, 2006/2007)

5.1.4.1.4 Complejo Tarazá (TR)

El complejo Tarazá se localiza en los climas cálidos secos y algunos enclaves de climas cálidos húmedos. Geomorfológicamente, la unidad se encuentra en el paisaje de colinas, tipo de relieve vallecitos, en relieve plano con pendientes menores al 12% (IGAC, 2007). Cabe aclarar que, este complejo ubicado en la vereda La Linda, La María, El Diluvio, Guacas Abajo del municipio de San Roque y Guacharacas del municipio de Yolombó, en la parte de la vía nacional Medellín – Bogotá y el río Nus, se ubica en una geomorfología de plano o llanuras de inundación, la cual se caracteriza por tener una franja de terreno plana baja de morfología ondulada, eventualmente inundable. Se presenta bordeando los cauces fluviales y se limita localmente por escarpes de terraza. Se constituye de materiales finos y contempla pendientes entre 1-3%, encontrándose dentro de las descripciones señaladas por el IGAC (IGAC, 2007) y en el Estudio de Impacto Ambiental (GCL, 2015).

Los suelos son derivados de depósitos coluvio-aluviales con materiales mixtos; son superficiales a moderadamente profundos, limitados por gravilla, cascajo o por el nivel freático; generalmente, se presentan inundaciones o encharcamientos en épocas de lluvias. Está compuesto por los suelos que se pueden clasificar a nivel de orden y según su elemento formativo como Entisoles y misceláneos de playa para obtener una clasificación más detallada en grandes grupos y sub-órdenes. Este complejo se clasificó en el subgrupo Lithic Udorthents (26%), Lithic Ustorthents (35%), Oxic Dystrudepts (21%) y el tecnosuelo (19%). En la Fotografía 5.1.4.7 se observa un perfil típico de entisoles en el complejo tarazá.



Fotografía 5.1.4.7 Perfiles típicos de Entisoles en el Complejo Tarazá

Fuente: GCL, 2015

Esta asociación comprende un área de 30,33 ha en el área de influencia de suelos y de 333,36 ha del área de influencia de medio abiótico y se encuentra la siguiente fase (ver Tabla 5.1.4.5).

Tabla 5.1.4.5 Fase del Complejo Tarazá

Fase	Nombre	Área de influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
		ha	%	ha	%
TRa	Complejo Tarazá, pendiente plana	10,62	35,58	180,27	54,88
TRb	Complejo Tarazá, pendiente ligeramente inclinada	7,94	26,60	57,71	17,57
TRc	Complejo Tarazá, pendiente moderadamente inclinada y grado de erosión moderado	-	-	0,30	0,09
TRd	Complejo Tarazá, pendiente fuertemente inclinada	3,13	10,50	21,98	6,69
TRe	Complejo Tarazá, pendiente ligeramente escarpada	4,90	16,40	38,04	11,58

Fase	Nombre	Área de influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
		ha	%	ha	%
TRf	Complejo Tarazá, pendiente moderadamente escarpada	3,19	10,68	30,10	9,16
TRg	Complejo Tarazá, pendiente fuertemente escarpada	0,07	0,24	0,07	0,02
Total, Complejo Tarazá		29,86	100,00	328,46	100,00

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir del EIA, 2015 de GCL.

5.1.4.1.5 Complejo Girardota (GS)

El clima es templado húmedo y muy húmedo. Geomorfológicamente, se encuentra en el paisaje de colinas en el tipo de relieve correspondiente a vallecitos en los cuales se pueden encontrar pequeñas terrazas, vegas, diques y coluvios. El relieve es plano a fuertemente ondulado con pendientes hasta el 12% aunque en sitios puntuales llega hasta más de 75%.

Los suelos se han desarrollado de sedimentos heterogéneos mixtos coluvio-aluviales recientes de diferentes tamaños, son superficiales a moderadamente profundos limitados por factores físicos (nivel freático y fragmentos de roca en el perfil) y químicos. El drenaje natural es pobre a bueno; la mayoría de los suelos de baja evolución pedogenética, presentan desarrollo estructural en los horizontes superiores, las texturas son moderadamente finas a gruesas y de fertilidad moderada.

Forman este complejo los suelos Typic Udifluvents (Entisol), Typic Endoaquepts (Entisol) y el Typic Fluvaquents (Entisol) y como inclusiones Fluventic Dystrudepts (Inceptisol), Aquic Eutrudepts (Inceptisol) y el Hydric Melanudands (Andisol) (IGAC, 2007) y en el Estudio de Impacto Ambiental (GCL, 2015). Estos suelos se clasifican a nivel de gran grupo, orden y suborden, debido a que cumplen todas las características descriptivas de dichos suelos Typic; más específicamente, a nivel de orden en este complejo se tienen los suelos Entisoles, Inceptisoles y Andisoles (IGAC, 2007) (GCL, 2015). Vale la pena rescatar que en el área de estudio se muestreó el suelo Typic Udifluvents (100%), en la vereda Guacas abajo en la parte alta de la quebrada Guacas, sin embargo, todas las taxonomías de suelo aquí mencionadas se describen a continuación:

- Entisoles: en los cuales se encuentran los subgrupos:
 - (Typic Udifluvents): los suelos de esta unidad se encuentran en las transiciones hacia los bajos, en relieve plano con pendientes hasta del 3% y sin erosión. Los suelos se han desarrollado de sedimentos coluvio-aluviones recientes, son profundos e imperfectamente drenados.
 - (Typic Endoaquepts): los suelos se ubican en las partes bajas y en áreas cercanas a las corrientes de agua, que tienen el drenaje un poco restringido, en relieve plano cóncavo con pendientes hasta del 3%. Los suelos se han desarrollado a partir de aluviones recientes heterogéneos, son superficiales limitados por el nivel freático y la presencia de fragmentos de roca como cascajos y piedras desde los 40 cm; con drenaje natural pobremente drenados.
 - (Typic Fluvaquents): son suelos que se encuentra en las partes bajas de los vallecitos angostos, en relieve plano con pendientes hasta del 3%. Los suelos se han derivado de aluviones recientes con influencia coluvial, son superficiales, limitados por la fluctuación del nivel freático y pobremente drenados.

- Inceptisoles, en los cuales se encuentra los subgrupos:
 - (Fluventic Dystrudepts, Inclusión): son suelos localizados en las partes altas (pequeñas terrazas) en relieve ligeramente plano a moderadamente inclinado con pendientes hasta del 8%. Los suelos se han desarrollado a partir de aluviones y coluviones recientes; son moderadamente profundos a profundos limitados por presencia de fragmentos de roca y toxicidad por el alto contenido de aluminio en algunos horizontes, el drenaje natural es moderado a bueno.
 - (Aquic Eutrudepts, Inclusión): se ubican en las transiciones hacia las partes bajas, en relieve plano cóncavo con pendiente hasta del 1%. Los suelos se han desarrollado a partir de sedimentos mixtos coluvio-aluviales recientes, son superficiales limitados por el nivel freático a los 25 cm de profundidad, además, la presencia de cascajos y arenas gruesas desde los 80 cm; son imperfectamente drenados.
- Andisoles:
 - (Hydric Melanudans, Inclusión): estos suelos se localizan en los sectores más cercanos a las laderas o que se han integrado al valle, en pendientes menores al 3%. Los suelos se han desarrollado a partir de materiales coluvioaluviales y cenizas volcánicas; son profundos, bien drenados, de texturas medias a moderadamente gruesas, estructura en bloques subangulares, finos y medios, moderados.

Este complejo comprende un área de 3,07 ha del área de influencia de medio abiótico y no presenta interacción con el área de influencia del componente suelos, en ella se encuentran las fases que se muestran en la Tabla 5.1.4.6.

Tabla 5.1.4.6 Fases del Complejo Girardota

Fase	Nombre	Área de influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
		ha	%	ha	%
GSa	Complejo Girardota, pendiente plana y grado de erosión moderado	0,00	0,00	1,37	44,60
GSb	Complejo Girardota, pendiente ligeramente inclinada y grado de erosión moderado	0,00	0,00	0,91	29,67
GSe	Complejo Girardota, pendiente ligeramente escarpada y grado de erosión moderado	0,00	0,00	0,30	9,80
GSf	Complejo Girardota, pendiente moderadamente escarpada y grado de erosión moderado	0,00	0,00	0,28	9,23
GSg	Complejo Girardota, pendiente fuertemente escarpada y grado de erosión moderado	0,00	0,00	0,21	6,69
Total, Complejo Girardota		0,00	0,00	3,07	100,00

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir del EIA, 2015 de GCL.

5.1.4.1.6 Características generales de los suelos identificados (Perfiles de suelo)

Como se indicó al inicio de este ítem y en el capítulo 2 Generalidades, la caracterización del suelo y uso de la tierra se realizó con base en el levantamiento de suelos del Estudio

de Impacto Ambiental del proyecto Gramalote a escala 1:10.000 (GCL, 2015), elaborado siguiendo la leyenda del “Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Antioquia” realizado por el IGAC año 2007 a escala 1:100.000 (IGAC, 2007). Para el presente estudio se incorporó información del 2022, correspondiente a calicatas y barrenos realizadas en áreas con interacción del proyecto Gramalote. Con dicha información (22 calicatas y 279 barrenos o cajuelas descriptivas/corroborativas) se corroboró el tipo de suelo presente en el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra, y se presenta de forma integrada en la Figura 5.1.4.2. En el área de influencia del medio abiótico en dónde se presenta el Complejo Girardota, se mantiene la información del EIA del proyecto Gramalote (GCL, 2015), toda vez que no presenta interacción por intervención del proyecto, se mantiene la información levantada en el 2015. En la Figura 5.1.4.4 se presenta la información presentada en estudios anteriores. Adicionalmente en el ANEXOS_CARACTERIZACION_SUELOS_PERF_SUELOS_2015-2022 se pueden evidenciar las calicatas

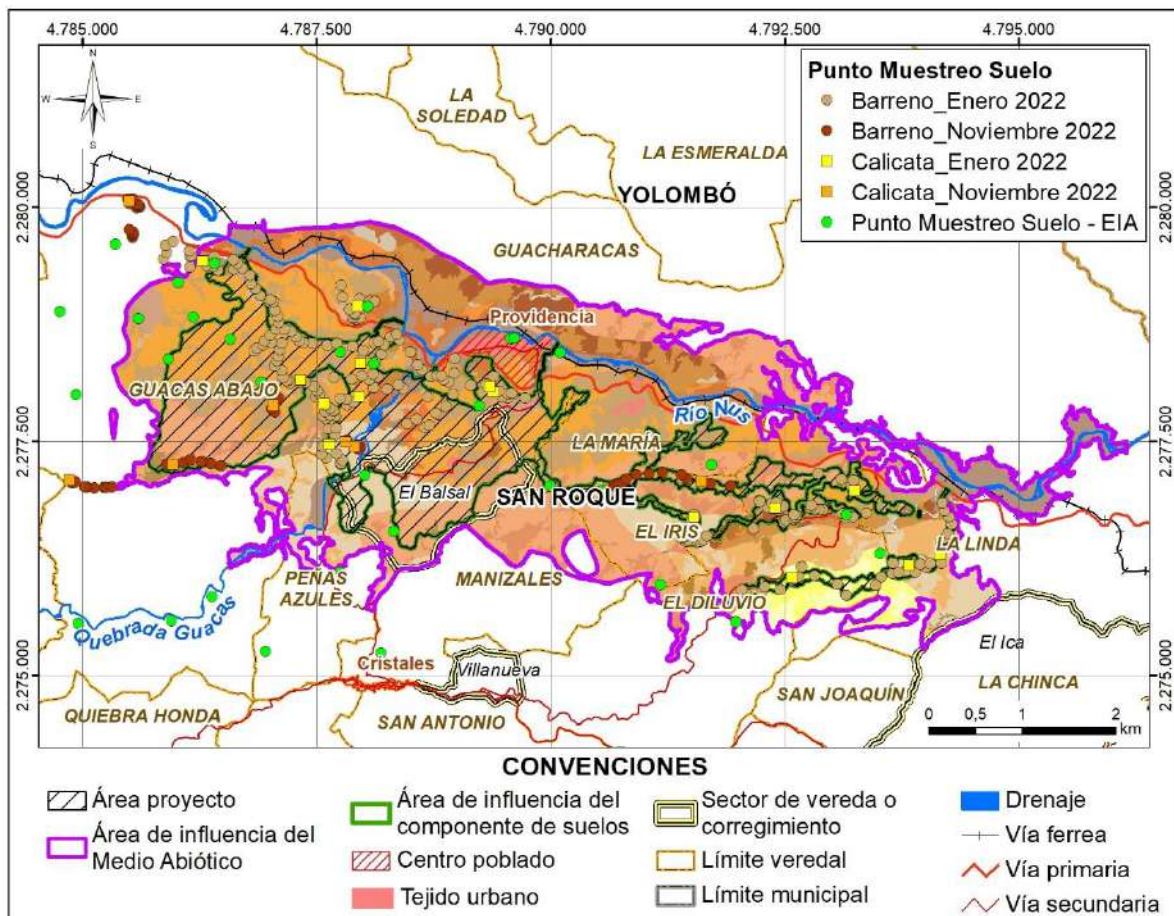


Figura 5.1.4.2 Puntos muestreo de suelos realizado por Gramalote en el 2022 y realizadas en el Estudio de Impacto Ambiental del proyecto Gramalote, 2015.

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información del Estudio de Impacto Ambiental, 2015 y equipo edafológico, 2022.

Unidad cartográfica de suelos	
ECe2	Asociación El Cinco
ECf2	
ECg2	
GSa	Complejo Girardota
GSb	
GSd	
GSf	
GSg	
JD a2	Asociación Yali
JD a3	
JD b2	
JD b3	
JD c3	
JD d2	
JD d3	
JD e	
JD e2	
JD e3	
JD f2	
JDF3	Complejo Tarazá
JDg3	
TRa	
TRb	
TRc	
TRd	
TRe	
TRf	
TRg	
YAa2	Asociación Yarumal
Yaa3	
YAd2	
YAd3	
YAc2	
YAc3	
YAf2	
YAf3	
YAg2	
YAg3	

Figura 5.1.4.3 Leyenda de suelos

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información del Estudio de Impacto Ambiental, 2015 y equipo edafológico, 2022.

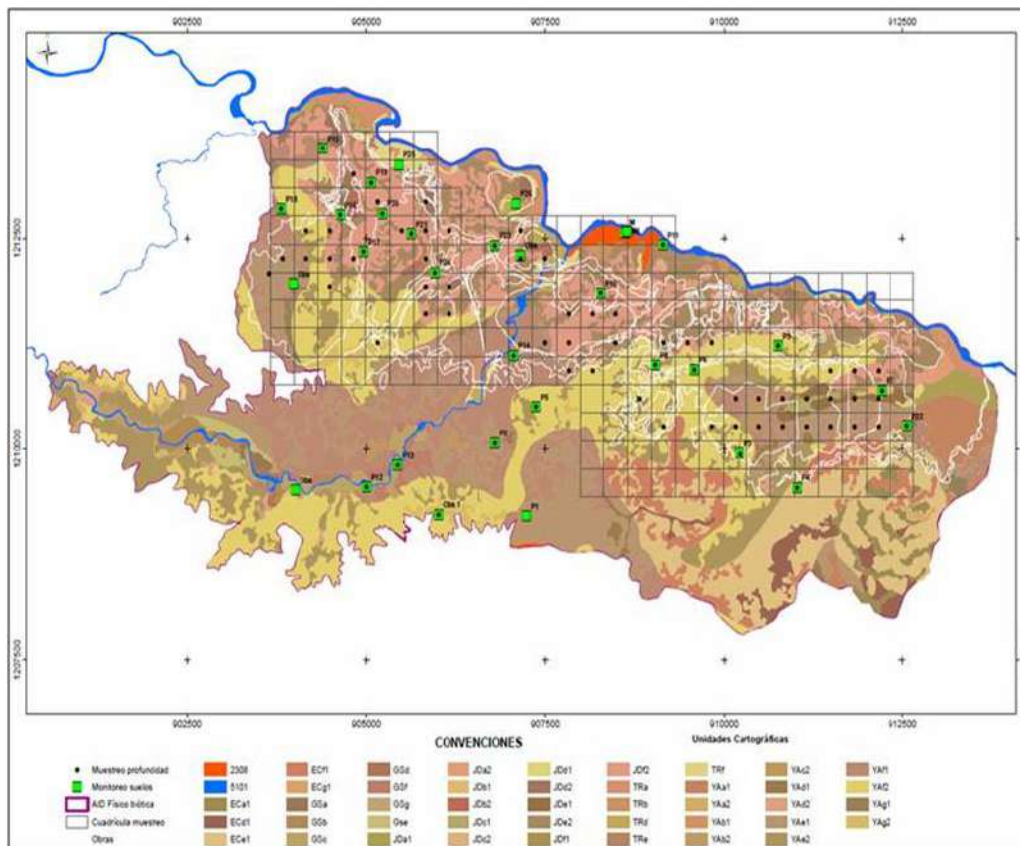


Figura 5.1.4.4 Muestreo de suelos del estudio de impacto ambiental 2015.

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental, 2015

Dentro de la información analizada se identificaron los suelos hasta nivel de subgrupos, pertenecientes a: Typic Dystrudepts, Oxic Dystrudepts, Typic Eutridept, Vertic Humudepty,

Lithic Ustorthents, Lithic Udorthents. Estos se encuentran en las asociaciones Yarumal, Yalí, El Cinco y en el complejo Tarazá y Typic Udifluvents del complejo Girardota. En la Tabla 5.1.4.7 se presentan en resumen las unidades de suelos y los subgrupos o componentes taxonómicos de suelos que la componen.

Tabla 5.1.4.7 Resumen de suelos presentes en las áreas de influencia de análisis

Tipo de unidad cartográfica	Subgrupo (Componentes taxonómicos)	Porcentaje (%)	Área de influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
			Área (ha)	Porcentaje (%)	Área (ha)	Porcentaje (%)
Asociación Yarumal	Typic Dystrudepts	30	255,84	36,38	978,98	39,23
	Oxic Dystrudepts	22				
	Typic Eutrudept	15				
	Vertic Humudept	3				
	Lithic Ustorthents	20				
	Lithic Udorthents	8				
	Deposito aluvial	2				
Asociación El Cinco	Lithic Ustorthents	71	16,37	2,33	101,18	4,05
	Typic Dystrudepts	29				
Asociación Yalí	Typic Dystrudepts	35	393,43	55,95	1.004,75	40,27
	Oxic Dystrudepts	37				
	Vertic Humudept	10				
	Lithic Ustorthents	8				
	Lithic Udorthents	7				
	Tecnosuelo	3				
Complejo Tarazá	Lithic Ustorthents	35	29,86	4,25	328,46	13,16
	Lithic Udorthents	26				
	Oxic Dystrudepts	21				
	Tecnosuelo	19				
Complejo Girardota	Typic Udifluvents	100	-	-	3,07	0,12
Otras áreas (cuerpos de agua y superficie urbanizada)			7,68	1,09	78,85	3,16
Total			703,18	100,00	2.495,27	100,00

Fuente Integral, 2025

A continuación, se realiza una descripción de los suelos identificados en el presente estudio.

A. Subgrupo Typic Dystrudepts

Dentro del orden Inceptisol se encuentra el subgrupo *Typic Dystrudepts*, el cual se caracteriza por poseer suelos profundos, bien drenados, de extremadamente a moderadamente ácidos (pH 4,5-6,0), con presencia de fragmentos de roca, una profundidad efectiva de 30-40 cm, con drenajes superficiales, internos y naturales moderados, presenta erosión leve de tipo reptación por pisoteo animal, y en algunas calicatas se identificó una

leve erosión mecánica por caída de árboles y del mismo modo manchas de descomposición de MO (materia orgánica), lo que explica algunas zonas oscuras en la exposición del perfil del suelo. En la Fotografía 5.1.4.8 se presentan en las calicatas analizadas.



Calicata2_Ene2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.793.825,75 N:2.276.178,29



Calicata7_Ene2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.793.244,64 N:2.276.971,65



Calicata8_Ene2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.792.398,86 N:2.276.785,77



Calicata14_Ene2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.787.327,85 N:2.278.158,22



Calicata3_Nov2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.787.037,75 N:2.277.886,02



Calicata4_Nov2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.784.858,15 N:2.277.091,15



Calicata7_Nov2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.787.811,00 N:2.277.492,33

Fotografía 5.1.4.8 Perfiles Orden Inceptisol, subgrupo Typic Dystrudepts

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de equipo edafológico, 2022.

Teniendo en cuenta las características de las calicatas indentificadas en campo que se señalan en la Tabla 5.1.4.8 y se presentan en la Fotografía 5.1.4.8; se identifican tres (3) horizontes con límites difusos o alta similitud, de configuración AP-BA-B que presenta unas características derivadas de procesos de formación del suelo y posible intervención humana como actividad agrícola o pastoreo. El Horizonte AP de 30 a 35 cm, presentó color Munsell de 10YR 4/3 (Brown), con estructura de bloque subangulares, clase fina y grado medio, consistencia en seco suelta y en húmedo semi pegajoso, presencia de raíces finas en una cantidad moderada y baja actividad de microorganismos en una calicata se identificó la presencia de miriápodos y otros artrópodos.

En cuanto al horizonte BA, se indentificó una profundidad de 36 - 46 cm (11 a 15 cm) del perfil del suelo, arrojó un Munsell de 10YR 4/6 (Dark yellow ish brown) con estructura de tipo bloques subangulares, clase fina y grado medio, una consistencia en seco suelta y en

húmedo dura o semipegajoso en algunos casos, no se encontró la presencia de raíces en este horizonte.

Por ultimo el horizonte B, en los 47 - 100 cm (53 a 55 cm) de los perfiles vistos, se identificó una colorimetría Munsell de 7.5YR 5/6 (strong brown), con estructura de tipo bloques subangulares, clase fina y grado bajo, una consistencia en seco suelta a suelta-dura y en húmedo semi pegajoso, sin presencia de ningún tipo de raíces.

En cuanto a los resultados obtenidos por análisis de laboratorio (ver Tabla 5.1.4.9) se identificó que los suelos presentan texturas predominantes franco arenosa y franco arcillo arenosa, con algunas muestras de arcillo arenosa y arcillosa, lo que permite inferir que el suelo presenta una base equilibrada, con influencias de arcillas y arenas, estas últimas aportan una favorabilidad en la capacidad de retención de agua y nutrientes de los suelos arcillosos con la ligereza y el buen drenaje de los suelos arenosos; se identificó un pH de 4,62 a 5,81 el cual va de extremadamente ácido a moderadamente ácido, el cual, puede ser limitante para agricultura, por la disponibilidad de nutrientes; en cuanto al porcentaje de materia orgánica cuenta con un valor entre 5% a 8% predominando una buena fertilidad, el aporte o disponibilidad de Nitrógeno se encuentra entre 7,3 a 33,25 ppm, siendo este bajo a alto, posiblemente por el clima y la actividad microbial.

La Densidad aparente presentó valores entre 1,4 g/cm³ a 2,39 g/cm³, una Densidad real entre de 0,8 g/cm³ a 1,82 g/cm³, un porcentaje de porosidad entre 11,64% a 221,22%, lo cual confirma que este suelo es de origen mineral y favorece la infiltración, retención y circulación de agua, oxígeno y nutrientes.

La capacidad de intercambio catiónico específica (CICE) indican una variabilidad para retener nutrientes, la cual presenta valores entre 0,99 a 6,14 cmol+/kg suelo, asociados a valores bajos a altos, predominando los valores bajos.

La conductividad eléctrica presenta valores entre 0,008 dS/m a 0,23 dS/m, siendo esta de nula a baja salinidad, debido a que los suelos presentan buena lixiviación o buen drenaje, adicionalmente son suelos de origen volcánico y poca mineralización. Por su parte, el Aluminio presenta valores ideales y no es limitante en este suelo, (valores entre 0,8 ppm a 0,1 ppm).

Con respecto a los micronutrientes estos presentaron valores bajos a moderados o altos en el caso del fósforo (P) presentó concentraciones entre 0,10 a 51,37 ppm, siendo valores bajos a altos, indicios de deficiencia de este en las calicatas de analizadas, para el hierro (Fe) presentó valores entre 31,89 ppm a 483,15 ppm, siendo estos de bajos a altos, con tendencia a baja presencia de dicho nutriente en el suelo, el Manganeseo (Mn) presentó valores entre 0,98 ppm a 158,58 ppm, con valores bajos a altos presencia, sin embargo, predominaron los valores bajos; en cuanto al Cobre (Cu) presentó valores entre <0,01 ppm a 2,46 ppm, siendo en su mayoría niveles muy bajos (<0,5 ppm), lo que podría afectar la actividad enzimática y el crecimiento vegetal. El Zinc (Zn) presentó valores entre 0,23 ppm a 4,42 ppm, y el Boro (B) presentó valores entre 0,09 ppm a 0,84 ppm, en los dos casos con valores bajos (<1 ppm y <0,5 ppm, respectivamente) lo que sugiere una posible deficiencia de dichos nutrientes; por último, el Azufre (S) presentó valores entre 4,2 ppm a 42,87 ppm, en la mayoría de las calicatas presentó valores moderados.

El porcentaje de saturación de bases se encontró para el Potasio (K) entre 0,043% a 4%, el calcio (Ca) entre el 0,009% al 65,15%, el Magnesio (Mg) entre el 14 y 41,25% y el sodio (Na) entre 0,002% al 4,84%; presentándose una variación en la proporción de cationes presentes en el complejo de intercambio catiónico del suelo. Esta variabilidad indica

diferencias en la fertilidad y en la capacidad de retención de nutrientes del suelo, lo que puede influir en la disponibilidad de estos elementos para las plantas. Valores elevados de saturación de calcio y magnesio pueden estar asociados con suelos de textura más gruesa o con cierto grado de alcalinidad, mientras que valores bajos de potasio y sodio pueden indicar suelos con menor disponibilidad de estos nutrientes esenciales. Estos resultados sugieren la necesidad de realizar enmiendas o ajustes en la fertilización para equilibrar la nutrición vegetal y mejorar la productividad del suelo.

La relación de bases Ca/Mg, en la mayoría de las calicatas, se encuentra dentro del rango ideal (2-5); por su parte la relación de Mg/K y Ca/K presenta valores elevados en dos de las calicatas analizadas, lo que puede indicar una competencia entre magnesio y potasio, reduciendo la absorción de potasio por parte de las plantas.

En general, los suelos presentan buenas condiciones de materia orgánica y estructura variable, pero requieren ajustes en pH, fósforo y manejo de la saturación de bases para optimizar su productividad agroforestal.

Tabla 5.1.4.8 Resultado *in situ* perfiles de suelo Typic Dystrudepts

ID Calicata*	Calicata2_Ene2022	Calicata7_Ene2022	Calicata8_Ene2022	Calicata14_Ene2022	Calicata3_No v2022	Calicata4_No v2022	Calicata7_Nov2022
Perfil	Calicata 2	Calicata 7	Calicata 8	Calicata 14	Cal3.sanant.l 1	Cal4.el topacio alto	Cal7.montl aponderos a
Unidad cartográfica	A Yarumal	A Yalí	A Yalí	A Yalí	A Yalí	A Yarumal	A Yarumal
Fases Cartografía	YAf2	Jdf3	Jdf3	Jdf3	JDe3	Y Ae2	YAf2
Vereda	La Linda	El Diluvio	EL Diluvio	Guacas Abajo	Guacas Abajo	Guacas Abajo	Guacas Abajo
Localización fisiográfica	-	Vía carretera principal	Potrero	-	árboles y bosque	130 m de la línea divisoria	Ladera, 40 cm inundación (laguna)
Relieve o topográfica	Pendiente	Pendiente	Ondulada	Ladera	Pendiente	Pendiente 25°	Pendiente
Vegetación	Pasto Brachiaria	Pasto Brachiaria	Pastos arbolados	pastos	Pasto y algunos arboles	Vegetación	Helecho y vegetación secundaria
Uso actual del suelo	Ganadería	Barbecho	Ganadería - Zona de Conservación	Pastoreo	ganadería y bosque	Vegetación secundaria	Barbecho alto y helechal
Evidencias de erosión	Si, reptación grado leve pisoteo de ganado	Si, reptación, media ganadería por pisoteo animal	Si, reptación baja, pisoteo animal y escorrentía	Si, reptación, grado medio, por pisoteo animal	Si reptación, grado medio, ganadería pocos árboles y algunas zonas boscosas	Leve, mecánica grado leve por volcamiento de árboles	Si, arrastre lixiviación, grado medio, arrastre y en algunos casos lixiviación
Limitantes de profundidad	No evidencia	no evidencia	No evidencia	no evidencia	no presenta	No presenta	No presenta
Profundidad efectiva (cm):	40	40	30	30	30	40	40
Drenaje Superficial	moderado	moderado	Medio	medio	medio	medio	Alto

ID Calicata*	Calicata2_Ene2022			Calicata7_Ene2022			Calicata8_Ene2022			Calicata14_Ene2022			Calicata3_No v2022		Calicata4_No v2022		Calicata7_Nov2022	
Perfil	Calicata 2			Calicata 7			Calicata 8			Calicata 14			Cal3.sanant.l 1		Cal4.el topacio alto		Cal7.montl aponderos a	
Drenaje Interno	moderado			moderado			Medio			medio			medio		medio		Alto	
Drenajes Natural	moderado			moderado			Medio			medio			medio		medio		Alto	
Horizontes	AP	BA	B	AP	BA	B	AP	BA	B	AP	BA	B	Ap	B	A	B	--	
Espesor (cm)	35	36-46	47-100	0-35	36-46	47-100	0-30	31-46	47-100	0-35	36-46	47-100	30	31-100	26	27-100	-	
Color Munsell	Notación	10Y R4/3	10YR 4/6	7,5YR 5/6	10 YR 4/3	10 YR4/6	15Y R5/6	10YR4/3	10Y R4/6	15Y R5/6	10 YR4/3	10 YR4/6	15 YR 5/6	-	-	-	-	-
Estructura	Tipo	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Laminas	Bloque subangular	
	Clase	Fina	Fina	Fina	Fina	Fina	Fina	Fina	Fina	Fina	Fino	Fino	Fino	bajo	bajo	baja	baja	medio
	Grado	medio	medio	medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio	medio	medio	medio	medio	medio	medio	medio	medio
Consistencia	Seco	Suelta	Suelto	Suelto-duro	Suelto	Suelto	Suelto	Suelto	Suelto	Suelto	Suelto	Suelto	Suelto	Suelto	-	Medio	Medio	Suelto

ID Calicata*		Calicata2_Ene2022			Calicata7_Ene2022			Calicata8_Ene2022			Calicata14_Ene2022			Calicata3_No v2022		Calicata4_No v2022		Calicata7_Nov2022
Perfil		Calicata 2			Calicata 7			Calicata 8			Calicata 14			Cal3.sanant.l 1		Cal4.el topacio alto		Cal7.montl aponderosa
	Húmedo	Semi pegajoso	Duro	Semi pegajoso	Semi pegajoso	Semi pegajoso	Semi pegajoso	Semi pegajoso	Dura	Semi pegajoso	Semip egajos o	Semip egajos o	Semip egajos o	-	pegajoso	Moderada	Mod erada	Suelto
Raíces	Tamaño	Fina s	no evidencia	no evidencia	Fina	-	-	Fina	Fina	No	Fina	Fina	no	medi o	no prese nta	Medio	Medi o	medio
	Cantidad	mod erado	no evidencia	no evidencia	Mod erado	-	-	Moderada	Poca s	No	Medio	Medio	no	alta	no prese nta	Moderada	Mod erada	alta
Límites de los horizontes		Difus o	Difus o	Difuso	Difus o	Difus o	Difus o	Difuso	Difus o	Difus o	Difuso	Difuso	Difuso	Difus o	Difus o	Difuso	Difus o	Claros y difusos
Actividad de macroorganismos		-	-	-				Mariapodos, otros artropodos			-			medi a	-	Alta	-	Alta

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO, 2022.

Nota: el campo ID Calicata, corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

Tabla 5.1.4.9 Resultados fisicoquímicos y nutricionales Typic Dystrudepts

ID Calicata*	Calicata2_Ene2022	Calicata7_Ene2022	Calicata8_Ene2022	Calicata14_Ene2022	Calicata3_Nov2022		Calicata4_Nov2022		Calicata7_Nov2022
Perfil	Calicata 2	Calicata 7	Calicata 8	Calicata 14	Cal3.San Ant.L1		Cal4.El Topacio Alto		Cal7.Mont La Ponderosa
Unidad cartográfica	A Yarumal	A Yalí	A Yalí	A Yalí	A Yalí		A Yarumal		A Yarumal
Código	6066	6083	6081	6076	8025	8024	8026	8027	8031
Horizonte	AP-BA-B	AP-BA-B	AP-BA-B	AP-BA-B	AP	B	A	B	-

ID Calicata*		Calicata2_Ene2022	Calicata7_Ene2022	Calicata8_Ene2022	Calicata14_Ene2022	Calicata3_Nov2022		Calicata4_Nov2022		Calicata7_Nov2022
Perfil		Calicata 2	Calicata 7	Calicata 8	Calicata 14	Cal3.San Ant.L1		Cal4.El Topacio Alto		Cal7.Mont La Ponderosa
Tipo de Muestra		Compuesta	Compuesta	Compuesta	Compuesta	Simple		Simple		Simple
Textura	Arena %	81	66	62	54	82	44	60	46	70
	Limo %	10	10	14	12	4	10	14	16	12
	Arcilla %	10	24	24	34	14	46	26	38	18
	Clase	FA	FAARC	FAARC	FAARC	FA	ARC	FAARC	AARC	FA
	Nombre	Franco Arenosa	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso	Franco Arenoso	Arcilla	Franco arcillo arenoso	Arcillo arenoso	Franco Arenoso
pH		4,79	5,81	5,67	5,02	4,88	5,29	4,62	4,72	5,71
M.O (%)		8	5	5	6	5	4	6	5	3
C.E (dS/m)		0,230	0,028	0,031	0,027	0,043	0,008		0,019	0,014
Al (meq/100 g) o cmolc /kg (+)		0,2	<0,10	0,10	0,40	0,40	0,40	0,8	0,5	<0,10
CICE(sumatoria de cationes de cambio)		6,14	4,79	4,97	2,30	1,74	0,99	2,9	2,53	1,6
Densidad aparente (g/cm ³)		1,4	1,4	1,4	1,4	2,39	2,04	1,80	1,85	2,23
Densidad Real*		0,8	0,8	0,8	0,8	1,82	1,80	0,83	1,38	1,76
% Porosidad*		42,9	35,2	42,9	42,9	23,80	11,64	53,80	25,32	221,22
P (ppm)		8,7	51,37	19,21	2,43	<0,10	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
N-NO ₃ (ppm)		33,25	7,30	11,33	30,50	22,53	20,85	21,68	18,42	30,50
Fe (ppm)		295,44	59,78	73,64	483,15	331,63	93,78	31,89	323,32	57,96
Mn (ppm)		158,58	17,83	13,52	0,98	14,76	<0,01	<0,01	2,03	8,15
Cu (ppm)		2,46	0,19	0,54	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,10
Zn (ppm)		2,97	0,75	0,89	0,64	1,77	0,36	4,42	0,23	0,54
B		0,84	0,26	0,09	0,22	0,35	0,42	0,26	0,353	0,29
S		17,42	42,87	9,88	10,55	9,57	8,39	8,79	5,11	4,20
% Saturación de bases										

ID Calicata*	Calicata2_Ene2022	Calicata7_Ene2022	Calicata8_Ene2022	Calicata14_Ene2022	Calicata3_Nov2022		Calicata4_Nov2022		Calicata7_Nov2022
Perfil	Calicata 2	Calicata 7	Calicata 8	Calicata 14	Cal3.San Ant.L1		Cal4.El Topacio Alto		Cal7.Mont La Ponderosa
K	1,94	4,28	1,91	4,30	3,71	2,96	5,47	0,043	1,99
Ca	65,15	63,78	63,00	57,65	46,74	34,51	43,55	0,009	51,92
Mg	29,65	31,94	33,08	20,66	25,12	20,16	22,36	0,014	41,25
Na	-	-	-	-	1,46	2,09	0,99	0,002	4,84
Al	3,26	-	2,01	17,40	22,97	40,29	27,62	19,79	-
Intercambiable (cmol/ kg o meq/100 g)									
Ca	4	3,05	3,13	1,33	0,81	0,34	1,26	1,2	0,83
Mg	1,82	1,53	1,64	0,47	0,44	0,20	0,65	0,63	0,66
K	0,12	0,2	0,09	0,1	0,06	0,03	0,16	0,17	0,03
Na	-	-	-	-	0,03	0,02	0,03	0,03	0,08
Soluble (cmol/ kg o meq/100 g)									
Ca	0,383	<0,001	0,002	0,01	0,018	0,001	0,011	0,009	0,001
Mg	0,274	0,003	0,010	0,016	0,017	0,001	0,016	0,014	0,004
K	0,035	0,021	0,015	0,013	0,021	0,006	0,058	0,043	0,024
Na	-	-	-	-	0,03	0,001	0,001	0,002	0,004
Relación de Bases									
Ca/Mg	2,20	2,00	1,90	2,79	1,86	1,71	1,95	1,89	1,26
Mg/K	15,30	7,47	17,34	4,81	6,76	6,82	4,09	3,83	20,69
Ca/K	33,62	14,92	33,02	13,42	12,58	11,67	7,96	7,26	26,05

*Calculado

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO, 2022.

