

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

**Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según
los Requerimientos Realizados a los Municipios en Visitas Técnicas**



Roxana Valentina Cuadros Alvarán

Programa De Geología

Facultad De Ciencias Básicas

Universidad De Pamplona

Villa del Rosario

2023



Conectados por la
**Vida, la Equidad y el
Desarrollo Sostenible**

Formando **líderes** para la
construcción de un nuevo
país en paz

**Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare**

**Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según
los Requerimientos Realizados a los Municipios en Visitas Técnicas**

Roxana Valentina Cuadros Alvarán

Trabajo de grado, modalidad práctica empresarial

Presentado como requisito para optar al título de

Geóloga

Director Académico

Ilich Sebastián Villamizar Solano

Geólogo

Director Empresarial

José Fernando López Ortiz

Director de la Regional Aguas

Universidad De Pamplona

Programa De Geología

Facultad De Ciencias Básicas

Villa del Rosario

2023



Conectados por la
**Vida, la Equidad y el
Desarrollo Sostenible**



Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

Agradecimientos

Inicialmente quiero agradecer a mis padres y a toda mi familia por el apoyo que me brindaron al manifestar mi deseo de estudiar esta hermosa carrera y durante todo el desarrollo de la misma.

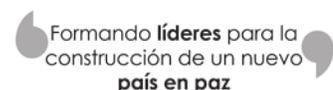
Agradezco a doña Aracelly y a su familia por confiar en mí y abrirme las puertas de su hogar en Guatapé, ya que permitieron que esta práctica fuera una realidad.

De igual manera quiero agradecer a los geólogos Randdy Guarín y Diana Hoyos de la subdivisión de gestión del riesgo de Cornare por crear espacios para la asesoría y acompañamiento en la realización de este proyecto; igualmente a las compañeras de la Regional Aguas especialmente las compañeras Claudia Ocampo, Lina Ramírez, Laura Sánchez y mi director empresarial el señor José Fernando López por el apoyo en la propuesta del proyecto, el acompañamiento en campo y la gestión de los espacios para la realización del mismo.

Por último, quisiera agradecer mi director académico el profesor Ilich Sebastián Villamizar por el acompañamiento en la elaboración de este documento.



Conectados por la
Vida, la Equidad y el
Desarrollo Sostenible



Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. OBJETIVOS.....	9
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	9
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3. MARCO DE REFERENCIA.....	10
3.1. UBICACIÓN ÁREA DE ESTUDIO.....	10
4. MARCO TEÓRICO	11
4.1. LA EROSIÓN	11
4.1.1. <i>Erosión Natural</i>	12
4.1.2. <i>Erosión Acelerada</i>	12
4.2. LOS RELLENOS SANITARIOS.....	12
4.2.1. <i>Tipos de Relleno Sanitario</i>	13
4.2.2. <i>Reacciones que se generan en un relleno sanitario</i>	13
4.2.3. <i>Principales problemas geotécnicos</i>	14
4.2.4. <i>Ejemplo de Relleno Sanitario con Problemas</i>	15
5. MARCO GEOLÓGICO	16
6. METODOLOGÍA.....	18
6.1. ETAPA 1: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA (INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA).....	18
6.2. ETAPA 2: PLANIFICACIÓN	18
6.3. ETAPA 3: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA (ETAPA DE CAMPO)	19
6.4. ETAPA 4: PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	19
6.5. ETAPA 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	20
6.6. ETAPA 6: INFORME FINAL.....	20
7. RESULTADOS	21
7.1. RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	21
7.1.1. <i>Manejo de los rellenos</i>	21
7.1.2. <i>Parámetros observados en visitas técnicas</i>	22
7.1.3. <i>Principales requerimientos realizados a los municipios</i>	23
7.2. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	23
7.2.1. <i>Relleno Sanitario “Las Hoyeras”, Municipio El Peñol</i>	23

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios

en Visitas Técnicas - Cornare

7.2.1.3.3.	30
7.2.2. <i>Relleno Sanitario “El Caimo”, Municipio de San Carlos</i>	32
7.2.3. <i>Relleno Sanitario “La Ceiba”, Municipio de San Carlos</i>	34
7.2.4. <i>Relleno Sanitario “Los Guaicos” , Municipio de San Rafael</i>	37
7.2.5. <i>Relleno Sanitario “Miraflores”, Municipio de Guatapé</i>	41
7.2.6. <i>Relleno Sanitario “La Aurora”, Municipio de Granada</i>	44
7.2.7. <i>Guía para el registro de procesos erosivos en campo</i>	46
8. CONCLUSIONES.....	47
9. RECOMENDACIONES.....	48
10. REFERENCIAS	49
11. LISTA DE ANEXOS Y APÉNDICES.....	50

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

TABLA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa de localización de la jurisdicción de Cornare</i>	11
<i>Figura 2. Inestabilidades en el cuerpo del relleno sanitario</i>	15
<i>Figura 3. Perfil generalizado de meteorización en el Batolito Antioqueño entre El Peñol y San Vicente</i>	17
<i>Figura 5. Vida útil de los rellenos sanitario de la Regional Aguas</i>	21
<i>Figura 6. Formato de verificación de requerimientos o compromisos</i>	23
<i>Figura 7. Mapa de unidades geológicas superficiales, relleno Las Hoyeras</i>	24
<i>Figura 8. Panorámicas generales del relleno sanitario Las Hoyeras</i>	25
<i>Figura 9. Panorámica de las unidades Arst1, Arst2, Arst3 y Arst4</i>	25
<i>Figura 10. Cunetas perimetrales en la entrada del relleno</i>	26
<i>Figura 11. Cárcava cercana al talud 1</i>	27
<i>Figura 12. Surcos en la unidad Arst2</i>	27
<i>Figura 13. Proceso erosivo en surcos en el vaso Arsa</i>	28
<i>Figura 14. Panorámica de la unidad Arsv</i>	29
<i>Figura 15. Panorámica de la unidad Arst6</i>	29
<i>Figura 16. Arst5</i>	30
<i>Figura 17. Arst4</i>	30
<i>Figura 18. Horizontes de la unidad Arst1</i>	31
<i>Figura 19. Columna estratigráfica generalizada del relleno sanitario Las Hoyeras</i>	32
<i>Figura 20. Mapa de unidades geológicas superficiales, relleno sanitario El Caimo</i>	33
<i>Figura 21. Panorámicas a la entrada del relleno sanitario El Caimo</i>	33
<i>Figura 22. Obras de control de procesos erosivos</i>	34
<i>Figura 23. Mapa de unidades geológicas superficiales, relleno sanitario La Ceiba</i>	35
<i>Figura 24. Panorámica del relleno sanitario La Ceiba</i>	35
<i>Figura 25. Trinchos en madera</i>	36
<i>Figura 26. Talud Arst1</i>	36
<i>Figura 27. Columna generalizada del relleno sanitario La Ceiba</i>	37
<i>Figura 28. Mapa de unidades geológicas superficiales, relleno sanitario Los Guaicos</i>	38
<i>Figura 29. Acumulación de lixiviados</i>	38
<i>Figura 30. Actual vaso Arsa</i>	39
<i>Figura 31. Surcos en la actual pared del vaso Arsa</i>	39
<i>Figura 32. Extracción de material de compactación del talud Arst1</i>	40
<i>Figura 34. Mapa de unidades geológicas superficiales, relleno sanitario Miraflores</i>	41
<i>Figura 35. Talud Arst1</i>	42
<i>Figura 36. Manejo de procesos erosivos y aguas lluvias</i>	42
<i>Figura 37. Afloramiento de lixiviados sobre el vaso</i>	43
<i>Figura 38. Composición de los taludes</i>	44
<i>Figura 39. Columna estratigráfica generalizada del relleno sanitario Miraflores</i>	44
<i>Figura 40. Mapa de unidades geológicas superficiales, relleno sanitario La Aurora</i>	45
<i>Figura 41. Surcos paralelos al borde del vaso Arsa</i>	45
<i>Figura 42. Trinchos en madera y proceso de revegetalización</i>	46
<i>Figura 43. Formato guía para la observación y registro de procesos erosivos</i>	46

**Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare**

Resumen

El control de los procesos erosivos es de vital importancia en el manejo adecuado de los rellenos sanitarios durante su operación y clausura. En el marco de esta investigación, se llevó a cabo una caracterización de los procesos erosivos en los rellenos sanitarios y una observación del manejo realizado por parte de la Corporación Autónoma Regional de la Cuenca de los Ríos Negro y Nare (Cornare), mediante la revisión de los parámetros evaluados en visitas técnicas de control y seguimiento, los cuales evalúan el cumplimiento del plan de manejo ambiental. Los resultados revelaron la presencia de procesos de erosión hídrica, como cárcavas y surcos, en los rellenos sanitarios Las Hoyeras, Los Guaicos y La Aurora. Aunque las recomendaciones y requerimientos realizados por Cornare cumplen con los lineamientos básicos de los planes de manejo ambiental, se propone la implementación de un registro sistemático utilizando el formato guía propuesto. Este enfoque permitiría una mejor comprensión de la relación entre los procesos erosivos, la compactación y el afloramiento de lixiviados, y así mejorar el control y seguimiento de los rellenos sanitarios en la jurisdicción de Cornare.



1. Introducción

Los rellenos sanitarios son una forma común de disposición final de residuos sólidos en todo el mundo. Consisten en la compactación de capas de basura sobre un suelo previamente impermeabilizado para evitar la contaminación de acuíferos, y se recubren con capas de suelo. Entre las ventajas de estos rellenos, en comparación con otros métodos de tratamiento de residuos, se encuentra la posibilidad de recuperar áreas ambientalmente degradadas por la minería o explotación de canteras, así como terrenos improductivos o marginales (Ulca, 2005). Sin embargo, debido a que los rellenos sanitarios están expuestos a la intemperie, pueden convertirse fácilmente en problemas ambientales debido a procesos erosivos, como la erosión hídrica, que resulta en la pérdida de suelo y la exposición de los residuos sólidos.

Las corporaciones autónomas regionales son responsables de evaluar, controlar y dar seguimiento a los planes de manejo ambiental de los rellenos sanitarios, asegurando su correcto funcionamiento. En este trabajo, se lleva a cabo una caracterización de los procesos erosivos en los rellenos sanitarios de la regional aguas, mediante la observación en campo, además de la identificación de los parámetros evaluados en las visitas técnicas de control y seguimiento, y su contribución en la prevención, mitigación y control de estos procesos de erosión. Además, se realiza una actualización de la información geológica que posee Cornare de cada relleno, mediante la identificación de unidades geológicas superficiales, procesos erosivos y su ubicación en imágenes satelitales, además columnas estratigráficas generalizadas.

2. Objetivos

Los principales objetivos a alcanzar son los expuestos a continuación.

2.1. Objetivo General

Caracterizar los procesos erosivos en rellenos sanitarios de la Regional Aguas, mediante la evaluación de los requerimientos realizados a los municipios en visitas técnicas de control y seguimiento.

2.2. Objetivos Específicos

- A. Proponer una guía con parámetros y actividades a realizar en campo para la evaluación de procesos erosivos en rellenos sanitarios según criterios geológicos, relacionando la información recolectada en campo con los manuales de mitigación de riesgo de la corporación.
- B. Identificar los factores naturales y antrópicos que intervienen en la erosión, y diagnosticar los principales procesos erosivos que se generan en los rellenos sanitarios.
- C. Actualizar la información geológica general rellenos sanitarios en la Regional Aguas.