Nota: el campo ID Calicata, corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

B. Subgrupo Oxic Dystrudepts

Otro subgrupo del orden Inceptisol corresponde al *Oxic Dystrudepts*, se caracteriza por ser un suelo de origen mineral, y presentar un horizonte en proceso de oxidación (evolución) con colores “vivos” de amarillos a amarillo cafés fuertes (USDA, 2014), de códigos de colorimetría 10YR 4/3, 10YR 5/3, 5YR 4/6 y 5YR 6/8, los espesores de dicho horizonte son del 50% o más, a partir de la superficie del suelo hasta una profundidad de 100 cm. En la Fotografía 5.1.4.9 se presentan en las calicatas analizadas.



Calicata1_Ene2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.794.157,58 N:2.276.287,41



Calicata10_Ene2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.789.382,03 N:2.278.025,28



Calicata11_Ene2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.787.969,21 N:2.278.331,69



Calicata12_Ene2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.787.632,53 N:2.277.469,26

Fotografía 5.1.4.9 Perfiles Orden Inceptisol, subgrupo Oxic Dystrudepts

Fuente: Integral S.A, 2022

Teniendo en cuenta las características de las calicatas identificadas en campo que se señalan en la Tabla 5.1.4.10 y se presentan en la Fotografía 5.1.4.9; se identifican tres (3) horizontes con límites difusos o alta similitud, de configuración AP-BA-B lo que indica un perfil con desarrollo incipiente. El Horizonte AP de 15 a 25 cm, presentó color Munsell de 10YR 4/3 (Brown), con estructura de bloque subangulares, clase fina y grado medio, consistencia en seco suelta y en húmedo semi pegajoso, presencia de raíces finas en una cantidad moderada y actividad de microorganismos nula.

En cuanto al horizonte BA, se identificó una profundidad de 16 - 25 cm (9 cm) del perfil del suelo, arrojó un Munsell de 10YR 5/3 (Yellow ish Brown) con estructura de tipo bloques subangulares, clase fina y grado medio, una consistencia en seco suelta y en húmedo semi pegajoso, presencia de raíces finas en una cantidad moderada y actividad de microorganismos nula.

Por último, el horizonte B, en los 26 - 100 cm (74 cm) de los perfiles vistos se identificó una colorimetría Munsell de 5YR 4/6 (Yellow ish red) y 5YR 6/8 (red ish yellow), con estructura de tipo bloques subangulares, clase fina y grado medio a bajo, una consistencia en la mayoría de las calicatas en seco suelta y en húmedo semi pegajoso, sin presencia de ningún tipo de raíces.

En cuanto a los resultados obtenidos por análisis de laboratorio (ver Tabla 5.1.4.11) se identificó que los suelos presentan texturas que varían desde predominio de arenas hasta con suelos con alto contenido de arcillas, pasando por combinaciones intermedias que presentan un balance entre drenaje y retención de humedad; se identificó un pH de 4,60 a 4,78 el cual se cataloga como extremadamente ácido, el cual, puede ser limitante para agricultura, por la disponibilidad de nutrientes; en cuanto al porcentaje de materia orgánica cuenta con un valor entre 4% a 8% indicando que estos suelos presentan un contenido de medio a alto de materia orgánica, generando una buena fertilidad, el aporte o disponibilidad de Nitrógeno se encuentra entre 13,28 a 50,75 ppm, siendo este moderado a alto, el cual es adecuado para el desarrollo de cultivos, para el resultado alto (50,75 ppm) esto puede deberse a una mayor mineralización de la materia orgánica.

La Densidad aparente presentó valores de 1,4 g/cm³, una Densidad real de 0,8 g/cm³, un porcentaje de porosidad de 46,7%, lo cual favorece la infiltración, retención y circulación de agua, oxígeno y nutrientes.

La capacidad de intercambio catiónico específica (CICE) indican una variabilidad para retener nutrientes, la cual presenta valores entre 0,99 a 6,14 cmol+/kg suelo, asociados a valores bajos a moderados, predominando los valores bajos; indicando una limitada capacidad de retención de nutrientes.

La conductividad eléctrica presenta valores entre 0,035 dS/m y 0,059 dS/m, siendo esta de nula salinidad (al estar por debajo de 0,1 dS/m), la presencia de materia orgánica moderada a alta contribuye a su regulación natural al mejorar la capacidad de retención de agua y el equilibrio de nutrientes. Por su parte el Aluminio presenta valores entre 0,5 ppm a 0,7 ppm lo que indica que hay presencia de aluminio en niveles bajos a moderados, sin embargo, no es limitante en este suelo pero puede afectar ligeramente la fertilidad y la disponibilidad de fósforo; por otro lado, la relación con el pH podría llegar a inhabilitar algunos elementos nutritivos del suelo y habilitar la hiperactividad del aluminio (Al), lo cual es contraproducente para el crecimiento y desarrollo vegetal, por consiguiente para actividades agrícolas y de pasturas tecnificadas, demandaría corrección de dicho Al y adecuación del pH.

Con respecto a los micronutrientes estos presentaron valores bajos a moderados o altos en el caso del fósforo (P) presentó concentraciones entre 2,93 a 5,06 ppm, siendo valores muy bajos, indicios de deficiencia de este en las calicatas analizadas. Para el hierro (Fe) presentó valores entre 86,07 ppm a 639,45 ppm, siendo estos de bajos a altos, con tendencia a alta presencia de dicho nutriente en el suelo, aunque puede estar retenido en las arcillas y es el principal causal de la colorimetría encontrada en este suelo, el Manganeseo (Mn) presentó valores entre 0,5 ppm y 32,61 ppm, con valores bajos a altos, sin embargo, predominaron los valores bajos; en cuanto al Cobre (Cu) presentó valores entre <0,01 ppm y 1,28 ppm, siendo en su mayoría niveles muy bajos (<0,5 ppm), lo que podría afectar la actividad enzimática y el crecimiento vegetal. El Zinc (Zn) presentó valores entre 0,48 ppm y 1,77 ppm siendo estos de bajos a adecuados, predominando los valores bajos, y el Boro (B) presentó valores entre 0,25 ppm y 0,4 ppm, correspondiente a valores bajos (<0,5 ppm) lo que sugiere una deficiencia de dichos nutrientes; por último, el Azufre (S) presentó valores entre 7,03 ppm y 11,05 ppm, en la mayoría de las calicatas presentó buenos valores de azufre, dentro de los rangos adecuados.

El porcentaje de saturación de bases se encontró para el Potasio (K) entre 2,84% y 6,48%, el calcio (Ca) entre el 26,6% y 60,56%, el Magnesio (Mg) entre el 11,63 y 30,26% y el Aluminio (Al) entre 15,57% y 57,67%; presentándose una variación en la proporción de cationes presentes en el complejo de intercambio catiónico del suelo. Esta variabilidad indica diferencias en la fertilidad y en la capacidad de retención de nutrientes del suelo, lo que puede influir en la disponibilidad de estos elementos para las plantas. Considerando la acidez del suelo se puede concluir que estos suelos a mayor saturación de aluminio, mayor acidez y menor disponibilidad de bases. Estos resultados sugieren la necesidad de realizar enmiendas o ajustes en la fertilización para equilibrar la nutrición vegetal y mejorar la productividad del suelo.

La relación de bases Ca/Mg, en la mayoría de las calicatas, se encuentra dentro del rango ideal (3-7); por su parte la relación de Mg/K presenta un buen balance entre Mg y K; y la relación Ca/K presenta valores adecuados en dos de las calicatas analizadas, lo que puede indicar un buen balance entre magnesio y calcio.

En general, los suelos presentan buenas condiciones de materia orgánica y estructura variable, pero requieren ajustes en pH, fósforo, aluminio y manejo de la saturación de bases para optimizar su productividad agroforestal.

Tabla 5.1.4.10 Resultado *in situ* perfiles de suelo Oxíc Dystrudept

ID Calicata*	Calicata1_Ene2022	Calicata10_Ene2022	Calicata11_Ene2022	Calicata12_Ene2022
Perfil	Calicata 1	Calicata 10	Calicata 11	Calicata 12
Unidad cartográfica	A Yarumal	A. Yalí	A. Yalí	A Yarumal
Fases Cartografía	Y Ae2	J Df3	J Df3	Y Ag2
Vereda	La Linda	Guacas Abajo	Guacas Abajo	La Ponderosa
Localización fisiográfica	-	Cerca de un riachuelo	-	-
Relieve o topográfica	Moderadamente inclinada	Ondulado	-	Pendiente de 50% - 30°

ID Calicata*		Calicata1_Ene2022			Calicata10_Ene2022			Calicata11_Ene2022			Calicata12_En e2022	
Perfil		Calicata 1			Calicata 10			Calicata 11			Calicata 12	
Unidad cartográfica		A Yarumal			A. Yalí			A. Yalí			A Yarumal	
Vegetación		Pasto Brachiaria			Bosque			Pasto			Especies arbóreas y pasto	
Uso actual del suelo		Ganadería			Bosque poco intervenido			-			Ganado	
Evidencias de erosión		Si, reptación grado leve pisoteo de ganado			Si, reptación, bajo, escorrentía			Si, reptación, medio			Si, reptación grado bajo por pisoteo de anima y escorrentía superficial	
Limitantes de profundidad		No evidencia			No evidencia			No evidencia			No evidencia	
Profundidad efectiva (cm):		30			35			30			30	
Drenaje Superficial		moderado			moderado			moderado			Moderado	
Drenaje Interno		moderado, grietas			moderado			moderado			Moderado	
Drenajes Natural		moderado			moderado			moderado			Moderado	
Horizontes		AP	BA	B	AP	BA	B	AP	AB	B	AP	B
Espesor (cm)		0-15	16-25	26-100	0-15	16-25	26-100	0-15	16-25	26-100	0-25	26-100
Color Munsell	Notación	10YR 4/3	10YR 5/3	5 YR 4/6	10YR 4/3	10YR 5/3	5YR 4/6	10YR4/3	10YR 5/3	5YR 4/6	10 YR4/3	5 YR6/8
Estructura	Tipo	Bloques subangular	Bloques subangular	Bloques subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular
	Clase	Fina	Fina	Fina	fina	fina	fina	fina	fina	fina	bajo	bajo
	Grado	medio	medio	medio	medio	medio	medio	medio	medio	medio	bajo	bajo
Consistencia	Seco	Suelta	Suelta	Suelta	Suelta	Suelta	Suelta	Suelta	Suelta	Dura	Suelto	Suelto
	Húmedo	Semi pegajoso	Semi pegajoso	Semi pegajoso	Semi pegajoso	Semi pegajoso	Duro - Semi pegajoso	Semipe gajosa	Semipe gajosa	Semipe gajosa	Suelto	Suelto

ID Calicata*	Calicata1_Ene2022			Calicata10_Ene2022			Calicata11_Ene2022			Calicata12_Ene2022		
Perfil	Calicata 1			Calicata 10			Calicata 11			Calicata 12		
Unidad cartográfica	A Yarumal			A. Yalí			A. Yalí			A Yarumal		
Raíces	Tamaño	Finas	Finas	no hay	finas	finas	no	Fina	Fina	no	Finas	no evidencia
	Cantidad	moderada	moderada	moderada	medias	medias	no	Modorada	Modorada	no	Modoradas	no evidencia
Límites de los horizontes		Difuso	Difuso	Difuso	Difuso	Difuso	Difuso	Difuso	Difuso	Difuso	Difuso	Difuso
Actividad de macroorganismos		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO, 2022.

Nota: el campo ID Calicata, corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

Tabla 5.1.4.11 Resultados fisicoquímicos y nutricionales Oxic Dystrudepts

ID Calicata*		Calicata1_Ene2022	Calicata10_Ene2022	Calicata11_Ene2022	Calicata12_Ene2022
Perfil		Calicata 1	Calicata 10	Calicata 11	Calicata 12
Unidad cartográfica		A Yarumal	A. Yalí	A. Yalí	A Yarumal
Código		6075	6082	6074	6067
Horizonte		AP-BA-B	AP-BA-B	AP-AB-B	AP-B
Tipo de Muestra		Compuesta	Compuesta	Compuesta	Compuesta
Textura	Arena %	84	40	50	62
	Limo %	4	14	10	10
	Arcilla %	12	46	40	28
	Clase	AF	ARC	AARC	FAARC
	Nombre	Arenoso franco	Arcillosa	Arcillo Arenoso	Franco arcillo arenoso
pH		4,78	4,6	4,6	4,64
M.O (%)		8	5	8	6
C.E (dS/m)		0,059	0,04	0,035	0,045
Al (meq 100 g) o cmolc /kg (+)		0,5	0,6	0,7	0,6
CICE (suma de cationes de cambio)		3,21	1,72	1,21	1,81
Densidad aparente (g/cm³)		1,4	1,4	1,4	1,4
Densidad Real*		0,8	0,8	0,8	0,8

ID Calicata*	Calicata1_Ene2022	Calicata10_Ene2022	Calicata11_Ene2022	Calicata12_Ene2022
Perfil	Calicata 1	Calicata 10	Calicata 11	Calicata 12
% Porosidad*	46,7	46,7	46,7	46,7
P (ppm)	5,06	2,93	4,25	3,54
N-NO ₃ (ppm)	13,28	15,85	13,35	50,75
Fe (ppm)	486,12	86,07	201,85	639,45
Mn (ppm)	32,61	0,5	<0,01	1,87
Cu (ppm)	1,28	<0,01	<0,01	<0,01
Zn (ppm)	1,77	0,48	0,63	0,84
B	0,25	0,31	0,33	0,4
S	11,05	7,03	9,55	10,55
% Saturación de bases				
K	6,48	2,84	4,65	5,65
Ca	60,56	31,97	26,06	48,49
Mg	17,4	30,26	11,63	12,68
Na	-	-	-	-
Al	15,57	34,93	57,67	33,18
Intercambiable (cmol/ kg o meq/100 g)				
Ca	1,95	0,55	0,32	0,88
Mg	0,56	0,52	0,14	0,23
K	0,21	0,05	0,06	0,1
Na	-	-	-	-
Soluble (cmol/ kg o meq/100 g)				
Ca	0,029	0,037	0,008	<0,001
Mg	0,038	0,054	0,014	0,005
K	0,04	0,01	0,013	0,028
Na		-	-	-
Relación de Bases				
Ca/Mg	3,48	1,06	2,24	3,82
Mg/K	2,68	10,64	2,5	2,25
Ca/K	9,34	11,24	5,61	8,59

*Calculado

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO, 2022.

Nota: el campo ID Calicata, corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

C. Subgrupo Typic Eutrudept

Otro subgrupo del orden Inceptisol corresponde al *Typic Eutrudept*, el cual se caracteriza por poseer suelos profundos, con horizontes mezclados; con erosión leve; una precipitación distribuida durante todo el año con un comportamiento bimodal, en el que el suelo

permanece humedo por todo el periodo (USDA, 2014). Se clasificó en el gran grupo *Eutrudepts* ya que los resultados de análisis de suelos, los horizontes encontrados, cuentan con una concentración de calcio (Ca) o carbonatos libres mayores a 10,0 CmolcCa/Kgsuelo en cada horizonte, y un porcentaje (%) de saturación superior al 60% (USDA, 2014). En la Fotografía 5.1.4.10 se presenta la calicata analizada.



Calicata1_Nov2022

Fotografía 5.1.4.10 Orden Inceptisol, subgrupo Typic Eutrudepts

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional: E:4.861.643,67 N:2.276.879,05

Fuente: Integral S.A, 2025 a partir de información de la UCO, 2022

Teniendo en cuenta las características de las calicatas identificadas en campo que se señalan en la Tabla 5.1.4.12, en la Tabla 5.1.4.13 y se presentan en la Fotografía 5.1.4.10; se identifican tres (3) horizontes con límites claros, de configuración A1-AB-BC que presenta unas características derivadas de procesos de formación del suelo. El Horizonte A1, corresponde a la capa superficial de 0 a 23 cm de profundidad, este suelo presentó un color café-amarilloso, Gley oscuro, con código Munsell 2.5 YR 3/2, con estructura tipo bloques, clase fina y grado medio; con una textura franco arenosa (FA) de proporción 72% de arena, 12% de limo y 16% de arcilla, lo cual favorece el crecimiento y desarrollo vegetal; la consistencia identificada en seco es suelta y en húmedo pegajosa; se evidenciaron raíces de tamaño fino y cantidad moderada, con actividad macrobial mediante galerías de lombrices, roedores, hormigas, y otros; se pudo observar erosión por escorrentía superficial y reptación.

En cuanto al horizonte AB, corresponde a la zona de transición con una profundidad de 24-77 cm (53 cm) del perfil del suelo, según la colorimetría Munsell, este horizonte cuenta con un color de 2.5 YR 5/4, Café-oliva suave; con una estructura de bloques sub-angulares de clase fina y grado medio; una consistencia suelta en seco; no se evidencian raíces a esta profundidad. Cuenta con una textura franco arcillo arenosa con 54% de arena, 22% de limo

y 24% de arcilla, siendo un suelo más arcilloso que el del anterior horizonte y favoreciendo la retención de humedad.

Por último, el horizonte BC, en los 78 - 100 cm (22 cm), el suelo de este horizonte no presenta estructura ya que es de consistencia completamente suelta, debido a la cantidad de arenas gruesas provenientes de la meteorización de las rocas; según la tabla de colorimetría Munsell, es 10 YR 7/6 (amarillo). No se evidencian raíces ni actividad microbial.

En cuanto a los resultados obtenidos por análisis de laboratorio (ver Tabla 5.1.4.13) se identificó que el suelo presenta texturas predominantemente franco arenosa, con una zona de transición arcillosa en el horizonte AB. Esto sugiere un suelo con buen drenaje, pero baja retención de nutrientes y agua, lo que requiere un manejo adecuado para evitar lixiviación y erosión. El pH va de 5,55 a 6,65 el cual va de fuertemente ácido a neutro, el cual, puede ser limitante para agricultura, por la disponibilidad de nutrientes; en cuanto al porcentaje de materia orgánica cuenta con un valor entre 3% a 2% siendo moderada en la parte superficial y baja a profundidad, el aporte o disponibilidad de Nitrógeno se encuentra entre 61,25 a 24,18 ppm, siendo este moderado a alto, lo cual se puede deber a una alta tasa de descomposición de la materia orgánica por acción microbial, factores climáticos y porosidad del suelo, lo cual favorece el aprovechamiento de este nutriente en la superficie la cual va disminuyendo con respecto a la profundidad del horizonte.

La Densidad aparente presentó valores entre 2,4 g/cm³ a 2,47 g/cm³, una Densidad real entre de 1,59 g/cm³ a 2,08 g/cm³, un porcentaje de porosidad entre 13,64% a 35,73%, identificando que se presenta alta densidad aparente y baja porosidad, especialmente en los horizontes AB y BC, lo que limita el crecimiento radicular y la infiltración de agua.

La capacidad de intercambio catiónico específica (CICE) indican una variabilidad para retener nutrientes, la cual presenta valores entre 15,86 a 20,88 cmol+/kg suelo, el horizonte AB presenta la mejor capacidad de retención de nutrientes, mientras que A1 y BC tienen una menor CICE, lo que puede afectar la fertilidad en el tiempo.

La conductividad eléctrica (C.E) presenta valores entre 0,008 dS/m a 0,23 dS/m, estos valores permiten inferir que el suelo no presenta problemas de salinidad, con valores de C.E. nulos a bajos en todo el perfil.

Por su parte el Aluminio presenta valores ideales y no es limitante en este suelo, (valores inferiores a 0,10 ppm).

Con respecto a los micronutrientes estos presentaron valores bajos a altos en el caso del fósforo (P) presentó concentraciones inferiores a 0,10 y máximo 0,10 ppm, siendo valores muy bajos, indicios de deficiencia en el suelo analizado; para el hierro (Fe) presentó valores de 17,98 ppm a 224,4 ppm, siendo estos de bajos a altos, la cual va disminuyendo con respecto a la profundidad del horizonte, el Manganeseo (Mn) presentó valores de <0,10 ppm a 23,22 ppm, con valores bajos a altos presencia, al igual que el hierro disminuye con respecto a la profundidad; en cuanto al Cobre (Cu) presentó valores de <0,01 ppm a 0,9 ppm, siendo en su mayoría niveles bajos, el cual está suficientemente disponible en el horizonte superficial (A1), pero en los horizontes AB y BC presenta deficiencia severa. El Zinc (Zn) presentó valores de <0,01 ppm a 0,18 ppm, y el Boro (B) presentó valores de 0,26 ppm a 0,34 ppm, en los dos casos con valores bajos, lo que sugiere una posible deficiencia de dichos nutrientes; por último, el Azufre (S) presentó valores de 5,25 ppm a 12,59 ppm,

los cuales son aceptables a óptimos, ya que el valor recomendado es de 12-30 ppm, sin embargo, va disminuyendo con respecto a la profundidad del horizonte.

El porcentaje de saturación de bases se encontró para el Potasio (K) de 0,21% a 1,63%, el calcio (Ca) entre el 62,25% y el 70,87%, el Magnesio (Mg) entre el 28,49 y el 36,85% y el sodio (Na) entre 0,24% y el 0,69%; presentándose una variación en la proporción de cationes presentes en el complejo de intercambio catiónico del suelo; presentando una buena disponibilidad de calcio y magnesio; y una baja disponibilidad de potasio; en cuanto al sodio se encuentra en niveles muy bajo siendo favorable para actividades agroforestales.

En cuanto a la relación de bases los valores indican que el calcio (Ca) y el magnesio (Mg) son los cationes dominantes en la saturación de bases, lo cual es común en suelos con buena capacidad de intercambio catiónico (CICE); el potasio (K) presenta un porcentaje de saturación muy bajo (0,21% - 1,63%), lo que sugiere una posible deficiencia para cultivos con alta demanda de este nutriente.

En general, el suelo tiene buena disponibilidad de calcio y magnesio, pero es necesario monitorear y corregir la baja saturación de potasio para evitar deficiencias nutricionales en los cultivos.

Tabla 5.1.4.12 Resultado *in situ* perfiles de suelo Typic Eutrudepts

ID Calicata*		Calicata1_Nov2022		
Perfil		Cal1.El Iris		
Unidad cartográfica		Asociación Yarumal		
Fases Cartografía		YAf3		
Vereda		El Iris		
Localización fisiográfica		cultivo de caña y vegetación		
Pendiente (%)		pendiente > 55% (30°)		
Vegetación		cultivo de caña, árboles grama		
Uso actual del suelo		cultivo de caña, árboles esporádicos		
Evidencias de erosión		Si, escorrentía superficial, reptación grado bajo o leve por pisoteo animal, cultivos y drenajes		
Limitantes de profundidad		no presenta		
Profundidad efectiva (cm):		40		
Drenaje Superficial		alto		
Drenaje Interno		medio		
Drenaje Natural		pendiente		
Horizontes		A1	AB	BC
Espesor (cm)		23	24-77	78-100
Color Munsell	Notación	2,5 YR3/2	2,5YR5/4	10YR7/6
Estructura	Tipo	Bloques	Bloques subangular	No presenta

ID Calicata*		Calicata1_Nov2022		
Perfil		Cal1.El Iris		
	Clase	medio-bajo	medio-bajo	-
	Grado	leve	leve	-
Consistencia	Seco	-	Seco	Seco
	Húmedo	pegajoso	-	-
Raíces	Tamaño	medio	medio	no presenta
	Cantidad	alta	baja	no presenta
Límites de los horizontes		Claro	Claro	Claro
Actividad de macroorganismos		Alta	-	-

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO,2022.

Nota: el campo ID Calicata, corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

Tabla 5.1.4.13 Resultados fisicoquímicos y nutricionales Typic Eutrudepts

ID Calicata*		Calica1_Nov2022		
Perfil		Cal 1. El Iris		
Unidad cartográfica		Asociación Yarumal		
Tipo de Muestra		Simple		
Código		8021	8020	8019
Horizontes		A1	AB	BC
Textura	Arena %	72	54	74
	Limo %	12	22	14
	Arcilla %	16	24	12
	Clase	FA	FAARC	FA
	Nombre	Franco Arenosa	Franco arcillo arenoso	Franco arenoso
pH		5,55	6,19	6,65
M.O (%)		3	2	2
C.E (dS/m)		0,041	0,021	0,009
Al (meq/100 g) o cmolc /kg (+)		<0,10	<0,10	<0,10
CICE (suma de cationes de cambio)		15,86	20,88	16,3
Densidad aparente (g/cm³)		2,47	2,4	2,4
Densidad real*		1,59	1,94	2,08
% Porosidad*		35,73	19,01	13,64
P (ppm)		<0,10	0,1	<0,10
N-NO ₃ (ppm)		61,25	33,00	24,18

ID Calicata*	Calica1_Nov2022		
Perfil	Cal 1. El Iris		
Fe (ppm)	224,40	78,61	17,98
Mn (ppm)	23,22	0,74	<0,01
Cu (ppm)	0,90	<0,01	<0,01
Zn (ppm)	0,18	<0,01	<0,01
B (ppm)	0,27	0,26	0,34
S (ppm)	12,59	5,64	5,25
% Saturación de bases			
K	1,63	0,28	0,21
Ca	67,03	70,87	62,25
Mg	31,11	28,49	36,85
Na	0,24	0,36	0,69
Al	-	-	-
Intercambiable (cmol/ kg o meq/100 g)			
Ca	10,63	14,8	10,15
Mg	4,93	5,95	6,01
K	0,26	0,06	0,03
Na	0,04	0,07	0,11
Soluble (cmol/ kg o meq/100 g)			
Ca	0,029	0,019	0,004
Mg	0,039	0,023	0,01
K	0,041	0,019	0,011
Na	0,002	0,004	0,006
Relación de bases			
Ca/Mg	2,15	2,49	1,69
Mg/K	19,11	101,12	174,51
Ca/K	41,18	251,48	294,81

*Calculado

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO, 2022

Nota: el campo ID Calicata, corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

D. Subgrupo Vertic Humudept

Por último, en el Orden Inceptisol el subgrupo Vertic Humudepts se caracteriza por tener altos contenidos de arcillas (superiores a 20%), lo cual favorece la formación de grietas dentro de los 125 cm de la superficie del suelo mineral, que tienen 5 mm o más grosor, con colores más oscuros como cafés y pardos, con código Munsell 10YR 4/6. En la Fotografía 5.1.4.11 se presentan en las calicatas analizadas.



Calicata9_Ene2022



Calicata13_Ene2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E: 4.789.350,962 N:2.278.087,756

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E: 4.787.578,658 N2.277.900,880

Fotografía 5.1.4.11 Orden Inceptisol, subgrupo Vertic Humudepts

Fuente: Integral S.A, 2022

Teniendo en cuenta las características de las calicatas identificadas en campo que se señalan en la Tabla 5.1.4.14 y como se presentan en la Fotografía 5.1.4.11; se identifican tres (3) horizontes con límites difusos o alta similitud, de configuración AP-BA que presenta unas características derivadas de procesos de formación del suelo. El Horizonte AP de 0-40 cm, presentó color Munsell de 5YR 3/4 (Pardo oscuro amarillo), con estructura de bloque subangulares, clase fina y grado medio, consistencia en seco dura – semi pegajosa y en húmedo plástica, presencia de raíces finas y gruesas en una cantidad moderada y baja actividad de microorganismos en una calicata se identificó la presencia de lombrices y hormigas.

En cuanto al horizonte BA, se identificó una profundidad de 41 - 100 cm (59 cm) del perfil del suelo, arrojó un Munsell de 10YR 4/6 (Dark yellow ish brown) con estructura de tipo bloques subangulares, clase fina y grado medio, una consistencia en seco dura y en húmedo pegajoso, no se encontró la presencia de raíces en este horizonte.

En cuanto a los resultados obtenidos por análisis de laboratorio (ver Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO, 2022

Nota: el campo ID Calicata, corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

Tabla 5.1.4.15) se identificó que los suelos presentan texturas Arcillo arenosa, los cuales tienen buena retención de agua y nutrientes, pero pueden presentar problemas de compactación y lixiviación de nutrientes si no se manejan adecuadamente; se identificó un pH de 4,87 a 4,93 el cual es extremadamente ácido a moderadamente ácido, el cual, puede ser limitante para agricultura, por la disponibilidad de nutrientes; en cuanto al porcentaje de materia orgánica cuenta con un valor entre 5% a 7% esto favorece la fertilidad, retención de humedad y actividad biológica; el aporte o disponibilidad de Nitrógeno se encuentra entre 16,18 y 38 ppm, el cual es aceptable a alto, lo que favorece el crecimiento de las plantas.

La Densidad aparente presentó valores de 1,4 g/cm³, una Densidad real de 0,8 g/cm³, un porcentaje de porosidad de 38,46%, la cual es buena dado que favorece el desarrollo radicular y la retención de humedad.

La capacidad de intercambio catiónico específica (CICE) indican una variabilidad para retener nutrientes, la cual presenta valores entre 2,55 a 1,14 cmol+/kg suelo, asociados a valores bajos, lo cual puede limitar la fertilidad del suelo.

La conductividad eléctrica presenta valores entre 0,023 dS/m a 0,034 dS/m, siendo esta de nula a baja salinidad, a lo cual no presenta problemas de salinidad, haciéndolo apto para cualquier tipo de cultivo. Por su parte el Aluminio está en un valor medio en 0,6 Cmolc/Kg suelo, el cual puede ser riesgoso por la absorción de los demás nutrientes).

Con respecto a los micronutrientes estos presentaron valores bajos a altos, en el caso del fósforo (P) presentó concentraciones entre 3,54 y 3,94 ppm, siendo valores bajos, indicios de deficiencia de este en las calicatas de analizadas, para el hierro (Fe) presentó valores entre 235,03 ppm a 567,76 ppm, siendo estos altos lo cual, posiblemente indique fuerte retención en el suelo; el Manganeseo (Mn) se presentó valores entre 0,2 ppm y 2,14 ppm, el Cobre (Cu) presentó valores de <0,01 ppm a 1,24 ppm, el Cinc (Zn) presentó valores de 0,7 ppm a 0,71 ppm, y el Boro (B) presentó valores de 0,08 ppm a 0,16 ppm y el Azufre (S) presentó valores entre 7,03 y 11,05 ppm, todos estos (B, S, Zn, Mn y Cu) se encuentran muy por debajo de los rangos ideales planteados por Osorio (2018), lo que sugiere una posible deficiencia de dichos nutrientes.

El porcentaje de saturación de bases se encontró para el Potasio (K) de 1,85% a 17,9%, el calcio (Ca) entre el 51,56% y el 24,72%, el Magnesio (Mg) entre el 14,62 y el 23,09% y el aluminio (Al) entre el 23,5% y el 42,77%; mostrando un desbalance nutricional en el suelo, especialmente en donde hay exceso de K, deficiencia de Ca y toxicidad por Al. Estos resultados sugieren la necesidad de realizar enmiendas o ajustes en la fertilización para equilibrar la nutrición vegetal y mejorar la productividad del suelo.

La relación de bases Ca/Mg, Mg/K y Ca/K es relativamente equilibrada, sin embargo, necesita mejorar la proporción de Mg/K para evitar interferencias en la absorción de potasio; así mismo, presenta exceso de potasio y deficiencia de calcio, lo que puede afectar la estructura del suelo y la absorción de nutrientes.

En general, los perfiles analizados tienen un suelo conservado, con buen contenido de materia orgánica y menor impacto humano, pero con baja profundidad efectiva; pero requieren de mejoras en la estructura y fertilidad del suelo mediante el manejo de cobertura vegetal, reducción de compactación y control de la erosión.

Tabla 5.1.4.14 Resultado *in situ* perfiles de suelo Vertic Humudepts

ID Calicata*	Calicata9_Ene2022	Calicata13_Ene2022
Perfil	Calicata 9	Calicata 13
Unidad cartográfica	A Yalí	A. Yalí
Fases Cartografía	Jdf3	Jdf3
Vereda	Guacas Abajo	Guacas Abajo
Localización fisiográfica	Zona boscosa ceca a la carretera	Cerca San Antonio Lote 1
Relieve o topográfica	Ondulada	Pendiente Ondulada
Vegetación	Bosque poco intervenido	Pastos arbolados - Bosques

ID Calicata*		Calicata9_Ene2022		Calicata13_Ene2022	
Perfil		Calicata 9		Calicata 13	
Uso actual del suelo		Bosque		Pastoreo extensivo	
Evidencias de erosión		Si, reptación grado medio - bajo		Si, reptación, bajo, pisoteo animal	
Limitantes de profundidad		No evidencia		-	
Profundidad efectiva (cm):		35		-	
Drenaje Superficial		moderado		Si	
Drenaje Interno		moderado		Si	
Drenajes Natural		moderado		Si	
Horizontes		AP	BA	AP	AB
Espesor (cm)		0-40	41-100	0-40	41-100
Color Munsell	Notación	5YR 3/4	10 YR4/6	5 YR3/4	10 YR4/6
Estructura	Tipo	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular
	Clase	Fina	Fina	Fina	Fina
	Grado	Medio	Medio	media	media
Consistencia	Seco	Dura - Pegajosa	Dura	Duro-pegajoso	Duro
	Húmedo	Plástica	Pegajosa	Plastico	Pegajoso
Raíces	Tamaño	Finas-Gruesas	finas	Finas-gruesas	Finas
	Cantidad	medias	medias	moderado	bajas
Límites de los horizontes		Difuso	Difuso	Difuso	Difuso
Actividad de macroorganismos		-	-	Raíces, lombrices, hormigas	-

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO, 2022

Nota: el campo ID Calicata, corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

Tabla 5.1.4.15 Resultados fisicoquímicos y nutricionales Vertic Humudepts

ID Calicata*		Calicata9_Ene2022	Calicata13_Ene2022
Perfil		Calicata 9	Calicata 13
Unidad cartográfica		A. Yalí	A. Yalí
Código		6070	6069
Horizonte		AP-BA	AP-BA
Tipo de Muestra		Compuesta	Compuesta
Textura	Arena %	50	50
	Limo %	8	8
	Arcilla %	42	42
	Clase	AARC	AARC
	Nombre	Arcilloso arenoso	Arcilloso arenoso
pH		4,93	4,87
M.O (%)		5	7
C.E (dS/m)		0,023	0,034
Al (meq/100 g) o cmolc /kg (+)		0,6	0,6
CICE (suma de cationes de cambio)		2,55	1,4
Densidad aparente (g/cm ³)		1,4	1,4
Densidad Real*		0,8	0,8
% Porosidad*		38,46	38,46
P (ppm)		3,54	3,94
N-NO ₃ (ppm)		16,18	38
Fe (ppm)		235,03	567,76
Mn (ppm)		2,14	0,2
Cu (ppm)		1,24	<0,01
Zn (ppm)		0,71	0,7
B (ppm)		0,08	0,16
S (ppm)		11,05	7,03
% Saturación de bases			
K		1,85	17,9
Ca		51,56	24,72
Mg		23,09	14,62
Na		-	-
Al		23,5	42,77
Intercambiable (cmol/ kg o meq/100 g)			

ID Calicata*	Calicata9_Ene2022	Calicata13_Ene2022
Perfil	Calicata 9	Calicata 13
Ca	1,32	0,35
Mg	0,59	0,21
K	0,05	0,25
Na	-	-
Soluble (cmol/ kg o meq/100 g)		
Ca	0,001	<0,001
Mg	0,007	<0,001
K	0,011	0,021
Na	-	-
Relación de Bases		
Ca/Mg	2,23	1,69
Mg/K	12,51	0,82
Ca/K	27,94	1,38

*Calculado

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO, 2022

Nota: el campo ID Calicata, corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

E. Subgrupo Lithic Ustorthents

Dentro del orden Entisol el subgrupo *Lithic Ustorthents* se caracteriza por poseer una profundidad efectiva limitada, menos de 50 cm hasta el contacto con roca dura o paralítica. Generalmente son suelos bien drenados, debido a su ubicación en pendientes y a la limitada retención de agua en suelos poco profundos. En cuanto a la textura varía de franco arenosa a franco arcillosa, dependiendo del material parental (rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias). Los horizontes poseen únicamente un horizonte A superficial y, en ocasiones, un horizonte transicional (AC o AB) y no presentan horizonte B diagnóstico (como un argílico o kándico); en cuanto al color varía según el material parental, pero los colores suelen ser pardos, amarillentos o rojizos debido a la oxidación de minerales presentes. En la Fotografía 5.1.4.12 se presentan en las calicatas analizadas.