3. Marco de Referencia

3.1. Ubicación Área de Estudio

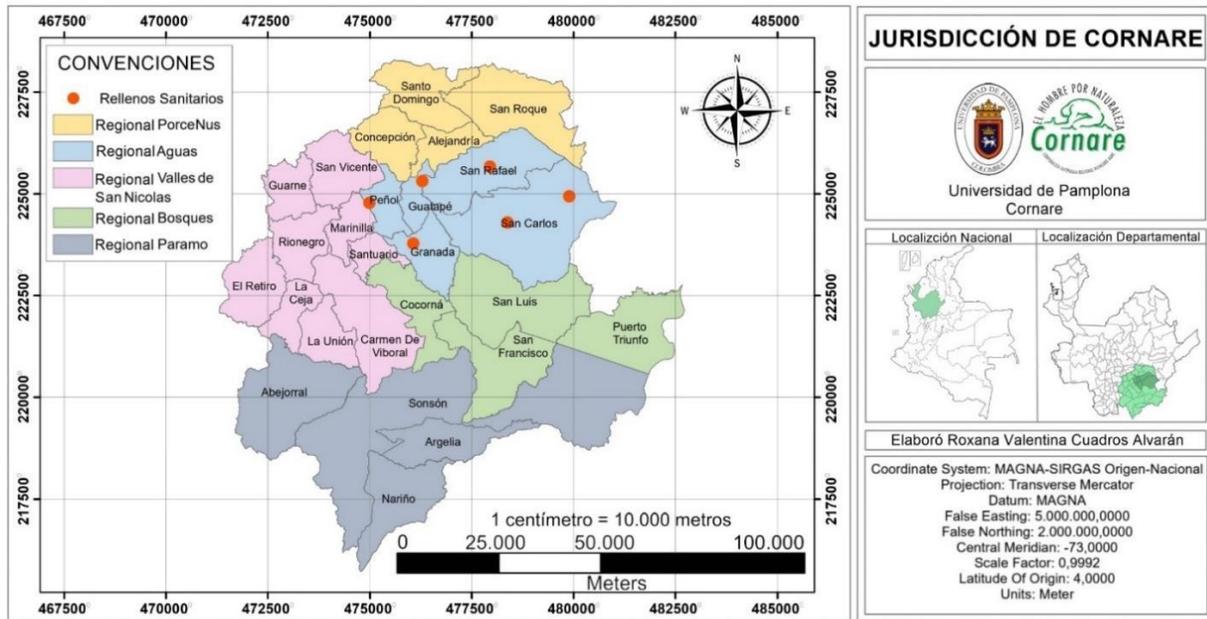
La jurisdicción de Cornare se ubicada en el Oriente del Departamento de Antioquia, y está conformada por veintitrés municipios en la zona Oriente, dos municipios de la zona del Nordeste y un municipio de la zona del Magdalena Medio; se distribuye en cinco subregiones (Figura 1): Valles de San Nicolás correspondiente a los municipios de El Carmen de Viboral, El Retiro, El Santuario, Guarne, La Ceja, La Unión, Marinilla, Rionegro y San Vicente; Bosques integrada por los municipios de Cocorná, San Francisco, San Luis, y Puerto Triunfo (zona Magdalena Medio); Aguas correspondiente a los municipios de El Peñol, Granada, Guatapé, San Carlos y San Rafael; Porce-Nus conformada por los municipios de Alejandría, Concepción, San Roque y Santo Domingo (zona Nordeste); y Páramo correspondiente a los municipios de Abejorral, Argelia, Nariño y Sonsón (Cornare, 2022).

En la Regional Aguas funcionan seis rellenos sanitarios. En el municipio El Peñol funciona el relleno sanitario municipal las Hoyeras ubicado en la vereda El Salto a 8 Km. del casco urbano del municipio El Peñol; En el municipio de Guatapé funciona el relleno sanitario municipal Miraflores, ubicado en la vereda El Rosario a 9 km de la cabecera urbana del municipio de Guatapé, sobre la vía que de Guatapé conduce al municipio de Alejandría a 1 km de la desviación; En el municipio de Granada opera el relleno sanitario municipal La Aurora ubicado a 4 km de la cabecera municipal siguiendo la vía Granada-San Carlos; La disposición de los residuos sólidos del municipio de San Rafael se realiza en el relleno sanitario Los Guaicos ubicado a 5km de la cabecera municipal sobre la vía que de San Rafael conduce al municipio de San Carlos; el municipio de San Carlos cuenta con dos rellenos sanitarios municipales, el primero es el relleno el Caimo a 5km de

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios en Visitas Técnicas - Cornare

la cabecera municipal sobre la vía San Carlos-San Rafael, el segundo relleno municipal La Ceiba ubicado en la vereda la cascada a 1km del corregimiento El Jordán.

Figura 1. Mapa de localización de la jurisdicción de Cornare.



Nota: En el mapa se observa también la ubicación de los rellenos sanitarios pertenecientes a los municipios de la Regional Aguas. Fuente: El Autor.

4. Marco Teórico

4.1. La Erosión

La erosión puede ser definida como un proceso de arrastre lento o acelerado del suelo por acción de agua (hídrica, hidráulica, litoral), del aire (eólica) o del hielo (glacial); o como un proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas del suelo causado (Cornare, 2011). Éste fenómeno ocasiona que en taludes y terraplenes del relleno sanitario queden al descubierto los residuos sólidos (Rodríguez, 2008).

4.1.1. Erosión Natural

Se produce normalmente sin la acción del hombre, estando por tanto fuera de su control; es tan lenta que pasa inadvertida y contribuye de cierto modo a la formación del relieve mismo y a la meteorización de las rocas (Cornare, 2011).

4.1.1.1. Erosión Hídrica. La erosión hídrica es causada por la acción del agua (lluvia, ríos y mares), en las zonas de ladera, cuando el suelo está desnudo (sin cobertura vegetal). En estos casos las gotas de lluvia o el riego, ayudadas por la fuerza gravitacional, arrastran las partículas formando zanjas o cárcavas (Figura 2), e incluso causando movimientos en masa en los cuales se desplaza un gran volumen de suelo (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, 2022).

4.1.2. Erosión Acelerada

Es generada en gran parte por actividades de ingeniería como excavación, construcción y la adecuación de terrenos que exigen el retiro de la vegetación debido a esto, las zonas intervenidas son susceptibles y presentan desplazamiento cuando la fuerza externa (viento, agua) vencen la resistencia de las partículas del suelo (Aceros Metales y Mallas AMYM, 2019). El grado de erosión se ha clasificado de acuerdo con la intensidad del proceso en términos de severidad y a la magnitud o superficie afectada por el mismo, en cinco categorías: sin evidencia (no hay evidencia de degradación por erosión), ligera, moderada, severa y muy severa (IDEAM, 2022).

4.2. Los Rellenos Sanitarios

El relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen (Jaramillo, 2002).

4.2.1. Tipos de Relleno Sanitario

Se podría proponer tres tipos de rellenos sanitarios (Jaramillo, 2002): mecanizado, semi mecanizado y manual. Los municipios en la jurisdicción de la regional debido a su densidad poblacional alternan entre los dos últimos tipos de relleno. El tipo de manejo que se le da a los rellenos es importante ya que garantiza de cierta manera la estabilidad de los vasos y por ende la disminución de los procesos erosivos.

4.2.1.1. Relleno Sanitario Manual. Es una adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen –menos de 15 t/día–, además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento. El término manual se refiere a que la operación de compactación y confinamiento de los residuos puede ser ejecutada con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas (Jaramillo, 2002). Este es el método habitual para el manejo de los rellenos en la jurisdicción de la regional debido a que genera menores costos que el semi mecanizado.

La tecnología del relleno manual tiene sus límites. La compactación del material es menos eficiente, y por consecuencia, la estabilidad del cuerpo de basura no permite alturas elevadas. Esta situación resulta en la necesidad de un mayor espacio con el consecuente aumento en la producción de aguas lixiviadas. (Cubillo, 2005).

4.2.2. Reacciones que se generan en un relleno sanitario

Los cambios físicos más importantes están asociados con la compactación de los residuos sólidos, la difusión de gases dentro y fuera del relleno sanitario, el ingreso de agua y el movimiento de líquidos en el interior y hacia el subsuelo, y con los asentamientos causados por la consolidación y descomposición de la materia orgánica depositada (Jaramillo, 2002).

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

El movimiento de gases es de particular importancia para el control operacional y el mantenimiento del sistema, por ejemplo, cuando el biogás se encuentra atrapado, la presión interna puede causar agrietamiento de la cubierta y fisuras, lo que permite el ingreso de agua de lluvia al interior del relleno sanitario y provoca mayor generación de gases y lixiviados (Jaramillo, 2002).

Lo anterior contribuye a que se produzcan hundimientos y asentamientos diferenciales en la superficie y que se desestabilicen los terraplenes por el mayor peso de la masa de desechos (Jaramillo, 2002).

4.2.3. Principales problemas geotécnicos

La estabilidad de taludes es un problema geotécnico tenido en cuenta en la fase de operación, clausura y postclausura, El talud puede fallar a causa de un aumento de las sollicitaciones al aumentar la altura del talud, por pendientes excesivas o inadecuado sistema de recolección de lixiviados, produciendo la saturación del relleno. También puede disminuir la resistencia al corte de los residuos debido a procesos de descomposición (Medina, 2022).

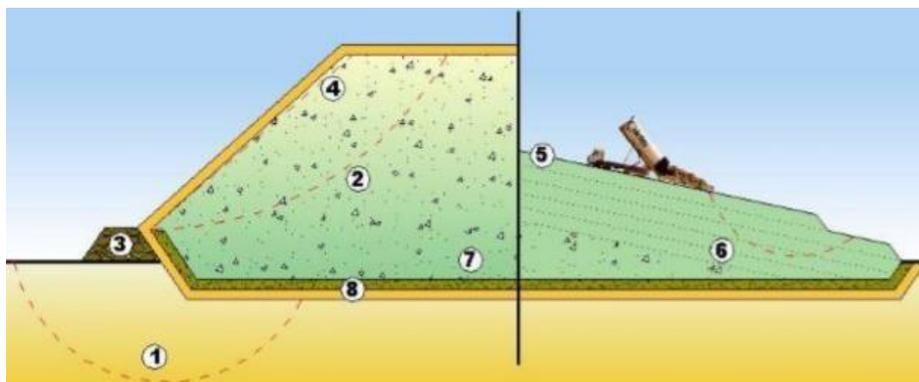
Los deslizamientos más comunes presentan superficies de rotura aproximadamente circular, donde el deslizamiento ocurre en el talud del vertedero, con círculos de rotura que pueden ser superficiales de pie o de talud (Medina, 2022).

Las formas como se puede manifestar la inestabilidad del relleno sanitario (Figura 2) son (1) Fracturas en el subsuelo: causadas por diferencias de asentamientos en el suelo de fundación o debido a la falta de capacidad portante del mismo. (2) Fracturas del talud. Estas podrían ocurrir cuando los taludes son demasiado inclinados. (3) Colapso de los muros de partida cuando se encuentran demasiado saturados o cuando no son capaces de sostener la presión de los residuos. (3) Capas de residuos que fluyen bajo el talud. Pequeños esfuerzos de corte, causados, por ejemplo, por un excedente de agua que podría llevar a las capas de residuos a fluir bajo el talud. (4) El suelo

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios en Visitas Técnicas - Cornare

fluye o resbala bajo las capas de residuos. Debido a una insuficiente compactación o a una alta saturación. (5) Deslizamientos de residuos a lo largo de fracturas en el cuerpo del relleno, al existir asentamientos diferenciales que fracturarían zonas del relleno. (6) Inestabilidad de ciertas zonas construidas en el cuerpo del relleno. (7) Ruptura de cañerías de drenaje u otras partes del relleno que podrían originar diferencias en asentamientos, llevándolos a la inestabilidad. (8) Inestabilidad en zonas de interfaces: La resistencia al corte de estos materiales y la fricción de cada interfaz como suelo/geosintético, suelos/residuos y geosintéticos/geosintéticos determinan cuan susceptible es a fallar en respuesta a las fuerzas generadas por el peso de los residuos sólidos (Medina, 2022).

Figura 2. *Inestabilidades en el cuerpo del relleno sanitario*



Nota: Fuente Medina, 2022.

4.2.4. Ejemplo de Relleno Sanitario con Problemas

El relleno sanitario de Bogotá Doña Juana lleva más de 20 años de operación continua y su historia ha estado marcada por su mal funcionamiento. En la actualidad presenta problemas diversos entre los que se encuentra el deslizamiento de los desechos depositados, además de hundimiento y agrietamiento (Ramos, 2011).

5. Marco Geológico

En los rellenos sanitarios de la Regional Aguas los materiales superficiales están representados básicamente por suelos saprolíticos producto de la meteorización del batolito antioqueño, además de capas de ceniza volcánica que siguen la topografía y son comunes principalmente en las superficies de erosión (Cornare; Gobernación de Antioquia, 2011a) siendo este último el caso del municipio El Peñol (Figura 3); También se cuenta con depósitos aluviales vertiente (Cornare; Gobernación de Antioquia, 2011a).