Calicata3_Ene2022



Calicata4_Ene2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.792.575,35 N:2.276.043,37

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.791.531,33 N:2.276.691,34



Calicata5_Ene2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional: E:4.786.279,77 N:2.279.426,63

Fotografía 5.1.4.12 Orden Entisol, subgrupo Lithic Ustorthents

Fuente: Integral S.A., 2022

Teniendo en cuenta las características de las calicatas indentificadas en campo que se señalan en la Tabla 5.1.4.16 y la cuales se presentan en la Fotografía 5.1.4.12; se identifican dos (2) horizontes con dos (2) configuraciones de limites difusos o alta similitud y límites mezclados, de configuración AP-BA y AR-BC que presenta unas características derivadas de procesos de formación del suelo incipientes o moderadamente desarrollados y posible intervención humana como actividad agrícola o pastoreo.

El Horizonte AP es de 30 o 40 cm, presentó color Munsell de 10YR 4/3 (Brown), con estructura de bloque subangulares, clase fina y grado medio, consistencia en seco suelta a

muy suelta y en húmedo semi pegajoso, presencia de raíces finas en una cantidad moderada a baja y no evidencia de microorganismos.

En cuanto al horizonte BA, se identificó una profundidad de 30 -40 cm y 31-100 (10 a 69 cm) del perfil del suelo, arrojó un Munsell de 10YR 4/6 (Dark yellow ish brown) y 7.5YR 4/6 (strong Brown) con estructura de tipo bloques subangulares, clase fina y grado medio, una consistencia en seco suelta a muy suelta y en húmedo semipegajoso, no se encontró la presencia de raíces en este horizonte.

Por otra parte, la configuración AR – BC, presenta un primer horizonte de 50 cm de longitud, no cuenta con una estructura definida, ya que no corresponde a suelo, y está mezclado de materiales pedregosos (saprolito), con consistencia tanto en seco como en húmedo suelta, con presencia de raíces finas en cantidad moderada, y un límite entre horizontes muy difuso y mezclado; por su parte el horizonte BC de 51-100 cm del perfil del suelo, no evidencia una estructura, presenta una consistencia en seco y en húmedo suelta, sin evidencia de algún tipo de rizosfera.

En cuanto a los resultados obtenidos por análisis de laboratorio (ver Tabla 5.1.4.17) se identificó que los suelos presentan texturas predominantes franco arenosas, lo que permite inferir que el suelo presenta una base equilibrada, con influencias de arenas, esta última aportan una favorabilidad con la ligereza y el buen drenaje de los suelos arenosos; se identificó un pH de 5,09 a 5,92 el cual va de fuertemente ácido a moderadamente ácido, el cual, puede ser limitante para agricultura, por la disponibilidad de nutrientes; en cuanto al porcentaje de materia orgánica cuenta con un valor de 5%, el cual se cataloga como moderado, el aporte o disponibilidad de Nitrógeno se encuentra entre 10,88 y 12,4 ppm, siendo este bajo.

La Densidad aparente presentó valores de 1,4 g/cm³, una Densidad real de 0,8 g/cm³, un porcentaje de porosidad de 42,9%, lo que indica un suelo con estructura moderadamente compacta, pero con una porosidad aceptable para el desarrollo radicular y la infiltración de agua.

La capacidad de intercambio catiónico específica (CICE) indican una variabilidad para retener nutrientes, la cual presenta valores entre 2,89 y 10,02 cmol+/kg suelo, lo que indica una variabilidad significativa en la fertilidad del suelo y en su capacidad para retener y suministrar cationes esenciales a las plantas.

La conductividad eléctrica presenta valores entre 0,019 dS/m y 0,057 dS/m, siendo esta de nula a baja salinidad. Por su parte, el Aluminio presenta valores ideales y no es limitante en este suelo, sin embargo, una calicata presentó valores altos lo que puede actuar como limitante (valores entre 0,1 ppm a 1,5 ppm).

Con respecto a los micronutrientes estos presentaron valores bajos a moderados. En el caso del fósforo (P) presentó concentraciones de 2,67 a 2,73 ppm, siendo valores bajos, indicios de deficiencia de este en las calicatas de analizadas, para el hierro (Fe) presentó valores de 50,38 ppm a 141,12 ppm, siendo estos moderados, el Manganeseo (Mn) presentó valores de 6,59 ppm a 36,75 ppm, lo que indica una disponibilidad moderada a alta de manganeseo en el suelo; en cuanto al Cobre (Cu) presentó valores de <0,01 ppm a 1,25 ppm, lo que indica una gran variabilidad en la disponibilidad de cobre en el suelo, desde valores muy bajos (posible deficiencia) hasta niveles adecuados para la mayoría de los cultivos. El Zinc (Zn) presentó valores de 0,74 ppm a 1,08 ppm, y el Boro (B) presentó valores de 0,14 ppm a 0,16 ppm, en los dos casos con valores bajos, pero dentro del rango

considerado suficiente para la mayoría de los cultivos, aunque pueden presentarse deficiencias por el pH alto, baja materia orgánica y textura arenosa; por último, el Azufre (S) presentó valores de 4,02 ppm a 10,05 ppm, siendo estos de bajos a adecuados.

El porcentaje de saturación de bases se encontró para el Potasio (K) entre el 1,67% y el 4,15%, el calcio (Ca) entre el 27,82% y el 66,61%, el Magnesio (Mg) entre el 16,2 y el 32,13% y el Aluminio (Al) entre 1% y el 51,84%; presentándose una variación en la proporción de cationes presentes en el complejo de intercambio catiónico del suelo. Esta variabilidad indica diferencias en la fertilidad y en la capacidad de retención de nutrientes del suelo, lo que puede influir en la disponibilidad de estos elementos para las plantas. Valores altos de Aluminio puede ser limitante o perjudicial para algunas especies vegetales, por su parte, valores bajos de potasio y azufre pueden indicar suelos con menor disponibilidad de estos nutrientes esenciales. Estos resultados sugieren la necesidad de realizar enmiendas o ajustes en la fertilización para equilibrar la nutrición vegetal y mejorar la productividad del suelo.

El balance de bases en las tres calicatas muestra desequilibrios específicos que pueden afectar la fertilidad del suelo y la nutrición de los cultivos. En Calicatas 3 y 4 se observa un déficit de potasio, mientras que en Calicata 5 hay una deficiencia de calcio y una posible toxicidad de aluminio. Se recomienda ajustar la fertilización con fuentes específicas de K, Ca y Mg según cada caso para mejorar la disponibilidad de nutrientes y evitar efectos negativos en los cultivos.

Aunque el ambiente cálido húmedo del área de estudio podría sugerir la presencia de suelos más evolucionados, como Ultisoles u Oxisoles, en sectores con mayor estabilidad geomorfológica y menor pendiente. Sin embargo, en las áreas donde se encuentran las calicatas (con pendientes >35% y contacto rocoso), las condiciones favorecen la formación de suelos jóvenes, como Lithic Ustorthents.

Tabla 5.1.4.16 Resultado *in situ* perfiles de suelo Lithic Ustorthents

ID Calicata*	Calicata3_Ene2022	Calicata4_Ene2022	Calicata5_Ene2022
Perfil	Calicata 3	Calicata 4	Calicata 5
Unidad cartográfica	Asociación El Cinco	Asociación Yarumal	Consociación Tarazá
Fases Cartografía	ECe2	YAe3	TRe
Vereda	El Diluvio medio	El Iris	Guacas Abajo
Pendiente (%)	Pendiente del 70% 35	Pendiente de 70%	Semiplano - Llanura
Vegetación	Rastrojo alto y nativo	Cultivo de caña panelera	Rastrojo alto, helecho y bosque nativo
Uso actual del suelo	Barbecho (agrícola)	Cultivo de caña	Barbecho (agrícola)
Evidencias de erosión	Si, Escorrentía Superficial, Grado medio por arrastre	Si, arrastre grado medio, pendiente con drenaje y escorrentía	Sí, antrópico grado medio, intervención de minería mecanizada y artesanal
Limitantes de profundidad	Contacto paralítico	no evidencia	rocas

ID Calicata*		Calicata3_Ene2022		Calicata4_Ene2022		Calicata5_Ene2022	
Perfil		Calicata 3		Calicata 4		Calicata 5	
Profundidad efectiva (cm):		40		40		30	
Drenaje Superficial		Alto		alto		moderado	
Drenaje Interno		Medio		alto		moderado	
Drenaje Natural		Medio		alto		alto	
Horizontes		AP	BA	AP	BA	AR	BC
Espesor (cm)		0-40	30-40	0-30	31-100	0-50	51-100
Color Munsell	Notación	10 YR 4/3	10 YR 4/6	10 YR3/4	7,5YR 4/6	-	-
	Tipo	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	Bloque subangular	no hay estructura	no hay estructura
Estructura	Clase	Fina	Fina	Fina	Fina	Mezclado	Mezclado
	Grado	medio	medio	medio	medio	-	-
Consistencia	Seco	Suelta	Suelta	Muy Suelto	muy suelto	Suelto	Suelto
	Húmedo	Semi pegajoso	Semi pegajoso	Semi pegajoso	semi pegajoso	Suelto	Suelto
Raíces	Tamaño	Finas	Finas	finas	no evidencia	Finas	no evidencia
	Cantidad	Moderada	Moderada	pocas	no evidencia	moderadas	no evidencia
Límites de los horizontes		Difuso	Difuso	Difuso	Difuso	difuso y mezclados	difuso y mezclados

ID Calicata*	Calicata3_Ene2022		Calicata4_Ene2022		Calicata5_Ene2022	
Perfil	Calicata 3		Calicata 4		Calicata 5	
Actividad de macroorganismos	-	-	-	-	-	-

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO, 2022

Tabla 5.1.4.17 Resultados fisicoquímicos y nutricionales Lithic Ustorthents

ID Calicata*		Calicata3_Ene2022	Calicata4_Ene2022	Calicata5_Ene2022
Perfil		Calicata 3	Calicata 4	Calicata 5
Unidad cartográfica		Asociación El Cinco	Asociación Yarumal	Consociación Tarazá
Código		6068	6079	6077
Horizonte		AP-BA	AP-BA	AR-BC
Tipo de Muestra		Compuesta	Compuesta	Compuesta
Textura	Arena %	64	46	64
	Limo %	12	26	18
	Arcilla %	24	28	18
	Clase	FA	FAARC	FA
	Nombre	Franco Arenosa	Franco arcillo arenoso	Franco Arenoso
pH		5,92	5,18	5,09
M.O (%)		5	5	5
C.E (dS/m)		0,027	0,057	0,019
Al (meq/100 g) o cmolc /kg (+)		0,10	0,1	1,5
CICE (suma de cationes de cambio)		10,02	5,39	2,89
Densidad aparente (g/cm³)		1,4	1,4	1,4
Densidad Real*		0,8	0,8	0,8
% Porosidad*		42,9	42,9	42,9
P (ppm)		2,73	2,73	2,63
N-NO ₃ (ppm)		12,40	10,65	10,88
Fe (ppm)		141,12	128,17	50,38
Mn (ppm)		16,39	36,75	6,59
Cu (ppm)		0,46	1,25	<0,01
Zn (ppm)		1,08	0,90	0,74
B (ppm)		0,21	0,16	0,14
S (ppm)		4,02	10,05	10,05
% Saturación de bases				
K		2,13	1,67	4,15

ID Calicata*	Calicata3_Ene2022	Calicata4_Ene2022	Calicata5_Ene2022
Perfil	Calicata 3	Calicata 4	Calicata 5
Ca	64,74	66,61	27,82
Mg	32,13	29,87	16,20
Na	-	-	-
Al	1,00	1,85	51,84
Intercambiable (cmol/ kg o meq/100 g)			
Ca	6,49	3,59	0,80
Mg	3,22	1,61	0,47
K	0,21	0,09	0,12
Na	-	-	-
Soluble (cmol/ kg o meq/100 g)			
Ca	0,001	0,063	<0,001
Mg	0,012	0,061	0,001
K	0,031	0,016	0,015
Relación de Bases			
Ca/Mg	2,02	2,23	1,72
Mg/K	15,06	17,84	3,91
Ca/K	30,36	39,77	6,71

*Calculado

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO, 2022

Nota: el campo ID Calicata, corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

F. Subgrupo Lithic Udorthents

Dentro del orden Entisol el subgrupo Lithic Udorthents, se caracteriza por poseer horizontes delgados o en proceso de desarrollo, que reposan sobre un contacto lítico dentro de los primeros 50 cm de profundidad (USDA, 2014), en este caso además se encontraron horizontes mezclados naturalmente con fragmentos de roca, por el proceso de meteorización, incipiente estructura o en proceso de formación, y abundantes rocas en proceso de meteorización, intemperización del macizo rocoso (horizonte CR o saprolito) (Fotografía 5.1.4.13), lo cual por la pendiente de la zona (superior al 75%) favorece la caída de bloques de rocas, movimientos en masa, volcamiento de árboles, entre otras. En la Fotografía 5.1.4.13 se presentan en las calicatas analizadas.



Calicata6_Ene2022



Calicata15_Ene2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.787.934,38 N:2.278.944,94

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.787.953,60 N:2.277.977,40



Calicata5_Nov2022

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional: E:4.785.970,75 N:2.277.255,80

Fotografía 5.1.4.13 Orden Entisol, subgrupo *Lithic Udorthents*

Fuente: Integral S.A, 2022

Teniendo en cuenta las características de las calicatas identificadas en campo, que se señalan en la Tabla 5.1.4.18 y la cuales se presentan en la Fotografía 5.1.4.13; se identifican dos (2) horizontes con tres (3) configuraciones de límites difusos o alta similitud, límites mezclados y límites graduales, de configuración AB-BC, AC-CR y A-CR que presenta unas características derivadas de procesos de formación del suelo poco desarrollados, con mayores limitaciones estructurales y de profundidad.

La configuración AB-BC presenta en el Horizonte AB una profundidad de 40 cm, con estructura de tipo bloques sub angulares, de clase fina y grado bajo, con una consistencia tanto en seco como en húmedo suelta, con presencia de raíces finas en cantidad moderada,

y unos límites entre horizontes graduales. Por su parte el horizonte BC correspondiente a 41cm-70 cm (29 cm) del perfil del suelo, no cuenta con una estructura definida ya que no es suelo, es un saprolito (regolito, horizonte C), con una consistencia tanto en seco como húmedo suelto, sin ninguna evidencia de sistema radicular.

En cuanto al horizonte AC-CR, presenta en el Horizonte AC una profundidad de 35 cm con un Munsell 10YR 4/3 (Brown), estructura de tipo bloques subangulares, de clase fina y grado medio, con consistencia tanto en seco como húmedo suelto, presenta pocas raíces finas en este horizonte, los límites entre horizontes son difusos. El horizonte CR 36-100 cm (64 cm) es un regolito, saprolito, no presenta estructura, no corresponde a suelos y no se evidencian raíces.

Por otra parte la configuración A – CR, presenta un primer horizonte de 25 cm de longitud, con una estructura de tipo bloques subangulares, de grado bajo, con una consistencia tanto en seco como en húmedo suelta, presenta raíces finas en cantidad moderada, con límites entre horizontes claros. El Horizonte CR presenta una profundidad de 26-100 cm (74 cm), el cual no presenta estructura, lo que puede deberse principalmente al porcentaje de arena que posee (90%), ya que es un regolito con roca altamente meteorizada o en procesos de intemperización, la consistencia del suelo es suelta tanto en seco como en húmedo; los límites de los horizontes son claros y no se presenta incidencia ni de raíces ni de actividad microbiana.

En cuanto a los resultados obtenidos por análisis de laboratorio (ver Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO, 2022

Nota: el campo ID Calicata, corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

Tabla 5.1.4.19) se identificó que los suelos presentan texturas franco arenosas, lo que implica un buen drenaje pero baja retención de humedad y nutrientes, mientras que una de las calicatas (Calicata 5) tiene una textura más arcillosa, lo que favorece la fertilidad pero puede generar problemas de drenaje y compactación; se identificó un pH de 4,89 a 6,92, el cual va de extremadamente ácido a neutro, en donde la tendencia ácida puede ser limitante para agricultura, por la disponibilidad de nutrientes; en cuanto al porcentaje de materia orgánica cuenta con un valor entre 4% y 1%, el cual se cataloga como moderado a bajo, el aporte o disponibilidad de Nitrógeno se encuentra entre 1,07 a 43,25 ppm, siendo este bajo a moderado o alto, estando en condiciones óptimas o deficientes.

La Densidad aparente presentó valores entre 1,4 g/cm³ a 2,44 g/cm³, una Densidad real entre de 0,8 g/cm³ a 1,98 g/cm³, un porcentaje de porosidad entre 18,51% a 42,9%, lo que indica diferencias significativas en la compactación y la capacidad de retención de agua del suelo. Valores bajos de densidad aparente (1,4 g/cm³) y alta porosidad (42,9%), como en Calicata 6 y 15, sugieren suelos más sueltos y aireados, con mejor drenaje y facilidad para el crecimiento radicular. Estos suelos permiten un buen intercambio gaseoso y una mayor infiltración de agua. Valores altos de densidad aparente (2,1 - 2,44 g/cm³) y baja porosidad (18,51%), como en Calicata 5 (Horizonte CR), indican suelos compactados con menor capacidad de retención de agua y aireación reducida, lo que puede afectar negativamente el desarrollo de las raíces y la actividad microbiana.

Este comportamiento sugiere que los suelos con menor densidad y mayor porosidad tienen mejores condiciones para el crecimiento vegetal, mientras que aquellos con alta densidad aparente y baja porosidad pueden requerir prácticas de manejo como la incorporación de

materia orgánica, subsolado o cultivos de cobertura para mejorar su estructura y reducir la compactación.

La capacidad de intercambio catiónico específica (CICE) indican una variabilidad para retener nutrientes, la cual presenta valores de 2,75 a 10,29 cmol+/kg suelo, lo que refleja diferencias significativas en la fertilidad y estructura de los suelos analizados. Valores bajos de CICE (2,75 cmol+/kg, como en Calicata 6) indican suelos con baja capacidad de retención de nutrientes, típicamente asociados con texturas: arenosas o franco arenosas y bajos niveles de materia orgánica. Estos suelos son más susceptibles a la lixiviación de cationes esenciales como calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y potasio (K^+), lo que puede afectar la disponibilidad de estos nutrientes para las plantas, por su parte valores intermedios de CICE (6,55 cmol+/kg, como en Calicata 15) sugieren una capacidad de intercambio moderada, donde el suelo puede retener una cantidad razonable de nutrientes, proporcionando condiciones adecuadas para el desarrollo vegetal sin un alto riesgo de lixiviación, por último, valores altos de CICE (10,29 cmol+/kg, como en Calicata 5 - A) indican suelos con buena capacidad de retención de cationes, generalmente asociados con mayor contenido de arcilla y materia orgánica. Esto permite una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas y una fertilidad más estable a lo largo del tiempo.

La conductividad eléctrica presenta valores de 0,027 dS/m a 0,054 dS/m, siendo esta de nula a baja salinidad. Por su parte, el Aluminio presenta valores ideales y no es limitante en este suelo, sin embargo, una calicata presentó valores altos lo que puede actuar como limitante (valores entre inferiores a 0,1 ppm a 0,7 ppm).

Con respecto a los micronutrientes estos presentaron valores bajos a moderados. En el caso del fósforo (P), este presentó concentraciones entre <0,10 y 15,67 ppm, siendo valores bajos a altos, indicios de deficiencia o suficiencia de este en las calicatas de analizadas, el hierro (Fe) presentó valores entre 5,22 ppm y 343,68 ppm, siendo estos altamente variables entre las calicatas, con algunas niveles excesivamente altos y otros valores cercanos a la deficiencia, el Manganeseo (Mn) presentó valores entre 4,65 ppm y 11,57 ppm, lo que indica una disponibilidad moderada a baja en los suelos analizados, sin llegar a niveles tóxicos; en cuanto al Cobre (Cu) presentó valores entre <0,01 ppm y 0,13 ppm, lo que indica una disponibilidad muy baja en la mayoría de las calicatas, lo que podría representar una limitante para algunos cultivos. El Cinc (Zn) presentó valores entre 0,23 ppm y 1,87 ppm, y el Boro (B) presentó valores entre 0,22 ppm y 2,09 ppm, valores variables, con algunas calicatas mostrando deficiencias y otras, niveles moderados, en general el zinc presenta deficiencias en algunas calicatas, especialmente en suelos arenosos y con alta lixiviación. Por su parte, el boro es adecuado en algunas calicatas, pero deficiente en otras, lo que puede requerir corrección en suelos con valores menores a 0,5 ppm. Es de señalar que el pH y la textura del suelo influyen en la disponibilidad de ambos nutrientes.

El porcentaje de saturación de bases se encontró para el Potasio (K) entre 0,83% y 3,57%, el calcio (Ca) entre el 49,88% y el 68,91% y el Magnesio (Mg) entre el 21,12 y el 30,26% presentándose una variación importante en la disponibilidad de estos cationes esenciales para la nutrición vegetal. El potasio (K) muestra valores bajos en todas las calicatas, con el porcentaje más bajo en Calicata 15 (0,83%), lo que indica una posible deficiencia y menor disponibilidad para los cultivos. Este bajo nivel puede afectar la regulación del agua y la resistencia a enfermedades en las plantas; el calcio (Ca) presenta una variabilidad amplia, con valores relativamente altos (hasta 68,91% en Calicata 15), lo que indica buen suministro en la mayoría de las calicatas, aunque valores muy altos pueden desbalancear la relación

con otros cationes, como el magnesio y el potasio, por último, el magnesio (Mg) varía entre 21,12% y 30,26%, con los valores más altos en Calicata 15, lo que puede afectar la relación con el calcio y el potasio, generando desequilibrios en la absorción de nutrientes.

La relación entre bases en las calicatas analizadas muestra desbalances significativos, especialmente en la disponibilidad de potasio (K) en relación con calcio (Ca) y magnesio (Mg). La Calicata 6 presenta una relación equilibrada, mientras que Calicata 15 y 5 tienen deficiencia de potasio y un exceso de magnesio y calcio, lo que puede afectar la absorción de nutrientes esenciales y la estructura del suelo. La relación Ca/Mg es baja en Calicata 5, indicando un exceso de Mg en comparación con Ca, lo que puede afectar la estabilidad del suelo. La relación Mg/K es alta en Calicata 15 y en Calicata 5, lo que sugiere que el exceso de Mg está inhibiendo la absorción de potasio. Asimismo, la relación Ca/K es muy alta en Calicata 15 y 5, indicando un desbalance que reduce la disponibilidad de K para los cultivos. Se recomienda ajustar la fertilización con fuentes específicas de potasio y evitar el exceso de calcio en el suelo para mejorar la disponibilidad de nutrientes y evitar efectos negativos en los cultivos.

Tabla 5.1.4.18 Resultado *in situ* perfiles de suelo *Lithic Udorthents*

ID Calicata*	Calicata6_Ene2022		Calicata15_Ene2022		Calicata5_Nov2022	
Perfil	Calicata 6		Calicata 15		Cal5.El Topacio Alto	
Unidad cartográfica	Complejo Tarazá		Asociación Yalí		Asociación Yarumal	
Fases cartografía	TRf		JDf3		YAg3	
Vereda	Guacas Abajo		Guacas Abajo		Guacas Abajo	
Localización fisiográfica	Bascula de vehículos		-		-	
Relieve o topográfica	Llanura y pendientes		Quebrado		Pendiente de 45°, pendiente al lado del camino	
Vegetación	Pastos y arbustos		Pastos, rastrojo, arboles		Bosque y vegetación secundaria	
Uso actual del suelo	Ganadería		Cuerpo de agua, depositos naturales, rastrojo, industria		Bosque y vegetación secundaria	
Evidencias de erosión	Si, antrópico graso medio, remoción de suelo con maquinaria		Si, antrópico y natural		Si, mecánica grado leve, caminos y volcamientos de árboles	
Limitantes de profundidad	No evidente		No evidencia		Contactos líticos	
Profundidad efectiva (cm):	30		30		30	
Drenaje Superficial	Bajo		Si		Máximo	
Drenaje Interno	Bajo		Si		Máximo	
Drenajes Natural	Bajo		Si		Máximo	
Horizontes	AB	BC	AC	CR	A	CR
Espesor (cm)	0-40	41-70	0-35	36-100	0-25	26-100
Color Munsell	-		10 YR 4/3		-	
Notación	-		-		-	

ID Calicata*		Calicata6_Ene2022		Calicata15_Ene2022		Calicata5_Nov2022	
Perfil		Calicata 6		Calicata 15		Cal5.El Topacio Alto	
Unidad cartográfica		Complejo Tarazá		Asociación Yalí		Asociación Yarumal	
Estructura	Tipo	Bloques subangular	Sin estructura	Bloques subangular	-	Bloque subangular	No presenta
	Clase	Baja	Saprolito	Fino	-	-	-
	Grado	Baja	-	Medio	-	-	-
Consistencia	Seco	Suelto	Suelto	Suelto	Suelto	-	-
	Húmedo	Suelto	Suelto	Suelto	Suelto	Pegajoso	Suelto
Raíces	Tamaño	Finas	No evidencia	Finas	Finas	Medio	Medio
	Cantidad	Moderadas	No evidencia	Bajas	Bajas	Bajo	Bajo
Límites de los horizontes		Gradual	Gradual	Difuso	Difuso	Claros	Claros
Actividad de macroorganismos		-	-	-	-	Alto	-

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO, 2022

Nota: el campo ID Calicata, corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

Tabla 5.1.4.19 Resultados fisicoquímicos y nutricionales Lithic Udorthents

ID Calicata*		Calicata6_Ene2022	Calicata15_Ene2022	Calicata5_Nov2022	
Perfil		Calicata 6	Calicata 15	Cal5.El Topacio Alto	
Unidad cartográfica		Complejo Tarazá	Asociación Yalí	Asociación Yarumal	
Código		6071	6073	8028	8029
Horizonte		AB-BC	AC-CR	A	CR
Tipo de Muestra		Compuesta	Compuesta	Simple	
Textura	Arena %	60	90	78	90
	Limo %	10	4	12	4
	Arcilla %	30	6	10	6
	Clase	FARCA	A	FA	A
	Nombre	Franco Arcillo Arenoso	Arena	Franco Arenosa	Arenosa

ID Calicata*	Calicata6_Ene2022	Calicata15_Ene2022	Calicata5_Nov2022	
Perfil	Calicata 6	Calicata 15	Cal5.El Topacio Alto	
pH	4,89	6,21	6,75	6,92
M.O (%)	4	1	3	1
C.E (dS/m)	0,027	0,036	0,054	0,03
Al (meq/100 g) o cmolc /kg (+)	0,7	<0,10	<0,10	<0,10
CICE(sumas de cationes de cambio)	2,75	6,55	10,29	9,69
Densidad aparente (g/cm ³)	1,4	1,4	2,1	2,44
Densidad Real*	0,8	0,8	1,6	1,98
% Porosidad*	42,9	27,3	29,4	18,51
P (ppm)	2,63	15,67	<0,10	<0,10
N-NO ₃ (ppm)	11,95	1,07	43,25	36,75
Fe (ppm)	343,68	71,42	41,29	5,22
Mn (ppm)	4,79	11,52	11,57	4,65
Cu (ppm)	<0,01	0,13	<0,01	<0,01
Zn (ppm)	0,78	1,71	0,49	0,23
B (ppm)	2,09	1,87	1,2	0,22
S (ppm)	13,06	6,03	9,05	3,41
% Saturación de bases				
K	3,57	0,83	2,28	1,61
Ca	49,88	68,91	67,28	56,51
Mg	21,12	30,26	30,17	41,59
Na	-	-	0,27	0,29
Al	25,44	-	-	-
Intercambiable (cmol/ kg o meq/100 g)				
Ca	1,37	4,52	6,92	5,48
Mg	0,58	1,98	3,1	4,03
K	0,1	0,05	0,23	0,16
Na	-	-	0,03	0,03
Soluble (cmol/ kg o meq/100 g)				
Ca	<0,001	0,005	0,077	0,018
Mg	0,002	0,017	0,074	0,028
K	0,022	0,008	0,07	0,032
Na	-	-	0,001	0,001
Relación de Bases				
Ca/Mg	2,36	2,28	2,28	1,36
Mg/K	5,92	36,37	13,23	25,84
Ca/K	13,97	82,83	29,51	35,11

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO, 2022

Nota: el campo ID Calicata, corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

G. Subgrupo Typic Udifluvents

Teniendo en cuenta que este subgrupo de suelo se encuentra en el Complejo Girardota (GS) el cual hace parte del área de influencia del medio abiótico y no se presenta en el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra, se realiza la identificación teniendo en cuenta la información del estudio de impacto ambiental EIA, 2015, toda vez que ya se encuentra caracterizado y este tipo de suelo no hace parte de áreas a ser intervenidas por el proyecto objeto de modificación.

Morfológicamente presentan una secuencia de horizontes A-B, horizontes transicionales AB y subhorizontes B1, B2. El horizonte A tiene de 23 a 27 cm de espesor, color pardo y pardo grisáceo oscuro con texturas finas, estructura en bloques subangulares. Continúa un horizonte AB de 27 cm de espesor, colores amarillo parduzco, estructura en bloques subangulares medianos y fuertes, de textura fina; un horizonte B o subhorizontes de colores pardo y amarillo rojizo, algunos con moteados rojizos y gris, con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas.

De acuerdo con los análisis químicos (véanse la Tabla 5.1.4.20 y la Figura 5.1.4.5), son suelos de reacción moderadamente ácida, bases totales medias, saturación de bases alta, el carbono orgánico muy bajo; muy bajos contenidos de fósforo y de densidad aparente baja.

En general, estos suelos tienen muy baja evolución pedogenética, con un epipedón ócrico y sin desarrollo de endopedón y régimen de humedad údico y la temperatura del suelo isotérmico (IGAC, 2007).

Tabla 5.1.4.20 Resultados de los análisis físico – químicos y microbiológicos del suelo para el horizonte A del Complejo Girardota (GS)

Perfil	12	13
Unidad cartográfica	GSc	GSc
Horizonte	A	A
Profundidad (cm)	23	27
Estructura	bsa	bsa
Textura	FA	FArA
pH	5,6	5,9
MO %	1,3	2,6
C	0,75	1,51
Al	0	0
Ca	1,3	5,5
Mg	0,5	0,2
K	0,4	0,3
CICE	2,2	6
Saturación bases %	100	100
Saturación Al %	0	0
P	3	3
Densidad A(g/cm3)	1,27	0,99
Respiración CO2g/m2/día	0,05	0,16
Retención de humedad a 0,3 bar	25,65	28,09

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Gramalote - EIA, 2015

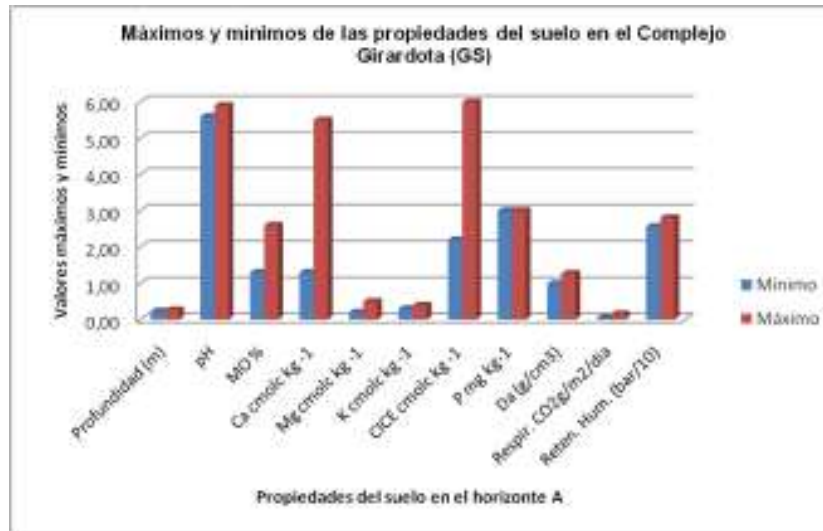


Figura 5.1.4.5 Valores máximos y mínimos de las propiedades del suelo

Fuente: Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Gramalote - EIA, 2015

La principal limitante para el uso de estos suelos es la susceptibilidad al encharcamiento en épocas de invierno y presentan condiciones moderadas de fertilidad para ambos perfiles, los cuales tienen mayor homogeneidad en sus características.

H. Otros suelos

Por otra parte, en algunas zonas del área de influencia se identificaron depósitos aluviales, como fue la calicata 6 (Calicata6_Nov2022), lo cual no corresponde a un suelo formado, ya que no presentan estructura y se dan en llanuras de inundación, sometidos a continua renovación por el ingreso de los cuerpos de agua (río o quebrada), que depositan arenas tipo revoque, rocas redondeadas (cantos rodaros) y otros materiales de diversos orígenes y tamaños.

En cuanto a la calicata 2 (Calicata2_Nov2022), la cual se localiza en la vereda Guacas Abajo en la zona de "El Topacio bajo" se presenta una alta intervención antrópica, con una matriz mezclada o heterogénea en la que predominan grabas, arenas, limos, arcillas, rocas, carbón vegetal enterrado, mayor contenido de materia orgánica en los horizontes profundos y otros, que debido a actividades mineras (búsqueda informal de oro), que genera excavaciones y/o llenos; por lo que se encuentran mezclados, clasificándose como un Tecnosuelo (Figura 5.1.4.6) o suelo de origen antrópico, aunque por la pendiente, los factores climáticos de la zona, algunos materiales presentes, el suelo original correspondía como a Inceptisoles y Entisoles, descritos anteriormente.

Los Tecnosuelos (Tecnosoles), según la base mundial del recurso suelo de la FAO (2006/2007) y Cosío & Ibañez (2015), corresponden a suelos o sustratos que contienen una cantidad significativa de materiales u objetos elaborados o extraídos de la tierra por el hombre, de naturaleza más o menos tecnológica, creados, depositados y/o confeccionados por los seres humanos, con propiedades o materiales parentales diferentes de la meteorización de las rocas naturales (Figura 5.1.4.6). Los Tecnosoles incluyen suelos de residuos o desechos como rellenos, lodos, escorias, escombros o residuos de minería y cenizas, pavimentos con sus materiales subyacentes no consolidados, suelos con

geomembranas y aquellos contruidos en o sobre materiales elaborados o trabajados por el hombre como escombros mezclados material terroso, entre otros. Son frecuentemente denominados “suelos urbanos” o de minas y se reconocen en el nuevo sistema de clasificación como suelos de tecnogénicas superficiales (FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA, 2006/2007).



Figura 5.1.4.6 Tecnosuelo, Topacio bajo (suelo intervenido)

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional: E: 4.785.465,64 N: 2.280.098,61

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de equipo edafológico, 2022.



Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E: 4.785.501,00 N: 2.280.066,37



Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E: 4.785.547,16 N: 2.279.732,82

Figura 5.1.4.7 Perfil del suelo (Tenconsuelo)

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de equipo edafológico, 2022

Teniendo en cuenta las características de la calicata identificada en campo se señala en la Tabla 5.1.4.21 y se presenta en la Figura 5.1.4.6; se identifican dos (2) horizontes con límites difusos, de configuración Ap-BA, que presenta unas características a intervención humana como actividad minera. El Horizonte Ap de 0-27 cm, presentó una textura con una proporción de 76% de Arena, 10% de Limo y 14% de Arcilla, de clase Franco arenoso; con una colorimetría de Musell 25 YR 4/2 (café, grisáceo fuerte), se encontró una estructura tipo láminas de grado medio (por la mezcla de suelos, y en algunos casos por compactación); la consistencia en seco y húmedo es suelta, lo que puede deberse al contenido de arena antes mencionado; raíces de tamaño fino en alta cantidad, y límites entre horizontes difusos. Con actividad macrobial de raíces de pastos, galerías realizadas por lombrices, hormigas y otros.

En cuanto al horizonte BA, se identificó una profundidad de 28-100 cm, según la colorimetría Munsell, este horizonte cuenta con un código de color 10 YR 4/4, que corresponde a un café amarillento oscuro; dicho horizonte no presenta estructura (por compactación y mezcla de materiales), cuenta con una consistencia suelta tanto en suelo seco como húmedo, no se evidencian raíces a esta profundidad, y hay baja presencia de galerías.

En cuanto a los resultados obtenidos por análisis de laboratorio (ver Tabla 5.1.4.22) se identificó que los suelos presentan texturas franco-arenosas y franco arcillo arenosas, que permite inferir que combinan proporciones equilibradas de arena (predominante), limo y arcilla, lo que les da una estructura media ideal, en donde se puede presentar buena capacidad de drenaje y fertilidad moderada. En cuanto al pH los horizontes analizados presentaron valores de 5,02 y 5,04, indicando que son fuertemente ácidos y pueden presentar toxicidad por Aluminio (Al) y Manganeseo (Mn), deficiencia de Fósforo (P), Azufre (S) y bases, altos niveles de micronutrientes (Instituto Colombiano Agropecuario ICA, 1992).

La Densidad aparente presentó valores entre 1,44 g/cm³ a 2,26 g/cm³, una Densidad real entre 1,30 g/cm³ a 1,50 g/cm³, un porcentaje de porosidad entre 10,00% a 33,42%, lo que corresponde a un suelo de origen mineral con alta influencia o intervención antrópica, con altos contenidos de rocas, grabas, arenas y otros, lo cual le provee al suelo alta macro porosidad y por consiguiente favorece la velocidad de infiltración encontrada y una baja retención de humedad. Para el horizonte AB se puede evidenciar que el suelo mineral carece de materia orgánica y se percibe diferencias con el horizonte anterior por las arcillas, lo que impacta directamente el porcentaje de humedad (33,42%).

Las bases intercambiables en el horizonte Ap como es el Calcio (Ca) y Potasio (K) presentaron un valor que se encuentra por debajo de los rangos con 1,96 CmolcCa/kg suelo y 0,28 CmolcK/kg suelo respectivamente, el Magnesio (Mg) se encuentra dentro del rango con un valor 1,09 CmolcMg/kg, el Aluminio (Al) se encontró bajo en 0,1 Cmolc/kg suelo, el cual es potenciado por el valor de pH. El sodio (Na) presenta contenidos muy bajos en 0,04 CmolcMg/kg, por tanto, no representa riesgos de salinización para el suelo, ni limitación para otros nutrientes. En cuanto al horizonte AB, las bases intercambiables, Ca, Mg y K se encuentran por debajo de los rangos con 1,12CmolcCa/kg suelo; 0,49CmolcMg/kg suelo y 0,01CmolcK/kg respectivamente, el Aluminio (Al) se encuentra en 0,3Cmolc/kg suelo, lo que podría contribuir a la acidificación del suelo y el sodio (Na) al igual que el horizonte Ap presenta valores bajos de 0,08 Cmolc/kg suelo, por tanto, no representa riesgos de salinización.

La capacidad de intercambio catiónico específica (CICE) está muy por debajo de los rangos adecuados con un valor de 3,47Cmol/kg suelo, lo que se debe a los bajos contenidos de

calcio (Ca) y potasio (K), en el horizonte Ap, para el horizonte AB, esta CICE se encuentra muy baja en 2,0Cmolc/kg.

En cuanto al fósforo (P) en el horizonte Ap se presenta un valor bajo con 1,38 ppm; los micronutrientes boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu) y azufre (S), se encuentran cerca de los rangos, por su parte el hierro (Fe) y el manganeso (Mn) se encuentran en concentraciones altas, pero poco solubles, porque se retienen en las arcillas. En el horizonte AB, el fósforo (P), también cuenta con un valor muy bajo con 0,10 ppm. Los micronutrientes también presentan un comportamiento similar al anterior horizonte con Cu, Zn, Mn y B bajos y el Fe y S en rangos altos o adecuados.

En el horizonte Ap la materia orgánica (MO) se encuentra en un valor muy bajo en 1%, pero su aporte de N (NO₃-) es muy alto en 80,25 ppm, este valor puede deberse a la aireación del suelo por la remoción y mezcla que se le ha realizado desde tiempo atrás, lo cual ha favorecido la descomposición de la MO. En cuanto al horizonte AB, la materia orgánica se encuentra en 4%, mayor que en el horizonte superficial, y el Nitrógeno (N) se presenta 55,50 ppm, lo cual corrobora que el suelo ha sido removido por acciones humanas y de alta intervención, ya que el mayor contenido de MO se encuentra enterrado, de aquí la clasificación de Tecnosuelo, por sus materiales heterogéneos y mezclados.

Tabla 5.1.4.21 Resultados in situ perfiles de suelo Tecnosuelo

ID Calicata*		Calica2_Nov2022	
Perfil		Cal 2. El Topacio bajo	
Unidad cartográfica		Complejo Tarazá	
Fase cartográfica		TRe	
Tipo de Muestra		Simple	
Vereda		Guacas Abajo – sector el topacio	
Localización fisiográfica		A la izquierda calzada principal (Vía nacional)	
Relieve u topografía		Pendiente 30°	
Vegetación		Pastos y pocos árboles	
Uso actual del suelo		Ganadería	
Evidencias de erosión		Si, compactación, reptación grado bajo, reptación por ganadería	
Limitantes de profundidad		Contacto paralítico	
Profundidad efectiva (cm)		30	
Drenaje superficial		Medio	
Drenaje interno		Medio	
Drenaje natural		Medio	
Horizontes		AP	BA
Espesor (cm)		0-27	28-100
Color Munsell (notación)		25YR 4/2	10YR4/4
Estructura	Tipo	Laminas	No presenta
	Clase	Medio	-
	Grado	Bajo	-
Consistencia	Seco	Suelto	Suelto

ID Calicata*		Calica2_Nov2022	
Perfil		Cal 2. El Topacio bajo	
	Húmedo	-	-
Raíces	Tamaño	Medio	Bajo
	Cantidad	Alto	Leve
Límites de los horizontes		Difuso	Difuso
Actividad de microorganismo		-	-

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO, 2022.

Nota: el campo ID Calicata, corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

Tabla 5.1.4.22 Resultados fisicoquímicos y nutricionales del tecnosuelo

ID Calicata*		Calica2_Nov2022	
Perfil		Cal 2. El Topacio bajo	
Unidad cartográfica		Complejo Tarazá	
Tipo de Muestra		Simple	
Código		8023	8022
Horizontes		Ap	BA
Textura	Arena %	76	56
	Limo %	10	18
	Arcilla %	14	26
	Clase	FA	FAARC
	Nombre	Franco arenosa	Franco arcilloso arenoso
pH		5,02	5,04
M.O (%)		1	4
C.E (dS/m)		0,145	0,058
Al (meq/100 g) o cmolc /kg (+)		0,10	0,30
CICE (suma de cationes de cambio)		3,47	2,00
Densidad aparente (g/cm ³)		1,44	2,26
Densidad real*		1,30	1,50
% Porosidad*		10,00	33,42
P (ppm)		1,38	< 0,10
N-NO ₃ (ppm)		80,25	55,50
Fe (ppm)		221,71	167,07
Mn (ppm)		50,10	4,09
Cu (ppm)		4,04	0,44
Zn (ppm)		7,81	< 0,01
B (ppm)		0,62	0,35
S (ppm)		24,13	11,80

ID Calicata*	Calica2_Nov2022	
Perfil	Cal 2. El Topacio bajo	
% Saturación de bases		
K	8,06	0,48
Ca	56,58	56,09
Mg	31,33	24,22
Na	1,15	4,23
Al	2,88	14,97
Intercambiable (cmol/ kg o meq/100 g)		
Ca	1,96	1,12
Mg	1,09	0,49
K	0,28	0,01
Na	0,04	0,08
Soluble (cmol/ kg o meq/100 g)		
Ca	0,057	0,048
Mg	0,054	0,026
K	0,060	0,040
Na	0,002	0,004
Relación de bases		
Ca/Mg	1,81	2,32
Mg/K	3,89	50,56
Ca/K	7,02	117,07

*Calculado

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información de la UCO, 2022

Nota: el campo ID Calicata, corresponde al identificador único del punto de muestreo del modelo de almacenamiento de datos geográficos.

5.1.4.2 Elementos y compuestos contaminantes en el suelo

Para la evaluación de este apartado se revisó el estado del arte, para corroborar los resultados obtenidos versus los valores de referencia de la literatura del área, con lo cual se encontraron los criterios establecidos en la Norma de calidad ambiental del recurso suelo No. 097-A (Nuñez, 2015)(véase Tabla 5.1.4.23), también los umbrales de contaminación de suelos por metales pesados planteados por (Galán H. & Romero B. , 2008) ,el protocolo de Lousiana 29 B (Louisiana Department of Environmental Quality, 2010), citado por (CMA, 2014)(véase Tabla 5.1.4.24) y por último se comparó con los niveles de (Tulsma,T.U, 2015), que hace referencia a la salud humana y el ecosistema (véase Tabla 5.1.4.25). Los cloruros se evaluaron con la BOE (2005) (Ministerio de la Presidencia BOE. (2005). Real decreto 9/2005, 2005), que establece concentraciones para uso industrial, urbano y otros usos (véase Tabla 5.1.4.26 y Tabla 5.1.4.27). A continuación, se ilustra los rangos encontrados para los contaminantes:

Tabla 5.1.4.23 Valores referenciales para determinar contaminación del suelo

Parámetros	Unidades*	Valor
Parámetros Generales		
Conductividad	uS/cm	200
pH		6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (índice SAR)		4*
Parámetros Inorgánicos		
Arsénico	mg/kg	12
Cadmio	mg/kg	0,5
Cianuro	mg/kg	0,9
Mercurio	mg/kg	0,1
Níquel	mg/kg	19
Plomo	mg/kg	19
Arsénico	Mg/kg	12
Parámetros Orgánicos		
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	<150
Hidrocarburos Aromáticos policíclicos (HAPs) cada tipo	mg/kg	0,1

Nota: *Concentración en peso seco del suelo; valores de origen natural disponibles en el suelo.

Fuente: Norma No. 097-A (Nuñez, 2015)

Tabla 5.1.4.24 Límites permisibles de parámetros del suelo, con base en actividad industrial que afecta el medio, protocolo de Louisiana 29B

Límites Permisibles de los Diferentes Parámetros Basados en el Protocolo de Louisiana 29b	
Parámetros	Valor
pH	6 a 9
Conductividad eléctrica	<4 ohm/cm
Relación de absorción de sodio (Na)	<12
Porcentaje de sodio intercambiable (Na)	<15%
Grasas y aceites	≤1%
Arsénico	10 mg/kg
Cadmio	10 mg/kg
Plomo	500 mg/kg
Mercurio	500 mg/kg
Plata	200 mg/kg
Zinc	500 mg/kg

Fuente: protocolo de Louisiana 29B reportado por (CMA, 2014), (Louisiana Department of Environmental Quality, 2010).

Tabla 5.1.4.25 Valores referenciales para determinar contaminación del suelo según el Departamento de Cristalografía, Mineralogía Química Agrícola de la Universidad de Sevilla

SUELOS AGRICOLAS														
ELEMENTOS	1			2 ₁			2 ₂			3			PN	AI
	<7	pH 5-7	>7	<7	pH 5-7	>7	<7	pH 5-7	>7	<7	pH 5-7	>7		
As	-	<20	-	-	20-30	-	-	30-50	-	-	>50	-	>100	>300
Cd	<2	-	<3	2-3	-	3-5	3-7	-	5-10	>7	-	>10	>15	>30
Co	<20	-	<50	20-50	-	50-150	50-100	-	150-300	>100	-	>300	>300	>400
Cr	-	<100	-	-	100-250	-	-	250-450	-	-	>450	-	>500	>1000
Cu	<50	-	<100	50-150	-	100-300	150-300	-	300-500	>300	-	>500	>500	>1000
Hg	-	<1	-	-	1-2	-	-	2-10	-	-	>10	-	>15	>30
Mo	-	<10	-	-	10-40	50-100	-	40-200	-	-	>200	-	>200	>500
Ni	<40	-	<50	40-80	-	200-400	80-200	-	100-300	>200	-	>300	>500	>750
Pb	<100	-	<200	100-250	-	-	250-350	-	400-500	>350	-	>500	>1000	>2000
Se	-	<2	-	-	2-5	-	-	5-10	-	-	>10	-	>20	>30
Sn	-	<20	-	-	20-50	-	-	50-150	-	-	>150	-	>300	>500
Ti	-	<1	-	-	1-3	-	-	3-5	-	-	>5	-	>10	>30
Zn	<200	-	<300	200-300	-	300-500	200-600	-	500-1000	>600	-	>1000	>1000	>3000

Nota: 1. Valores máximos permitidos; 2¹. Investigación recomendable; 2². Investigación obligatoria; 3. Tratamiento necesario (Obligatorio); PN: Valor de intervención para parques naturales y zonas forestales; AI: Valor de intervención para áreas industriales. Los valores representan concentraciones totales y están expresados en mg/kg.

Fuente: Departamento de Cristalografía, Mineralogía Química Agrícola de la Universidad de Sevilla (Galán H. & Romero B. , 2008)

Tabla 5.1.4.26 Criterios de remediación (valores máximos permisibles)

Parámetro	Unidades*	USO DEL SUELO			
		Residencial	Comercial	Industrial	Agrícola
Parámetros Generales					
Conductividad	uS/cm	200	400	400	200
pH	-	6 a 8	6 a 8	6 a 8	6 a 8
Relación de adsorción de Sodio (Índice SAR)	-	5	12	12	5
Parámetros inorgánicos					
Arsénico	mg/kg	12	12	12	12
Sulfuro	mg/kg	-	-	-	500
Bario	mg/kg	500	2000	2000	750
Boro (soluble en agua caliente)	mg/kg	-	-	-	2
Cadmio	mg/kg	4	10	10	2
Cobalto	mg/kg	50	300	300	40
Cobre	mg/kg	63	91	91	63
Cromo Total	mg/kg	64	87	87	65
Cromo VI	mg/kg	0.4	1.4	1.4	0.4
Cianuro	mg/kg	0.9	8	8	0.9
Estaño	mg/kg	50	300	300	5
Fluoruros	mg/kg	400	2000	2000	200
Mercurio	mg/kg	1	10	10	0.8
Molibdeno	mg/kg	5	40	40	5
Níquel	mg/kg	100	100	50	50
Plomo	mg/kg	140	150	150	60
Selenio	mg/kg	5	10	10	2
Talio	mg/kg	1	1	1	1
Vanadio	mg/kg	130	130	130	130
Zinc	mg/kg	200	380	360	200
Parámetros orgánicos					
Aceites y grasas	mg/kg	500	<2500	<4000	<4000
Benceno	mg/kg	0.08	5	5	0.03
Etilbenceno	mg/kg	0.1	20	20	0.1
Estireno	mg/kg	5	50	50	0.1
Tolueno	mg/kg	0.37	0.8	0.8	0.08
Xileno	mg/kg	2.4	11	20	0.1
PCBs	mg/kg	1.3	33	33	0.5
Clorofenoles (cada tipo)	mg/kg	0.5	5	5	0.05
Fenoles (total)	mg/kg	3.8	3.8	5	3.8
Clorinados alifáticos (cada tipo)	mg/kg	5	50	50	0.1
Hidrocarburos totales (TPH)	mg/kg	230	620	620	150
Clorobencenos (cada tipo)	mg/kg	2	10	10	0.05
Tetracloroetileno	mg/kg	0.2	0.5	0.6	0.1
Tricloroetileno	mg/kg	3	30	30	0.1
Atrazina	mg/kg	0.005	0.005	0.005	0.005
Carbofuran	mg/kg	0.01	0.01	0.01	0.01
Alifáticos no clorinados (cada tipo)	mg/kg	-	-	-	0.3

Fuente: (Tulsma,T.U, 2015)

Tabla 5.1.4.27 Criterios de remediación (valores máximos permisibles)

Sustancia	Número CAS	Uso Industrial Uso urbano Otros usos (mg/kg peso seco)		
Diclorometano	75-09-2	60***	6***	0,6
1,1-Dicloroetano	75-34-3	100**	70***	7
1,2-Dicloroetano	107-06-2	5***	0,5***	0,05
1,1,2-Tricloroetano	79-00-5	10***	1***	0,1
1,1,2,2-Tetracloroetano	79-34-5	3***	0,3***	0,03
1,1-Dicloroetileno	75-35-4	1	0,1***	0,01
Tricloroetileno	79-01-6	70***	7***	0,7
Tetracloroetileno	127-18-4	10***	1***	0,1
1,2-Dicloropropano	78-87-5	4	0,5***	0,05
1,3-Dicloropropano	42-75-6	7***	0,7***	0,07
Acenafteño	83-32-9	100**	60***	6
Acetona	67-64-1	100**	10***	1
Aldrin	309-00-2	1***	0,1***	0,01
Antraceno	120-12-7	100*** (1)	100**	45
Benzo(a) antraceno	56-55-3	20***	2***	0,2
Dibenzo(a,h) antraceno	53-70-3	3***	0,3***	0,03
Benceno	71-43-2	10***	1***	0,1
Clorobenceno	108-90-7	35	10***	1
1,2-Diclorobenceno	95-50-1	100**	70**	7
1,4-Diclorobenceno	106-46-7	40***	4***	0,4
1,2,4-Triclorobenceno	120-82-1	90***	9***	0,9
p-Clorofenilo	106-47-8	30***	3***	0,3
Clordano	57-74-9	1***	0,1***	0,01
Clorofoma	67-66-3	5	5	0,7
Cloruro de vinilo	75-01-4	1***	0,1**	0,01*
Cresol	95-48-7	100**	40***	4
Criseno	218-01-9	100**	100**	20
p,p'-DDE	72-55-9	60***	6***	0,6
p,p'-DDT	50-29-3	20***	2	0,2
p,p'-DDD	72-54-8	70***	7***	0,7
Dieldrin	60-57-1	1***	0,1**	0,01*
Endosulfan	115-29-7	60***	6***	0,6
Endrin	72-20-8	1***	0,1***	0,01*
Estireno	100-42-5	100**	100**	20
Etilbenceno	100-41-4	100**	20***	2
Fenol	108-95-2	100**	70**	7
2-Clorofenol	95-57-8	100**	10***	1
2,4-Diclorofenol	120-83-2	10***	1***	0,1
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	100**	100**	10
2,4,6-Triclorofenol	88-06-2	90***	9***	0,9
Pentaclorofenol	87-86-5	1***	0,1***	0,01*
Fluoranteno	206-44-0	100**	80***	8
Benzo(b)fluoranteno	205-99-2	20***	2***	0,2
Benzo(k)fluoranteno	207-08-9	100**	20***	2
Fluoreno	86-73-7	100**	50***	5
Heptacloro epoxido	1024-57-3	1***	0,1***	0,01
Hexacloro benceno	118-74-1	1***	0,1***	0,01*
Hexacloro butadieno	87-68-3	10***	1***	0,1
Hexaclorociclohexano-alfa	319-84-6	1***	0,1***	0,01*
Hexaclorociclohexano-beta	319-85-7	1***	0,1***	0,01*
Hexaclorociclohexano-gamma	58-89-9	1***	0,1**	0,01*
Hexacloroetano	67-72-1	9***	0,9***	0,09
Naftaleno	91-20-3	10	8	1
PCB	13-36-36-3	0,8	0,08	0,01*
Pireno	129-00-0	100**	60***	6
Benzo(a)pireno	50-32-8	2***	0,2***	0,02
Indeno(1,2,3-cd) Pireno	193-39-5	30***	3***	0,3

Fuente: (Tulsma,T.U, 2015)

A continuación, en la Tabla 5.1.4.28 y Tabla 5.1.4.29, se presentan los resultados obtenidos en las muestras de suelos de las calicatas realizadas en enero y noviembre de 2022; como se mencionó al inicio del capítulo, para el análisis de la información de los suelos presentes en el área de interés (área de influencia abiótica y área de influencia del componente suelo y uso de la tierra) se contempló información de muestreos realizados en el 2022 (enero y noviembre) por Gramalote, en dónde se desarrolló un levantamiento de información corroborativa en las unidades de suelos levantas en el EIA (2015) del proyecto, específicamente en zonas dónde se contempla la intervención del suelo, complementando la información presentada en este estudio, en relación con las concentraciones de los metales pesados y contaminantes para los suelos identificados, en resumen, estos

presentaron valores por debajo de los niveles riesgosos para la salud humana y el ecosistema en general, de acuerdo con la comparación normativa anteriormente mencionada. En el ANEXOS_CHARACTERIZACIÓN_SUELOS_REPOR_LAB se encuentran los resultados reportados por el laboratorio contratado.

Tabla 5.1.4.28 Resultados de análisis de metales pesados y compuestos contaminantes muestras de enero 2022

Cadmio total mg/kg	Cianuro mg/kg	Estroncio mg/kg	Grasas y aceites (%)	Hidrocarburos (%)	Mercurio total mg/kg	Níquel total mg/kg	Plomo total mg/kg	Selenio total mg/kg
Elementos contaminantes – Calicata 1 (MS274737) - Reporte (R-180086)								
<2,0	<0,100	<30,0	0,013	<0,0100	<0,200	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 2 (MS274738) - Reporte (R-180086)								
<2,0	<0,100	<30,0	0,014	<0,0100	<0,200	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 3 (MS274743) - Reporte (R-180087)								
<2,0	<0,100	<30,0	0,023	0,011	<0,200	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 4 (MS274754) - Reporte (R-180091)								
<2,0	<0,100	<30,0	<0,0100	<0,0100	<0,200	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 5 (MS274748) - Reporte (R-180089)								
<2,0	<0,100	<30,0	<0,0100	<0,0100	<0,200	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 6 (MS274742) - Reporte (R-180087)								
<2,0	<0,100	<30,0	0,013	<0,0100	<0,200	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 7 (MS274741) - Reporte (R-180087)								
<2,0	<0,100	<30,0	0,011	<0,0100	<0,200	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 8 (MS274747) - Reporte (R-180089)								
<2,0	<0,100	<30,0	0,022	<0,0100	<0,200	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 9 (MS274746) - Reporte (R-180088)								
<2,0	<0,100	<30,0	0,011	<0,0100	<0,200	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 10 (MS274752) - Reporte (R-180092)								
<2,0	<0,100	<30,0	<0,0100	<0,0100	<0,200	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 11 (MS274750) - Reporte (R-180091)								
<2,0	<0,100	<30,0	<0,0100	<0,0100	<0,200	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 12 (MS274736) - Reporte (R-180086)								
<2,0	<0,100	<30,0	0,037	0,018	<0,200	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 13 (MS274753) - Reporte (R-180092)								
<2,0	<0,100	<30,0	<0,0100	<0,0100	<0,200	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 14 (MS274749) - Reporte (R-180091)								
<2,0	<0,100	<30,0	0,011	<0,0100	<0,200	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 15 (MS274744) - Reporte (R-180088)								
<2,0	<0,100	<30,0	<0,0100	<0,0100	<0,200	<40,0	<20,0	<0,500

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de los resultados de laboratorio de Chemilab, 2022

Tabla 5.1.4.29 Resultados de análisis de metales pesados y compuestos contaminantes muestras de noviembre 2022

Cadmio total mg/kg	Arsénico mg/kg	Estroncio mg/kg	Níquel total mg/kg	Plomo total mg/kg	Selenio total mg/kg
Elementos contaminantes – Calicata 1 (El Iris) (MS328773) - Reporte (R-217324)					
<2,0	<0,500	<30,0	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 2 (El Topacio Bajo) (MS328774) - Reporte (R-217324)					
<2,0	<0,500	<30,0	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 3 (San Antonio Lote 1) (MS328774) - Reporte (R-217324)					
<2,0	<0,500	<30,0	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 4 (El Topacio Alto) (MS328776) - Reporte (R-217325)					
<2,0	<0,500	<30,0	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 5 (El Topacio Alto) (MS328777) - Reporte (R-217325)					
<2,0	<0,500	<30,0	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 6 (La Ponderosa) (MS328778) - Reporte (R-217325)					
<2,0	<0,500	<30,0	<40,0	<20,0	<0,500
Elementos contaminantes – Calicata 7 (Mont La Ponderosa) (MS328779) - Reporte (R-217326)					
<2,0	<0,500	<30,0	<40,0	<20,0	<0,500

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de los resultados de laboratorio de Chemilab, 2022

De los resultados reportados se identificó para cada elemento contaminante lo siguiente:

- Cadmio

El Cadmio (Cd), tanto en muestras de enero y noviembre de 2022, registraron valores menores a 2,0 mg/kg (<2 ppm), el cual, está en el límite máximo permitido, cumpliendo así con los valores establecidos por (Nuñez, 2015), (Galán H. & Romero B. , 2008) y (Tulsma,T.U, 2015) que reportan valores de 0,5 mg/kg, <3 mg/Kg y 2 mg/kg respectivamente; y está por debajo del valor máximo de 10 mg/kg planteado por el protocolo de Lousiana 29B. Por tanto, no presentan afectaciones para actividades agrícolas, forestales y los ecosistemas en general.

- Cianuro

El Cianuro (Cn) para las muestras de enero de 2022, presentó una concentración por debajo del límite de detección de la técnica analítica empleada de 0,100 mg/kg, lo que permite inferir que cumple con los límites señalados por (Nuñez, 2015) y (Tulsma,T.U, 2015). Ambos autores proponen un valor máximo permisible de 0,9 mg/Kg. Por tanto, no presentan afectaciones para actividades agrícolas, forestales y los ecosistemas en general. Para las muestras de noviembre de 2022 este parámetro no se analizó.

- Arsénico

El Arsénico (As), para las muestras de noviembre de 2022, reportaron valores por debajo de la técnica analítica empleada <0, 500 ppm (mg As/kg suelo), lo que quiere decir que, se encuentra en concentraciones bajas. Así mismo, los datos reportados por (Nuñez., 2015) y (Tulsma,T.U, 2015) sugieren como límite superior 12 mg/Kg; así como, por debajo de los rangos de (Galán H. & Romero B. , 2008) y el protocolo de Lousiana con 10 mg/kg, por

tanto, no presentan afectaciones para actividades agrícolas, forestales y los ecosistemas en general. Para las muestras de enero de 2022 este parámetro no se analizó.

- Estroncio

En cuanto al Estroncio (Sr), según (Muños, Lopes, & Pistón, 2018) y la US EPA (U.S. Environmental Protection Agency, 2018) se establece un límite de 4,0 mg L-1 en agua de consumo directo para este elemento, por su parte la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2004) señala que el rango adecuado para este elemento debe ser alrededor de 0,2 mg/kg de suelo en estado natural y en alimentos 64 mg/kg (ppm). En las muestras analizadas en enero y noviembre de 2022, se encontró que dicho elemento presentaba una concentración menor a 30 mg/kg, valor que estaría en niveles adecuados según los rangos establecidos por los autores antes mencionados, en caso de estar en mayor cantidad podría ser perjudicial para la salud humana y el medio ambiente.

- Grasas y Aceites

En cuanto a las grasas y aceites, en las muestras analizadas en enero 2022, en su mayoría presentaron valores por debajo del límite de detección de la técnica analítica empleada (0,0100%). No obstante, se identificaron concentraciones detectables en ocho (8) calicatas: La calicata 1 con 0,013% (equivalente a 130 mg/kg), Calicata 2 con 0,014% (equivalentes a 140 mg/kg), Calicata 3 con 0,023% (equivalente a 230 mg/kg), Calicata 6 con 0,013% (equivalentes a 130 mg/kg), Calicata 7 con 0,011% (equivalente a 110 mg/kg), Calicata 9 con 0,011% (equivalente a 110 mg/kg), Calicata 12 con 0,037% (equivalente a 370 mg/kg), Calicata 14 con 0,011% (equivalente a 110 mg/kg), cumpliendo el rango propuesto por el protocolo de Louisiana 29B con un valor menor o igual a 1%. En cuanto a la norma de (Tulsma, T.U, 2015) aunque presenta valores en mg/kg (1% equivalentes a 10000 mg/kg), los valores reportados son inferiores a 500 mg/kg, por lo tanto, no presentan afectaciones para actividades agrícolas, forestales y los ecosistemas en general.

- Hidrocarburos

Los resultados para el compuesto de hidrocarburos, en las muestras analizadas en enero de 2022 evidencian que, en su mayoría, los niveles estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica analítica empleada (0,100%). No obstante, se identificaron concentraciones detectables en dos (2) calicatas: Calicata 3 con 0,011% (equivalente a 110 mg/kg) y Calicata 12 con 0,018% (equivalente a 180 mg/kg). Al comparar estos valores con los límites establecidos por la norma de (Tulsma, T.U, 2015) y (Nuñez, 2015), se observa que los niveles reportados se mantienen por debajo del umbral de 150 mg/kg permitió para suelo con uso agrícola o residencial, excepto en el caso de la Calicata 12, que lo supera levemente. Estos niveles, aunque bajos, podrían estar asociados a fuentes puntuales de contaminación como actividades relacionadas con el almacenamiento de combustibles, o vertimientos accidentales en la zona, lo cual justificaría la presencia localizada de hidrocarburos, las calicatas se ubican en la vereda Guacas Abajo (Calicata 12) y El Diluvio (Calicata 3), en donde se ha evidenciado un cambio del suelo de agricultura por minería no formalizada al identificar tanto bocaminas como presencia de entables mineros no formalizados.

- Mercurio total

En cuanto al Mercurio (Hg), las muestras de suelo recolectadas en enero de 2022 registraron concentraciones inferiores al límite de detección de la técnica analítica empleada, establecida en 0,200 mg/kg. Sin embargo, al comparar estos valores con los límites de la normatividad del (Nuñez, 2015) que fija un valor guía de 0,1 mg/kg para suelos de uso agrícola o residencial, se evidencia una incompatibilidad metodológica. El hecho de que el límite de detección sea superior al valor normativo impide determinar con certeza si las concentraciones reales de mercurio cumplen con el estándar exigido, generando una ambigüedad en la interpretación de los resultados.

Por su parte (Tulsma,T.U, 2015), el protocolo de Louisiana 2014, permiten un valor de 500 mg/kg y 0,8 mg/kg, respectivamente, señalan que los resultados se encuentran dentro de los rangos máximos; en cuanto a (Galán H. & Romero B. , 2008) señala valores máximos permitidos menores a 1 mg/kg y valores superiores a >30 mg/kg requieren de intervención. Encontrándose dentro de los valores adecuados. Con el fin de contar con más información se revisa EPA - Soil Screening Levels (U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2023), en donde se presenta valores para suelo residencial de 0,67 mg/kg y para suelo industrial de 5,6 mg/kg, identificando que el suelo no presenta riesgos significativos en la salud humana.

- **Níquel Total**

El Níquel (Ni), tanto en muestras de enero como en muestras de noviembre de 2022, presentó valores por debajo de límite de detección de la técnica analítica empleada (40,0 mg/kg); se identificó en la normatividad señalada al inicio de este numeral un rango de concentraciones permisibles entre 19 y 50 mg/kg, por lo tanto, se encuentra dentro de los valores permisibles, y no genera un riesgo para los ecosistemas ni a la salud del ser humano.

- **Plomo Total**

La concentración de Plomo (Pb), en las muestras de enero y noviembre de 2022 se encontró por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (20 mg/kg), cumpliendo con los valores de referencia establecido por (Galán H. & Romero B. , 2008), (Tulsma,T.U, 2015) y el protocolo de Louisiana 29B, los cuales establecen límites de <200 mg/kg, 60 mg/kg y 500 mg/kg, respectivamente. No obstante, al compararse con el valor guía propuesto por (Nuñez, 2015), que es de 19 mg/kg, podría considerarse un posible riesgo para la calidad ambiental, dada la cercanía al umbral establecido.

- **Selenio Total**

Por último, el Selenio (Se), en las muestras de enero y noviembre de 2022, se encontraron por debajo del límite de detección de la técnica empleada de 0,500 mg/kg, lo que indica que sus concentraciones están dentro del rango aceptable establecido por (Tulsma,T.U, 2015) y (Galán H. & Romero B. , 2008) cuyo valor de referencia es igual o inferior a 10 mg/kg de suelo e inferiores a 2 mg/kg, respectivamente.

- **Revisión de elementos y compuestos contaminantes con estudios previos**

En relación con los valores límites establecidos por la Directiva 86/278/CEE del 12 de junio de 1986 (Consejo de las Comunidades Europeas, 1986) y las Guías de Calidad de Suelo del CCME (CCME, 2025), empleado en los estudios del proyecto previamente para concentraciones de metales pesados (incluyendo arsénico, cadmio, cobalto, cobre, plomo,

zinc, níquel, cromo y mercurio) diseñados para proteger tanto a receptores ecológicos como a la salud humana, se presenta una comparación de los resultados en la Tabla 5.1.4.30.

Tabla 5.1.4.30 Comparación resultados con estudios previos

Metales Pesados	EIA (2015) & MEIA (2018)		Enero 2022	Noviembre 2022	CCME 2006 Uso Agrícola	Directiva 86/278/CEE del Consejo 12 junio de 1986	
	Sitio De Control	Sitio Beneficio De Oro				Rango mg/kg de materia seca de suelo con pH de 6 a 7	
Cadmio	<0,125	<0,125	<2,0	<2,0	1,4	1	3
Arsénico	4,244	1,128	-	<0,500	12	-	-
Estroncio	-	-	<30,0	<30,0	-	-	-
Níquel	9,454	9,598	<40	<40	45	30	75
Plomo	18,584	18,146	<20,0	<20,0	70	50	300
Selenio			<0,500	<0,500	1	-	-
Cromo	10,914	9,948	-	-	64	-	-
Mercurio	<0,200	0,510	<0,200	-	6,6	1	1,5
Zinc	38,544	40,990	-	-	250	150	300
Cobalto	12,193	12,247	-	-	40	-	-
Cobre	26,204	33,192	-	-	63	50	140
Cianuro	-	-	<0,100	-	0,9	-	-

CCME: Canadian Council of Ministers of the Environment

CEE: Comunidad Económica Europea

Fuente: Integral S.A., 2025 con información de EIA (2015) y MEIA (2018)

De acuerdo con estos resultados, las mediciones de metales pesados hallados tanto en el EIA (2015) y los realizados en enero y noviembre de 2022 en el área de influencia, se encuentran por debajo de los estándares definidos por la CCME y la CEE para uso agrícola de los suelos, esto a pesar de que en esta zona se ha extraído oro desde hace muchos años, utilizando para ello mercurio y cianuro. Esta situación podría estar relacionada con la capacidad del suelo de formar una barrera protectora, filtrando, descomponiendo, neutralizando o almacenando contaminantes y evitando en gran parte su biodisponibilidad. El pH, capacidad de cambio, contenido y tipo de arcilla, materia orgánica, carbonatos y oxihidróxidos, son algunas de las características que participan en la respuesta de los suelos ante los metales pesados, y la variabilidad en riqueza y composición de estas propiedades y componentes otorga a cada suelo una capacidad de amortiguación específica.

5.1.4.3 Curvas de infiltración de agua

Según (Jaramillo, 2014), la tasa de infiltración es un parámetro que evalúa las características físicas del suelo, la cual depende de factores fisicoquímicos, el grado de compactación de los horizontes, tipo de vegetación, pendiente de la zona, uso del terreno, la clase textural, contenido de humedad, porcentaje de porosidad, estructura, cantidad de materia orgánica, plasticidad, entre otros.

Con los datos de la curva de infiltración obtenidos mediante la metodología de cilindros concéntricos (doble anillo), se determinó la curva de infiltración acumulada, la infiltración

base para cada subgrupo de suelo y corroboración del abatimiento, los cálculos realizados se presentan en el ANEXOS_CARACTERIZACION_SUELO_TB_PERFILES.

Es importante aclarar que, en las pruebas de infiltración realizadas mediante cilindros concéntricos (doble anillo) no fue posible prolongar las mediciones hasta observar, en todos los casos, una tasa de infiltración claramente constante. Esto se debe a la rápida entrada de agua en la mayoría de los perfiles, a las limitaciones operativas de tiempo y volumen de suministro en campo y, especialmente, a las características físicas de los suelos estudiados (texturas predominantemente arenosas, presencia de macroporos, raíces y fragmentos rocosos) que favorecen el flujo preferencial. Estas condiciones generan curvas de abatimiento con tramos de estabilización relativa seguidos de incrementos puntuales de la tasa (picos por flujo preferencial), sin que se configure una “meseta” perfecta, situación reportada en la literatura para suelos de textura similar y alta macroporosidad.

Para determinar una capacidad de infiltración aproximada, se aplicó el modelo empírico de Kostiaikov $I(t) = K \times t^a$, para ajustar la lámina de infiltración acumulada en cada subgrupo de suelo, obteniendo así una estimación objetiva de la infiltración básica o conductividad hidráulica básica aparente a partir de los parámetros del modelo, aún en ausencia de una meseta de estabilización claramente observada en las curvas de abatimiento.

5.1.4.3.1 Subgrupo Typic Dystrudepts

Este subgrupo presentó una alta capacidad de infiltración, con una tasa de 1.276,39 m³/ha/h, determinada mediante ajuste de la curva de infiltración acumulada (ver Figura 5.1.4.9, R²=0,94), equivalente a una infiltración básica de 127,64 mm/h. La lámina de infiltración acumulada se ajustó al modelo de Kostiaikov $I(t) = K \times t^a$, obteniéndose los parámetros K y a mediante regresión no lineal (potencial) a partir de los datos de campo que se presentan en la Tabla 5.1.4.31 y en la Figura 5.1.4.8.

Esta capacidad se relaciona con sus características texturales: bajos contenidos de arcilla (10 %) y limo (10 %) y un alto porcentaje de arena (80 %). Estas propiedades definen una textura franco-arenosa que favorece el ingreso del agua al perfil del suelo, junto con su baja compactación (Densidad aparente de 1,4 g/cm³).

La elevada infiltración también puede estar influenciada por factores adicionales como la presencia de raíces en superficie y en profundidad, actividad de macroorganismos, y la existencia de fragmentos de roca de distintos tamaños, que contribuyen a la formación de poros, grietas y canales preferenciales para el paso del agua.

La Tabla 5.1.4.31 y Figura 5.1.4.9, validan este resultado mediante la curva de abatimiento, donde se evidencia reducción progresiva desde 360 mm/h iniciales hasta estabilizarse en aproximadamente 130 mm/h en los intervalos intermedios (10-20 min), coincidiendo con el valor matemático obtenido. El último intervalo (444 mm/h) refleja flujo preferencial transitorio por macroporos, fenómeno típico en suelos franco-arenosos con raíces y fragmentos rocosos. Este patrón (abatimiento inicial rápido seguido de estabilización constante) es característico de suelos poco compactados en pendientes moderadas con vegetación nativa.