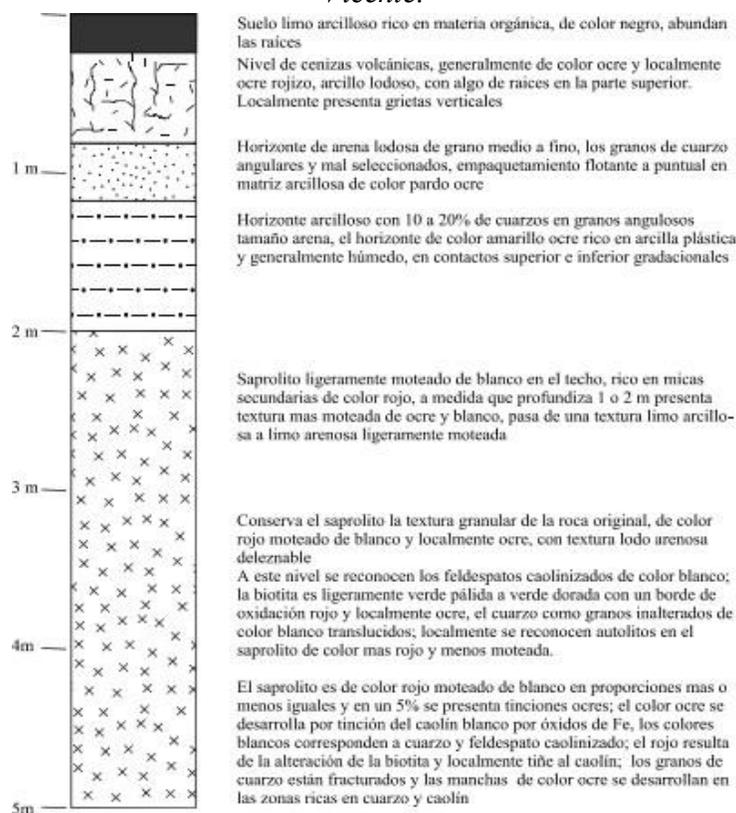
5.1. Saprolito de roca ígnea

La baja resistencia a la alteración de las rocas de Batolito Antioqueño origina un perfil de meteorización muy profundo, 10 a 50 m, donde es común encontrar bloques esféricos residuales parcialmente meteorizados, constituidos por gravas y arenas y que en conjunto forman un paisaje de colinas sub redondeadas de baja altura (Cornare; Gobernación de Antioquia, 2011a).

El grado máximo de alteración corresponde a suelos residuales de limos y arcillas micáceas, de una coloración café amarillenta a rojiza, con motas blancas. En estos suelos ya se ha perdido la textura y la estructura de la roca original (Cornare; Gobernación de Antioquia, 2011b).

La meteorización de las rocas del Batolito Antioqueño, inicia con la alteración de la biotita que libera el hierro al reaccionar con el agua meteórica, formándose una corona de hidróxidos de hierro insolubles alrededor del mineral primario y tomando un color violeta a granate, los feldespatos alcalinos y la plagioclasa se alteran a arcillas y toman un color crema amarillo, mientras que el cuarzo no sufre alteración y se concentra como riegos en el suelo residual (Rodríguez, 2005). El saprolito que cubre gran parte de los afloramientos del Batolito Antioqueño, está constituido por feldespatos caolinizados, láminas finas de biotita y ocasionalmente de moscovita, algunos cristales de hornblenda y granos de cuarzo sacaroidal de color blanco a gris (Rodríguez, 2005).

Figura 3. Perfil generalizado de meteorización en el Batolito Antioqueño entre El Peñol y San Vicente.



Nota: Fuente Rodríguez, 2005.

5.2. Depósitos de Vertiente

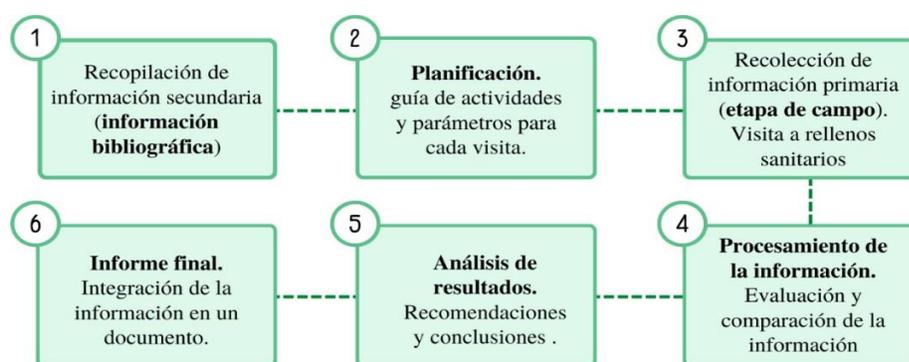
Corresponden a depósitos de deslizamientos, flujos de lodo y escombros y algunos conos de deyección. La composición general de estos depósitos es de bloques heterométricos de cuarzo embebidos en una matriz arenosa o limo arcillosa. Poseen una morfología superficial ondulada de pendientes suaves a moderadas, en ocasiones los bloques son descubiertos por los procesos erosivos generando una superficie de bloques que ayuda a identificar fácilmente el depósito.

Estos depósitos se asocian a las partes bajas de los escarpes regionales que limitan las superficies de erosión y se encuentra en las vertientes de los cañones de los frentes erosivos (Cornare; Gobernación de Antioquia, 2012).

6. Metodología

El objetivo principal del proyecto es evaluar la efectividad de los requerimientos que la corporación realiza a los municipios en cuanto al control de procesos erosivos que se presentan en los rellenos sanitarios en la jurisdicción de la Regional Aguas, para ello se dividieron las actividades en seis (6) etapas principales (Figura 4).

Figura 4. Esquema metodológico para la elaboración del trabajo



Nota: Fuente el autor

6.1. Etapa 1: Recopilación de Información Secundaria (Información Bibliográfica)

Inicialmente, se realiza una búsqueda y recopilación de información secundaria referente a la localización del área de estudio, el marco geológico, en este caso de unidades geológicas superficiales en los rellenos sanitarios, e informes técnicos generados de las visitas de control y seguimiento y atención a quejas de los rellenos de la regional. Los documentos recopilados son obtenidos en mayor parte de las bases de datos de Cornare.

6.2. Etapa 2: Planificación

Posteriormente, se realiza la recopilación de los parámetros evaluados por los técnicos durante las visitas de control y seguimiento, y los requerimientos y recomendaciones que se generan a partir de estas observaciones. En esta etapa se genera un pre formato de actividades y

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

parámetros a desarrollar en el momento de las visitas para la recolección de la información primaria.

6.3. Etapa 3: Recolección de Información Primaria (Etapa de Campo)

Para la etapa de campo se realizan visitas a los rellenos sanitarios de los cinco municipios jurisdicción de la Regional Aguas, en acompañamiento de un técnico de las empresas de servicios públicos de cada municipio. En esta etapa se realiza la observación de las condiciones actuales del relleno, su manejo y la existencia de procesos erosivos. Dentro de la recolección de información se realiza una descripción de los suelos que conforman cada uno de los taludes si es posible, también se recolecta información y se registra la ubicación de puntos y estructuras de interés como los filtros verticales, cunetas perimetrales, ubicación de las celdas de disposición, sistema de recolección y circulación de los lixiviados, y obras de mitigación y control de procesos erosivos.

Es importante la toma de fotografías como panorámicas para una mejor descripción en la etapa de procesamiento de la información. La descripción de zonas de interés como es el caso de taludes y procesos erosivos, se recopiló en una libreta de campo (Apéndice A).

6.4. Etapa 4: Procesamiento de la Información

En esta etapa se realiza la evaluación y comparación de la información recolectada en la etapa de campo, y la información previa recolectada sobre las condiciones anteriores de los rellenos en las etapas 1 y 2, con esto se pretende realizar un análisis de la evolución del estado del relleno de acuerdo a los requerimientos realizados por la corporación, y el funcionamiento de las obras de mitigación de procesos erosivos.

Con la información recopilada de procesos erosivos, descripción de taludes e identificación de vasos (actuales, clausurados y áreas en proceso de adecuación para nuevos vasos), se identifican las unidades geológicas superficiales y procesos erosivos en imágenes satelitales; también se

**Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare**

realizan columnas generalizadas de los suelos presentes en cada relleno usando las descripciones de taludes en la libreta de campo.

6.5. Etapa 5. Análisis de Resultados

Posterior al procesamiento de la información se realiza finalmente un análisis de la contribución de los parámetros usados por la corporación para el registro y control de procesos erosivos en los rellenos sanitarios de la Regional Aguas, lo que conlleva a la evaluación de los requerimientos realizados a los municipios y su eficacia para la prevención, control y mitigación de procesos erosivos. Con la información anterior se realiza el formato guía para la observación (descripción) y registro de procesos erosivos.

Como resultado de esta etapa se realizan conclusiones y recomendaciones a la corporación.

6.6. Etapa 6: Informe Final

Finalmente, se realiza la recopilación de la información originada en las anteriores etapas, todo esto en el presente documento final.

7. Resultados

7.1. Recopilación Bibliográfica

La Regional Aguas cuenta con 6 rellenos sanitarios (Figura 5) uno en cada municipio que la conforman, a excepción del municipio de San Carlos. Debido a su extensión y facilidad en la movilidad de los vehículos recolectores, este municipio cuenta con dos rellenos sanitarios: uno para su casco urbano principal y otro para las veredas más retiradas, como es el caso de la vereda El Jordán.

Figura 5. *Vida útil de los rellenos sanitario de la Regional Aguas*

Municipio	Relleno Sanitario	Año de construcción	Año de vida útil
El Peñol	Las Hoyeras	2002	2035
Guatapé	Miraflores	1990	2030
Granada	La Aurora	2012	2030
San Rafael	Los guaicos	1991	2029
San Carlos	El Caimo	1991	2020
San Carlos	La Ceiba	2007	2022

Nota: Adaptado de la página web de la corporación. Fuente el autor

7.1.1. Manejo de los rellenos

Según la información recolectada de informes técnicos de control y seguimiento a los rellenos sanitarios, estos operan de forma manual la mayor parte de tiempo, con el apoyo diario de 4 a 5 trabajadores. Ocasionalmente, se contrataba maquinaria para apoyar en las tareas de extracción de material de cobertura, compactación, y mejora de las plataformas de disposición.

La mayoría de los rellenos sanitarios cuentan con taludes en su interior para la extracción del material de cobertura. Sin embargo, cuando es posible, se realiza el aprovechamiento de material recolectado de movimientos de tierras en las vías cercanas a los rellenos.

7.1.2. Parámetros observados en visitas técnicas

Para el control y seguimiento del plan de manejo ambiental y manejo en general de los rellenos sanitarios, Cornare realiza visitas técnicas en las que se revisan una serie de aspectos clave para la correcta operación del relleno sanitario. Estos son los siguientes: (1) Aviso del relleno sanitario: que esté en buenas condiciones y visible, (2) Puerta de acceso: Correcto funcionamiento, (3) Vía de acceso: Buenas condiciones para el tránsito del carro recolector, (4) Manejo de aguas lluvias y escorrentía: Estado de las cunetas perimetrales, (5) Plataforma de disposición: Buena compactación del material de cobertura, (6) Filtros verticales para la evacuación de los gases: altura adecuada y sin inclinación, (7) Sistema de tratamiento de lixiviados: Estado del tanque de sedimentación, (8) Reciclaje en el sitio: actividades de reciclaje al interior del relleno, (9) Taludes en el interior del relleno: Procesos de revegetalización y adecuado manejo, (10) Cerco vivo: Vegetación que permita controlar el acceso de animales y personas al interior del relleno. Otras recomendaciones que realiza la corporación tienen que ver con el uso de lonas para evitar dispersión de residuos, el cubrimiento del material de cobertura y la construcción de trinchos para la estabilidad de las paredes de los vasos.

Los formatos de las visitas técnicas son llenados de forma clara y concisa, resumiendo de manera más efectiva lo observado en campo. Además, para verificar los requerimientos o compromisos establecidos en visitas anteriores, se cuenta con una tabla similar a la mostrada en la figura 6.

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

Figura 6. Formato de verificación de requerimientos o compromisos

Verificación de requerimientos o compromisos: Número de informe técnico o radicado					
actividad	Fecha de cumplimiento	cumplido			observaciones
		si	no	parcial	
En este espacio se insertan los requerimientos de quejas o visitas técnicas					

Nota: Fuente el autor.

7.1.3. Principales requerimientos realizados a los municipios

Los requerimientos y recomendaciones más frecuentes en los informes técnicos se relacionan con: (1) El correcto manejo de los filtros verticales, ya que su construcción se realiza con materiales que no siguen las normativas, o se encuentran con algún grado de inclinación o altura inadecuada; (2) Recolección y tratamiento de los lixiviados, porque en la mayoría de los rellenos, a pesar de que la topografía contribuye al flujo de los mismos no se cuenta con una red interna de recolección, o la circulación de los mismos se realiza de forma ineficiente; (3) Mejorar la Compactación de los residuos, esto porque se observan residuos dispersos en las plataformas de disposición, ya sea por la falta de cubrimiento y compactación en el momento debido, o porque el material de cobertura después de compactado ha sido removido y deja al descubierto los residuos sólidos.

7.2. Procesamiento de la información

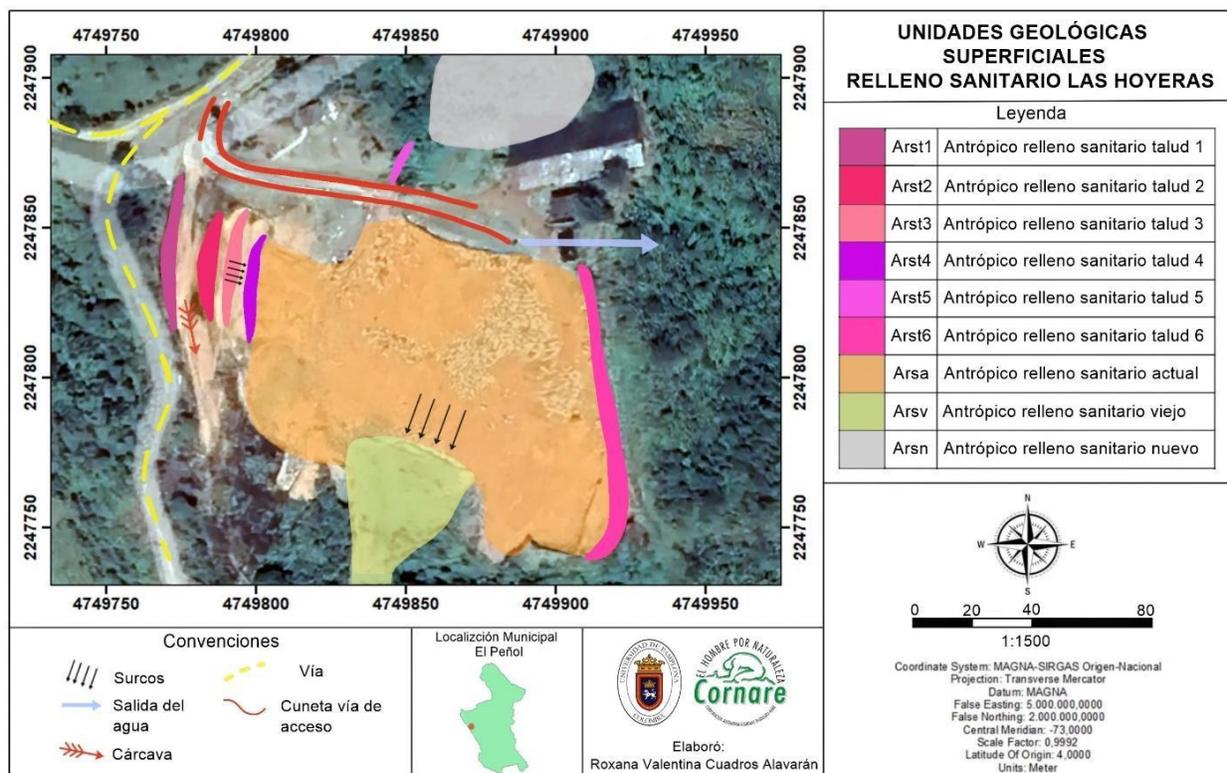
7.2.1. Relleno Sanitario “Las Hoyeras”, Municipio El Peñol

Este relleno se encuentra ubicado en la vereda El Salto perteneciente al municipio El Peñol. Durante el desarrollo de este estudio, se llevaron a cabo dos visitas con un lapso de dos meses entre cada una. Durante las visitas, se observó que el relleno se utiliza únicamente para la compactación de residuos no aprovechables. Esta actividad se realiza en un vaso específico (Porción del relleno

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

donde se depositan los residuos) denominado en este relleno como Arsa (antrópico relleno sanitario actual) (Figura7).

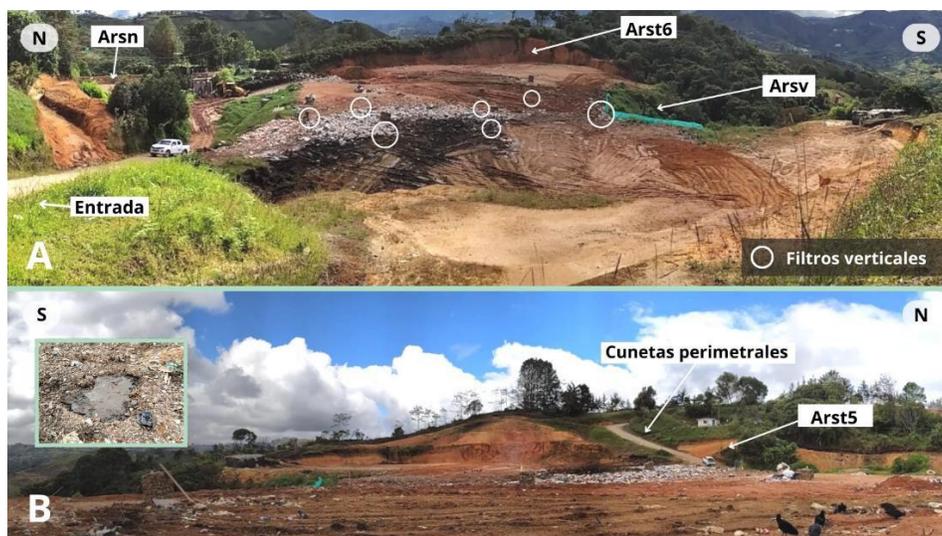
Figura 7. Unidades geológicas superficiales, relleno Las Hoyeras.



Nota: En la leyenda Arst = Antrópico relleno sanitario; a y v son abreviaturas para antiguo y viejo respectivamente, y t es la abreviatura para talud. Adaptado de Google Earth. Fuente el autor.

7.2.1.1. Observaciones Generales. El relleno cuenta con dos vasos (Figura 7), el primero es el vaso actual anteriormente mencionado, y el segundo corresponde a un vaso ya clausurado denominado en este trabajo como Arsv (antrópico relleno sanitario viejo) cuyo método de construcción es el método del área, que consiste en apoyar las celdas en la pendiente natural de la depresión. Para el momento de la segunda visita, se adelantaban labores para la conformación de un nuevo vaso denominado en este trabajo como Arsn (Antrópico relleno sanitario nuevo) para próximamente dar clausura al vaso actual (Figuras 7 y 8).

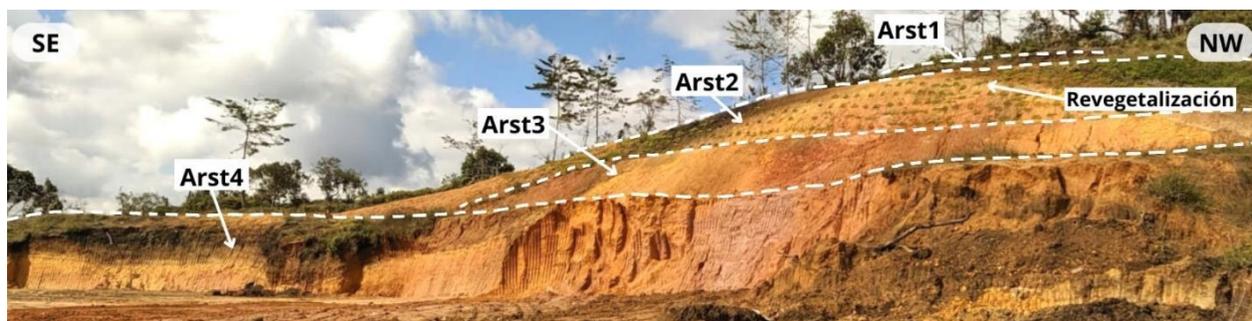
Figura 8. Panorámicas generales del relleno sanitario Las Hoyeras



Nota: (A) corresponde a una panorámica tomada cerca a la entrada del relleno, (B) corresponde a una panorámica tomada desde el talud Arst6, se observa además agua estancada y lixiviados en algunos puntos. Imágenes tomadas en la visita 2. Fuente el autor.

El relleno cuenta con 6 taludes principales, pero para las labores de compactación de los residuos, se realiza la extracción de limo procedente de los taludes 4 y 6 en los que se observaron pendientes negativas en las zonas de extracción de material, que se realiza mediante retroexcavadora (Figuras 9 y 15). La relación de los taludes es en términos de metros de aproximadamente 3:2 y en el caso del talud 6 la relación es 5:2.

Figura 9. Panorámica de las unidades Arst1, Arst2, Arst3 y Arst4



Nota: Arst1 (Antrópico relleno sanitario talud 1), Arst2 (Antrópico relleno sanitario talud 2), Arst3 (Antrópico relleno sanitario talud 3), Arst4 (Antrópico relleno sanitario talud 4). Imagen tomada en la visita 2. Fuente el autor.

7.2.1.2. Manejo de Aguas Lluvias y Procesos Erosivos. El relleno cuenta con dos cunetas perimetrales para la recolección de las aguas lluvia, las cuales no pudieron ser cartografiadas debido a la escala de trabajo. Estas cunetas están ubicadas a los costados de la vía de acceso al vaso actual. En general las cunetas se encuentran en muy buenas condiciones, pero no son continuas en todas las vías. Por ejemplo, la vía de acceso hacia la unidad Arst1 carece de cunetas (Figura 10). Las aguas lluvias que discurren desde la entrada son parcialmente captadas por la cuneta 1 y el segundo tramo de la cuneta dos. El resto de las aguas fluyen por la pendiente de la vía de la unidad Arst1. El agua captada por las cunetas se dispone en un recolector ubicado al finalizar la vía y posteriormente son transportadas a otro drenaje ubicado al este del relleno (Figura 7).

Figura 10. *Cunetas perimetrales en la entrada del relleno*



Nota: (A) Ausencia de cunetas hacia la unidad Arst1 ubicada a la izquierda, (B) las cunetas ya aparecen contiguas hasta el recolector. Ambas imágenes fueron tomadas desde el mismo punto en direcciones contrarias. Imagen tomada en la visita 2. Fuente el autor.

Al oeste del relleno, cerca de la unidad Arst1, se observa la presencia de una cárcava con una profundidad que varía de 10 cm a 40 cm en las zonas más erosionadas. Su ancho es aproximadamente de 16 (Figuras 7 y 11). Esta cárcava se encuentra en una pendiente media, orientada hacia el sur del relleno. La formación de esta cárcava se atribuye a la falta de cunetas a

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

lo largo del camino, las cuales deberían recolectar las aguas provenientes desde la entrada del relleno.

Figura 11. Cárcava cercana al talud 1



Nota: La cárcava se encuentra sobre la berma del segundo talud correspondiente a la unidad Arst2. Imagen tomada en la visita 1. Fuente el autor.

En el tercer talud, correspondiente a la unidad Arst3 y ubicado al oeste del relleno (Figura 7), se observa un proceso de erosión en forma de surcos de varios centímetros de espesor, indicando un proceso de erosión (Figura 12). Aunque los taludes Arst1, Arst2 y Arst3 ya no funcionan para la extracción de material de cobertura, únicamente el talud Arst2 presenta un proceso de revegetalización, que genera mayor estabilidad en el talud (Figuras 9 y 12). Esta es la razón por la cual el talud unidad Arst3 presenta el proceso erosivo.

Figura 12. Surcos en la unidad Arst2



Nota: Imagen tomada en la visita 1. Fuente el autor.