Tabla 5.1.4.31 Registro de la medición de infiltración de agua en suelo Typic Dystrudepts y cálculo de tasa de infiltración

Tiempo (min)	Lamina de acumulación (cm)	Lamina de acumulación (mm)	Tiempo medio (min)	Tasa de infiltración (mm/h)
0	0	0	0	0
5	3	30	2,5	360
10	4,8	48	7,5	216
20	7	70	15	132
30	9,6	96	25	156
40	13,2	132	35	216
50	16,6	166	45	204
60	24	240	55	444*

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

Nota: *Flujo preferencial por macroporos

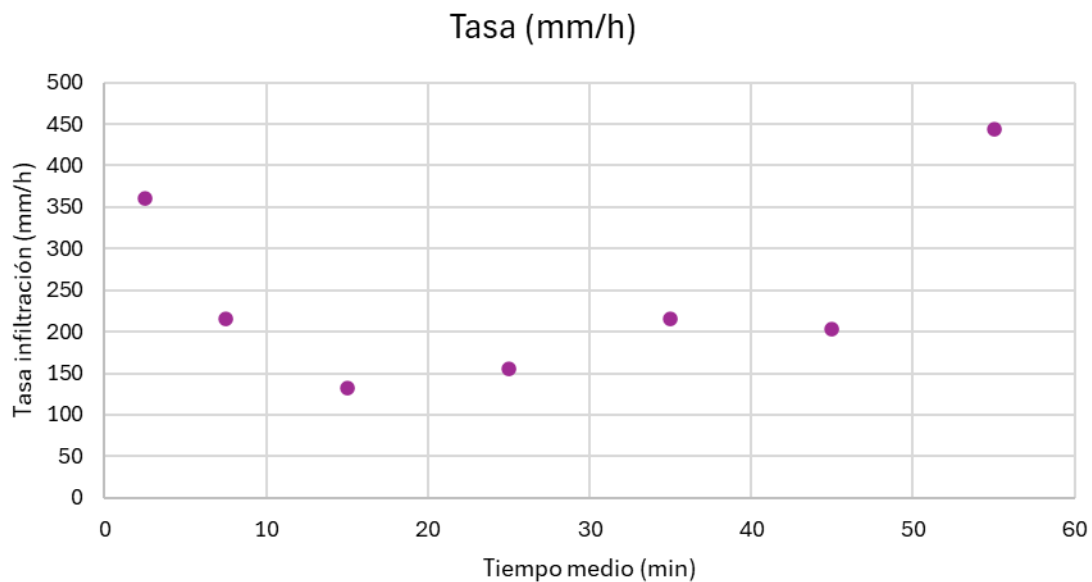


Figura 5.1.4.8 Curva de abatimiento de la tasa de infiltración para suelos Typic Dystrudepts

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

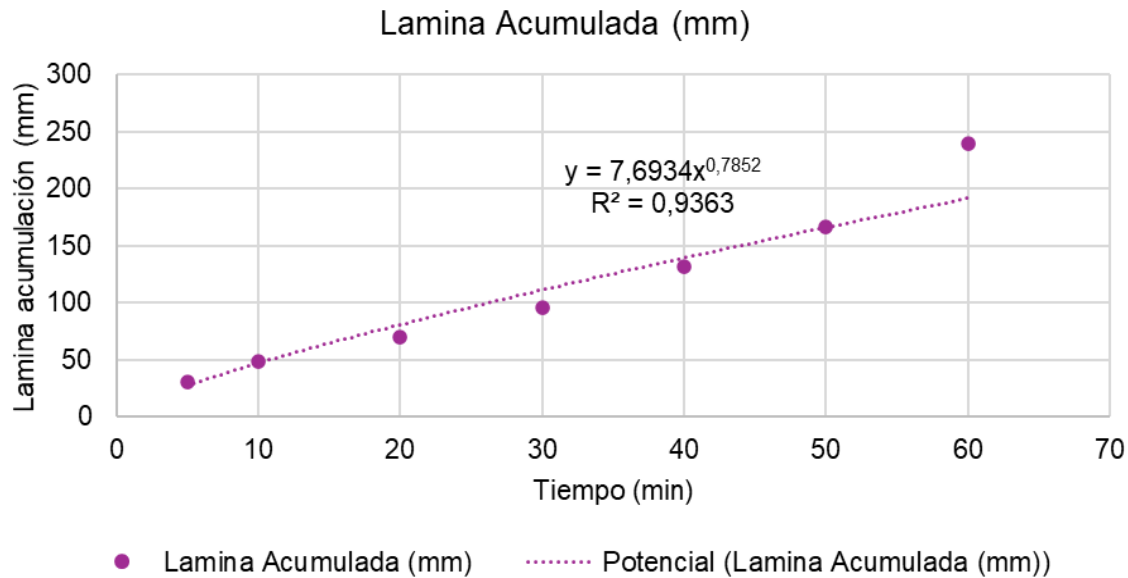


Figura 5.1.4.9 Desplazamiento acumulado para suelos Typic Dystrudepts

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022

5.1.4.3.2 Subgrupo Oxic Dystrudept

Este subgrupo también presentó una moderada a alta capacidad de infiltración de 576,52 m³/ha/h, determinada mediante ajuste de la curva de infiltración acumulada (ver Figura 5.1.4.11, R²=0,96), equivalente a una infiltración básica de 56,75 mm/h. La lámina de infiltración acumulada se ajustó al modelo de Kostiakov $I(t) = K \times t^a$, obteniéndose los parámetros K y a mediante regresión no lineal (potencial) a partir de los datos de campo que se presentan Tabla 5.1.4.32 y en la Figura 5.1.4.10

Los valores reflejan una alta capacidad de absorción de agua, aunque algo menor que la de otros Inceptisoles de la zona. Esta capacidad se relaciona con su estructura estable, presencia de raíces y fragmentos de roca, y la baja proporción de fracciones finas facilitan la percolación vertical.

La curva de abatimiento (Figura 5.1.4.10 y Tabla 5.1.4.32) valida el abatimiento inicial (588 a 132 mm/h) y estabilización aproximada de 90 mm/h (intervalos 35-45 min), tendencia coherente con la infiltración básica de 56,75 mm/h calculada matemáticamente. La ligera diferencia refleja variabilidad típica en suelos con microporosidad transitoria típico de inceptisoles.

Tabla 5.1.4.32 Registro de la medición de infiltración de agua en suelo Oxic Dystrudept y cálculo de tasa de infiltración

Tiempo (min)	Lamina de acumulación (cm)	Lamina de acumulación (mm)	Tiempo medio (min)	Tasa de infiltración (mm/h)
0	0	0	0	0
5	4,9	49	2,5	588
10	6,8	68	7,5	228
20	9	90	15	132
30	13	130	25	240
40	14,8	148	35	108
50	16	160	45	72
60	21,4	214	55	324*

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022

Nota: *Flujo preferencial por macroporos

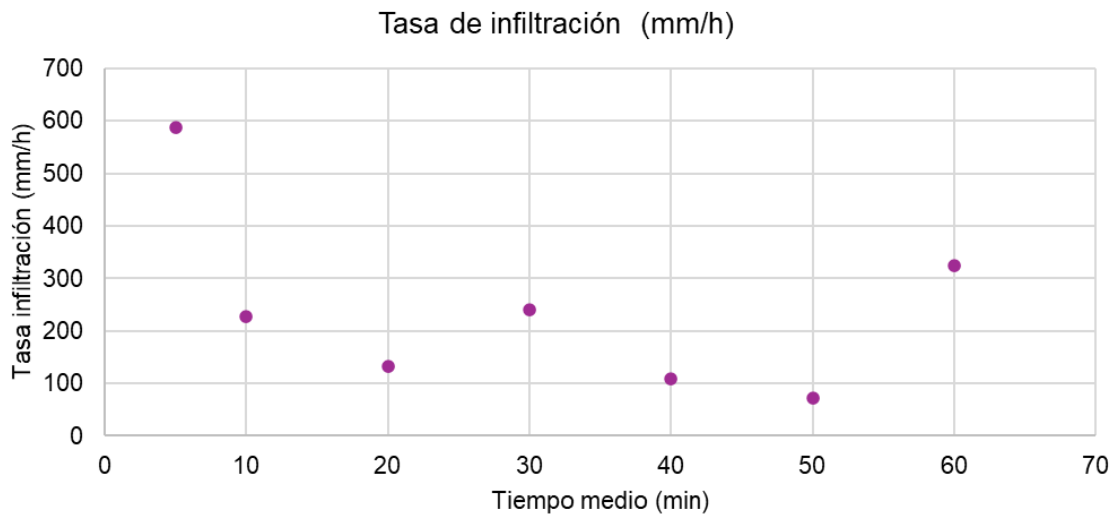


Figura 5.1.4.10 Curva de abatimiento de la tasa de infiltración para suelos Oxic Dystrudept

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022

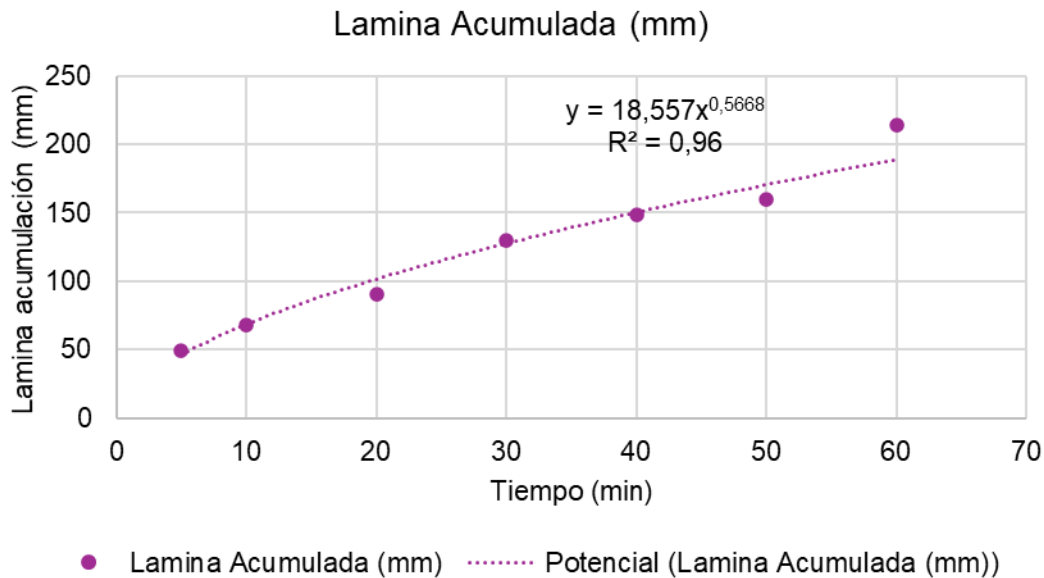


Figura 5.1.4.11 Desplazamiento acumulado para suelos Oxíc Dystrudept

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022

5.1.4.3.3 Subgrupo Typic Eutrudept

Este subgrupo presentó una buena capacidad de infiltración de 666,58 m³/ha/h, determinada mediante ajuste de la curva de infiltración acumulada (ver Figura 5.1.4.13, R²=0,99), equivalente a una infiltración básica de 66,66 mm/h. La lámina de infiltración acumulada se ajustó al modelo de Kostiaikov $I(t) = K \times t^a$, obteniéndose los parámetros K y a mediante regresión no lineal (potencial) a partir de los datos de campo que se presentan Tabla 5.1.4.33 y en la Figura 5.1.4.12.

Los resultados evidencian un comportamiento de alta infiltración, aunque condicionado por la mayor densidad aparente y menor porosidad en los horizontes más profundos. Esta respuesta hidrológica es coherente con la combinación de un horizonte superficial suelto y un subsuelo algo más denso, que limita la percolación en profundidad.

La Tabla 5.1.4.33 y Figura 5.1.4.12 validan mediante curva de abatimiento: abatimiento inicial estable (240 mm/h) seguido de estabilización en 60-120 mm/h (intervalos 15-60 min), coincidiendo con la infiltración básica de 66,66 mm/h. Este patrón gradual refleja saturación progresiva de poros en suelos con estructura moderada.

Tabla 5.1.4.33 Registro de la medición de infiltración de agua en suelo Typic Eutrudept y cálculo de tasa de infiltración

Tiempo (min)	Lamina de acumulación (cm)	Lamina de acumulación (mm)	Tiempo medio (min)	Tasa de infiltración (mm/h)
0	0	0	0	0
5	2	20	2,5	240
10	4	40	7,5	240
20	6	60	15	120
30	8	80	25	120
40	10	100	35	120
50	11	110	45	60
60	12	120	55	60

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

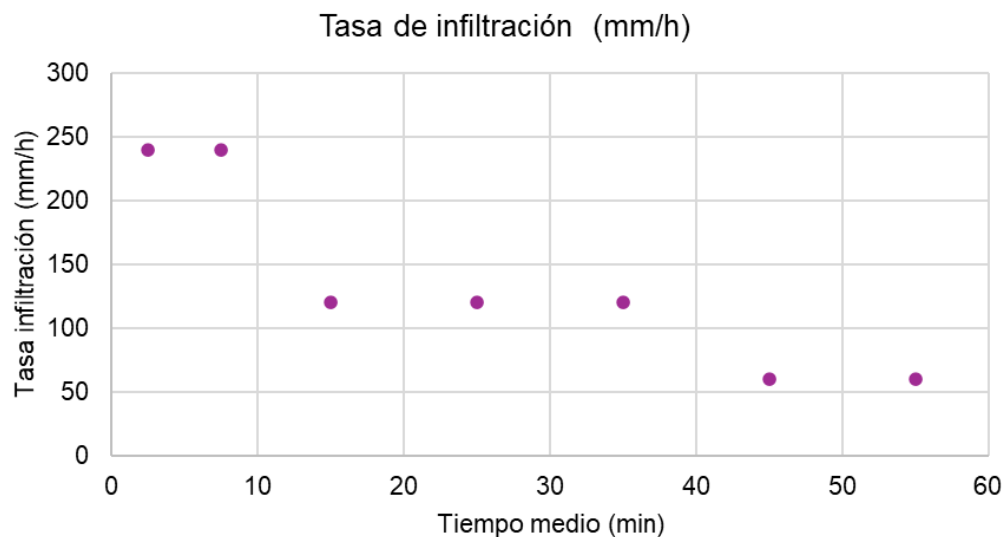


Figura 5.1.4.12 Curva de abatimiento de la tasa de infiltración para suelos Typic Eutrudept

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

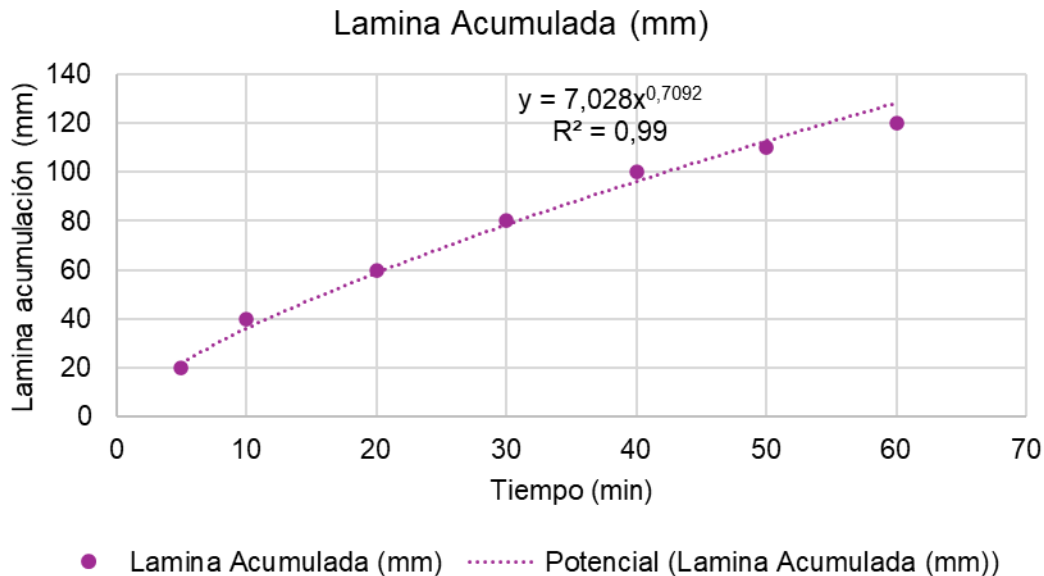


Figura 5.1.4.13 Desplazamiento acumulado para suelos Typic Eutrudept

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022

5.1.4.3.4 Subgrupo Vertic Humudept

Los suelos Vertic Humudepts presentaron una muy alta capacidad de infiltración de 1.102,92 m³/ha/h (110,29 mm/h), determinada por ajuste de curva de infiltración acumulada (Figura 5.1.4.15, R²=0,93). La lámina de infiltración acumulada se ajustó al modelo de Kostiaikov $I(t) = K \times t^a$, obteniéndose los parámetros K y a mediante regresión no lineal (potencial) a partir de los datos de campo que se presentan Tabla 5.1.4.34 y la Figura 5.1.4.14.

Este valor elevado podría estar asociado a la presencia de raíces tanto en la superficie como en el interior del perfil, la actividad de macroorganismos del suelo, y la existencia de fragmentos de roca de distintos tamaños que generan poros, grietas y conductos que facilitan el movimiento del agua. Adicionalmente, la presencia de materia orgánica y hojarasca en la superficie del suelo contribuye a mejorar la infiltración al favorecer la estructura y porosidad del suelo.

La Tabla 5.1.4.34 y Figura 5.1.4.14 validan mediante curva de abatimiento: abatimiento inicial rápido (480 a 108 mm/h) con estabilización en aproximadamente los 200 mm/h (intervalos intermedios), coincidiendo con la infiltración básica de 110,29 mm/h. El último intervalo (372 mm/h) refleja flujo preferencial típico de suelos con alta macroporosidad y estructura favorable.

Tabla 5.1.4.34 Registro de la medición de infiltración de agua en suelo Vertic Humudept y cálculo de tasa de infiltración

Tiempo (min)	Lamina de acumulación (cm)	Lamina de acumulación (mm)	Tiempo medio (min)	Tasa de infiltración (mm/h)
0	0	0	0	0
5	4	40	2,5	480
10	5,7	57	7,5	204
20	7,5	75	15	108
30	10,4	104	25	174
40	14,8	148	35	264
50	19,4	194	45	276
60	25,6	256	55	372*

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

Nota: *Flujo preferencial por macroporos

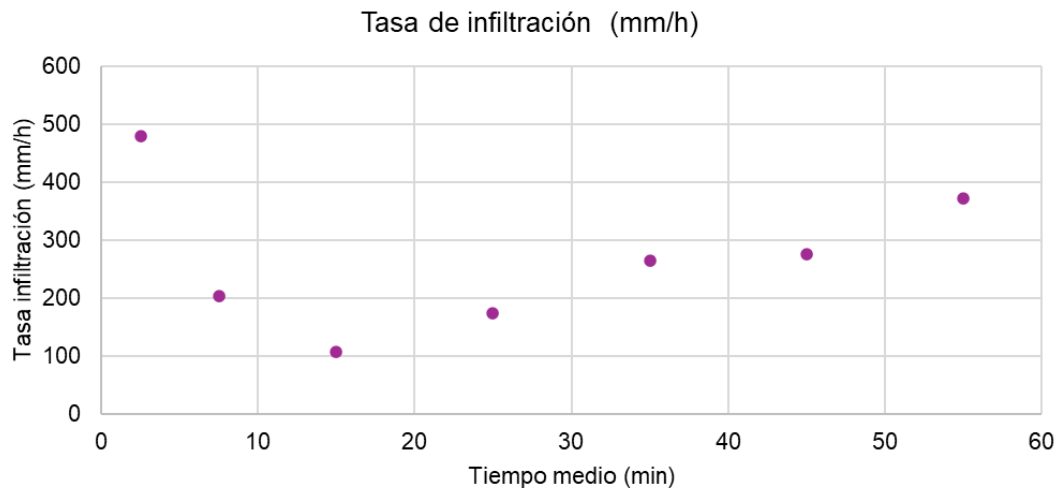


Figura 5.1.4.14 Curva de abatimiento de la tasa de infiltración para suelos Vertic Humudept

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

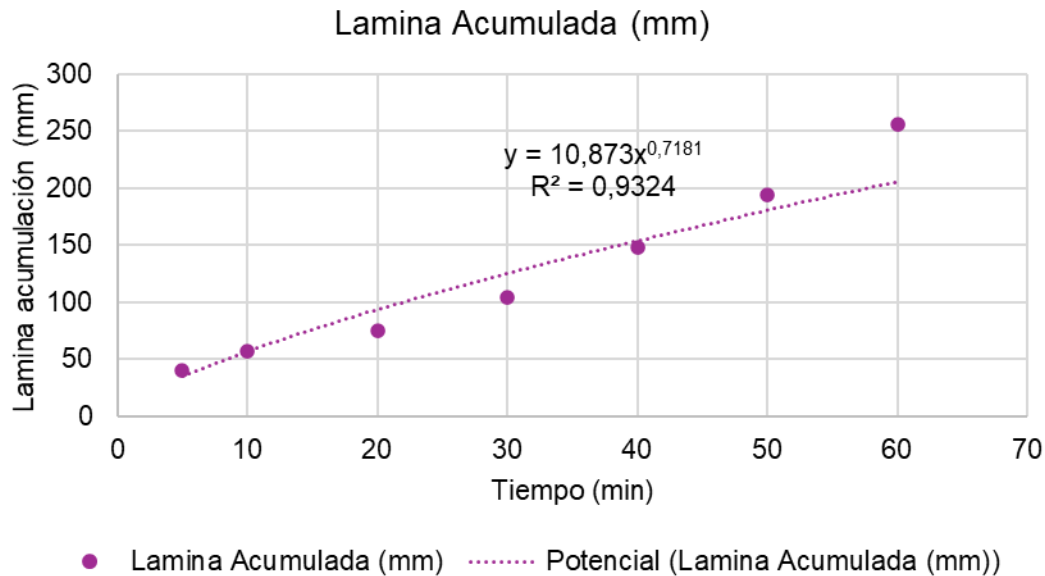


Figura 5.1.4.15 Desplazamiento acumulado para suelos Vertic Humudept

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

5.1.4.3.5 Subgrupo Lithic Ustorthents

Este subgrupo, a pesar de tener un contacto lítico y paralítico en los primeros 50 cm del perfil del suelo, presentó una alta capacidad de infiltración de 1.907,91 m³/ha/h (190,79 mm/h), determinada mediante ajuste de la curva de infiltración acumulada (Figura 5.1.4.17., R²=0,99). La lámina de infiltración acumulada se ajustó al modelo de Kostiakov $I(t) = K \times t^a$, obteniéndose los parámetros K y a mediante regresión no lineal (potencial) a partir de los datos de campo que se presentan en la Tabla 5.1.4.35 y en la Figura 5.1.4.16.

La alta infiltración se asocia a la presencia de arenas, fragmentos de roca en la matriz del suelo, macroporos, la pendiente y la humedad del suelo, características que comúnmente favorecen las propiedades físicas del suelo y, en consecuencia, el ingreso del agua.

La Tabla 5.1.4.35 y Figura 5.1.4.16 validan mediante curva de abatimiento: abatimiento inicial (408 a 144 mm/h) con estabilización aproximada a 200 mm/h (intervalos finales 35-60 min), coincidiendo con la infiltración básica de 190,79 mm/h. Este patrón refleja buena capacidad de percolación típica de Entisoles con macroporosidad.

Tabla 5.1.4.35 Registro de la medición de infiltración de agua en suelo Lithic Ustorthets y cálculo de tasa de infiltración

Tiempo (min)	Lamina de acumulación (cm)	Lamina de acumulación (mm)	Tiempo medio (min)	Tasa de infiltración (mm/h)
0	0	0	0	0
5	2	20	2,5	240
10	5,4	54	7,5	408
20	9	90	15	216
30	11,6	116	25	156
40	14	140	35	144
50	17,8	178	45	228
60	21,5	215	55	222

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

Nota: *Flujo preferencial por macroporos

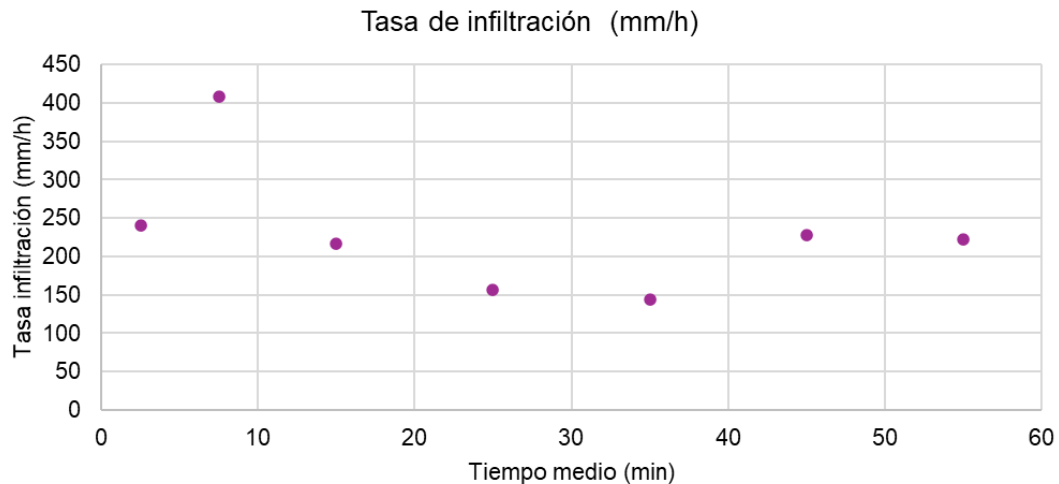


Figura 5.1.4.16 Curva de abatimiento de la tasa de infiltración para suelos Lithic Ustorthets

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

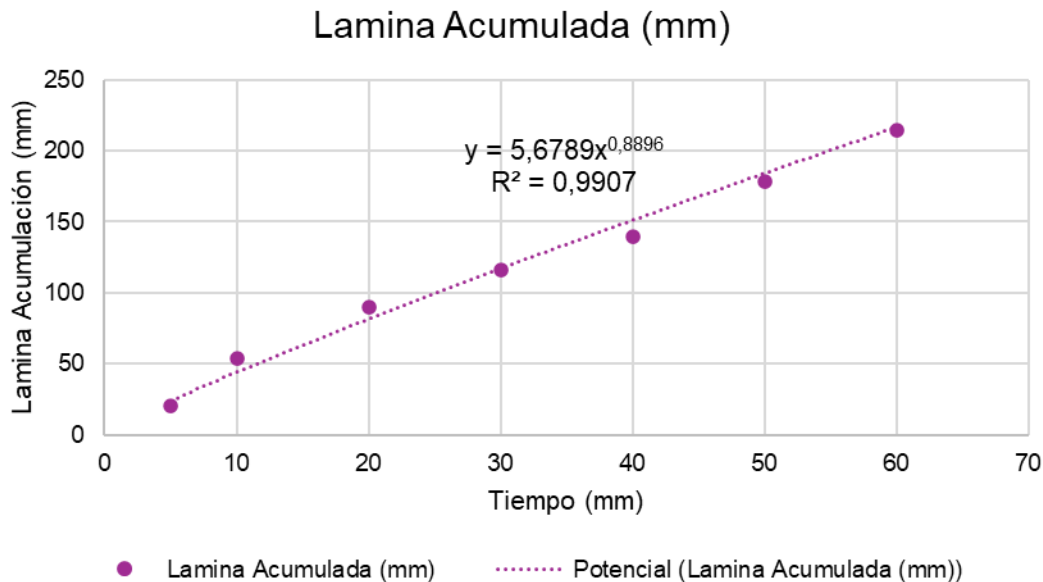


Figura 5.1.4.17 Desplazamiento acumulado para suelos Lithic Ustorthets

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

5.1.4.3.6 Subgrupo Lithic Udorthents

Este suelo presentó una alta capacidad de infiltración de 1.058,50m³/ha/h (105,85 mm/h), determinada mediante ajuste de la curva de infiltración acumulada (Figura 5.1.4.19, R²=0,96). La lámina de infiltración acumulada se ajustó al modelo de Kostiakov $I(t) = K \times t^a$, obteniéndose los parámetros K y a mediante regresión no lineal (potencial) a partir de los datos de campo que se presentan en la Tabla 5.1.4.36 y Figura 5.1.4.18.

Esta capacidad se relaciona con la dominancia de texturas arenosas en la mayoría de los horizontes, ya que esta condición se asocia con una estructura suelta, bajo contenido de fracciones finas (limo y arcilla) y una limitada capacidad de retención de agua. Estas características favorecen la rápida percolación del agua a través del perfil del suelo. (ver Tabla 5.1.4.36)

La Tabla 5.1.4.36 y Figura 5.1.4.18 validan mediante curva de abatimiento: abatimiento inicial claro (360 a 120 mm/h) con estabilización aproximada de 100 mm/h (intervalos intermedios), coincidiendo con la infiltración básica de 105,85 mm/h. El intervalo 45 min (48 mm/h) refleja saturación temporal típica de Entisoles arenosos.

Tabla 5.1.4.36 Registro de la medición de infiltración de agua en suelo Lithic Udorthets y cálculo de tasa de infiltración

Tiempo (min)	Lamina de acumulación (cm)	Lamina de acumulación (mm)	Tiempo medio (min)	Tasa de infiltración (mm/h)
0	0	0	0	0
5	3	30	2,5	360
10	4,5	45	7,5	180
20	6,8	68	15	138
30	8,8	88	25	120
40	14,5	145	35	342
50	15,3	153	45	48
60	19,7	197	55	264*

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

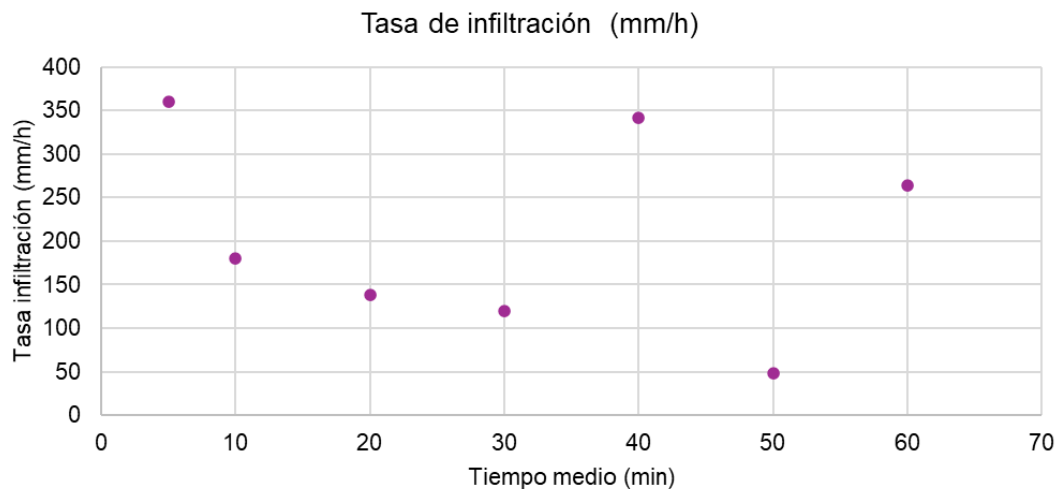


Figura 5.1.4.18 Curva de abatimiento de la tasa de infiltración para suelos Lithic Udorthets

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

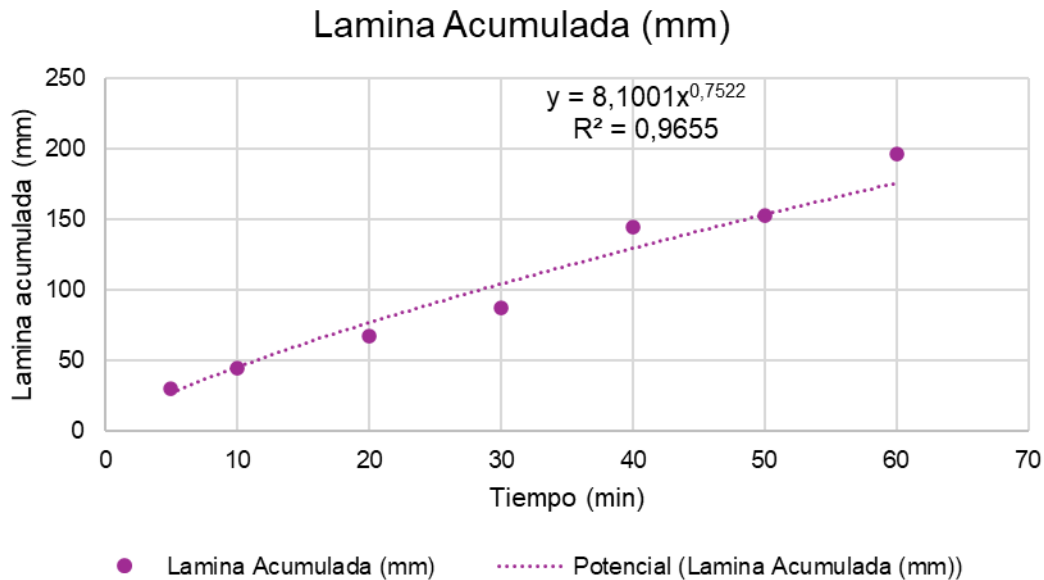


Figura 5.1.4.19 Desplazamiento acumulado para suelos Lithic Udorthets

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

5.1.4.3.7 Subgrupo Typic Udifluvents

Para el suelo Typic Udifluvents del complejo Girardota, no se cuenta con prueba de infiltración de estudios anteriores, sin embargo, teniendo en cuenta las características identificadas en las calicatas P12 y P13, del Estudio de Impacto Ambiental del 2015 autorizado mediante la Resolución 1514 de 2015, en dónde se señala que la unidad de suelo presenta texturas finas a moderadamente gruesas (franco), epipedón ócrico, régimen ústico/isotérmico y susceptibilidad a encharcamiento invernal, permite inferir que son suelos que presentan buen drenaje interno pero riesgo de saturación por lluvias intensas, toda vez que la textura presenta una buena estructura subangular, macroporos moderados; en cuanto a la densidad aparente la cual es menor a $1,4 \text{ g/cm}^3$, implica una alta porosidad (>50%), dado que la densidad mide la masa de sólidos secos dividida por el volumen total (sólidos más poros); al ocupar menos volumen los sólidos, mayor es el espacio poroso disponible para agua y aire.

5.1.4.3.8 Otros suelos

En el depósito aluvial asociado al cauce principal (Calicata6_Nov2022), las mediciones de infiltración registraron valores nulos (0 mm en 60 minutos). Este comportamiento se explica por la presencia de un nivel freático muy superficial, encharcamiento visible durante la campaña y la época invernal (altas lluvias), condiciones que mantienen el perfil prácticamente saturado. En suelos aluviales de valle con freático somero, la capacidad de infiltración medida con infiltrómetros de doble anillo refleja más el ascenso capilar y la saturación existente que una verdadera tasa de entrada de agua, por lo que no es posible alcanzar una curva de abatimiento típica ni aplicar modelos como Kostiakov. En consecuencia, este suelo se clasifica en el Grupo Hidrológico D (infiltración menor a $3,8 \text{ mm/h}$) según la Resolución 865 de 2004, coherente con su comportamiento de muy baja infiltración y alta escorrentía.

Tabla 5.1.4.37 Registro de la medición de infiltración de agua para otros suelos (Deposito aluvial)

Tiempo (min)	Lamina de acumulación (cm)	Lamina de acumulación (mm)
0	0	0
5	0	0
10	0	0
20	0	0
30	0	0
40	0	0
50	0	0
60	0	0

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

En cuanto a la calicata 2 (Calicata2_Nov2022) que corresponde a Tecnosuelo, presentó una extremadamente alta capacidad de infiltración de 4.965,38 m³/ha/h (496,54 mm/h), determinada mediante ajuste de la curva de infiltración acumulada (Figura 5.1.4.21., R²=0,978), La lámina de infiltración acumulada se ajustó al modelo de Kostiakov $I(t) = K \times t^a$, obteniéndose los parámetros K y a mediante regresión no lineal (potencial) a partir de los datos de campo que se presentan en la Tabla 5.1.4.38 y en la Figura 5.1.4.20.

De acuerdo a los resultados obtenidos, indica que este tipo de suelo presenta una matriz extremadamente permeable, muy suelta y macroporosa, apenas lógico para el tipo de suelo que presenta la zona (Tecnosuelo). Esta capacidad se debe a fragmentos rocosos, mezcla de materiales heterogéneos por intervención antrópica, las arenas de diferentes tamaños, la macroporosidad, los materiales que originaron el suelo, además es favorecida por la pendiente del terreno, ayudando así al aumento de la percolación del agua.

La Tabla 5.1.4.38 y Figura 5.1.4.20 validan mediante curva de abatimiento: abatimiento inicial (360 a 180 mm/h) con estabilización aproximada a 100 mm/h (intervalos finales), coherente con la infiltración básica de 496,54 mm/h. Este comportamiento refleja matriz extremadamente permeable típica de tecnosuelos intervenidos.

Tabla 5.1.4.38 Registro de la medición de infiltración de agua para otros suelos (Deposito aluvial) y cálculo de tasa de infiltración

Tiempo (min)	Lamina de acumulación (cm)	Lamina de acumulación (mm)	Tiempo medio (min)	Tasa de infiltración (mm/h)
0	0	0	0	0
5	3	30	2,5	360
10	5	50	7,5	240
20	8	80	15	180
30	13	130	25	300
40	15	150	35	120
50	17	170	45	120
60	18	180	55	60

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

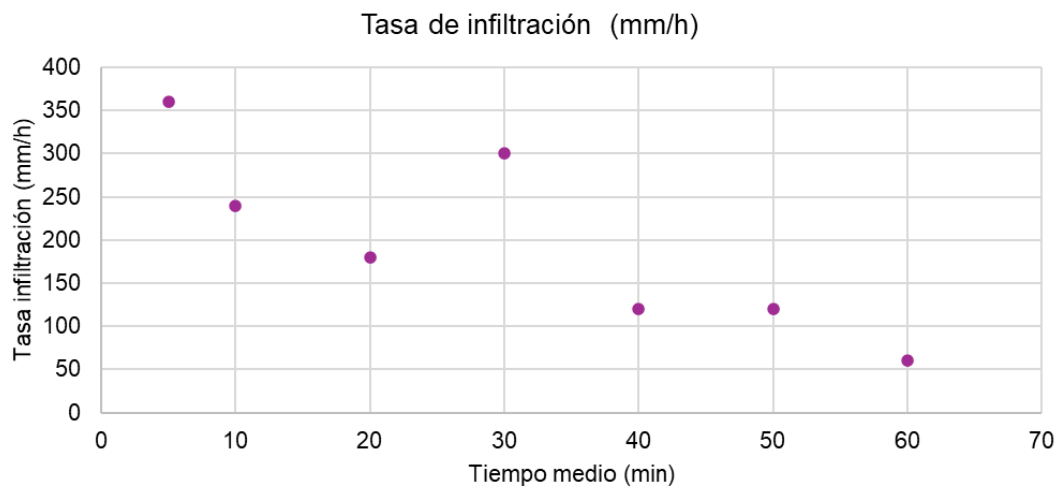


Figura 5.1.4.20 Curva de abatimiento de la tasa de infiltración para suelos (Tecnosuelo)

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

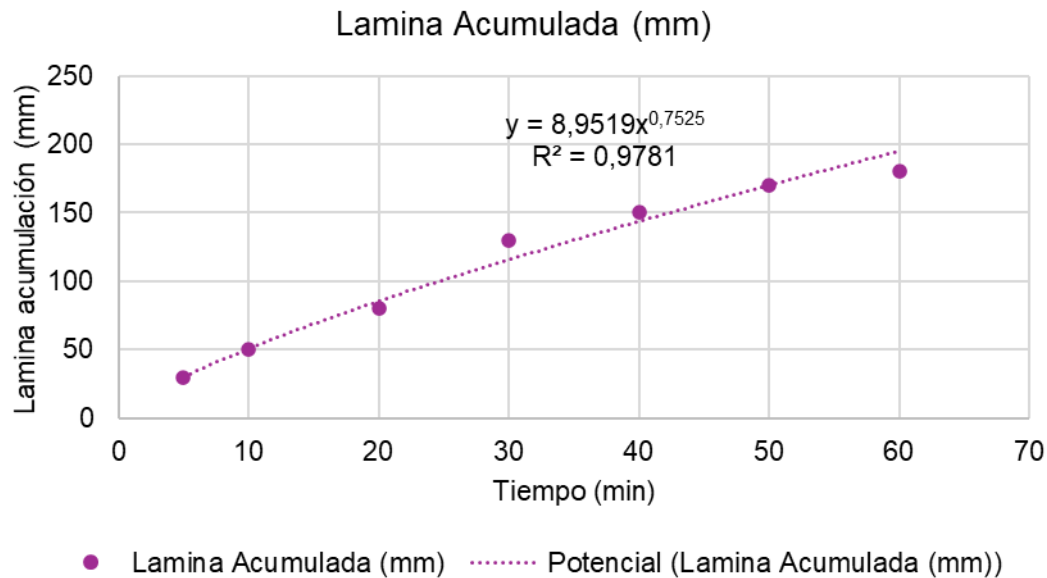


Figura 5.1.4.21 Desplazamiento acumulado para otros suelos (Tecnosuelo)

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de campo en el 2022.

En síntesis, aunque en varios puntos no se alcanzó una meseta de estabilización perfectamente definida en las curvas de abatimiento, la aplicación sistemática del modelo de Kostiakov al conjunto de datos de infiltración permitió estimar de manera consistente la infiltración básica o conductividad hidráulica básica aparente de cada subgrupo de suelo. Estos valores, junto con las características físicas descritas y la clasificación hidrológica asociada, proporcionan un marco robusto para evaluar la respuesta del suelo frente a los aportes de agua en el área de estudio

5.1.4.3.9 Clase Hidrológica

Considerando la clasificación climática de Caldas – Lang, la zona donde se localiza el proyecto se encuentra en categoría templado húmedo. En el municipio de San Roque se identificaron dos categorías de precipitación entre los 2.500 a 3.000 y 3.000 a 4.000 mm anuales (IDEAM, 2017); de acuerdo con la caracterización meteorológica analizada para el Estudio de Impacto Ambiental de la presente modificación (ver numeral 5.1.8.1); en el área de influencia abiótica, tomando las dos (2) estaciones más próximas al proyecto minero GRAMALOTE: Granja Experimental El Nus [23085080] y San Roque [23080760]; se estima que la precipitación media multianual puede oscilar sobre este sector entre los 3.945 mm y los 2.325 mm, encontrándose dentro de los rangos del IDEAM.

Al analizar los datos relacionados con los ciclos de la precipitación se logra observar sobre esta variable el efecto de la ZCIT (zona de convergencia intertropical), la cual genera el comportamiento bimodal. En este sentido se puede identificar que los periodos de lluvias más intensas se ubican entre los meses de marzo-mayo y septiembre-noviembre, mientras que las épocas secas se presentan entre diciembre-febrero y junio-agosto. Sin presencia de heladas (CORNARE, 2012). En el área de interés se presenta un piso térmico templado (T), una provincia de humedad húmeda (H), con una altitud entre los 800 y 1.185 msnm a nivel del suelo, se presenta un régimen de humedad tipo Údico, el cual favorece el

crecimiento vegetal, ya que presenta humedad aprovechable la mayor parte de un año normal (USDA, 2014).

Considerando la información de la capacidad de infiltración realizadas en el 2022 y las características ambientales de la zona se procede a identificar la clase hidrológica a la cual pertenecen los subgrupos de suelo identificados, la hidrología de los suelos de la zona mostró baja variabilidad y una alta capacidad de infiltración de agua, en la mayoría de los suelos con valores iguales o superiores a 1.200 m³/ha/hora, dependiendo de las características propias de los distintos órdenes de suelo presentes. Esta uniformidad en los altos valores de infiltración sugiere condiciones físicas favorables para la percolación del agua en el perfil edáfico, con predominancia de texturas arenosas, estructuras sueltas y escasa presencia de fracciones finas.

Los suelos clasificados como Inceptisol *Typic Dystrudepts*, presentaron una infiltración alta de 1.276,39 m³/ha/h, que de acuerdo con las características físicas señaladas (5.1.4.3.1 Subgrupo *Typic Dystrudepts*) este suelo se clasifica dentro del grupo hidrológico A, según los criterios definidos en la Resolución 865 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible), caracterizándose por su alta capacidad de infiltración, incluso en húmedo.

Los suelos de orden Inceptisol *Oxic Dystrudepts*, presentaron una alta capacidad de infiltración, con valores de 576,52 m³/ha/h. Esta condición permite clasificarlos dentro del grupo hidrológico A, según la Resolución 865 de 2004, caracterizado por su elevada capacidad de absorción incluso en condiciones de humedad. Esta propiedad facilita el ingreso y movimiento del agua a través del perfil del suelo, reduciendo la escorrentía superficial. Sin embargo, factores como la pendiente y la cobertura vegetal pueden favorecer un escurrimiento superficial moderado, a pesar de la alta infiltración del suelo.

En cuanto a los suelos del orden Inceptisol *Typic Eutrudept*, presentan una alta capacidad de infiltración, con valores de 666,58 m³/ha/h se clasifica dentro del grupo hidrológico A, de acuerdo con los criterios establecidos en la Resolución 865 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). Esta clasificación corresponde a suelos con alta capacidad de infiltración, tanto en condiciones secas como húmedas, y baja escorrentía superficial.

Por otro lado, el Inceptisol *Vertic Humudepts*, cuenta con una velocidad de infiltración muy alta de 1.102,92 m³/ha/h, también se clasifica en la clase hidrológica A, además poseen estructura entre moderada y fina, y profundidad efectiva media de acuerdo con la Resolución 865 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). Además, se encontró que estos inceptisoles presentan incrustaciones de roca en la matriz del suelo y gravas, lo cual favorece la percolación (movimiento) del agua en el interior del suelo.

Por su parte, orden *Entisol Lithic Ustorthents*, presentó una capacidad de infiltración superior a 1.907,91 m³/ha/h, también de clase hidrológica A, por su alta capacidad de infiltración de acuerdo con la Resolución 865 de 2004 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). Además, presentó en su interior contactos paralíticos en forma fragmentos de roca o macizos rocosos en proceso de meteorización, lo cual favoreció la infiltración, y su vez puede favorecer procesos erosivos y/o movimientos en masa (Resolución 865, 2004).

Para el orden *Entisol Lithic Udorthents*, evidenció una capacidad de infiltración de 1.058,50 m³/ha/h, este valor también se considera alto, y dentro de la clase hidrológica A, con contactos lítico o paralítico (fragmentos de roca o macizos rocosos), y con evidencia de erosión por escorrentía superficial.

Para el grupo *Typic Udifluvents*, se indica que son suelos bien drenados que se ubican típicamente en la clase hidrológica B, debido a sus capacidades moderadas de infiltración cuando están completamente húmedos. Presentan texturas finas a moderadamente gruesas (franco) y estructura subangular con drenaje moderado, aunque la presencia de moteados rojizos y grisáceos (rasgos de reducción temporal de hierro por encharcamiento invernal) limita la transmisión de agua durante lluvias intensas.

En cuanto a los otros suelos como el depósito aluvial, donde presentó infiltración nula (0 mm/h) debido a nivel freático superficial, encharcamiento invernal y época de lluvias, clasificándose en Grupo Hidrológico D según Resolución 865/2004 (infiltración <3,8 mm/h). Esta condición refleja saturación permanente típica de suelos aluviales próximos a cauces fluviales, favoreciendo escorrentía superficial y baja percolación vertical.

Por último, el tecnosuelo identificado en la Calicata2_Ene2022, exhibió extremadamente alta infiltración de 4.965,38 m³/ha/h (496,54 mm/h), clasificándose en Grupo Hidrológico A por su matriz permeable, fragmentos rocosos, alta macroporosidad antrópica y pendiente favorable. Este comportamiento refleja heterogeneidad constructiva típica de suelos intervenidos, con percolación extrema y mínima escorrentía.

5.1.4.4 Uso Actual del Suelo

Como se mencionó en el *capítulo 2. Generalidades*, el uso actual del suelo se determinó teniendo en cuenta los detalles de campo y el análisis de las coberturas de la tierra elaboradas con base en la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia (IDEAM, 2010), a escala 1:7.500 a partir de la interpretación de una imagen de satélite EarthScanner - JL-1KF01 del año 2023, que corresponde a la información más reciente disponible para la zona de estudio con resolución espacial de 0,5 metros/píxel, y su posterior verificación y actualización en campo dentro del área de intervención del proyecto.

En ese sentido, los diferentes usos fueron definidos a partir de las coberturas terrestres para luego ser transformadas en usos del suelo teniendo en cuenta la leyenda de usos agropecuarios del suelo (IGAC, UPRA, 2015), en la Tabla 5.1.4.39 se presenta la representatividad del uso que se le da actualmente al suelo, y en la Figura 5.1.4.22 se puede observar espacialmente este uso, en el mapa I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-UACTSUE se presenta la distribución en mayor detalle.

Tabla 5.1.4.39 Distribución de uso actual del suelo en el área de estudio

Grupo Uso	Uso Actual	Área de Influencia Suelo		Área de influencia medio abiótico	
		ha	%	ha	%
Agricultura	Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS)	74,21	10,55	295,35	11,84
Conservación	Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	77,82	11,07	276,96	11,10
	Áreas forestales protectoras (FPR)	317,10	45,09	739,97	29,65
Minería	Metales, radiactivos	17,05	2,43	17,44	0,70
Ganadería	Pastoreo extensivo (PEX)	201,83	28,60	1.065,10	42,68
Asentamiento	Residencial	2,72	0,39	30,44	1,22
Infraestructura	Recreacional	0,00	0,00	0,71	0,03
	Industrial	4,01	0,57	7,75	0,31
	Transporte	4,26	0,61	20,27	0,70
Cuerpos de Agua Naturales	Cuerpos de Agua Naturales	4,88	0,69	41,29	1,65
Total		703,18	100,00	2.495,27	100,00

Fuente: Integral S.A., 2026.

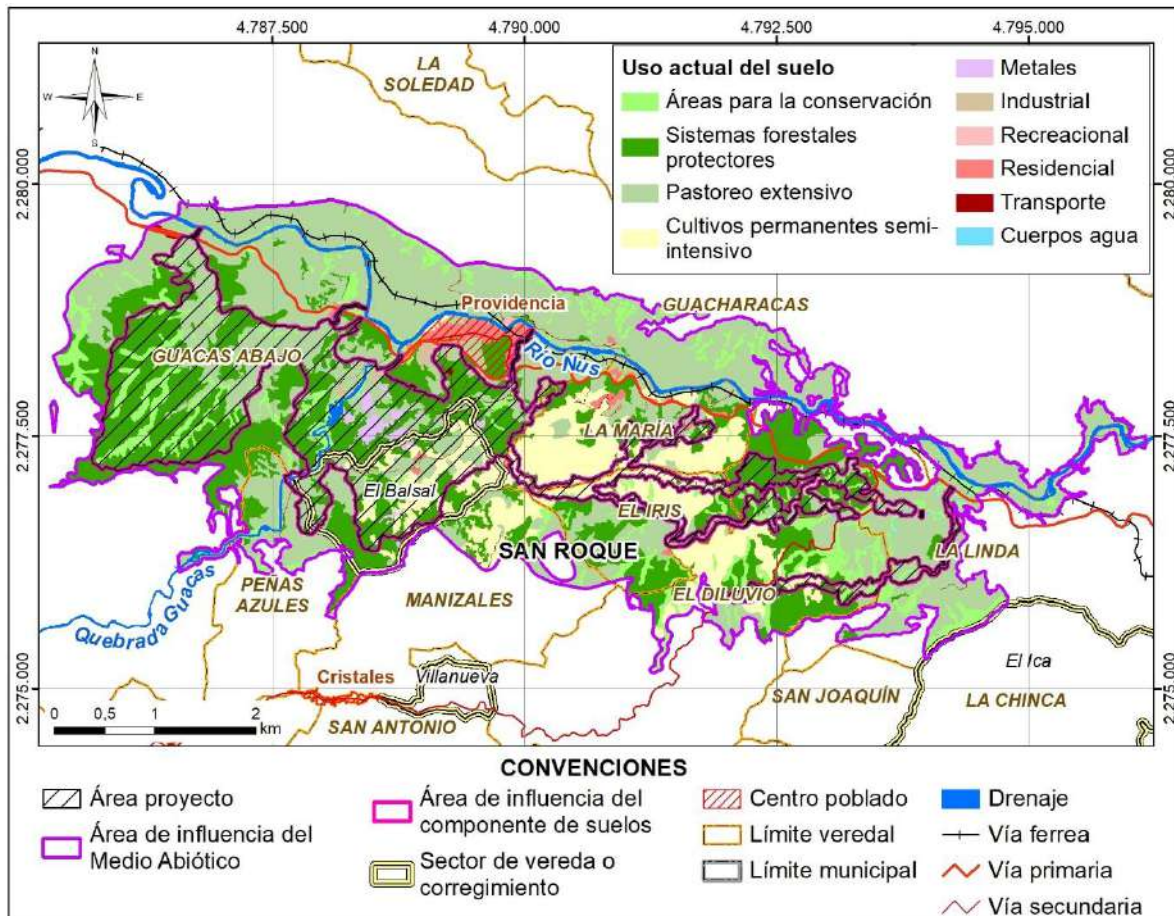


Figura 5.1.4.22 Uso actual del suelo

Fuente: Integral S.A., 2026

A continuación, se describen los diferentes grupos de usos actuales del suelo.

5.1.4.4.1 Agricultura

Este grupo de uso corresponde a terrenos destinados principalmente a actividades agrícolas, resultado de procesos de transformación y ocupación del suelo para la producción de cultivos orientados a satisfacer necesidades alimentarias, comerciales y agroindustriales. Incluye áreas utilizadas para cultivos permanentes, transitorios, en confinamiento agrícola, así como terrenos actualmente inactivos (IGAC, UPRA, 2015). En el área de influencia abiótica esta tiene una extensión de 295,35 ha y en el área de influencia del componente suelo de 74,21 ha, correspondientes al 11,84% y 10,55%, respectivamente. Se asocia a cultivos permanentes semi-intensivos por la presencia de cultivos permanentes herbáceos – caña, y en menor proporción, el cultivo de café y los productos de pancoger o de consumo familiar.

Los cultivos de caña no presentan ninguna tecnificación, siendo estos sembrados y colectados manualmente y transportados a lomo de mula a los trapiches para la producción de panela.



Fotografía 5.1.4.14 Cultivos permanentes semi-intensivos

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional E:4.791.622,13 y N: 2.277.111,59

Fuente: Integral S.A., 2022

5.1.4.4.2 Conservación

Son áreas cubiertas con bosque natural y bosque denso, o vegetación secundaria alta. Representan el 40,75% del área de influencia abiótica y 56,16% del área de influencia del componente suelo, con 1.016,93 ha y 394,92 ha, respectivamente. Estas coberturas se describen en el capítulo 5.2.1.2. Coberturas de la tierra, las cuales para este numeral se catalogan de uso para la conservación dado su importancia en los servicios ecosistémicos que ofrece por la regulación de oxígeno, regulación del agua, entre otras.

5.1.4.4.3 Minería

Este grupo de uso está asociado a las intervenciones antrópicas, en dónde se identificó que el municipio de San Roque se originó por la explotación de oro, el cual era extraído de las minas de veta (minería subterránea), cuerpos de agua y del río Nus, identificándose que dentro del área de influencia las veredas El Diluvio, El Iris, Guacas Abajo, Sector El Balsal (Guacas Abajo), La María, Peñas Azules, La Linda y el Providencia han sido influenciadas para la extracción tanto de material de construcción (arenas), como de minerales como el oro. Dicha actividad se localiza en coberturas de zonas de extracción minera y tierras desnudas y degradadas. Representan el 0,70% del área de influencia abiótica y 2,43 % del área de influencia del componente suelo, con 17,44 ha y 17,05 ha, respectivamente. Aunque esta actividad se desarrolla en todas las veredas de manera subterránea, y en menor medida en cuerpos de agua (quebradas y/o ríos); en la vereda Guacas Abajo se identifican zonas de extracción minera, donde se identifican depósitos de roca donde se realiza la extracción del mineral como se observa en la Fotografía 5.1.4.15.



Fotografía 5.1.4.15 Actividad minera subterránea – Vereda Guacas Abajo

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional E: 4.788.695,33 N: 2.277.148,13 (Foto izquierda) E: 4.788.557,93 N: 2.277.571,66 (Foto derecha)

Fuente: Integral S.A., 2025

5.1.4.4.4 Ganadería

El grupo de uso corresponde a tierras dedicadas a la cría de animales o a la ganadería, los usos principales son consumo humano (carne y leche), utilización artesanal (lana, cuero, plumas, etc) y conservación de fauna (zoocría). La ganadería se puede tipificar en función de las especies, siendo las más comunes: bovinas (reses), equinas (caballos), ovino (ovejas) (IGAC, UPRA, 2015). En el área de influencia abiótica esta tiene una extensión de 1.065,10 ha y en el área de influencia del componente suelo de 201,83 ha, correspondientes al 42,68% y 28,60%. Esta se asocia a la cobertura de pastos, cuyo uso es destinado para el consumo animal in situ principalmente por la ganadería bovina, es de señalar que no posee ninguna tecnificación, con grandes extensiones de terreno para muy pocos animales. Se ubica en las partes medias y bajas de las cuencas a lo ancho del área de influencia.



Fotografía 5.1.4.16 Pastoreo extensivo en el área de influencia del proyecto (Vereda Peñas Azules – Quebrada Guacas)

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional 4.787.730,68 2.277.050,07

Fuente: Integral S.A., 2025

5.1.4.4.5 Asentamiento

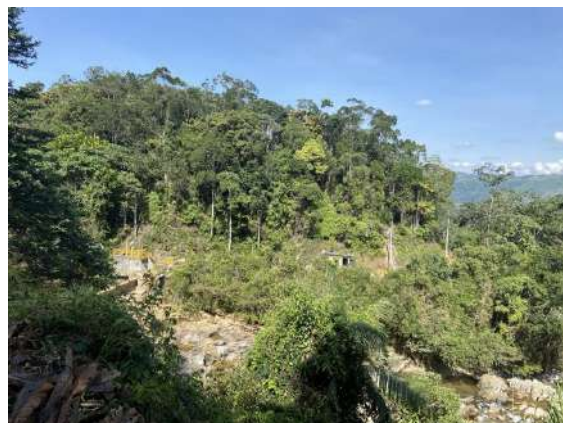
Dentro de las actividades antrópicas se identifican el grupo de uso de asentamientos, los cuales están asociados al tejido urbano continuo y discontinuo. En el área de influencia abiótica esta tiene una extensión de 30,44 ha y en el área de influencia del componente suelo de 2,72 ha, correspondientes al 1,22% y 0,36%.

5.1.4.4.6 Infraestructura

En cuanto a la infraestructura esta se asocia a instalaciones recreativas identificadas en el centro poblado del corregimiento de providencia, en cuanto a transporte es la red vial tanto la vía nacional Medellín – Bucaramanga, como las vías veredales que comunican a Cristales con Manizales, Peñas Azules, El Diluvio, Guacas Abajo, Guacas abajo sector El Balsal, así como, el helipuerto del proyecto Gramalote. Adicionalmente, se identifica la Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) (ver Fotografía 5.1.4.17), la zona de oficinas del proyecto Gramalote y la infraestructura de entrenamiento para trabajo en alturas en lo referente a zonas industriales o comerciales. En cuanto a la zona recreativa se asocia a la cancha de fútbol del Corregimiento de Providencia, y las zonas de tejido urbano continuo a los asentamientos centralizados del Corregimiento de Providencia y El Balsal de Guacas Abajo, en cuanto a los asentamientos discontinuos se ubican en todas las veredas del área de influencia donde se identifican viviendas rurales.



Centro de entrenamiento



PCH La Cascada

Fotografía 5.1.4.17 Asentamientos presentes en el área de influencia abiótica y del componente suelo

Fuente: Integral S.A., 2025

En el área de influencia abiótica esta tiene una extensión de 28,73 ha y en el área de influencia del componente suelo de 8,27 ha, correspondientes al 1,15% y 1,18%.

5.1.4.4.7 Instrumentos de planificación del territorio

Dentro de lo establecido en el EOT de San Roque (Alcaldía Municipal de San Roque, 2022), el suelo rural dónde se desarrolla el proyecto Gramalote, contempla los siguientes usos:

- Áreas para la explotación de recursos naturales, el cual se localiza en las veredas Guacas Abajo, Peñas Azules, Manizales, El Diluvio, El Iris, La María y La Linda.
- Áreas de uso afines a la minería ubicado en el valle del río Nus, en las veredas Guacas Abajo, Peñas Azules, El Diluvio, La María y La Linda
- Áreas de protección ambiental, asociada a todas las fuentes hídricas como: El río Nus, Quebrada Guacas, Quebrada La Palestina, Quebrada La Colorada, El Banco y Quebrada San Antonio, así como nacimientos.
- Áreas de apoyo al sector agrícola, ganadero, minero y viviendas de interés cultural que se ubica en la vereda La Linda.

Por otra parte, en el Plan de Ordenamiento Territorial de San Roque (Alcaldía Municipal de San Roque, 2022), se señala que el suelo rural se encuentra en dos categorías de manejo del suelo, siendo estas de Protección y Desarrollo restringido. En la Categoría de Protección, el objetivo es conservar áreas con alta sensibilidad ambiental, lo cual restringe fuertemente cualquier uso productivo; y en la Categoría de Desarrollo Restringido, se permite la actividad productiva con criterios de sostenibilidad y planificación, y presentan una clasificación de uso, como se muestra en la Tabla 5.1.4.40:

- Uso Principal: Uso deseable que coincide con la función específica de la zona y que ofrece mejores ventajas para el desarrollo sostenible.

- Uso Compatible o complementario; Es un uso que no se opone al uso principal y concuerda con la potencialidad, productividad y protección del suelo y demás recursos naturales.
- Uso Condicionado o restringido: Es un uso que presenta algún tipo de incompatibilidad urbanística y/o ambiental que se puede controlar de acuerdo con las condiciones que impongan las normas urbanísticas y ambientales correspondientes.
- Uso Prohibido o Uso incompatible con el uso principal de una zona, con los objetivos de conservación ambiental y de planificación ambiental y territorial, y por consiguiente implica graves riesgos de tipo ecológico y/o social.

Tabla 5.1.4.40 Clasificación del uso de suelo rural en San Roque

Categoría de manejo del suelo rural	Uso principal	Usos compatibles o complementarios	Usos condicionados o restringidos	Usos prohibidos o incompatibles
Categoría de Protección	Conservación, preservación y restauración ecológica	-Educación ambiental -Investigación científica -Turismo ecológico de bajo impacto	-Actividades de restauración con intervención mínima y bajo supervisión técnica -Caminos ecológicos para control y vigilancia	-Actividades agrícolas mecanizadas -Ganadería intensiva -Minería -Infraestructura urbana o industrial -Parcelación o urbanización -Disposición de residuos sólidos o peligrosos
Categoría de Desarrollo Restringido	Producción agropecuaria con restricciones ambientales	-Vivienda rural dispersa asociada a la actividad productiva -Agroforestería -Manejo forestal sostenible -Infraestructura productiva menor	-Actividades agropecuarias que requieran transformación del suelo, siempre que cuenten con estudio técnico y medidas de mitigación -Captación de aguas con permiso y plan de manejo	-Urbanización no planificada -Minería sin licencia -Actividades industriales contaminantes -Infraestructura vial mayor no planificada -Tala sin permisos

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir del EOT de San Roque 2022 (Alcaldía Municipal de San Roque, 2022)

El área de influencia de suelos se superpone con las veredas Guacas Abajo, Peñas Azules, La María, El Diluvio, El Iris y La Linda; en las cuales se establecen en suelos rurales, los cuales presentan cinco tipos de áreas rurales estratégicas:

- Áreas de uso afines a la minería: este se encuentra asociado a la categoría de uso restringido del EOT.

- Áreas de producción agropecuaria: este se encuentra asociado a la categoría de uso restringido del EOT.
- Áreas de protección ambiental: este se encuentra asociado a la categoría de uso de protección del EOT.
- Áreas de apoyo al sector agrícola, ganadero, minero y vivienda de interés cultural: este se encuentra asociado a la categoría de uso restringido del EOT.
- Áreas para la explotación de recursos: puede estar categorizado en protección o desarrollo restringido, si se trata de recursos naturales renovables (agua, bosque con manejo, etc.), se ubican preferiblemente en suelo de protección, y su uso es condicionado. Si se trata de recursos no renovables (minería), se localizan en desarrollo restringido, con uso condicionado o principal cuando están legalizados.

Para cada una de estas áreas funcionales, se identificaron los usos principales, así como los usos compatibles o complementarios, usos condicionados o restringidos, y usos prohibidos o incompatibles, siguiendo los lineamientos normativos definidos en las secciones 4.8.1.1 (Categoría de Protección) y 4.8.1.2 (Categoría de Desarrollo Restringido) del documento fuente Documento Técnico de Soporte del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), versión 2021 (Alcaldía Municipal de San Roque, 2022), como se ilustra en la Tabla 5.1.4.41.

Esta tipificación permite comprender los usos permitidos y limitaciones del suelo rural, teniendo en cuenta su vocación productiva, los criterios ambientales y culturales, y el cumplimiento de licencias o estudios técnicos previos.

Tabla 5.1.4.41 Relación entre áreas funcionales y clasificación del uso del suelo

Área funcional	Uso principal	Uso compatible o complementario	Usos condicionados o restringidos	Usos prohibidos o incompatibles
Áreas de uso afines a la minería	-Actividades de explotación minera legalmente autorizadas (con título minero y licencia ambiental).	- Infraestructura asociada a la minería: campamentos, vías de acceso, zonas de acopio y plantas de beneficio. - Actividades de recuperación ambiental post-explotación.	-Actividades extractivas que requieran transformación del paisaje o uso intensivo de recursos naturales, siempre que cuenten con estudios técnicos y control ambiental.	-Minería sin título minero ni licencia ambiental. -Urbanización o parcelación para vivienda no vinculada a la actividad minera. -Actividades industriales contaminantes no relacionadas con la minería.
Áreas de producción agropecuaria	Producción agropecuaria: actividades agrícolas y ganaderas adaptadas a las condiciones del	-Vivienda rural dispersa asociada a la actividad productiva.	Actividades que impliquen transformación significativa del suelo o ampliación de infraestructura,	-Urbanización o parcelación con fines residenciales no rurales.

Área funcional	Uso principal	Uso compatible o complementario	Usos condicionados o restringidos	Usos prohibidos o incompatibles
	terreno y del entorno natural.	-Sistemas agroforestales. -Manejo forestal productivo con prácticas sostenibles.	que deben contar con estudios técnicos y medidas de mitigación.	-Minería sin licencia. -Instalación de industrias contaminantes. -Actividades urbanas.
Áreas de protección ambiental	-Conservación y restauración ecológica -Protección de coberturas boscosas, recursos hídricos, ecosistemas estratégicos, biodiversidad y paisaje.	-Educación ambiental. -Investigación científica y monitoreo. -Turismo ecológico de bajo impacto (senderismo, interpretación ambiental).	-Actividades de mantenimiento y control ambiental, como caminos de vigilancia o monitoreo, siempre que estén soportadas técnicamente y aprobadas por la autoridad competente.	-Urbanización. -Minería, tala no autorizada, agricultura intensiva. -Parcelación o edificación de nuevas viviendas. -Infraestructura que altere el entorno. -Disposición de residuos sólidos o peligrosos
Áreas de apoyo al sector agrícola, ganadero, minero y vivienda de interés cultural	-Infraestructura rural de soporte productivo. -Vivienda rural tradicional o culturalmente significativa vinculada a las actividades productivas.	-Centros de acopio, infraestructura menor, talleres rurales, educación técnica o extensión rural. -Comercio básico asociado a las actividades rurales.	-Nuevas instalaciones o ampliaciones que deben ser evaluadas técnicamente para garantizar la no afectación del entorno rural ni los valores culturales.	-Actividades industriales pesadas, minería sin control o licencias, urbanización masiva, y usos urbanos no vinculados al sector productivo o cultural.
Áreas para la explotación de recursos	-Aprovechamiento de recursos naturales renovables (como agua o bosque) bajo licencia. -Explotación minera legalmente constituida (cuando esté permitida).	-Infraestructura para transporte y procesamiento de los recursos (vías rurales, centros de acopio, tuberías o canales de riego).	-Actividades de explotación que requieran evaluación ambiental, licencias, planes de manejo y medidas de mitigación. -Actividades limitadas por la capacidad de carga del suelo.	-Explotación sin título o licencia ambiental. -Urbanización o parcelación no rural. -Actividades que afecten ecosistemas estratégicos o

Área funcional	Uso principal	Uso compatible o complementario	Usos condicionados o restringidos	Usos prohibidos o incompatibles
				zonas de protección.

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir del EOT de San Roque (Alcaldía Municipal de San Roque, 2022)

En el marco del ordenamiento del suelo rural establecido en el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de San Roque (versión 2021), se destaca que los suelos suburbanos, las parcelaciones no tradicionales (como condominios residenciales, parcelaciones campestres y eco parcelaciones), así como las áreas de vivienda campestre tradicional, se encuentran clasificados como usos compatibles o complementarios dentro del modelo de ocupación rural.

Este enfoque de planificación adquiere particular importancia ante los desafíos territoriales que plantea la ejecución de proyectos estratégicos como el desarrollo minero del título Gramalote, cuya licencia ambiental exige el cumplimiento de obligaciones en materia de gestión ambiental, jurídica, técnica y social. En ese sentido, la correcta planificación del uso del suelo para el reasentamiento de las unidades sociales afectadas por dicho proyecto se convierte en un aspecto clave para garantizar la ocupación armónica, legal y sostenible del territorio rural, en consonancia con los lineamientos definidos en el EOT. (Alcaldía Municipal de San Roque, 2022).

En cuanto al corregimiento de Providencia y veredas aledañas, se consideran zonas de protección aquellas que debido a sus características ambientales estratégicas o limitaciones lo suficientemente severas, ameritan restringir su uso, correspondiendo a las que presenten una de las siguientes características:

- Pendiente superior al 75% para la subregión de los Valles de San Nicolás y al 100% para las demás subregiones de la jurisdicción de Cornare.
- Alto riesgo de desastre.
- Alto interés ambiental: Esto incluye áreas de manejo especial, humedales, ciénagas, corredores bióticos, relictos de bosques naturales sin intervenir, santuarios de flora y fauna e hitos naturales y patrimoniales, debidamente delimitados y reglamentados.
- Cobertura en bosque natural intervenido de clasificación bn1 y bn2.
- Áreas de retiro de los cauces y nacimientos de la red hídrica según lineamientos de CORNARE, una vez adoptados por los respectivos Planes de Ordenamiento Territorial (CORNARE, 2020).
- Partes altas de las microcuencas que surten los acueductos municipales, según lo delimite el respectivo Plan de Ordenamiento y Manejo de la Microcuenca (POMCA).
- Suelos de protección (Art. 35 Ley 388 de 1997), constituidos por las zonas y áreas de terrenos que, por sus características geográficas, paisajistas y ambientales, o por formar parte de las zonas de utilidad pública para la ubicación de infraestructuras para la provisión de servicios públicos domiciliarios o de las áreas de amenazas y riesgo no mitigable para la localización de asentamientos humanos, tiene restringida la posibilidad de urbanizarse.

La zonificación rural establecida en el EOT de San Roque evidencia una estrategia diferenciada de uso del suelo, que busca equilibrar el aprovechamiento económico de los recursos naturales con la protección del patrimonio ambiental y cultural del municipio.

Las áreas de protección ambiental son las más restrictivas, donde predominan usos conservacionistas y se prohíben actividades de alto impacto. Por otro lado, las áreas de desarrollo restringido permiten la producción agropecuaria, minería legal y actividades complementarias, siempre que cumplan criterios de sostenibilidad y regulación ambiental.

En cuanto al Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) establecido en Yolombó (Alcaldía de Yolombó, 2021), el cual se encuentra vigente mediante el acuerdo No. 006 de mayo 2021, para el suelo presente en la vereda Guacharacas, presente en el área de influencia del medio abiótico, presenta los siguientes usos:

- Pastoreo semi-intensivo (PSI)
- Sistemas silvopastoriles (ASP)
- Protección
- Sistemas agrosilvopastoriles (ASP)
- Cultivos transitorios intensivo (CTI)

Por otra parte, el instrumento de ordenamiento territorial clasifica los suelos rurales en tratamientos generales, como es: Conservación/Protección CPA, Actividades Sostenibles GASR y Recuperación Múltiple. Para las cuales prioriza el uso de sostenibilidad agropecuaria con restricciones ambientales. Según EOT Yolombó (2021), vereda Guacharacas presenta usos rurales mosaico:

- Pastoreo semi-intensivo (PSI) y sistemas silvopastoriles (ASP): Ganadería sostenible (GASR).
- Protección ambiental (CPA): Rondas hídricas/nacimientos - minería prohibida.
- Sistemas agrosilvopastoriles (ASP) y cultivos transitorios intensivos (CTI): Producción diversificada condicionada.