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

Durante la primera visita, se pudieron observar en el borde que limita las unidades Arsn y Arsv (Figura 9), procesos erosivos en surcos sobre el material de compactación, los cuales presentaban canales de 10 cm de profundidad y 15 cm de ancho que se dirigían pendiente abajo hacia la unidad Arsv. Se observó además dispersión de residuos sólidos de forma circular alrededor del contacto siguiendo la geometría de la cabecera del talud del vaso viejo Arsv (Figura 9).

Figura 13. *Proceso erosivo en surcos en el vaso Arsa*



Nota: Imagen tomada en la visita 1. Fuente el autor.

Otra observación importante es la disposición de dos de los filtros verticales que se encontraban en la zona de residuos sólidos dispersos, en las figuras 13 y 14 se evidencia que se encontraban en desnivel en relación con el material de cobertura.

La deficiencia en la compactación del material de cobertura que permite la infiltración de las aguas lluvias en las celdas, sumado al estancamiento de agua y la exposición de lixiviados en el vaso actual Arsa (Figura 8), generan flujo tanto de la capa de residuos como del material de cobertura de la unidad Arsa hacia la unidad Arsv, dejando expuesto parte del geotextil que meses atrás había sido colocado (Figura 13).

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios en Visitas Técnicas - Cornare

Figura 14. *Panorámica de la unidad Arsv*

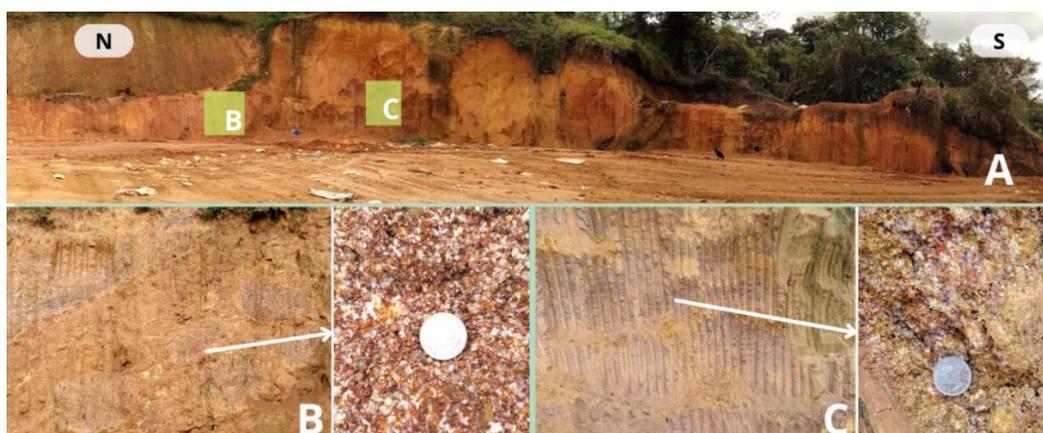


Nota: La imagen A fue tomada en la visita 2 y se observa como la lona que controla la dispersión de los residuos se encuentra inclinada. Fuente el autor.

7.2.1.3. Descripción de taludes. A continuación se describen de forma superficial las unidades cartografiadas en el mapa de unidades geológicas superficiales de base a techo según la columna generalizada (Figura 19).

7.2.1.3.1. Arst6. De base a techo se encuentra inicialmente la unidad G2 (Figura 19), esta se encuentra conformada por el saprolito de roca ígnea que en las unidades Arst4, Arst5 y Arst6 varía únicamente por el grado de meteorización. Hacia la base de la unidad se encuentran bloques esféricos residuales con menor grado de meteorización en comparación al saprolito (Figura 15).

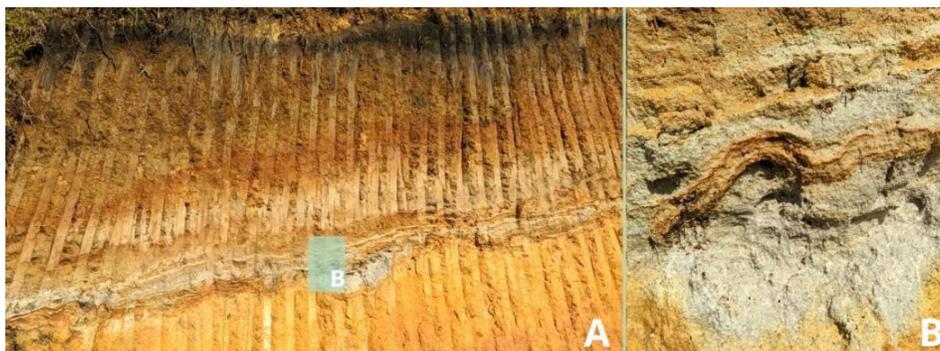
Figura 15. *Panorámica de la unidad Arst6*



Nota: (A) Talud de extracción de material de compactación con pendiente negativa en su extremo derecho, (B) bloques esféricos residuales parcialmente meteorizados, (C) Saprolito. Fuente el autor.

7.2.1.3.2. *Arst5*. En este talud, hacia la base se encuentra el tope de la unidad G1 en contacto con la unidad F, y hacia el techo se encuentra la unidad E (Figuras 16 y 19).

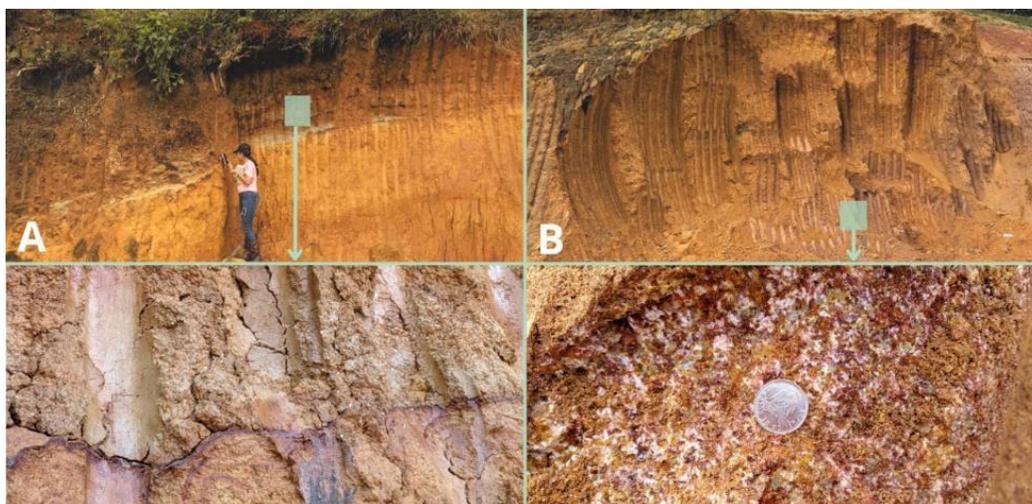
Figura 16. *Arst5*



Nota: (A) Horizonte de suelo residual en talud 6, (B) capa de cuarzo. Fuente el autor.

7.2.1.3.3. *Arst4*. Hacia la base del talud se encuentra la unidad G1, que al igual que en el talud *Arst5* se encuentra en contacto con la unidad F, y hacia el techo de la estación se encuentra la unidad E (Figuras 17 y 19), El grado de meteorización de las unidades es mayor en este talud que en el talud *Arst5*.

Figura 17. *Arst4*

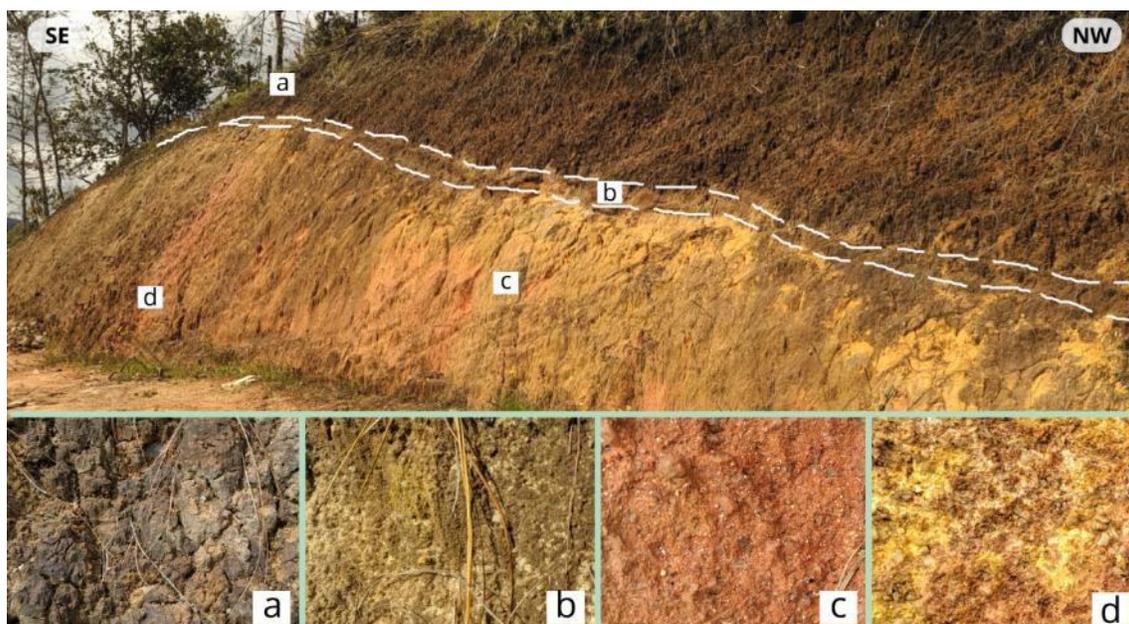


Nota: (A) Horizonte de suelo residual arcilloso, (B) Saprolito. Imagen tomada en la visita 1.
Fuente el autor.

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios en Visitas Técnicas - Cornare

7.2.1.3.4. Arst3, Arst2 y Arst1. Los taludes Arst3 y Arst2 corresponden de base a techo respectivamente a la unidad D; Hacia la base del talud Arst1 se encuentra el techo de la unidad D en contacto con la capa de cuarzos correspondiente a la unidad C, sobre esta reposa la ceniza volcánica de la unidad B y por último al tope del talud se encuentra la unidad A (Figuras 18 y 19).

Figura 18. Horizontes de la unidad Arst1

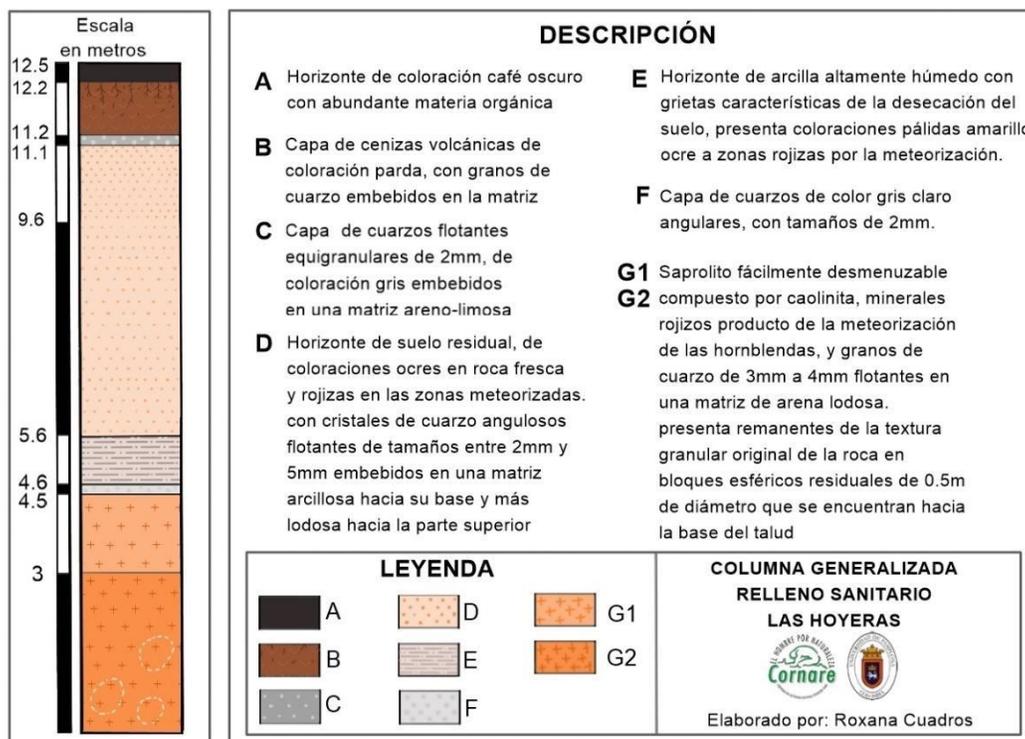


Nota: (a) Capa de cenizas volcánicas con agrietamiento por desecación, (b) capa de cuarzos embebidos en matriz de arena lodosa, (c y d) Suelo residual areno limoso. Imágenes tomadas en la visita 1. Fuente el autor.

El relleno sanitario municipal las Hoyeras se encuentra un perfil de meteorización bastante completo como se observa en la columna generalizada del relleno sanitario.

7.2.1.4. Columna Generalizada del Relleno Sanitario Las Hoyeras. Mediante las descripciones realizadas de cada uno de los taludes en la libreta de campo (Anexo 1) se construyó un perfil generalizado del relleno sanitario Las Hoyeras, en el que se describen los suelos que lo conforman (Figura 19).

Figura 19. Columna estratigráfica generalizada del relleno sanitario Las Hoyeras



Nota: Fuente el autor.

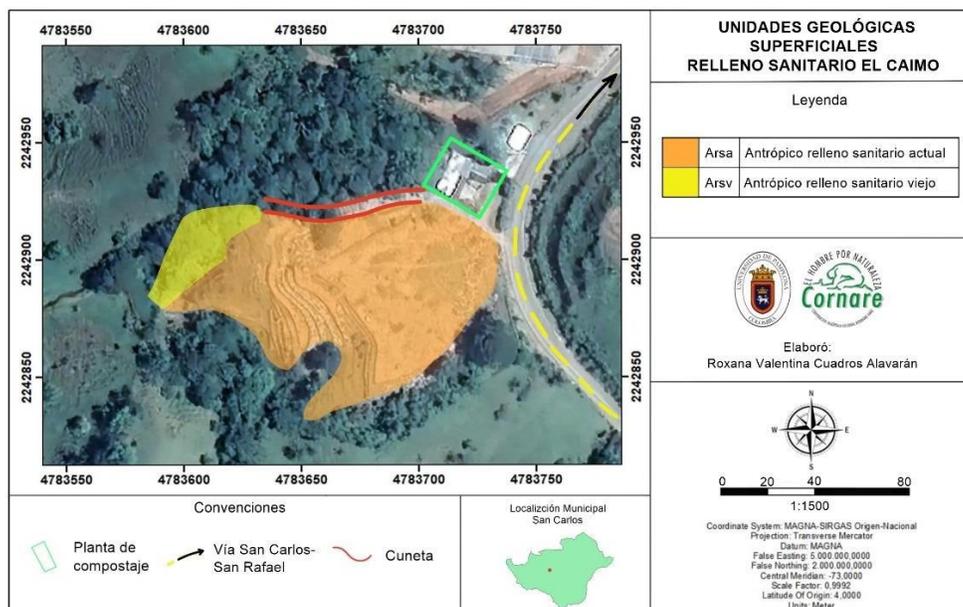
7.2.2. Relleno Sanitario “El Caimo”, Municipio de San Carlos

Para el relleno sanitario El Caimo, la vida útil del vaso actual finalizó en el año 2020 (Figuras 5 y 20). En el momento de la visita, no se realizaba disposición de residuos sólidos en dicho lugar. En cambio, los residuos estaban siendo trasladados al relleno sanitario "La Ceiba" para su disposición. Como solución temporal, mientras se gestiona un nuevo relleno sanitario, se trabajaba en la habilitación del antiguo vaso (Figura 19), el cual se proyectaba que funcionara durante un periodo de dos (2) años.

En este relleno, no se cuentan con taludes designados para la extracción de material de cobertura. Por lo tanto, no se realizó una columna general del relleno. El limo utilizado para la cobertura y compactación se obtenía de derrumbes en vías cercanas u otras áreas.

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

Figura 20. Unidades geológicas superficiales, relleno sanitario El Caimo



Nota: Arsv (Antrópico relleno sanitario viejo), Arsa (Antrópico relleno sanitario actual). Fuente el autor.

7.2.2.1. Observaciones generales. Hacia el 2021, el manejo realizado en el relleno no era el más adecuado. Sin embargo, en la actualidad, gracias a las obras realizadas siguiendo los requerimientos realizados por Cornare al municipio, se observa una gran mejora en la estabilidad de la unidad Arsa (Figura 21).

Figura 21. Panorámicas a la entrada del relleno sanitario El Caimo



Nota: (A) Vaso Arsa, (B) Entrada al vaso Arsv. Fuente el autor.

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

7.2.2.2. Manejo de Aguas Lluvia y Procesos Erosivos. Se observaron cunetas perimetrales en cemento para la recolección de aguas lluvias en la vía de acceso a la unidad Arsv, estas no fueron cartografiadas por la escala del trabajo. También se adelantaba la construcción de cunetas sobre las paredes de la unidad Arsa para recoger el agua y evitar que lleguen a la unidad Arsv (Figura 22). El vaso Arsa presenta un avanzado proceso de revegetalización tanto en la plataforma como en las paredes, y la existencia de trinchos en madera para la estabilidad de los mismos (Figura 22). En cuanto a los procesos erosivos, en la observación tanto de la plataforma del vaso actual como a los taludes no se encontraron indicios que sugirieran su existencia.

Figura 22. Obras de control de procesos erosivos



Nota: A Construcción de nuevas cunetas perimetrales, B. Trinchos en madera. Fuente el autor.

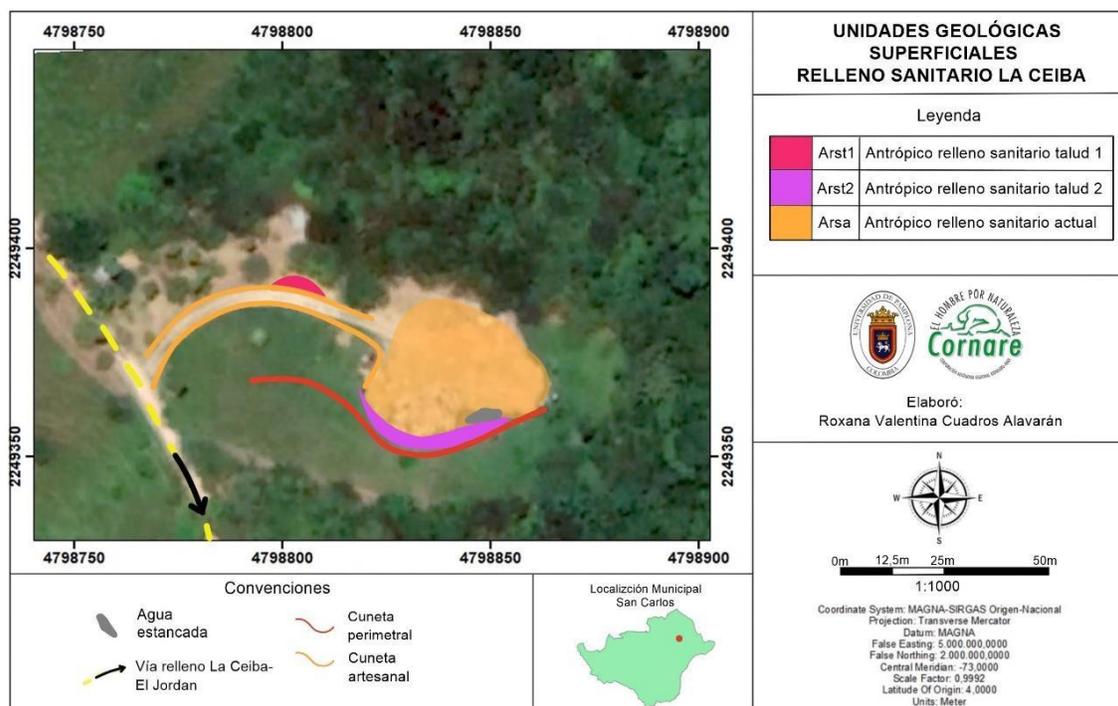
7.2.3. Relleno Sanitario “La Ceiba”, Municipio de San Carlos

El relleno sanitario La Ceiba se encuentra ubicado en la vereda El Jordán del municipio de San Carlos. Al momento de la visita, solo se realizaba disposición de residuos sólidos, y además se recibían los residuos que originalmente eran dispuestos destinados al relleno El Caimo.

El relleno cuenta con un único vaso actual (Figura 23) construido mediante el método de área. En este método, los residuos son dispuestos sobre el suelo y son elevados y compactados (Figura 24).

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

Figura 23. Unidades geológicas superficiales, relleno sanitario La Ceiba



Nota: Fuente el autor.

7.2.3.1. Observaciones generales. Al momento de la visita, la extracción de material de cobertura era realizada del talud Arst2 2 m. Sin embargo, en ese momento ya no disponía del suficiente material para continuar con la extracción, lo que afectaba la estabilidad de las cunetas perimetrales (Figura 24). Por lo tanto, actualmente se aprovecha el material proveniente de derrumbes en vías cercanas.

Figura 24. Panorámica del relleno sanitario La Ceiba



Nota: Fuente el autor.

7.2.3.2. Manejo de Aguas Lluvia y Procesos Erosivos. Sobre la unidad Arst2 se encuentra conformada una cuneta perimetral en cemento que recolecta aguas lluvias que puedan discurrir en el talud, en cuanto a la vía de acceso al relleno también existen dos cunetas artesanales en ambos lados que finalizan en el inicio de la plataforma de disposición y no son dirigidas a otro lugar más adecuado, esto ha ocasionado una acumulación de agua en el vaso Arsa (Figura 24).

Para la estabilización de las paredes de las celdas, se cuenta con trinchos en madera bien conformados con alturas de 70 cm aproximadamente, y un proceso de revegetalización de estas paredes y zonas aledañas (Figura 25).

Figura 25. *Trinchos en madera*



Nota: Fuente el autor.

7.2.3.3. Descripción de taludes. Los taludes Arst1 y Arst2 están conformados por la unidad A (Figura 27) que corresponde a un horizonte residual arcilloso (Figura 26).

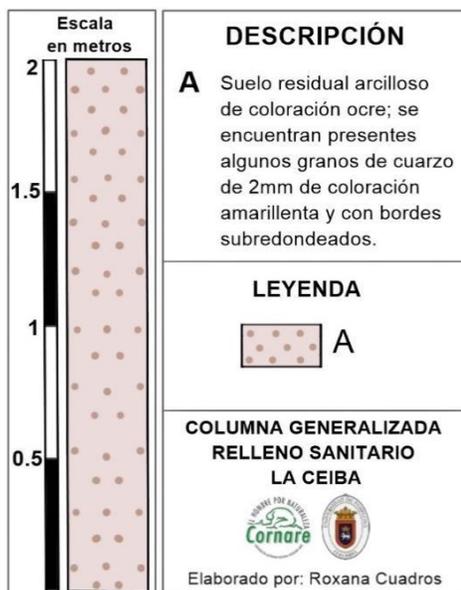
Figura 26. *Talud Arst1*



Nota: Fuente el autor.

7.2.3.4. Columna Generalizada del Relleno Sanitario La Ceiba. El perfil generalizado del relleno sanitario La Ceiba cuenta con una única unidad presente en los dos taludes, y esta es descrita a continuación (Figura 27).

Figura 27. Columna generalizada del relleno sanitario La Ceiba



Nota: Fuente el autor.

7.2.4. Relleno Sanitario “Los Guaicos”, Municipio de San Rafael

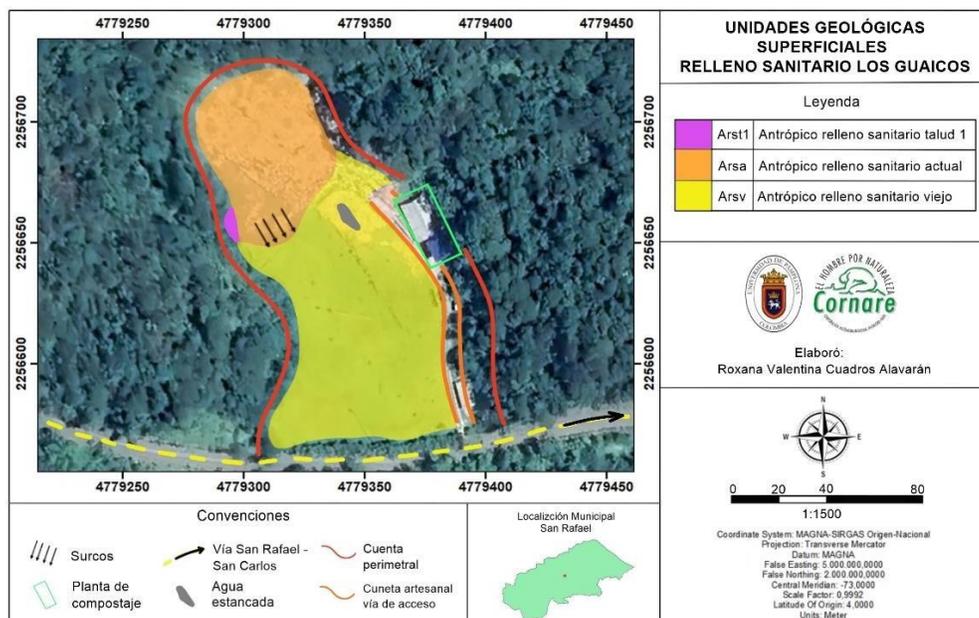
El relleno sanitario Los Guaicos se encuentra a 5 km del municipio de San Rafael, sobre la vía San Rafael-San Carlos, y allí se realizan los procesos de deposición de residuos sólidos y compostaje de materia orgánica. El relleno cuenta con un vaso ya clausurado (Arsv) y con un vaso actual (Arsa). El vaso Arsv fue conformado mediante zanjas, y el avance de las celdas actuales del vaso Arsa es realizado mediante el método del área (Figura 28).

La extracción del material de compactación se realiza desde el talud Arst1.

Se pudo observar también residuos sólidos sin cubrir dispersos en las paredes de la celda del vaso Arsa.

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

Figura 28. Unidades geológicas superficiales, relleno sanitario Los Guaicos



Nota: Fuente el autor.

7.2.4.1. Manejo de Aguas Lluvia y Procesos Erosivos. Para la recolección y manejo de aguas lluvias, se cuenta con cunetas perimetrales alrededor del relleno, estas reposan sobre taludes de aproximadamente 2 m de altura. En algunas zonas del vaso Arsv, se observaron charcos de agua estancada y lixiviados (Figura 29).

En cuanto al manejo de procesos erosivos se observa revegetalización en el vaso Arsv (Figura 31).

Figura 29. Acumulación de lixiviados



Nota: Fuente el autor.

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

Para el mantenimiento de los taludes en las celdas unitarias existen trinchos en guadua, los cuales se encuentran en no muy buenas condiciones, que además procuran evitar la dispersión de los residuos (Figura 30).

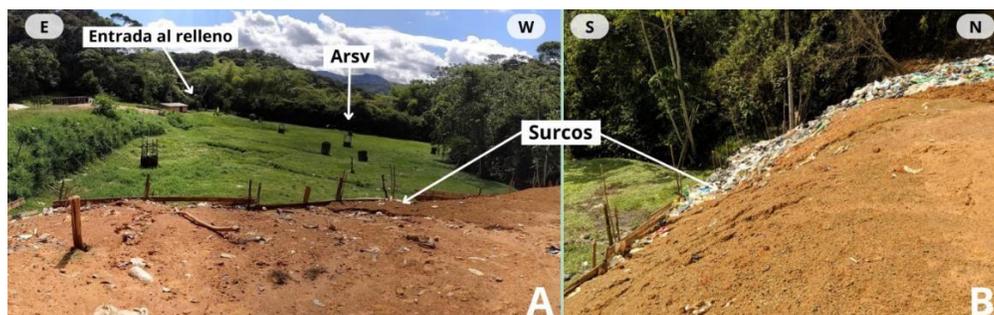
Figura 30. Actual vaso Arsa



Nota: Se pueden observar trinchos en bambú y surcos sobre la pendiente de la celda. Fuente el autor.

En las paredes de las celdas unitarias se observaron surcos de 10 cm de ancho, que se originan muy posiblemente debido a la exposición de los taludes a las lluvias y la deficiencia en la compactación del material de cobertura (Figuras 28, 30 y 31).

Figura 31. Surcos en la actual pared del vaso Arsa



Nota: (A) Proceso de revegetalización en vaso clausurado, (B) surcos en el talud de la celda unitaria.

7.2.4.2. Descripción de taludes. El relleno solo posee el talud Arst del cual se realiza extracción de material. El talud está compuesto en la base por la unidad B (Figura 32) que

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios en Visitas Técnicas - Cornare

corresponde a saprolito de roca ígnea, y que posee bloques esféricos residuales; y en el techo se encuentra la unidad A correspondiente a un horizonte arcilloso.

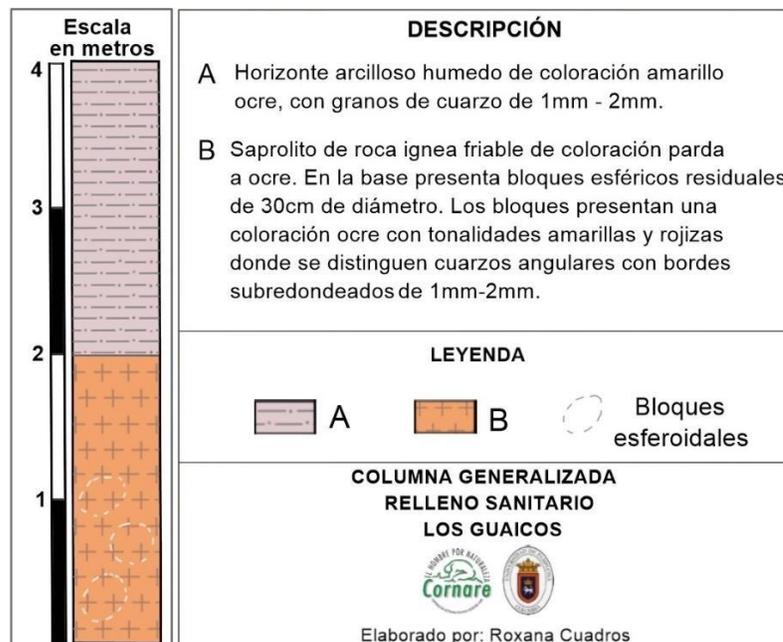
Figura 32. Extracción de material de compactación del talud Arst1



Nota: (B) Bloques esferoidales residuales, (C) horizonte residual arcilloso. Fuente el autor.

7.2.4.3. Columna Generalizada del relleno sanitario Los Guaicos. A continuación se presenta la columna generalizada del relleno correspondiente a la unidad Arst1.

Figura 33. Columna estratigráfica generalizada del relleno sanitario Los Guaicos



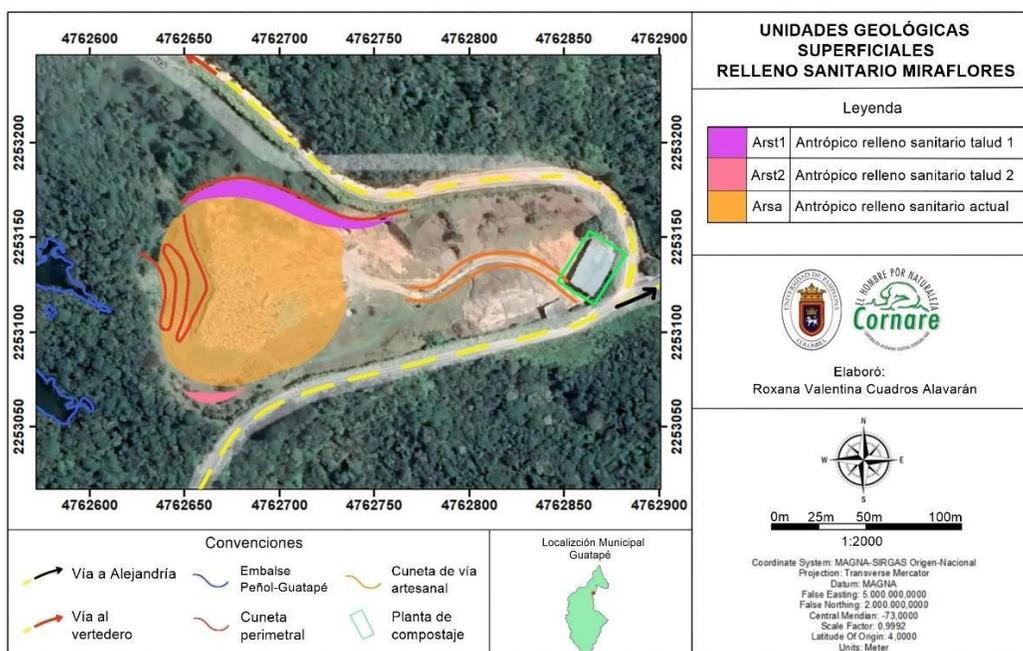
Nota: Fuente el autor.

7.2.5. Relleno Sanitario “Miraflores”, Municipio de Guatapé

El relleno sanitario Miraflores se encuentra ubicado 1km después de Casa Diana, en la vía que conduce de Guatapé al municipio de Alejandría. Allí se realizan los procesos de disposición de residuos sólidos y compostaje de residuos orgánicos. La disposición se realiza mediante el método de área. La compactación es realizada en el vaso actual del relleno denominado Arsa (Figura 34).

El material de cobertura es extraído principalmente desde un talud ubicado al interior del relleno denominado para efectos del trabajo como Arst1 (Figura 34 y 35).

Figura 34. Unidades geológicas superficiales, relleno sanitario Miraflores



Nota: Fuente el autor.

El talud Arst1 posee una altura aproximada de 5 m, con pendientes moderadas a altas, principalmente debido a la cercanía entre la vía que conduce al vertedero del embalse y la cabecera del talud (Figura 36). Hacia la base el talud se divide en una especie de escalón de menor tamaño (Figura 36). Como la extracción del material de cobertura ya no puede ser realizada del

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

talud Arst1, se está condicionando un nuevo talud al sur del relleno (Arst2), o el material es directamente aprovechado de movimientos de tierras.

Figura 35. Talud Arst1



Nota: Fuente el autor.

7.2.5.1. Manejo de Aguas Lluvia y Procesos Erosivos. Para la estabilidad de taludes y manejo de procesos erosivos, se realizó una perfilación del talud Arst1, además cuenta hacia el este con un proceso inicial de revegetalización (A, Figura 36).

En cuanto al manejo de las aguas lluvias el relleno cuenta al oeste del vaso Arsa con cunetas perimetrales (Figura 36), según los informes técnicos y la visita estas disponen las aguas en el embalse.

Figura 36. Manejo de procesos erosivos y aguas lluvias



Nota: A. Proceso de revegetalización. B. Talud Arst2, se observa una dispersión de residuos que no se encontraban compactados y presentaban además afloramiento de lixiviados (Figura 36).

Fuente el autor.

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios en Visitas Técnicas - Cornare

En gran parte de la plataforma de disposición se encontraron residuos sólidos dispersos sin compactación, además de una gran cantidad de lixiviados aflorando, por lo que el desplazamiento en la visita se realizó con mucha dificultad. Una de las razones del afloramiento de lixiviados es el gran aumento de la cantidad de residuos dispuestos en el relleno por el creciente turismo de los últimos años, además de la ausencia de infraestructura adecuada para el flujo y recolección de los mismos. Para manejar esta situación, la corporación ha exigido al municipio diferentes estudios para descartar la contaminación de las aguas que son dispuestas en el embalse por las cunetas, y nuevos estudios sobre la vida útil del relleno sanitario.

Figura 37. *Afloramiento de lixiviados sobre el vaso*

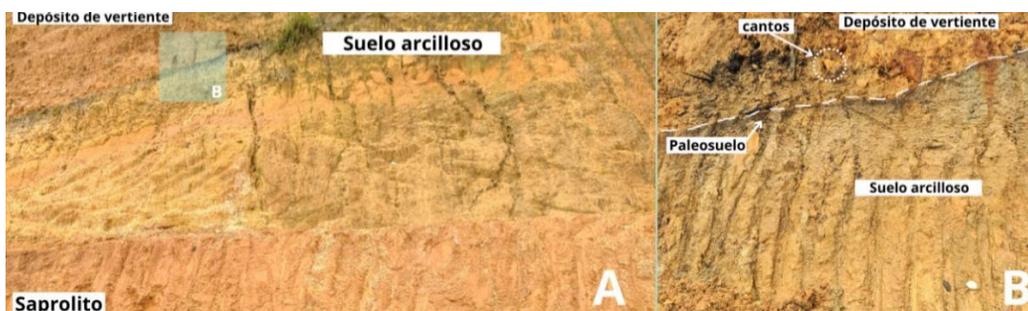


Nota: Fuente el autor.

7.2.5.2. Descripción de taludes. A continuación se describen de forma superficial el talud Arst1, ya que no se pudo acceder al talud Arst2 por temas de logística.

7.2.5.2.1. Arst6. De base a techo, el talud está conformado por la unidad C (Figuras 38 y 39), que corresponde a saprolito de roca ígnea. Sobre esta unidad se encuentra la unidad B, que corresponde a un horizonte residual arcilloso. El contacto entre la unidad A y B corresponde a un paleo suelo, y finalmente la unidad A corresponde a un depósito de vertiente.

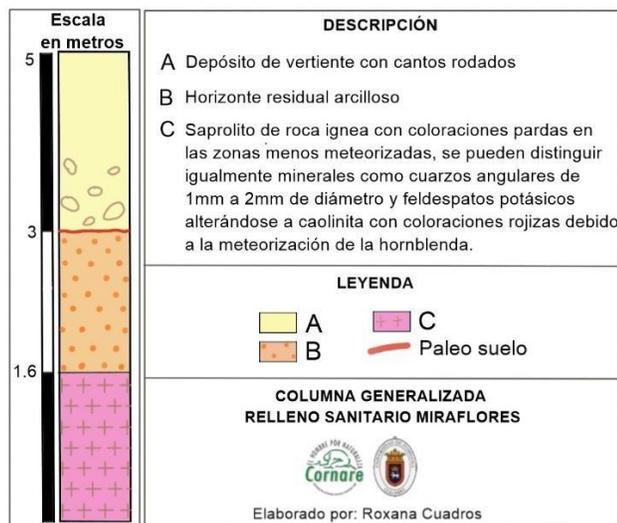
Figura 38. *Composición de los taludes*



Nota: (A) Horizontes, (B) paleosuelo y depósitos de vertiente. Fuente el autor.

7.2.5.3. Columna Generalizada del Relleno Sanitario Miraflores. Mediante la descripción del talud Arst1 en la libreta de campo (Anexo 1), se construyó una columna generalizada del relleno sanitario, en la que se describen los suelos que lo conforman (Figura 39).

Figura 39. *Columna estratigráfica generalizada del relleno sanitario Miraflores.*



Nota: (A) Horizontes, (B) paleosuelo y depósitos de vertiente. Fuente el autor.

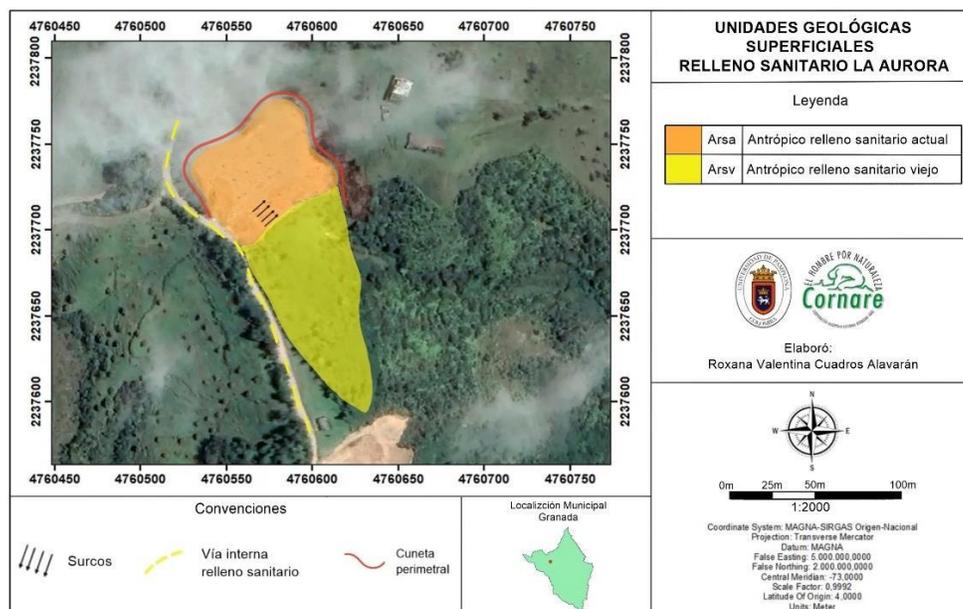
7.2.6. Relleno Sanitario “La Aurora”, Municipio de Granada

El relleno sanitario La Aurora se encuentra ubicado a 4 km del municipio de Granada, allí se realiza a disposición de residuos sólidos, compostaje de materia orgánica y manejo de escombros (Figura 40). El método de disposición de los residuos es el método del área, y para su cobertura y

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

compactación se utiliza material traído del exterior del relleno, por lo que no se observaron taludes para la descripción de unidades y posterior conformación de columna estratigráfica.

Figura 40. Unidades geológicas superficiales, relleno sanitario La Aurora



Nota: Fuente el autor.

7.2.6.1. Manejo de Aguas Lluvia y Procesos Erosivos. Para el manejo de aguas lluvias, el relleno cuenta con cunetas perimetrales alrededor del vaso actual Arsa (Figura 42). En general, el relleno presenta muy buenas condiciones, y solo se pudieron observar algunos surcos paralelos al borde de una de las celdas unitarias de la unidad Arsa (Figura 41).

Figura 41. Surcos paralelos al borde del vaso Arsa



Nota: El material de cobertura es aprovechado en zonas cercanas. Fuente el autor.

8. Conclusiones

Durante el desarrollo del trabajo se evidenció que Cornare realiza un seguimiento al manejo que se realiza de los rellenos sanitarios por parte de los municipios; en este seguimiento se tienen en cuenta parámetros importantes como los filtros verticales, compactación, existencia de cunetas, revegetalización, y manejo de taludes, que contribuyen a prevención y control de procesos erosivos, sin embargo, durante la recopilación de información secundaria no se encontró registro de la existencia de procesos erosivos, y los requerimientos realizados no tienen en cuenta la relación entre la erosión y las problemáticas que se generan en la compactación, manejo de taludes y afloramiento de lixiviados.

La utilización del formato guía para la observación y registro de procesos erosivos, es importante para que en los informes técnicos quede evidenciada su existencia y se tenga un registro de su evolución; y además, de que en la generación de requerimientos y recomendaciones se tenga en cuenta la relación entre estos procesos y las demás problemáticas del relleno, con el objetivo de mejorar aún más el manejo de los rellenos sanitarios de la regional.

Además de la erosión antrópica debido al movimiento de tierras y eliminación de la cobertura vegetal por manejo del relleno sanitario, existen procesos de erosión hídrica superficial presentados en forma de surcos y cárcavas debido a la ausencia de cunetas en puntos clave, deficiencias en la compactación y problemáticas en la recolección y circulación de lixiviados.

Mediante las descripciones realizadas en las visitas se cartografiaron los procesos erosivos, unidades geológicas superficiales y demás estructuras destacadas de los rellenos sanitarios en imágenes satelitales, además se construyeron columnas generalizadas de los suelos, que permiten la actualización de la información geológica general de los rellenos sanitarios en la jurisdicción de la Regional Aguas.

9. Recomendaciones

Registrar en los informes de visitas técnicas de control y seguimiento a rellenos sanitarios, los procesos erosivos para generar un monitoreo de su evolución, y así realizar recomendaciones para su prevención, mitigación y control; además de verificar el cumplimiento y eficiencia de estas recomendaciones.

Aplicar el formato guía para la observación y registro de procesos erosivos, y así facilitar el traspaso de la información a los informes técnicos, y poder generar una homogeneidad en la consolidación de la información.

Tener en cuenta documentos como el acuerdo 265 de 2011 de Cornare, en donde se habla del uso de elementos impermeables para la prevención de procesos erosivos, y realizar recomendaciones a fin de disminuir la erosión hídrica superficial en los taludes y paredes de los vasos de los rellenos sanitarios.

10. Referencias

- AMYM. (2019). *Erosión Natural VS Erosión Acelerada. Colombia*. Aceros, metales y mallas Ltda. <https://gaviones.co/erosion-natural-vs-erosion-acelerada/>
- Cornare; Gobernación de Antioquia (2011). *Evaluación Y Zonificación De Riesgos Por Avenida Torrencial, Inundación Y Movimiento En Masa Y Dimensionamiento De Procesos Erosivos En El Municipio De El Peñol* <https://www.cornare.gov.co/GestionRiesgo/EL-PENOL/Informe-Final-El-Penol.pdf>.
- Cornare (2011). *Manual de prácticas para la mitigación temprana del riesgo*. Corporación autónoma regional de la cuenca de los ríos Negro y Nare [CORNARE]. Colombia (pp. 8-12-13-14).
- Cornare; Gobernación de Antioquia (2012). *Evaluación y Zonificación de Riesgos Por Avenida Torrencial, Inundación, y Movimiento En Masa y Dimensionamiento de Procesos Erosivos en El Municipio De Granada*. Corporación autónoma regional de la cuenca de los ríos Negro y Nare [CORNARE]. <https://www.Cornare.gov.co/GestionRiesgo/GRANADA/Informe-Final-Municipio-de-Granada.pdf>.
- Cornare; Gobernación de Antioquia (2011). *Evaluación y Zonificación de Riesgos Por Avenida Torrencial, Inundación, y Movimiento En Masa y Dimensionamiento de Procesos Erosivos en El Municipio De San Carlos*. Corporación autónoma regional de la cuenca de los ríos Negro y Nare [CORNARE]. <https://www.cornare.gov.co/GestionRiesgo/SAN-CARLOS/Documento-final-San-Carlos.pdf>.
- Cornare (octubre de 2022). *Localización Regional*. Corporación autónoma regional de la cuenca de los ríos Negro y Nare [CORNARE]. <https://www.Cornare.gov.co/localizacion-regional/>
- Cubillo, P. (2005). *Ubicación del nuevo relleno sanitario en base a criterios ambientales, socioeconómicos y técnicos, y propuesta de plan de reciclaje en la ciudad de Quero, cantón Quero, provincia del Tungurahua, Capítulo 1* [Tesis de pregrado, universidad de las fuerzas armadas ESPE]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/722/2/T-ESPE-025114-2.pdf>
- IDEAM (octubre de 2022). *Degradación de suelos*, Colombia. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales [IDEAM]. <http://www.ideam.gov.co/web/siac/erosion>
- Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales, una solución para la disposición final de residuos sólidos municipales en pequeñas poblaciones*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>

Caracterización de Procesos Erosivos en Rellenos Sanitarios de la Regional Aguas, Según los Requerimientos Realizados a los Municipios
en Visitas Técnicas - Cornare

- Medina, M. (28 de mayo de 2022). *Problemas geotécnicos en los rellenos sanitarios* [Especialización, Universidad Tecnológica Nacional].
<https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/3768/Trabajo%20Final%20-%20Problemas%20Geot%C3%A9cnicos%20en%20Rellenos%20Sanitarios%20-%20Medina%20Mar%C3%ADa%20Emilia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramos, J. (2011). Geotecnia de rellenos sanitarios [Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia].https://www.researchgate.net/publication/264332755_Geotecnia_de_rellenos_sanitarios
- Rodríguez, D. (3-5 de diciembre de 2008). *Características e importancia de los rellenos sanitarios. Gobierno del estado de Michoacán.*
http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/16306/decd_5173.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez G. (2005). *Geología de la plancha 147 Medellín oriental.* Medellín. Instituto colombiano de geología y minería [INGEOMINAS].
<https://recordcenter.sgc.gov.co/B12/23008010002745/documento/pdf/2105027451101000.pdf>
- Ullca, J. (2005). Los rellenos sanitarios. LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida, (4), 2-17.
<https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047388001.pdf>