Tabla 5.1.4.42 Usos específicos del suelo Vereda Guacharacas

Uso	Tratamiento EOT	Compatibilidad Minería	Restricciones Clave
Pastoreo Semi-Intensivo (PSI)	GASR	Condicionada	Prohibido intensivo; retiros hídricos 30m
Sistemas Silvopastoriles (ASP)	GASR / Recuperación para Uso Múltiple de Sistemas Productivos (RUM)	Compatible	Enriquecimiento nativas; no tala rasa
Protección	CPA	Prohibida	Conservación estricta, 1 viv/52 ha
Agrosilvopastoril (ASP)	GASR / Recuperación para Uso Múltiple de Sistemas Productivos (RUM)	Condicionada	Corredores biológicos
Cultivos Transitorios Intensivos (CTI)	GASR	Condicionada	Planes agroecológicos, control erosión

Fuente: (Alcaldía de Yolombó, 2021).

5.1.4.4.8 Determinantes ambientales

En Colombia, los determinantes ambientales son directrices, lineamientos, restricciones y orientaciones técnicas que las autoridades ambientales (como las Corporaciones Autónomas Regionales, el IDEAM, el IGAC, Parques Nacionales Naturales, entre otras) deben establecer obligatoriamente para ser incorporadas en los instrumentos de planificación y ordenamiento territorial (como los POT, PBOT, EOT, POMCA, etc.).

Estos determinantes se definen en el marco del artículo 10 de la Ley 388 de 1997, modificado por la Ley 1454 de 2011, y reglamentado por el Decreto 1077 de 2015 (Decreto Único Reglamentario del sector Vivienda, Ciudad y Territorio), y son obligatorios para las entidades territoriales.

Es por esto por lo que, los determinantes ambientales se crean con el objetivo de garantizar que el desarrollo urbano, rural y territorial se haga respetando los límites ecológicos del territorio, asegurando la protección del medio ambiente, la biodiversidad, los ecosistemas estratégicos, la gestión del riesgo y la sostenibilidad del uso del suelo. En ese sentido, los determinantes ambientales incluyen:

- Áreas protegidas (como Parques Nacionales Naturales, reservas forestales, humedales RAMSAR, etc.).
- Zonas de riesgo (alto riesgo por remoción en masa, inundación, avenidas torrenciales, etc.).
- Zonas de recarga y rondas hídricas (fuentes hídricas, acuíferos, nacimientos, etc.).
- Áreas de importancia para la conservación de la biodiversidad.
- Usos del suelo definidos por estudios agroecológicos o de capacidad de uso del IGAC.
- Áreas de protección de cuerpos de agua, reservas de biosfera, áreas RAMSAR, entre otros.
- Suelos de protección y conservación.
- Zonas de amenaza y riesgo identificadas en estudios de gestión del riesgo.

En la subsección I del Acuerdo No. 16 de 05 de enero de 2022, señala los determinantes ambientales a las áreas de protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, las cuales se acogen en el Esquema de Ordenamiento Territorial como suelos de protección del medio ambiente y los recursos naturales conforman lo dispuesto en el artículo 35 de la Ley 388 de 1997 y el numeral 1 del artículo 2.2.2.2.1.3 del Decreto único Reglamentario 1077 de 2015, correspondientes a:

- Áreas de reserva forestal
 - Reserva Forestal Protectora Regional La Montaña
 - Reserva Forestal Protectora Regional San Lorenzo
- Áreas de especial importancia ecosistémica
 - Embalse San Lorenzo
 - Rondas hídricas
 - Zonas de amenaza alta

- Pendientes mayores al 75% incluye las zonas localizadas en los suelos rurales suburbanos dispuestos para el proyecto minero de oro a cielo abierto Gramalote
- POMCA Rio Nare
- Otras áreas de especial importancia ecosistémica: Predios adquiridos por la Administración Municipal de San Roque y/o Acueductos Veredales para la protección hídrica.

En donde, de acuerdo con el mapa EOT F CG 04 Áreas de protección y conservación ambiental del EOT, las veredas: Guacas Abajo, Peñas Azules, La María, El Diluvio, El Iris y La Linda en donde se ubica el área de influencia de suelos, se presentan restricciones por:

- Pendientes >75%
- Protección de infraestructura de Servicios Públicos y/o Servicios Públicos Primarios (SSPP)
- Rondas hídricas.

En la Figura 5.1.4.23, se ilustran los determinantes ambientales en categoría de protección para el uso del suelo por el EOT.

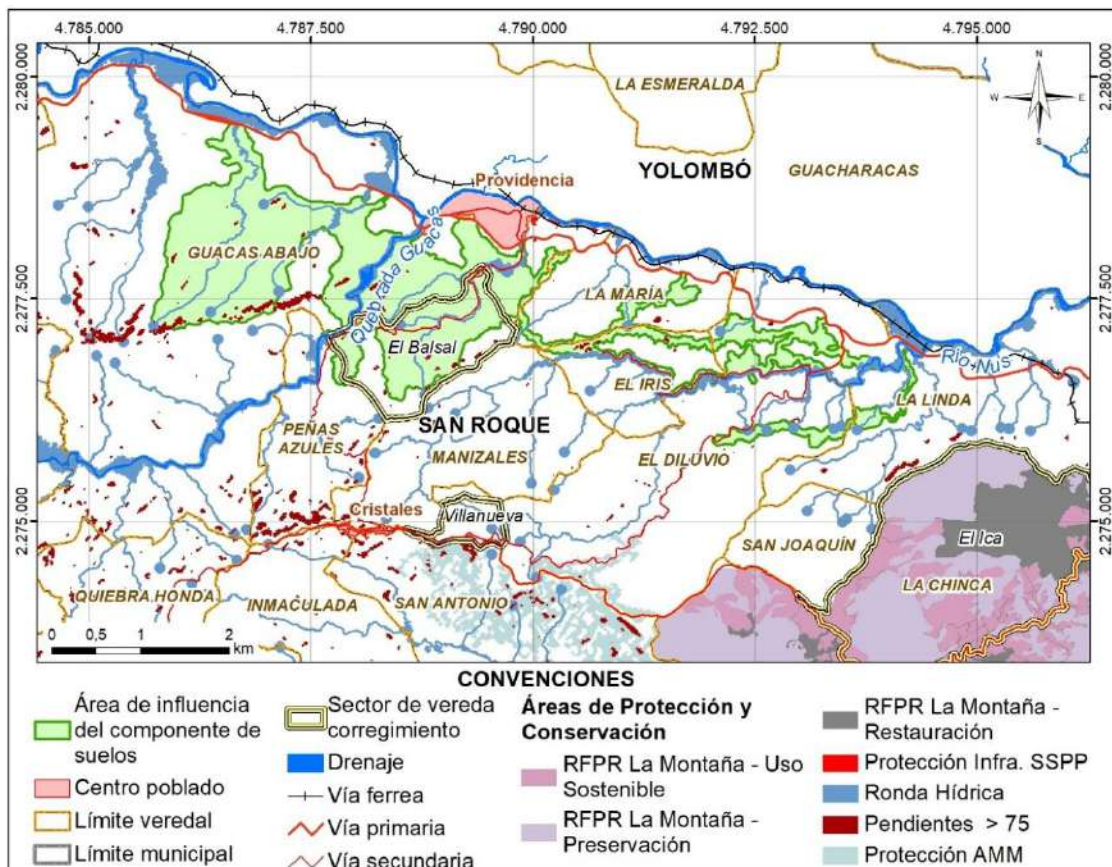


Figura 5.1.4.23 Determinantes Ambientales del EOT de San Roque

Fuente: Integral S.A., 2025 con información de la (Alcaldía Municipal de San Roque, 2022)

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se definen los principales lineamientos:

- Preservación de suelos de alto valor ecológico y alta fragilidad ambiental, especialmente aquellos localizados en zonas de ronda hídrica, pendientes superiores al 75%, áreas de restauración ecológica y zonas de recarga hídrica. Estos suelos deben ser clasificados bajo la categoría de protección y excluidos de usos productivos o edificatorios intensivos.
- Los suelos con pendientes >75%, presentarán un área bajo la categoría de protección.
- Los suelos dedicados a la Protección de infraestructura de Servicios Públicos y/o Servicios Públicos Primarios (SSPP), presentarán un área bajo la categoría de protección.
- Para las rondas hídricas, catalogadas como zonas de protección y conservación: de acuerdo con el acuerdo 251 de 2011 de Cornare, para efectos de reglamentación de las rondas hídricas se adopta el criterio para la delimitación de estas, aquellas asociadas al periodo de retorno correspondiente a los 100 años. Cuando la mancha de inundación para el periodo de retorno de 100 años sea inferior a los 30 metros, la ronda hídrica será de treinta (30) metros. Y cuando la mancha de inundación para el factor de retorno de los cien años sea superior a los 30 metros de la faja de protección, la ronda hídrica corresponderá a la mancha de inundación.
- Para las rondas hídricas de nacimientos de agua: Los nacimientos de agua y su área periférica de 100 metros, se constituyen como ecosistemas estratégicos y áreas de especial importancia ecológica que deben ser zonificadas como suelos de protección, cuyo uso principal es la conservación de los suelos y la restauración de la vegetación. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

Por su parte, dentro del esquema de ordenamiento territorial del municipio de Yolombó (Alcaldía de Yolombó, 2021), se identifican los siguientes determinantes ambientales que regulan el uso del suelo:

- Estructura Ecológica Principal (EEP/CPA): Rondas hídricas (30m retiro), nacimientos (100m radio), DMI Cañón Alicante y áreas de protección, donde la minería está prohibida.
- Conflictos suelo (RUM): Sobreutilización ganadera extensiva, lo que exige reconversión obligatoria a sistemas silvopastoriles (ASP) y agrosilvopastoriles.
- Las clases agrológicas con pendientes 50-75%, especial en suelos de Andisol/Inceptisol profundos, en grupo de infiltración A, con limitaciones por erosión que requieren planes manejo.
- Amenazas geológicas: Movimientos masa, inundaciones las cuales requiere de estudios detalle previos para intervenciones.
- Servicios ecosistémicos: Regulación hídrica, conectividad biológica, mediante corredores ecológicos obligatorios en Pastoreo Semi-Intensivo PSI, Sistemas Silvopastoril (ASP) y en Cultivos Transitorios Intensivos (CTI).

5.1.4.5 Clasificación agrológica

La clasificación agrológica agrupa los suelos con el mismo grado de limitaciones y riesgos. Los criterios para esta clasificación tienen que ver con la capacidad de uso según tres grupos¹:

- Tierras con capacidad de uso para agricultura y ganadería tecnificada. Actividades de tipo intensivo y semi intensivo y/o forestal (clase I a IV).
- Tierras para ser usadas en forma restringida. Uso para actividades agrícolas, ganaderas, agroforestales y/o forestales (clase V a VI).
- Tierras que deben ser usadas solo en preservación, conservación y ecoturismo (Clase VIII).

En la Tabla 5.1.4.43, se presenta la distribución de clases agrológicas y su descripción. La clase agrológica dominante es la VI con un área de ocupación de 68,50% en el área de influencia componente suelo y 53,00 % en el área de influencia medio abiótico.

Tabla 5.1.4.43 Distribución de las clases agrológicas en el área de influencia del medio abiótico y del componente suelos

Clase Agrológica	Descripción	Área de influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
		Ha	%	Ha	%
Clase agrológica III	Tierras con moderadas limitaciones y restricciones para el uso por erosión, pendiente, suelo, humedad o daño, solos o combinados. Estas limitaciones disminuyen las posibilidades de selección de cultivos y las épocas de siembra. Implica prácticas adecuadas de labranza y cosecha.	13,99	1,99	208,51	8,36
Clase agrológica VI	Tierras con limitaciones muy severas, por lo que son aptas solo para algunos cultivos semi perennes o perennes, semi densos y densos. Se pueden desarrollar sistemas agroforestales y forestales.	481,68	68,50	1.322,56	53,00

¹ IGAC. Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso. Grupo interno de trabajo levantamiento de suelos. 2010.

Clase Agrológica	Descripción	Área de influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
		Ha	%	Ha	%
Clase agrológica VII	Tierras con limitaciones fuertemente severas, que las hacen inadecuadas para cultivos. Tienen aptitud forestal. La cobertura vegetal permanente de múltiples estratos es necesaria dada la muy alta susceptibilidad de los suelos al deterioro.	199,84	28,42	885,36	35,48
Cuerpos hídricos y otras áreas	Cuerpos hídricos dentro del área de influencia, superficies urbanizadas	7,68	1,09	78,85	3,16
Total		703,18	100,00	2.495,27	100,00

Fuente: Integral S.A., 2025

De acuerdo a la clasificación IDEAM, U.D.C.A, & MADS (2015), los parámetros de uso de suelo establecido por la ANLA y el IGAC (2014) se definieron las características propias del suelo en cada subzona de estudio, con un nivel de detalle 1:10.000, se encontraron las clases agrológicas III, VI y VII y a su vez se encontraron las subclases h (humedad), p (pendiente), s (suelo) y e (erosión) que hacen referencia a la condición o limitación de la zona, con las cuales se sugieren los grupos de manejo para cada tipo de suelo, con un número arábico, según las necesidades. A continuación, se clasifica según el subgrupo.

- Clase agrológica III – Subgrupo 3e-1

La clase agrológica III presenta la subclase e, ya que el suelo tiene limitaciones asociadas con la pendiente y la erosión (e). Se trata de laderas de baja a moderada inclinación, con erosión ligera a moderada y suelos profundos pero ácidos. Los suelos son principalmente Inceptisoles y Andisoles profundos, de texturas franco a franco arcillo-arenosas, ácidos y de fertilidad baja a moderada, ubicados en laderas de baja a moderada inclinación con erosión ligera a moderada. El grupo de manejo se orienta a sistemas agropecuarios con conservación de suelos (barreras vivas, coberturas permanentes) y corrección de pH y nutrientes, especialmente fósforo y potasio (3e-1).

- Clase agrológica III – Subgrupo 3e-3

La clase agrológica III presenta la subclase e, ya que el suelo presenta limitaciones marcadas por pendiente y erosión (e) en laderas cercanas al límite superior de la clase, donde se observan procesos erosivos severos y adelgazamiento del horizonte superficial. Los suelos son principalmente Inceptisoles ácidos, de fertilidad baja a moderada y con riesgo de compactación, por lo que el grupo de manejo 3e-3 se orienta a sistemas agrosilvopastoriles muy restringidos, con énfasis en coberturas permanentes, exclusión de cultivos limpios y obras de conservación y estabilización de taludes.

- Clase agrológica III – Subgrupo 3p-1

La clase agrológica III presenta la subclase p, debido a limitaciones por pendiente (p). Corresponde a laderas moderadas a ligeramente escarpadas, con riesgo de erosión hídrica.

Los suelos son Inceptisoles bien drenados, de estructura en bloques subangulares finos, profundidad efectiva alrededor de 40 cm y acidez marcada, dispuestos en laderas moderadas a ligeramente escarpadas con riesgo de escorrentía. El grupo de manejo consiste en uso agrosilvopastoril con labranza mínima, curvas a nivel y fertilización de mantenimiento sobre suelos de baja a moderada capacidad de intercambio catiónico (3p-1)

- Clase agrológica III – Subgrupo 3es-1

La clase agrológica III presenta la subclase es, debido a limitaciones por erosión (e) y propiedades del suelo (s). Corresponde a laderas moderadas con escorrentía y suelos cidos de fertilidad baja, con riesgo erosivo y deficiencias químicas. Los suelos son Inceptisoles bien drenados, textura franco arcillosa, profundidad 50-80 cm, pH ácido (4.9-5.5), alta saturación Al y CICE baja-moderada, en pendientes moderadas con erosión laminar inicial. El grupo de manejo consiste en agrosilvopastoril con labranza mínima, encalado correctivo, curvas a nivel y fertilización (P, K) sobre suelos de moderada capacidad catiónica (3es-1).

- Clase agrológica III – Subgrupo 3pe-1

La clase agrológica III presenta la subclase pe, debido a limitaciones por pendiente (p) y erosión (e). Corresponde a laderas moderadas a escarpadas con escorrentía superficial moderada-alta y procesos erosivos como laminar y surcos iniciales. Los suelos son Inceptisoles bien drenados, de texturas franco arcillo arenosas a franco arenosas, profundidad efectiva 40-70 cm, pH moderadamente ácido (5.1-5.9), estructura en bloques subangulares finos-medios, CICE baja-moderada (2.5-10 cmol/kg) y evidencias de erosión por arrastre, dispuestos en pendientes moderadas con riesgo de escorrentía. El grupo de manejo consiste en sistemas agrosilvopastoriles con labranza mínima, curvas a nivel, barreras vivas, coberturas permanentes y fertilización correctiva (P, K, encalado) sobre suelos de moderada capacidad de intercambio catiónico (3pe-1)

- Clase agrológica VI – Subgrupo 6e-1

La clase agrológica VI presenta la subclase e, debido a limitaciones severas por erosión (e). Corresponde a pendientes fuertes con procesos erosivos avanzados, donde el suelo se ha adelgazado y muestra alta vulnerabilidad a degradación. Los suelos son Entisoles e Inceptisoles en pendientes fuertes, con profundidad efectiva baja, fragmentos rocosos en el perfil, pH muy ácido y baja saturación de bases, afectados por erosión severa laminar, surcos y pequeños deslizamientos. El grupo de manejo consiste en coberturas forestales o silvopastoriles protectoras, exclusión de cultivos intensivos y prácticas obligatorias de conservación sobre suelos de alta vulnerabilidad erosiva (6e-1)

- Clase agrológica VI – Subgrupo 6p-1

La clase agrológica VI presenta la subclase p, con suelos ubicados en laderas de pendiente moderada donde la principal limitante es la inclinación del terreno (p), que incrementa el riesgo de erosión, pero sin llegar a condiciones extremas. Estos suelos corresponden sobre todo a Inceptisoles de moderada profundidad, bien drenados, con texturas de medias a finas, pH fuertemente ácido y fertilidad de baja a moderada, que aún permiten un uso agrosilvopastoril con manejo cuidadoso. El grupo de manejo 6p-1 se orienta a sistemas silvopastoriles y cultivos permanentes con prácticas obligatorias de conservación de suelos (labranza mínima, curvas a nivel, coberturas vivas) y programas de encalado y fertilización correctiva para sostener la productividad.

- Clase agrológica VI – Subgrupo 6p-2

La clase agrológica VI presenta la subclase p, con limitaciones severas por pendiente (p). Son laderas moderadamente fuertes a escarpadas, con erosión hídrica moderada y suelos susceptibles a degradarse bajo usos intensivos, los suelos que predominan son Inceptisoles y Entisoles en relieves moderadamente escarpados, con pendientes fuertes, texturas de medias a finas y evidencias de erosión hídrica moderada. Son suelos muy ácidos, de fertilidad baja y con riesgo de compactación bajo ganadería extensiva, por lo que el grupo de manejo se dirige a sistemas silvopastoriles y forestales, con exclusión de cultivos limpios y obligatoriedad de prácticas intensivas de conservación (6p-2).

- Clase agrológica VI – Subgrupo 6e-3

La clase agrológica VI presenta la subclase e, ya que el suelo tiene limitaciones severas por erosión (e). Son áreas con pendientes fuertes y procesos erosivos avanzados, donde el suelo se ha adelgazado y es altamente vulnerable a nuevos movimientos de masa. Los suelos que se presentan en esta clase corresponden a Entisoles y Inceptisoles en pendientes fuertes, suelos adelgazados o con fragmentos rocosos en el perfil, pH muy ácido y baja saturación de bases, afectados por erosión severa (laminar, surcos y pequeños deslizamientos). El grupo de manejo se restringe a coberturas forestales o silvopastoriles protectoras sobre suelos de baja profundidad efectiva y alta vulnerabilidad a la degradación (6e-3).

- Clase agrológica VI – Subgrupo 6es-1

La clase agrológica VI presenta la subclase es, debido a limitaciones severas por erosión (e) y propiedades del suelo (s). Corresponde a pendientes fuertes (35-70%) con escorrentía superficial alta y evidencias de erosión por arrastre, reptación y escorrentía antrópica. Los suelos son Entisoles (Lithic Ustorthents) con profundidad efectiva 30-40 cm hasta contacto paralítico, texturas franco arenosas a franco arcillo arenosas (arena 46-64%, arcilla 18-28%), pH fuertemente ácido (5.09-5.92), M.O. 5%, CICE variable baja (2.89-10.02 cmol/kg), Al hasta 1.5 meq/100g, estructura bloques subangulares finos-medios en horizontes AP-BA (0-40 cm, color 10YR 4/3-4/6), consistencia suelta a semipegajosa y drenaje alto, con evidencias de erosión media por arrastre y escorrentía en relieves ondulados a pendientes fuertes. El grupo de manejo consiste en coberturas forestales o silvopastoriles extensivas sin labranza, exclusión de cultivos intensivos, barreras vivas, curvas a nivel y fertilización correctiva (P bajo 2.6-2.7 ppm, K, Ca/Mg desbalanceado) sobre suelos de muy baja capacidad catiónica (6es-1)

- Clase agrológica VI – Subgrupo 6es-2

La clase agrológica VI presenta la subclase es, debido a limitaciones severas por erosión (e) y propiedades del suelo (s). Corresponde a laderas fuertes con procesos erosivos avanzados (surcos, reptación, arrastre) y suelos muy delgados con alta pedregosidad, contacto lítico somero y fertilidad muy baja. Los suelos son Entisoles (Lithic Udorthents) poco profundos (25-40 cm hasta CR/saprolito), texturas franco arenosas (arena >70% en algunos), pH extremadamente ácido a neutro (4.89-6.92), M.O. baja-moderada (1-4%), CICE variable (baja), densidad aparente alta (1.4-2.44 g/cm³), porosidad reducida (18-43%), estructura subdesarrollada (bloques subangulares grado bajo), consistencia suelta y drenaje alto en relieves escarpados. El grupo de manejo consiste en forestal protector exclusivo, restauración de cobertura nativa, exclusión total de labranza/cultivos/ganadería intensiva y estabilización de taludes sobre suelos de muy baja capacidad catiónica (6es-2)

- Clase agrológica VI – Subgrupo 6pe-1

La clase agrológica VI presenta la subclase pe, debido a limitaciones severas por pendiente (p) y erosión (e). Corresponde a laderas fuertes a muy escarpadas (35-75%) con escorrentía superficial intensa, contacto paralítico somero y procesos erosivos como arrastre, surcos y movimientos en masa incipientes. Los suelos son Entisoles (Lithic Ustorthents/Udorthents) poco profundos (30-40 cm), texturas franco arenosas (arena 46-64%, arcilla 18-28%), pH fuertemente ácido (5.09-5.92), M.O. 5%, CICE baja-variable (2.89-10.02 cmol/kg), Al hasta 1.5 meq/100g, estructura bloques subangulares finos en AP-BA (color 10YR 4/3-4/6), consistencia suelta-semipegajosa, drenaje alto y evidencias de erosión media-antrópica en relieves ondulados-escarpados. El grupo de manejo consiste en coberturas forestales protectoras, silvopastoril extensivo sin labranza, barreras vivas, exclusión de cultivos y fertilización correctiva (P 2.6-2.7 ppm bajo, K/Ca desbalance) sobre suelos de muy baja capacidad catiónica (6pe-1)

- Clase agrológica VII – Subgrupo 7p-1

La clase agrológica VII presenta la subclase p, con limitaciones muy fuertes por pendiente (p). Son laderas muy inclinadas con riesgo alto de escorrentía y deslizamientos, donde no se recomiendan labores agrícolas y el manejo se orienta casi exclusivamente a bosque protector y recuperación de cobertura; se presenta en suelos mayoritariamente Lithic Ustorthents y Lithic Udorthents, poco profundos, con contactos líticos someros, estructura frágil y acidez alta. Estos suelos tienen escasa capacidad de retención de nutrientes y agua, por lo que el grupo de manejo se orienta casi exclusivamente a bosque protector y restauración de cobertura natural, sin laboreo agrícola (7p-1)

- Clase agrológica VII – Subgrupo 7p-2

La clase agrológica VII presenta la subclase p, ya que el suelo se localiza en laderas muy fuertes donde la pendiente (p) es una limitante muy severa, con alto riesgo de escorrentía concentrada y deslizamientos. Estos suelos son mayoritariamente Entisoles e Inceptisoles poco profundos a moderadamente profundos, fuertemente ácidos, de fertilidad baja y con estructura frágil, por lo que cualquier laboreo o pastoreo intenso acelera la degradación. El grupo de manejo 7p-2 se destina a bosque protector y sistemas silvopastoriles muy controlados, con exclusión de cultivos limpios y obras puntuales de estabilización y drenaje superficial.

- Clase agrológica VII – Subgrupo 7e-3

La clase agrológica VII presenta la subclase e, debido a limitaciones extremas por erosión (e). Corresponde a pendientes muy fuertes con erosión severa y suelos delgados o inestables, en los que solo se admite uso forestal protector y medidas de estabilización y restauración; grupo de manejo 7 (7e-3).

- Clase agrológica VII – Subgrupo 7s-1

La clase agrológica VII presenta la subclase s, ya que el suelo presenta limitaciones por sus propiedades físicas y químicas (s), como fuerte acidez y baja fertilidad, aunque en relieve suave. Son suelos que se caracterizan por ser Inceptisoles muy ácidos, con alta saturación de aluminio, CICE baja, deficiencias de fósforo y bases intercambiables, aun cuando el relieve local pueda ser suave. Estos suelos presentan restricciones químicas severas que encarecen cualquier intento de producción, de modo que el grupo de manejo

prioriza coberturas protectoras, regeneración natural y exclusión de cultivos intensivos (7s-1).

- Clase agrológica VII – Subgrupo 7es-1

La clase agrológica VII presenta la subclase es, debido a limitaciones muy severas por erosión (e) y propiedades del suelo (s). Corresponde a pendientes muy fuertes con suelos extremadamente delgados, rocosos y degradados por erosión avanzada (arrastre intenso, surcos profundos, reptación). Los suelos son Entisoles líticos (Lithic Udorthents) con profundidad efectiva <30 cm hasta roca dura, texturas franco arenosas muy pedregosas, pH ácido extremo (4.8-5.5), M.O. muy baja (<3%), CICE muy reducida (<5 cmol/kg), alta saturación Al (>40%), estructura mínima o ausente, consistencia suelta y drenaje excesivo en relieves escarpados con contacto lítico superficial. El grupo de manejo consiste en protección forestal exclusiva, restauración ecológica, exclusión total de usos agropecuarios y estabilización geotécnica sobre suelos de capacidad catiónica nula (7es-1)

- Clase agrológica VII – Subgrupo 7es-2

La clase agrológica VII presenta la subclase es, ya que combina limitaciones extremas por erosión (e) y por propiedades del suelo (s). Se trata de laderas muy inclinadas o escarpadas, con procesos erosivos severos que han adelgazado el perfil y dejado suelos poco profundos, frecuentemente pedregosos, fuertemente ácidos y de muy baja fertilidad, con presencia de aluminio intercambiable y baja capacidad de intercambio catiónico. El grupo de manejo 7es-2 se orienta a uso forestal protector y restauración, con exclusión de agricultura y ganadería intensiva, priorizando la estabilización de taludes, el control de escorrentía y la recuperación de cobertura vegetal.

- Clase agrológica VII – Subgrupo 7pe-1

La clase agrológica VII presenta la subclase pe, debido a limitaciones muy severas por pendiente (p) y erosión (e). Corresponde a pendientes extremadamente escarpadas (>75%) con suelos líticos superficiales, contacto rocoso inmediato y procesos erosivos intensos como deslizamientos, caídas de bloques y escorrentía catastrófica. Los suelos son Entisoles líticos (Lithic Udorthents) con profundidad efectiva <25 cm hasta macizo rocoso, texturas franco arenosas pedregosas extremas, pH fuertemente ácido (4.9-5.9), M.O. mínima (<2%), CICE nula-baja (<3 cmol/kg), Al tóxico alto, estructura ausente o incipiente, consistencia suelta y drenaje excesivo en relieves muy escarpados con saprolito superficial y evidencias de erosión grave. El grupo de manejo consiste en protección forestal exclusiva, restauración de cobertura nativa densa, exclusión absoluta de cualquier uso agropecuario y obras de estabilización geotécnica sobre suelos de capacidad catiónica nula (7pe-1).

- Clase agrológica VII – Subgrupo 7h-1

La clase agrológica VII presenta la subclase h, por limitaciones asociadas al exceso de humedad (h), asociada a suelos coluvio-aluviales superficiales a moderadamente profundos en vallecitos planos, con nivel freático somero, drenaje externo lento y frecuentes encharcamientos. La fertilidad es baja a moderada, pero el exceso de humedad y la escasa profundidad efectiva limitan fuertemente el uso agrícola, por lo que el grupo de manejo se enfoca en conservación, pasturas tolerantes a humedad y, solo donde sea ambientalmente viable, drenajes superficiales suaves (7h-1).

En la Tabla 5.1.4.44 se presentan los grupos de las clases agrológicas descritos anteriormente que se presentan en el área de influencia del medio abiótico y en el área de influencia del componente suelos.

Tabla 5.1.4.44 Los subgrupos de las clases agrológicas presentes en el área de influencia del medio abiótico y del componente suelos

Clase Agrológica	Descripción	Área de influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
		ha	%	ha	%
Clase agrológica III	3e-1	7,68	1,09	175,38	7,03
	3e-3	1,42	0,20	15,69	0,63
	3p-1	2,73	0,39	16,26	0,65
	3pe-1	-	-	0,01	0,0002
	3es-1	-	-	1,17	0,05
Clase agrológica VI	6e-1	3,55	0,50	237,54	9,52
	6e-3	363,98	51,76	573,40	22,98
	6es-1	4,79	0,68	7,10	0,28
	6es-2	-	-	2,13	0,09
	6p-1	13,03	1,85	76,42	3,06
	6p-2	89,25	12,69	415,24	16,64
	6pe-1	7,09	1,01	10,72	0,43
Clase agrológica VII	7e-3	171,53	24,39	610,51	24,47
	7es-1	-	-	0,72	0,03
	7es-2	-	-	0,50	0,02
	7h-1	-	-	10,11	0,41
	7p-1	27,56	3,92	254,46	10,20
	7p-2	0,69	0,10	1,92	0,08
	7pe-1	-	-	1,09	0,04
	7s-1	0,07	0,01	6,05	0,24
Cuerpos hídricos y otras áreas	Cuerpos hídricos dentro del área de influencia y superficies urbanizadas	7,68	1,09	78,85	3,16
Total		703,18	100,00	2.495,27	100,00

Fuente: Integral S.A., 2025

5.1.4.6 Uso potencial (Vocación de uso)

El uso potencial del suelo se define como el resultado de confrontar las cualidades agronómicas y ambientales de las tierras con los requerimientos de uso. Esto para determinar el uso más apropiado de una unidad de tierra, con el menor riesgo de daño.

El uso potencial se realizó según el método de la “Definición de usos alternativos y sostenibles para la ocupación de las tierras a nivel nacional” (IGAC e IDEAM, 2010). Este método considera la unidad climática (basada en la humedad y piso térmico). También la pendiente, erosión, drenaje, profundidad efectiva y fertilidad. En la

Tabla 5.1.4.45 se observan los diferentes usos potenciales del suelo en el área de influencia abiótica y en el área de influencia del componente suelo, en la Figura 5.1.4.24 se ilustra la especialización de este ítem y en el mapa I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-UPOTSUE se presenta esta información a mayor detalle.

Tabla 5.1.4.45 Uso potencial del suelo en el área de influencia del medio abiótico y del componente suelos

Uso Potencial	Área de influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
	ha	%	ha	%
Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)	23,21	3,30	40,77	1,63
Sistemas forestales protectores (FPR)	661,23	94,03	2.202,82	88,28
Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)	-	-	2,28	0,09
Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS)	0,99	0,14	1,75	0,07
Sistemas agrosilvopastoriles (ASP)	4,62	0,66	43,36	1,74
Pastoreo extensivo (PEX)	4,98	0,71	120,95	4,85
Sistema forestal productor (FPD)	-	-	0,56	0,02
Sistema silvopastoril (SPA)	-	-	0,56	0,02
Asentamientos	2,72	0,39	30,44	1,22
Transporte	0,55	0,08	10,51	0,42
Cuerpos de Agua Naturales	4,88	0,69	41,29	1,65
Total	703,18	100,00	2.495,27	100,00

Fuente: Integral S.A., 2025

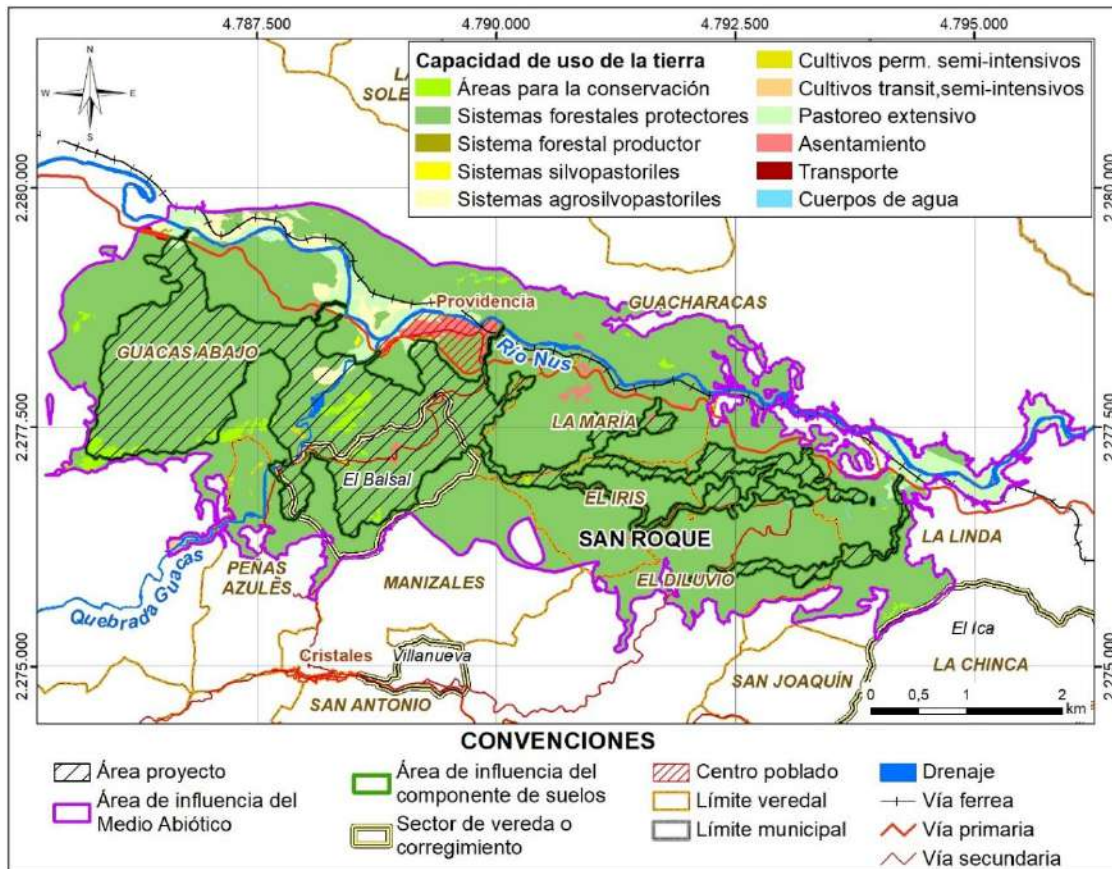


Figura 5.1.4.24 Uso potencial del suelo en las áreas de influencia

Fuente: Integral S.A., 2026

La definición de los usos potenciales identificados tanto en el área de influencia del medio abiótico como en el área de influencia del componente suelos y uso de la tierra, parte de la zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia (CORPOICA, 2002), la cual se presenta a continuación:

5.1.4.6.1 Áreas para la conservación y/o recuperación de la naturaleza, recreación (CRE)

Esta categoría corresponde a tierras altamente degradadas por usos agropecuarios inadecuados, localizadas en crestas, crestones y espinazos montañosos, dunas o relieves escarpados sin suelo desarrollado, con suelos superficiales, bien drenados y pisos térmicos variados en zonas áridas a secas. Requieren planes de recuperación para restaurar cobertura vegetal, biodiversidad y estabilidad, mediante regeneración natural, control de erosión (salinización, remoción en masa) y prácticas mecánicas que detengan procesos degradativos, priorizando conservación sobre cualquier uso productivo. En el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra esta representa el 3,30% (23,21 ha) y en el área de influencia del medio abiótico esta representa el 1,63% (40,77 ha).

De acuerdo con las características de los suelos identificadas en el presente estudio, estas áreas corresponden principalmente a: Inceptisoles y Entisoles poco profundos (Lithic Ustorthents, Lithic Udorthents) desarrollados sobre rocas ígneas y metamórficas, con horizontes delgados, contactos líticos someros y fuerte pedregosidad. Presentan pendientes moderadamente escarpadas a fuertemente escarpadas, procesos de erosión laminar, surcos, reptación y pequeños deslizamientos, que han adelgazado el horizonte A y reducido la capacidad de retención de agua y nutrientes.

5.1.4.6.2 Sistemas forestales protectores (FPR)

Son tierras que, por su ubicación y condiciones físicas, deben destinarse de forma casi exclusiva a la protección de los recursos naturales, más que a cualquier uso productivo.

En zonas de montaña y lomerío corresponden a laderas moderadamente fuertes a muy escarpadas, con pendientes mayores al 50%, suelos muy poco profundos (menos de 25 cm), de fertilidad muy baja, con abundantes rocas y piedras en la superficie y con erosión activa de distintos grados. Estas condiciones hacen que la agricultura, la ganadería y las plantaciones forestales comerciales sean ambiental y económicamente inviables.

En valles y planicies se trata de áreas planas o plano-cóncavas, con pendientes hasta del 3%, que se inundan con frecuencia y por largos periodos, con suelos de drenaje deficiente a pantanoso y vegetación adaptada a ambientes encharcados. Suelen coincidir con nacimientos de ríos y quebradas, rondas hídricas, zonas de recarga e infiltración, franjas para el control de avenidas torrenciales y sectores muy susceptibles a movimientos en masa, además de áreas con alta biodiversidad y función ecosistémica.

Por todo ello, estas tierras deben mantenerse cubiertas permanentemente con bosque natural, plantaciones forestales de protección u otra vegetación natural o establecida. El objetivo principal es el efecto protector del suelo, del agua y de la biodiversidad; solo se admite producción indirecta (frutos, productos secundarios, uso recreativo o educativo), siempre que no implique la eliminación temporal o definitiva del bosque.

Los sistemas forestales protectores (FPR) encajan muy bien con varios de los suelos que has clasificado en clases VI y VII, donde la pendiente fuerte, la erosión y las limitantes del

perfil hacen inviable un uso productivo sostenido. Bajo la vocación FPR, el uso potencial se orienta a bosque protector y restauración ecológica: consolidar y ampliar coberturas arbóreas y arbustivas nativas para estabilizar taludes, reducir la escorrentía y mejorar la infiltración, proteger nacimientos y cauces, y mantener la biodiversidad local. Las intervenciones productivas se limitan a aprovechamientos muy ligeros y de bajo impacto (por ejemplo, recolección no maderable o actividades de educación y recreación pasiva), priorizando siempre la función protectora del suelo y de la cobertura vegetal sobre cualquier propósito de producción. En el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra esta representa el 94,03% (661,23 ha) y en el área de influencia del medio abiótico esta representa el 88,28% (2.202,82 ha).

5.1.4.6.3 Cultivos transitorios semi-intensivos (CTS)

Esta categoría de uso potencial corresponde a cultivos anuales (maíz, frijol, hortalizas, etc.) establecidos en suelos relativamente buenos, donde se aprovecha bien el clima y el suelo, pero sin llegar al nivel de intensificación de un sistema altamente tecnificado. Los suelos identificados están formados sobre materiales coluviales, aluviales y rocas ígneas o metamórficas meteorizadas, que han desarrollado perfiles moderadamente profundos a profundos, con texturas de francas a franco arcillo-arenosas y estructura en bloques subangulares que favorece la infiltración y el drenaje. Presentan pH de moderadamente a fuertemente ácido, pero con contenidos de materia orgánica de medios a altos y una capacidad de intercambio catiónico baja a moderada que, con manejo adecuado de encalado y fertilización, permite sostener rendimientos aceptables de cultivos anuales.

De acuerdo con lo anterior, los suelos que se han identificado que presenten buena profundidad efectiva, drenaje de moderado a bueno, pendientes suaves y fertilidad recuperable, el uso potencial de cultivos transitorios semi-intensivos es viable siempre que se combine con un paquete mínimo de conservación de suelos y manejo químico (encalado, fósforo, potasio y micronutrientes) que evite degradar la base edáfica y permita sostener la productividad en el tiempo. En el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra no se presenta este uso potencial y en el área de influencia del medio abiótico esta representa el 0,09% (2,28 ha).

5.1.4.6.4 Cultivos permanentes semi-intensivos (CPS)

Son tierras en laderas y valles con pendientes moderadas, suelos poco a moderadamente profundos, bien drenados, pero de fertilidad baja a moderada, con erosión ligera a moderada y algo de pedregosidad. Por estas limitaciones se recomiendan cultivos permanentes manejados en forma semiintensiva (como caña panelera, café y frutales), con labores principalmente manuales y fuerte énfasis en conservar la cobertura y aplicar prácticas de conservación de suelos. En el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra esta representa el 0,14% (0,99 ha) y en el área de influencia del medio abiótico esta representa el 0,07% (1,75 ha).

5.1.4.6.5 Sistemas agrosilvopastoriles (ASP)

Son tierras donde, por las condiciones de clima, relieve y suelo, no conviene dedicar el terreno solo a agricultura o solo a ganadería, sino combinar cultivos, árboles y pasturas en un mismo sistema.

Se ubican principalmente en climas húmedos y muy húmedos de pisos cálido, medio y frío, en laderas de montaña y lomeríos con pendientes entre 25 y 50%, así como en

piedemontes, altillanuras, planicies y valles con pendientes suaves (hasta cerca del 7%). Los suelos pueden ser desde profundos hasta relativamente superficiales, con drenaje de bueno a imperfecto y fertilidad en general baja, a menudo afectados por erosión moderada, pedregosidad, encharcamientos frecuentes o altos contenidos de aluminio.

Por estas limitaciones, el uso recomendado es un sistema agrosilvopastoril: una combinación ordenada de cultivos agrícolas, árboles (maderables o frutales) y pastos, donde el ganado aprovecha las coberturas sin dejar el suelo desnudo. Ejemplos típicos son frutales con pasturas bajo copa, café bajo sombrío con pastos en franjas, o asociaciones de bambú, árboles y pasturas, manejados con rotación de potreros y cosechas de baja intensidad. En el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra esta representa el 0,71% (4,98 ha) y en el área de influencia del medio abiótico esta representa el 4,85% (120,95 ha).

5.1.4.6.6 Pastoreo extensivo (PEX)

Son tierras donde el único uso razonable es tener ganado con muy baja carga animal, aprovechando pastos naturales y con muy poca intervención del suelo.

Se encuentran en climas cálidos, medios y fríos, en terrenos planos a moderadamente ondulados con pendientes menores a 25%, sobre suelos poco profundos, de fertilidad muy baja y drenaje que puede ir de bueno a pobre, a menudo con erosión moderada, pedregosidad, salinidad, aluminio tóxico o inundaciones frecuentes.

Por estas limitaciones no son aptas para agricultura ni ganadería intensiva; el manejo debe centrarse en evitar el sobrepastoreo y las quemadas, y en mejorar la cobertura mediante la introducción de especies forrajeras y algunos árboles dispersos. En el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra esta representa el 0,71% (4,98 ha) y en el área de influencia del medio abiótico esta representa el 4,85% (120,95 ha).

5.1.4.6.7 Sistemas silvopastoriles (SPA)

Los suelos con potencial para sistemas silvopastoriles son aquellos que permiten integrar árboles, pastos y ganado de manera sostenible, mejorando la productividad y restaurando la degradación. Estos suelos suelen ser profundos, con buen drenaje y pendientes moderadas, ideales para pastoreo extensivo, semi-intensivo o intensivo combinado con especies arbóreas.

En el área de influencia del medio abiótico esta representa el 0,56% (0,02 ha) y en el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra esta representa no se presenta este tipo de uso.

5.1.4.6.8 Sistema forestal productor (FPD)

Son tierras con vocación forestal productora ubicadas desde pisos fríos hasta cálidos, principalmente en zonas muy húmedas, sobre laderas de montaña y lomeríos con pendientes moderadas a fuertes y en piedemontes y valles con pendientes suaves; sus suelos, de 25 a 100 cm de profundidad, con drenaje de pobre a bueno y fertilidad baja a moderada, permiten establecer bosques comerciales donde se aprovecha madera y productos secundarios (gomas, resinas, frutos), siempre bajo planes silviculturales estrictos que limiten la apertura del dosel, prevengan erosión y deslizamientos y aseguren la regeneración del bosque y la conservación de sus funciones ecológicas a largo plazo. En

el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra no se presenta este uso principal y en el área de influencia del medio abiótico esta representa el 0,02% (0,56 ha).

Los usos por asentamiento, transporte y cuerpos de agua no constituyen un suelo aprovechable o de potencial agrologico, por ende, no se describen en este ítem, pero se presentan en el territorio.

Por otra parte, el uso potencial más representativo en el área de influencia medio abiótico corresponde a Sistemas forestales protectores (FPR) con 2.202,80 ha (88,28%), así como para el área del componente suelos 661,21 ha (95,03%).

5.1.4.7 Conflicto del uso del suelo y del territorio

Para definir los conflictos por usos del suelo se superpusieron los mapas de uso actual y uso potencial, según la utilización adecuada o no que se hace en el suelo, de acuerdo con los limitantes y requerimientos de este. En la Figura 5.1.4.25 y en el mapa I-M-10719-GCLMEIA2-V1-CAI-05-UCONFSUE se presentan los conflictos de uso del suelo en el área de influencia.

El conflicto de uso se realizó según el método de la Zonificación de los conflictos de uso de las tierras del país. Capítulo IV: Uso adecuado y conflictos de uso de las tierras en Colombia” (CORPOICA & IGAC., 2002). Esta clasifica los conflictos de uso en:

- Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado (A)
- Conflicto por subutilización ligera (S1)
- Conflicto por subutilización moderada (S2)
- Conflicto por subutilización severa (S3)
- Conflicto por sobreutilización ligera (O1)
- Conflicto por sobreutilización moderada (O2)
- Conflicto por sobreutilización severa (O3)

De acuerdo con la Tabla 5.1.4.46, el valor más representativo en las áreas de influencia tanto del medio abiótico como del componente con el 46,91% y el 56,20%, respectivamente son las tierras sin conflicto de uso o uso adecuado, seguida del conflicto por sobreutilización moderada (37,36% y el 27,28%, respectivamente).

Tabla 5.1.4.46 Áreas de conflicto de uso del suelo

Conflicto De Uso	Nomenclatura	Área de influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
		ha	%	ha	%
Conflicto por subutilización ligera	S1	-	-	-	-
Conflicto por subutilización moderada	S2	0,36	0,05	4,18	0,17
Conflicto por subutilización severa	S3	2,26	0,32	32,53	1,30
Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado	A	395,17	56,20	1.170,61	46,91
Conflicto por	O1	12,61	1,79	23,56	0,94

Conflicto De Uso	Nomenclatura	Área de influencia suelos		Área de influencia medio abiótico	
		ha	%	ha	%
sobreutilización ligera					
Conflicto por sobreutilización moderada	O2	191,84	27,28	932,36	37,36
Conflicto por sobreutilización severa	O3	100,94	14,36	332,24	13,31
Total		703,18	100,00	2.495,27	100,00

Fuente: Integral S.A., 2026

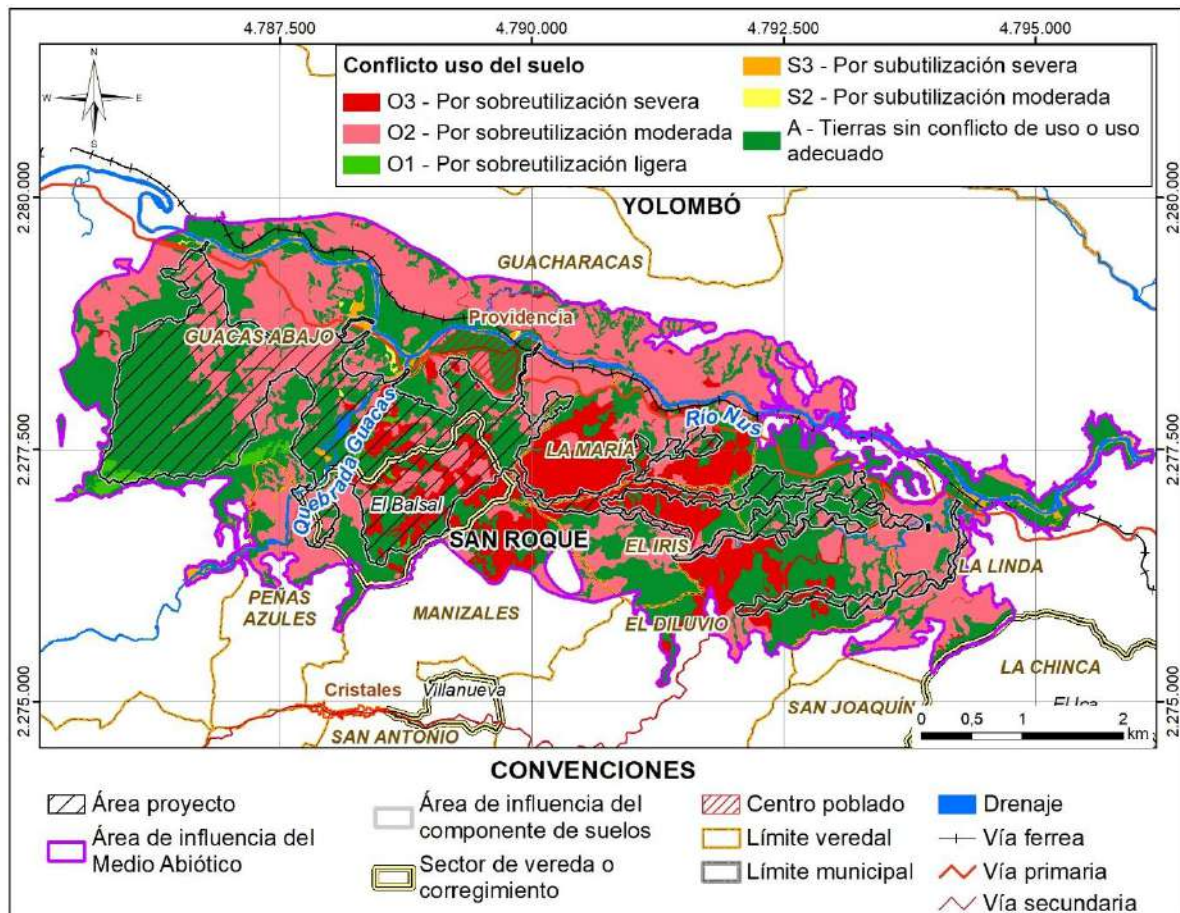


Figura 5.1.4.25 Conflicto de uso del suelo en las áreas de influencia

Fuente: Integral S.A., 2026 a partir de (CORPOICA & IGAC., 2002)

Teniendo en cuenta la descripción Zonificación de los conflictos de uso de las tierras del país. Capítulo IV: Uso adecuado y conflictos de uso de las tierras en Colombia” (CORPOICA & IGAC., 2002). A continuación, se presenta la descripción de los tipos de conflictos y su representatividad en el área de influencia tanto abiótica como en el componente suelos.

5.1.4.7.1 Tierras sin conflicto de uso o uso adecuado (A)

Son tierras donde el uso actual coincide con su vocación y capacidad productiva: el tipo de cultivo, pastoreo o cobertura que existe es adecuado para las condiciones del suelo y del

relieve, no genera degradación apreciable ni conflictos ambientales y puede mantenerse en el tiempo sin superar los límites naturales del ecosistema. En el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra esta representa el 56,20% (395,17 ha) y en el área de influencia del medio abiótico esta representa el 46,91% (1.170,61 ha).

5.1.4.7.2 Conflicto por subutilización ligera (S1)

Son tierras donde el uso actual es adecuado y compatible con su vocación, pero se está aprovechando a una intensidad menor de la recomendada; es decir, podrían sostener un manejo algo más intensivo o diversificado. En el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra y en el área de influencia del medio abiótico este tipo de conflicto no se presenta.

5.1.4.7.3 Conflicto por subutilización moderada (S2)

Son tierras donde el uso actual está dos niveles por debajo de la vocación principal recomendada, según su capacidad productiva natural; lo que sugieren un sub-aprovechamiento significativo que podría ajustarse con evaluaciones más precisas. En el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra este conflicto de uso esta representa el 0,05% (0,36 ha) y en el área de influencia del medio abiótico esta representa el 0,17% (4,18 ha).

5.1.4.7.4 Conflicto por subutilización severa (S3)

Son tierras con subutilización severa (S3), donde el uso actual está tres o más niveles por debajo de la vocación principal recomendada según su capacidad productiva, lo que indica un desaprovechamiento extremo que requiere evaluación para optimizar su potencial natural. En el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra esta representa el 0,32% (2,26 ha) y en el área de influencia del medio abiótico esta representa el 1,30% (32,53 ha).

5.1.4.7.5 Conflicto por sobreutilización ligera (O1)

Son tierras con sobreutilización ligera (O1), donde el uso actual se acerca a la vocación principal pero excede en un nivel de intensidad el manejo recomendado y los usos compatibles. En el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra este conflicto de uso esta representa el 1,79% (12,61 ha) y en el área de influencia del medio abiótico esta representa el 0,94% (23,56 ha).

5.1.4.7.6 Conflicto por sobreutilización moderada (O2)

Son tierras con sobreutilización moderada (O2), donde el uso actual supera en dos niveles la vocación principal recomendada según su capacidad productiva, mostrando a menudo signos visibles de deterioro como procesos erosivos activos. En el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra esta representa el 27,28% (191,84 ha) y en el área de influencia del medio abiótico esta representa el 37,36% (932,36 ha).

5.1.4.7.7 Conflicto por sobreutilización severa (O3)

Son tierras con sobreutilización severa (O3), donde el uso actual excede en tres o más niveles la vocación principal recomendada según su capacidad productiva, evidenciando degradación avanzada como erosión severa, pérdida marcada de productividad y procesos de salinización, entre otros. En el área de influencia del componente suelo y uso de la tierra

esta representa el 14,36% (100,94 ha) y en el área de influencia del medio abiótico esta representa el 13,31% (332,24 ha).

5.1.4.8 Estado de degradación de los suelos

La evaluación del estado de degradación de los suelos en el municipio de San Roque, Antioquia, especialmente en el área de influencia del componente suelo, constituye un componente clave en el análisis ambiental, dado su papel en la sostenibilidad de los ecosistemas y de las actividades productivas rurales. Este diagnóstico se realizó con base en la información caracterizada en el capítulo de 5.1.2 Geomorfología en el que se realizó un análisis e identificación de la evolución de los procesos morfodinámicos. En el que se analizaron movimientos en masa y procesos erosivos. En donde se observó que la ocurrencia de procesos morfodinámicos tiene que ver con diferentes condiciones. Algunos de estos procesos han sido detonados por intervención antrópica (explotación minera artesanal, cortes viales, cultivos, etc.).

En este estudio se identificaron procesos de erosión laminar y concentrada (surcos y cárcavas), con alta densidad hacia el cerro Gramalote como resultado de la actividad minera artesanal, cicatrices de deslizamientos y deslizamientos activos, localizados en laderas escarpadas. También zonas de empozamiento de agua cercanas a surcos y flujos de agua. Además, procesos de reptación por sobrepastoreo en laderas suaves a medias. Procesos de sedimentación activa en las zonas cercanas a las corrientes que drenan el relieve y al río Nus y también procesos de socavación lateral.

Considerando la información del análisis integral de los procesos morfodinámicos y el estado de los suelos por medio de las calicatas, permitió identificar fenómenos que inciden directamente en la degradación de los suelos, tales como:

- Erosión: Se evidenciaron procesos de erosión laminar, en surcos y cárcavas, y movimientos en masa (deslizamientos y cicatrices antiguas/recientes). Los principales factores asociados incluyen pendientes pronunciadas, baja cobertura vegetal, efectos de cambios de uso del suelo y prácticas de minería artesanal. El monitoreo y mapeo multitemporal mostraron incremento de áreas afectadas en zonas intervenidas y tendencia a la estabilización en áreas con recuperación de cobertura vegetal.
- Remoción en masa: Se identificaron 27 deslizamientos activos y más de 287 cicatrices de remoción antigua en el área de influencia del medio abiótico, lo que ratifica una susceptibilidad alta a procesos gravitacionales, especialmente en vertientes inclinadas y suelos poco consolidados.
- Compactación: Los perfiles de suelo presentan densidades aparentes entre 1,4 y 2,4 g/cm³ (ver Tabla 5.1.4.47), con limitaciones de aireación y desarrollo radicular, lo cual favorece la escorrentía superficial y reduce la fertilidad. Para los tipos de suelo del proyecto (como Typic Dystrudepts, Typic Eutrudepts, Vertic Humudepts y Typic Udifluvents del Complejo Girardota), la medida de compactación (resistencia del suelo a ser perturbado en kPa) se estima indirectamente de la densidad aparente (DA) y porosidad de los análisis fisicoquímicos existentes usando la fórmula empírica: Resistencia (kPa) $\approx 150 \times DA \text{ (g/cm}^3\text{)} - 100$ (Hillel, 1998).

Tabla 5.1.4.47 Resumen parámetro de compactación

Subgrupo	DA (g/cm ³)	Resistencia estimada (kPa)	Interpretación
Typic Dystrudepts	1,4	110	Baja – moderada
Typic Eutrudepts	2,4	260	Alta
Vertic Humudepts	1,4	110	Baja – moderada
Typic Udifluvents	1,2 – 1,4	80 – 110	Baja
Oxic Dystrudept	1,4	110	Baja - moderada
Lithic Ustorthents	1,5 – 1,7	125-155	Moderada (funcional por rocoso)
Lithic Udorthents	1,5 – 1,7	125-155	Moderada (funcional por rocoso)
Tecnosuelo	1,2 – 1,4	80 - 110	Baja (macroporosa antrópica)
Deposito aluvial	1,6 – 1,8	140 - 170	Moderada-alta (saturado)

Fuente: Integral S.A., 2025 a partir de información del grupo edafológico, 2022.

De acuerdo con lo anterior, la compactación evaluada (80-260 kPa) incide moderadamente en la degradación general, con suelos de baja resistencia (80-110 kPa: Typic Udifluvents, Oxic Dystrudept, tecnosuelo) favoreciendo conservación por alta infiltración y aireación radicular, contrarrestando erosión laminar; mientras moderada-alta (125-260 kPa: Lithic Ustorthents, Lithic Udorthents, Typic Eutrudepts, Deposito aluvial) restringe raíces y amplifica escorrentía en pendientes/vertientes, sinergizando con los 27 deslizamientos y 287 cicatrices identificados, pero sin alcanzar umbrales críticos de salinización o desertificación.

- Salinización: De acuerdo con la información de conductividad eléctrica obtenida de las muestras de las calicatas se encuentran dentro de un rango permisible conforme al NTC 4711 suele estar por debajo de 0,7 dS/m, y las muestras analizadas se encuentran por debajo de este umbral (ver Tabla 5.1.4.48), así como, los parámetros de pH, contenido de sales solubles y otros parámetros asociados se encontraron dentro de los límites permisibles para Colombia lo que valida que no hay procesos de salinización críticos en el área de influencia.

Tabla 5.1.4.48 Resumen parámetro de conductividad

ID Calicata	Unidad Cartográfica	C.E (dS/m)	C.E (dS/m) (Promedio)	ID Calicata	Unidad Cartográfica	C.E (dS/m)	C.E (dS/m) (Promedio)
Calicata2_Ene2022	A. Yarumal	0,23	0,096	Calicata13_Ene2022	A. Yalí	0,034	0,034
		0,028		Calicata1_Nov2022	A. Yarumal	0,041	0,024
		0,031				0,021	
Calicata14_Ene2022	A Yalí	0,027	0,026	Calicata3_Ene2022	A. El Cinco	0,009	0,027
		0,043				0,027	
		0,008		Calicata4_Ene2022	A. Yarumal	0,057	0,057
Calicata4_Nov2022	A Yarumal	0,04	0,024	Calicata5_Ene2022	C. Tarazá	0,019	0,019
		0,019		Calicata6_Ene2022	C. Tarazá	0,027	0,027
		0,014		Calicata15_Ene2022	A. Yalí	0,036	0,036
Calicata1_Ene2022	A Yarumal	0,059	0,059	Calicata5_Nov2022	A. Yarumal	0,054	0,042
Calicata10_Ene2022	A. Yalí	0,04	0,04			0,03	
Calicata11_Ene2022	A. Yalí	0,035	0,035	Calicata2_Nov2022	C.Tarazá	0,145	0,145
Calicata12_Ene2022	A Yarumal	0,045	0,045			-	
Calicata9_Ene2022	A. Yalí	0,023	0,023			-	

Fuente: Integral S.A., 2025 con resultados de muestreo de 2022.

- **Desertificación:** No se detectaron indicadores que evidencien la presencia de procesos avanzados de desertificación en el área de influencia, conforme a los lineamientos y protocolos establecidos por el IDEAM para la identificación y monitoreo de procesos de degradación de suelos ((IDEAM, 2015); (MINAMBIENTE, 2018) MINAMBIENTE, 2018). Teniendo en cuenta el análisis de cobertura vegetal, presencia y desarrollo de material orgánico, textura y estructura del suelo, así como parámetros fisicoquímicos obtenidos en campo y laboratorio que no evidencian alteraciones significativas atribuibles a desertificación
- **Otros procesos:** Se reconocieron señales localizadas de reptación, terraceo por uso agropecuario y procesos de sedimentación y socavación en cauces, que repercuten en la pérdida de suelo fértil.

Para mayor detalle ver el capítulo 5.1.2 Geomorfología numeral 5.1.1.4 Análisis y evolución de los procesos morfodinámicos dónde se realiza una descripción más amplia de los procesos morfodinámicos.

5.1.4.9 Análisis de los servicios ecosistémicos

Teniendo en cuenta la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambiental 2018, señala que los servicios ecosistémicos “(...) *deben entenderse como los beneficios directos e indirectos que la sociedad recibe de la biodiversidad, por lo que constituyen el vínculo entre las funciones de los ecosistemas y el bienestar humano.*”. Para el análisis de los servicios ecosistémicos que provee el suelo, se identificó que el suelo del área de influencia cumple funciones esenciales de provisión, soporte, regulación y culturales, que se analizan en el siguiente contexto:

- Servicios de provisión: con base en las calicatas analizadas la fertilidad del suelo es adecuada para actividades agropecuarias (ganadería extensiva y cultivos), con moderado contenido de materia orgánica (3-8%) y disponibilidades variables de nitrógeno, fósforo y micronutrientes, determinando la capacidad productiva natural. Esto se evidencia con la presencia de cultivos de caña que predominan en el territorio.
- Servicios de soporte: así mismo, se identificó con base en las características físicas que la capacidad de retención de agua y nutrientes evidenciada en la textura franco-arenosa a arcillo arenosa, con porosidad (11-42%) y capacidad de intercambio catiónico (entre 1 y 20 cmol+/kg). Los perfiles muestran diversidad en estructura y consistencia que favorecen la infiltración y circulación gaseosa vital para la biodiversidad microbiana y vegetal.
- Servicios de regulación: Incluyen el control de procesos erosivos superficiales observados en campo (reptación leve a moderada), estabilidad estructural moderada y ausencia de contaminación significativa según análisis de metales pesados y compuestos presentes por debajo de límites permisibles. La calidad del suelo favorece la regulación hídrica y mitigación de lixiviados. Sin embargo, presenta focos en las zonas de alta pendiente que disminuyen la capacidad de control de procesos erosivos.
- Servicios culturales: El uso actual del suelo incluye bosques riparios, pasturas y zonas agrícolas con importancia social y económica para comunidades locales, que aportan identidad cultural y soporte a modos de vida tradicionales.

Adicionalmente, de acuerdo con la identificación en campo en la zona de estudio (ver Fotografía 5.1.4.18) se encontró que los suelos están destinados principalmente a ganadería, en esta práctica se acostumbra la cría de ejemplares para la producción de leche, carne o doble propósito, en general con un bajo número de animales distribuidos en áreas amplias, y con pastos no tecnificados, por eso, se encuentra la mayoría en pastos y en áreas abiertas sin o con poca vegetación.



Fotografía 5.1.4.18 Pasturas no tecnificadas con ganadería
Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E:4.785.715,46 y N:2.278.767,81
Fuente: Integral S.A., 2025

Por otro lado, se presentan áreas que corresponden a zonas boscosas (Fotografía 5.1.4.19) , pero que se intervinieron para la siembra de pasturas, cultivos agrícolas, establecimiento de minería aurífera o para extracción de maderas considerando que dicha actividad se realizaba de acuerdo con lo reportado en estudios anteriores (EIA,2015 y MEIA,2018) sin embargo, este ha ido disminuyendo, lo que permite identificar que, al disminuir dicha actividades los suelos se dejan en reposo dando paso a los a rastrojos altos (Fotografía 5.1.4.20).



Fotografía 5.1.4.19 Zona Boscosa
Coordenadas Magna Sirgas Origen
Nacional:
E: 4.784.833,18 y N: 2.276.989,90
Fuente: Integral S.A., 2025



Fotografía 5.1.4.20 Barbecho en reposo o
rastrojo alto
Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:
E: 4.787.830,05 y N: 2.277.494,40
Fuente: Integral S.A., 2025

Así mismo, como se mencionó anteriormente se presentan cultivos, que se asocian a sistemas transformados, ya que consiste en la siembra de cultivos permanentes como caña

panelera (Fotografía 5.1.4.21), cultivos de café, de plátano, de yuca, y semestrales como maíz, frijol, entre otros. Del mismo modo, se encontraron cuerpos de agua naturales, y se observó que la comunidad los usa para extracción de oro, para la toma del agua para la ganadería y para uso doméstico.



Fotografía 5.1.4.21 Cultivo de caña

Coordenadas Magna Sirgas Origen Nacional:

E: 4.787.830,05 y N: 2.277.494,40

Fuente: Integral S.A., 2025

Con base en la información colectada en campo y analizada en laboratorio, así como la identificación de los usos que la comunidad le da al suelo se identifican distintos grados de compactación (densidad aparente de 1,4 a 2,4 g/cm³), con presencia de erosión localizada y limitantes de fertilidad en algunos perfiles por pH ácido (4,5 a 6,0) y baja saturación de potasio. Lo que, conlleva a que se realice un manejo apropiado con enmiendas y conservación de la cobertura vegetal para mantener la salud del suelo y mitigación de impactos por actividades mineras no formalizadas.

En el capítulo 5.4 Servicios ecosistémicos del presente estudio de impacto ambiental para la modificación de la licencia ambiental del proyecto Modificación de Licencia Ambiental del proyecto de Minería de Oro a Cielo Abierto Gramalote se amplía la información referente a los servicios que presta la naturaleza a la comunidad.

BIBLIOGRAFIA

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2004). *Toxicological profile for strontium*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services .

Alcaldía de Yolombó. (2021). *Esquema de Ordenamiento Territorial de Yolombó*. Yolombó.

Alcaldía Municipal de San Roque. (2022). *Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de San Roque - Actualizado 2022*. San Roque.

ANLA. (2016). *Términos de Referencia para la Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA Proyectos de Explotación Minera*. Bogotá: ANLA.

ANLA. (2023). *Manual para la estimación de la cuenca visual del paisaje y su valoración económica ambiental*. Bogotá: ANLA.

CCME. (2025). *Canadian Council of Ministers of the Environment*. Obtenido de Canadian Environmental Quality Guidelines (CEQGs) provide science-based goals for the quality of aquatic and terrestrial ecosystems.: https://ccme.ca/en/current-activities/canadian-environmental-quality-guidelines?utm_source=chatgpt.com

CMA. (2014). *Informe de Monitoreo de Suelos derrame en Plataforma 5 y Caño Aguablanca*. Bogotá: Corporación Integral del Medio Ambiente C.I.MA.

Consejo de las Comunidades Europeas. (1986). Directiva 86/278/CEE del Consejo de 12 de junio de 1986 relativa a la protección del medio ambiente, y en particular del suelo, en el caso de utilización de los lodos de depuración en la agricultura. *L 181*, 6-12. Obtenido de https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A31986L0278&utm_source=chatgpt.com

CORNARE. (2012). *Evaluación y Zonificación de Riesgos por Avenida torrencial, inundación y movimientos en masa y dimensionamiento de procesos erosivos en el municipio de San Roque*. San Roque: Convenio Cornare - Gobernación de Antioquia. Recuperado el Abril de 2022, de <https://www.cornare.gov.co/GestionRiesgo/SAN-ROQUE/Informe-Municipio-de-San-Roque.pdf>

CORPOICA & IGAC. (2002). *Zonificación de los conflictos de uso de las tierras del país. Capítulo IV: Uso adecuado y conflictos de uso de las tierras en Colombia*. Bogotá D.C: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Subdirección de Investigación en Sistemas de Producción.

CORPOICA. (2002). Capítulo 3 Vocación de uso de las tierras de Colombia. En CORPOICA, *Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia* (pág. 94). Bogotá.

COSIO, J. J. (2015). *Tecnosoles, Tecnosuelos y Suelos Urbanos*. España: Consejo Superior de Investigaciones científicas (CSIC). Obtenido de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2015/10/06/145529>

FAO- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA. (2006/2007). *Tecnosoles, Tecnosuelos y Suelos Urbanos. Base mundial de datos del recurso suelo (WRB)*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones científicas (CSIC). Obtenido de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2015/10/06/145529>

Galán H. , E., & Romero B. , A. (2008). Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. *Universidad de Sevilla, Sevilla 41071*, 48-60.

GCL. (2015). *Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Gramalote*. Medellín: GCL.

Hillel, D. (1998). Cap. 8: Propiedades mecánicas del suelo; modelos lineales DA-resistencia penetrómetro. En *Environmental soil physics* (pág. 479). San Diego: Academic Press. doi:ISBN 0-12-348525-8

IDEAM. (2015). *Protocolo para Monitoreo y Seguimiento del Estado de Calidad de Suelos*. Bogotá: IDEAM.

IDEAM. (2017). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de Tiempo y Clima: <https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/temas/tiempo-y-clima/documentos/atlas/ATLAS-CLIMATOLOGICO-DE-COLOMBIA.pdf>

IDEAM, U.D.C.A, & MADS. (2015). ESTUDIO NACIONAL DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS. *ESTUDIO NACIONAL DE LA DEGRADACIÓN DE SUELOS*. Bogotá, Colombia: IDEAM.

IGAC. (2007). *Estudio general de suelos y zonificación de tierras: departamento de Antioquia*. Bogotá: IGAC.

IGAC. (2014). Metodología para la clasificación de las tierras por su capacidad de uso. Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/instructivos/2014/M40100-02%2014V2%20Para%20la%20clasificacion%20de%20las%20tierras%20por%20su%20capacidad%20de%20uso.pdf>

IGAC, UPRA. (2015). *Leyenda de Usos Agropecuarios del Suelo a Escalas Mayores a la Escala 1:25.000, Convenio 4418 IGA-110 UPRA*. Bogotá: Imprenta Nacional.

Instituto Colombiano Agropecuario ICA. (1992). *Escala de clasificación del pH del suelo para fertilidad de cultivos*. Bogotá : ICA.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2002). *Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia: capítulo I: zonificación agroecológica de Colombia*. Bogotá (Colombia).

Jaramillo, D. F. (2014). *El Suelo: Origen, Propiedades, Espacialidad*. Medellín : Universidad Nacional de Colombia sede Medellín .

Louisiana Department of Environmental Quality. (2010). *29B General waste sampling procedure*. Baton Rouge, LA: LDEQ.

MADS; ANLA. (2018). *Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales*. Bogotá: MADS, ANLA.

MINAMBIENTE. (2018). *Guía Metodológica para Evaluación de la Desertificación en Colombia*. Bogotá: MINAMBIENTE.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Orientaciones para la definición y actualización de las determinantes ambientales por parte de las autoridades ambientales y su incorporación en los planes de ordenamiento territorial, 2da edición, Dirección de Ordenamiento Ambiental Territorial y SINA*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ministerio de la Presidencia BOE. (2005). Real decreto 9/2005, p. e. (2005). *por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados*. Obtenido de [https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2005-](https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2005-895#:~:text=A%2D2005%2D895-,Real%20Decreto%209%2F2005%2C%20de%2014%20de%20enero%2C%20por,Publicado%20en%3A&text=15%2C%20de%2018%20de%20enero,a%201843%20(11%20p%C3%A1gs.%20))

895#:~:text=A%2D2005%2D895-,Real%20Decreto%209%2F2005%2C%20de%2014%20de%20enero%2C%20por,Publicado%20en%3A&text=15%2C%20de%2018%20de%20enero,a%201843%20(11%20p%C3%A1gs.%20)

Ministerio del Ambiente Ecuador. (4 de Noviembre de 2015). Acuerdo Ministerial No. 097-A: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados (Anexo 2, Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria). *Registro Oficial Edición Especial No. 387*. Quito, Ecuador: Ministerio de Ambiente.

Muñoz, B., Lopes, F. L., & Pistón, M. (2018). *Determinación de potenciales contaminantes inorgánicos en muestras de suelos y aguas del territorio uruguayo en la Antártida*. Innotec.

Núñez, J. (2015). Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo No. 097-A. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Núñez, L. T. (4 de Mayo de 2015). Ministra del Ambiente. *Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo*. Quito.

Tulsma, T. U. (2015). *Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados*. Republica de Ecuador.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (Mayo de 2023). *Office of Superfund Remediation and Technology Innovation*. Obtenido de Regional Screening Levels – Generic Tables: <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls>

U.S. Environmental Protection Agency. (2018). *Edition of the drinking water standards and health advisories tables*. Washington: USEPA.

USDA, C. d. (2014). *Clave para Taxonomía de Suelos*. Obtenido de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf