

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA A ESCALA 1:5.000 DE LA
MINA AGUAS DE PERALONSO, UBICADA SOBRE EL RÍO PERALONSO, EN EL
MUNICIPIO DE SANTIAGO, DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER, PARA
LA ELABORACIÓN DEL PLAN DE TRABAJOS Y OBRAS (PTO) POR PARTE DE LA
EMPRESA AMSERVING S.A.S.**

DANNA PAOLA MOGOLLÓN TORRES

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS – GEOLOGÍA
2024**

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA A ESCALA 1:5.000 DE LA
MINA AGUAS DE PERALONSO, UBICADA SOBRE EL RÍO PERALONSO, EN EL
MUNICIPIO DE SANTIAGO, DEPARTAMENTO DE NORTE DE SANTANDER, PARA
LA ELABORACIÓN DEL PLAN DE TRABAJOS Y OBRAS (PTO) POR PARTE DE LA
EMPRESA AMSERVING S.A.S.**

DANNA PAOLA MOGOLLÓN TORRES

**Trabajo de grado, modalidad práctica empresarial presentado como requisito para optar al
título de Geóloga**

Director empresarial

Geol. NEYDER CAMILO CRISTANCHO VERA

Director académico

Msc. ILICH SEBASTIAN VILLAMIZAR SOLANO

Codirector académico

Geol. SEBASTIAN DOHENER HERNANDEZ MELGAREJO

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS – GEOLOGÍA
2024**

DEDICATORIA

Dedico este gran logro a mi amor más grande, a mi pollito de colores, mi hija Danae Isabel Rojas Mogollón, quien ha sido mi guía y mi fuerza para salir adelante, mi mejor amiga en clases y mi guarda nocturna cuando estudiaba.

Tus abrazos son mi refugio, tu risa ilumina mis días más difíciles y a través de este trabajo quiero agradecerte por ser mi mayor motivación y mi razón para no rendirme.

Te amo inmensamente hija.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido al éxito de mi carrera y de este proyecto.

Agradezco primeramente a Dios por permitirme obtener este gran logro en mi vida, por guiarme cada día y darme la fuerza necesaria para no rendirme.

Estoy eternamente agradecida con mis padres, Laudith Torres, Wiliam Betancur y Wilber Mogollón, y con mi abuela, Azula Ramírez, por el amor y apoyo incondicional que me han dado en el transcurso de mi vida y de mi carrera, todo para verme lograr mis sueños. Espero se sientan siempre orgullosos de mí, los amo.

Quiero agradecer con todo mi corazón a mi hija, Danae Isabel Mogollón, por ser una luz en mi camino, por ser mi gran acompañante en clases y en este trabajo, y a mi hermana Valentina Mogollón por ayudarme en momentos de dificultad y hacerme reír cuando lo necesito.

A mis mejores amigas Angie Serrano y Alexandra Gómez, por su cariño y apoyo incondicional el cual ha sido muy importante en mi vida.

Finalmente agradezco a mi tutor y novio, Sergio Hernández, quien me apoyó, orientó y enseñó con mucho amor para que lograra mis objetivos, y a la empresa Amsserving y a mis compañeros de trabajo por acogerme y permitirme realizar mi trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. OBJETIVO GENERAL	3
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
3. LOCALIZACIÓN.....	4
4. MARCO TEÓRICO	5
4.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	5
4.1.1. Estratigrafía.....	5
4.1.1.1. Formación Catatumbo (k6E1ct).....	5
4.1.1.2. Depósitos Cuaternarios	6
4.1.1.2.1. Depósitos Aluviales (Q2al).....	6
4.1.1.2.2. Depósitos Coluviales (Q2c).....	6
4.1.1.2.3. Depósitos de terraza (Q2tl).....	6
4.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	7
4.2.1. Falla Aguardiente.....	7
4.3. MARCO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL.....	8
4.3.1. Ambiente Estructural	8
4.3.1.1. Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc).....	9
4.3.1.2. Sierra (Ss)	9
4.3.2. Ambiente Fluvial.....	9
4.3.2.1. Planicie aluvial confinada (Fpac)	9
5. METODOLOGÍA.....	11
5.1. FASE 1, RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
5.2. FASE 2, PRE-CAMPO	12
5.2.1. Obtención del DEM	12
5.3. FASE 3, TRABAJO DE CAMPO	13
5.3.1. Recopilación de datos	13
5.3.2. Elaboración de los mapas.....	13
5.4. FASE 4, TRABAJO DE OFICINA.....	13
5.5. FASE 5, INFORME FINAL.....	14

6. RESULTADOS	15
6.1. Geología Local	17
6.1.1. Perfiles Geológicos	19
6.1.2. Formación Catatumbo (k6E1ct)	20
6.1.3. Depósitos cuaternarios.....	22
6.1.3.1. Depósitos Aluviales Recientes (Q2al)	23
6.1.3.2. Depósitos de Terraza baja (Q2tl).....	24
6.1.3.3. Depósitos Coluviales (Q2c)	26
6.2. Geomorfología	27
6.2.1. Geoformas de ambiente fluvial.....	28
6.2.1.1. Cauce Aluvial (Fca)	29
6.2.1.2. Terraza baja (Ftb).....	30
6.2.1.3. Plano o Llanura de Inundación (Fpi)	30
6.2.1.4. Barra Longitudinal (Fbl)	31
6.2.1.5. Barra Compuesta (Fbc).....	31
6.2.1.6. Barra Puntual (Fbp).....	32
6.2.2. Geoformas de ambiente denudacional	33
6.2.2.1. Ladera denudacional erosiva (Dle)	33
6.2.2.2. Cono o lóbulo coluvial (Dco).....	34
6.2.2.3. Ladera denudacional ondulada (Dlo)	34
6.2.3. Geoforma de ambiente antropogénico	35
6.2.3.1. Explotación minera (Aemc)	35
6.3. Geología estructural.....	36
7. CONCLUSIONES.....	37
8. RECOMENDACIONES	39
9. REFERENCIAS.....	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.	4
Figura 2. Mapa regional geológico, plancha 87-Sardinata	8
Figura 3. Mapa regional geomorfológico, plancha 087-Sardinata.	10
Figura 4. Diagrama de metodología.	11
Figura 5. Mapa de estaciones junto al ortomosaico de la mina Aguas del Peralonso.	16
Figura 6. Relieve de la zona de estudio generado a partir de curvas de nivel en el programa Leapfrog Geo.	17
Figura 7. Mapa Geológico de la mina Aguas del Peralonso	18
Figura 8. Perfil geológico A-A'	19
Figura 9. Perfil geológico B-B'	19
Figura 10. Perfil geológico C-C'	20
Figura 11. Afloramiento de la Formación Catatumbo.	21
Figura 12. Afloramiento de la Formación Catatumbo.	22
Figura 13. Deposito Aluvial del río Peralonso.....	23
Figura 14. Fotografía donde se observa la forma de los clastos.	24
Figura 15. Afloramiento de Terraza.	25
Figura 16. Afloramiento de terraza.	26
Figura 17. Fotografía tomada de depósito de coluvión.	27
Figura 18. Mapa Geomorfológico de la mina Aguas del Peralonso.	28
Figura 19. Fcap, río Peralonso.....	29
Figura 20. Terraza baja (Ftb)	30
Figura 21. Fotografía donde se observa llanura de inundación y cauce aluvial.	31
Figura 22. Fotografía de barra compuesta y cauce aluvial.	32
Figura 23. Fotografía parte de la barra puntual.	33
Figura 24. Imagen de ladera denudacional ondulada y el lóbulo Coluvial.....	34
Figura 25. Imagen de la Explotación minera.....	35

RESUMEN

El presente proyecto de práctica empresarial tiene como objetivo cartografiar la geología y geomorfología de la mina Aguas del Peralonso ubicada en la vereda La Amarilla del municipio de Santiago, departamento de Norte de Santander, con el fin de elaborar el Programa de Trabajos y Obras (PTO) de la mina, para la ejecución de una minería tecnificada, ordenada y con un buen manejo ambiental. Para ello se llevó a cabo una metodología de 5 fases, iniciando con la recopilación de información bibliográfica, para posteriormente realizar un análisis previo mediante el uso de procesos geoespaciales como imágenes satelitales y el modelo de elevación digital (DEM); en el trabajo de campo se realizó toma de muestras, descripción de afloramientos, toma de datos litológicos y estructurales y se obtuvo información mediante las imágenes de sobrevuelos de dron. Con base a lo anterior y siguiendo la Guía Metodológica de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Materiales de Arrastre (Vélez et al., 2021) se identificaron 10 elementos geomorfológicos de los cuales 7 pertenecen al ambiente fluvial, 3 pertenecen al ambiente denudacional y 1 pertenece al ambiente antropogénico; y 4 unidades geológicas de las cuales 3 corresponden a depósitos cuaternarios como depósitos aluviales recientes, depósitos coluviales y depósitos de terrazas, y 1 corresponde al Cretácico Superior como la Formación Catatumbo la cual se conforma litológicamente por lodolitas fisiles con intercalaciones de lodolitas arenosas de grano fino.

Esta información finalmente fue plasmada en el presente informe mediante la elaboración de en un mapa geológico, un mapa geomorfológico y 3 perfiles geológicos.

Palabras clave: Cartografía Geológica, Cartografía Geomorfológica.

1. INTRODUCCIÓN

La geología y la geomorfología abordan la comprensión y recopilación de información litológica, estructural y de los procesos que modifican el relieve terrestre. Ambas desempeñan un papel fundamental en la ejecución del Plan de Trabajos y Obras (PTO) para la exploración y el aprovechamiento de los materiales y/o recursos existentes. En el presente estudio se llevó a cabo la realización de la cartografía geológica y geomorfológica de la mina Aguas del Peralonso, con el objetivo de determinar las unidades geológicas y elementos geomorfológicos que se presentan en la zona de estudio para la elaboración del Plan de Trabajos y Obras de la mina. Para lograr este objetivo se elaboraron productos como el mapa geológico, el mapa geomorfológico y perfiles geológicos a escala 1:5.000.

La importancia de este estudio se basa en la necesidad de identificar la geología y la geomorfología de la mina para dar cumplimiento con los productos requeridos por el Plan de Trabajos y Obras y permitir el desarrollo de las operaciones mineras dentro del título.

Este estudio se realizó cumpliendo una metodología de 5 fases bien establecidas, iniciando con la recopilación bibliográfica del área de estudio, seguida de un análisis pre-campo y delimitación del área de estudio la cual se obtuvo mediante la ANM, se exploró la zona a través de imágenes satelitales y siguiendo la Guía Metodológica de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Materiales de Arrastre se determinó la escala 1:5.000. En la fase de trabajo de campo se realizaron observaciones y toma de datos, y se realizó un análisis mediante un sobrevuelo de dron. La información obtenida se reunió en la fase de oficina donde se identificaron finalmente 4 unidades geológicas y 10 elementos geomorfológicos y se elaboraron los insumos requeridos como el mapa geológico, el mapa geomorfológico y los perfiles geológicos. Toda la información se adjuntó en el presente informe

cumpliendo con los objetivos del proyecto y de la empresa, y contribuyendo con futuros estudios cartográficos.

2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GENERAL

Determinar las unidades geológicas y elementos geomorfológicas de la mina Aguas del Peralonso, ubicada en el municipio de Santiago, Norte de Santander, mediante una cartografía a escala 1:5.000 para la elaboración del PTO por parte de la empresa Amsserving S.A.S

2.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS

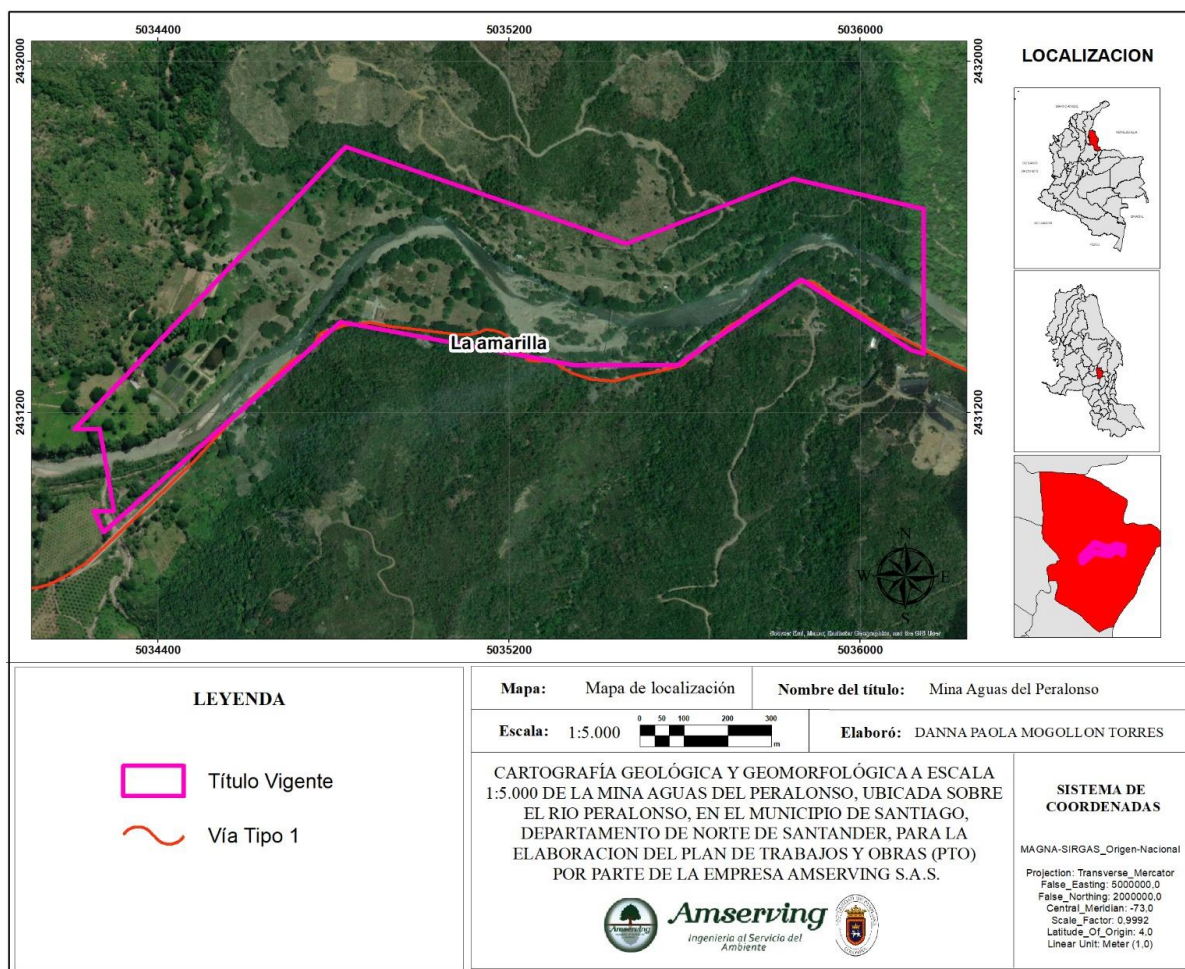
- Identificar las unidades geológicas y elementos geomorfológicos presentes en la mina Aguas del Peralonso, mediante el levantamiento de información en campo y análisis fotogeológico para la elaboración del PTO.
- Elaborar el mapa geológico y geomorfológico a escala 1:5.000 a partir de la información recopilada para la elaboración del PTO de la mina Aguas del Peralonso.
- Establecer la configuración geológica mediante un perfil geológico como insumo para complementar la cartografía geológica de la mina Aguas del Peralonso.

3. LOCALIZACIÓN

La mina Peralonso se encuentra ubicada en el departamento de Norte de Santander, en el municipio de Santiago, en la vereda La Amarilla, a 16 km del municipio del Zulia, pasando por el corregimiento de Cornejo hasta llegar a la Hacienda Monte Cristo.

Figura 1

Mapa de localización del área de estudio.



Nota. La figura muestra la localización del área de estudio. Fuente: Autor

4. MARCO TEÓRICO

A continuación, se describirá el marco geológico regional, geomorfológico regional y estructural de la zona de estudio.

4.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La configuración tectónica y geológica actual surge tras el evento geológico de la orogenia andina, resultado de la colisión entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana. Este choque generó la elevación de la Cordillera Oriental, que con el tiempo los procesos externos como la meteorización y la erosión han esculpido el relieve característico de esta región (Cooper et al., 1995; Cediel et al., 2003). Según la plancha 87 la zona de trabajo se encuentra localizada sobre la Cuenca de Catatumbo, la cual es una cuenca antepaís que ha evolucionado geológicamente en medio de procesos de apertura, levantamiento y esfuerzos transpresivos que se ven reflejados en las fallas y pliegues (Lozano & Zamora, 2014). Entre las formaciones que presenta esta cuenca, se encuentran formaciones con edades del Cretácico Superior y Cenozoico. Esta formación representativa de la zona es la Formación Catatumbo y depósitos cuaternarios aluviales, coluviales y de terraza.

4.1.1. Estratigrafía

4.1.1.1. Formación Catatumbo (k6E1ct)

Notestein et al. (1944) define y publica el nombre Formación Catatumbo designando esta como la unidad Inferior del Grupo Orocué de la Concesión Barco. a Formación Catatumbo se encuentra cartografiada en afloramientos con pendientes suaves a moderadas, con espesores expuestos de entre 2 a 20 m. Como características litológicas en general se caracterizan intercalaciones de lodolitas, lodolitas arenosas y arenitas lodosas con presencia de fragmentos de

materia orgánica y carbón. La Formación Catatumbo suprayace la Formación Colon – Mito Juan, con la cual es cartografiado contacto neto concordante, de igual manera infrayace la Formación Barco con la que se caracteriza contacto transicional concordante. Notestein et al. (1944), caracteriza esta Formación como de edad Cretácica Tardío (Maastrichtiano).

4.1.1.2. Depósitos Cuaternarios

4.1.1.2.1. Depósitos Aluviales (Q2al)

Se caracterizan como depósitos aluviales conformados por la acumulación de rocas y sedimentos producto del transporte de ríos, arroyos y quebradas. Gravas de guijarros gruesos a bloques redondeados a subangulares, comúnmente con tendencia de imbricación, suprayacidos por arenas lodosas, lodos arenosos o lodos (SGC, 2016).

4.1.1.2.2. Depósitos Coluviales (Q2c)

Se agrupan como depósitos de coluvión los depósitos de caídas de bloques, glaciares de acumulación y algunas avalanchas de roca. La composición de los mismos depende del área de ocurrencia y las rocas fuente de material (Oviedo, 2015), texturalmente se componen entre sedimentos tamaño arcilla y bloques (SGC, 2016).

4.1.1.2.3. Depósitos de terraza (Q2tl)

Depósitos basculados conformados por elastos de composición variada según el área fuente. Estos depósitos representan variaciones a nivel local de drenajes que se concentran en valles menores. Los espesores de estos depósitos oscilan entre los 5 a 15 metros (SGC, 2016).

4.2.GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

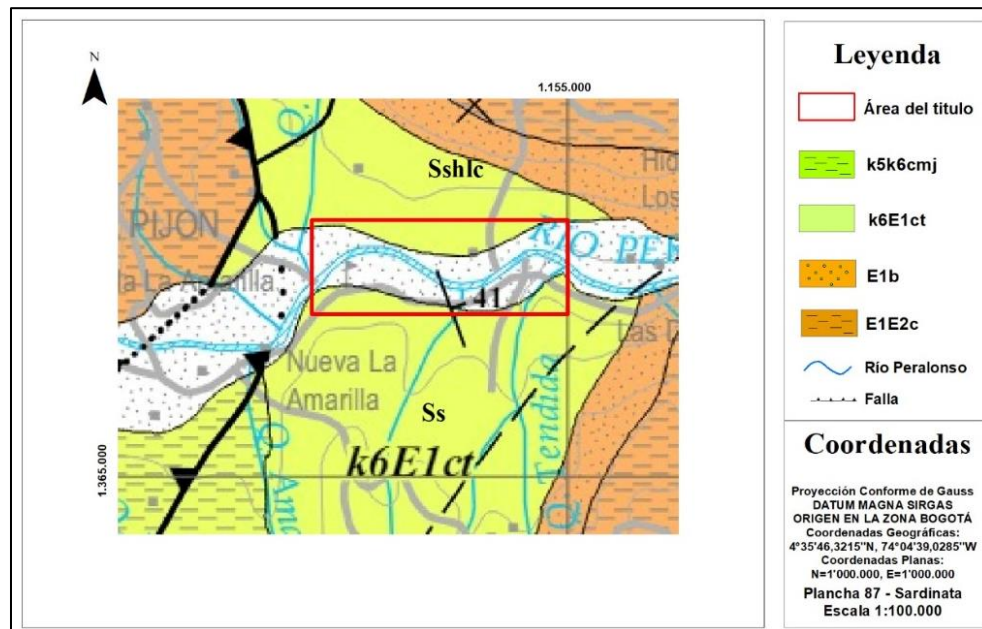
La región del norte de Suramérica es tectónicamente compleja al estar afectada por la subducción de la Placa de Nazca y Placa del Caribe bajo la Placa de Suramérica, esta configuración generó una provincia tectónica denominada Bloque de Maracaibo, conformado por cuencas como la cuenca de Catatumbo, la cual debido a su tectónica compresiva presenta fallas inversas (SGC, 2016). Para este sector se presenta una falla inversa regional que corresponde a la falla Aguardiente, la cual se describe a continuación.

4.2.1. Falla Aguardiente

Esta falla tiene vergencia al SE, en el trazo se observan variaciones del rumbo con tramos N38°E, N63°E y NS. Tiene una longitud de 60 km y pone en contacto en la zona norte a las unidades cretácicas con la Formación Mirador, en la zona central a la Formación Aguardiente y la Formación Capacho con la Formación Colon-Mito Juan. En la zona sur a la Formación Los Cuervos con la Formación Catatumbo (SGC, 2016).

Figura 2

Mapa regional geológico, plancha 87-Sardinata.



Nota. Anexo B. Mapa geológico de la plancha 87 Sardinata. Fuente: Ochoa et al. (2016).

4.3.MARCO GEOMORFOLÓGICO REGIONAL

La geomorfología regional se encuentra afectada por la ocurrencia estructural de plegamientos y fallas, que en conjunto configuran la geomorfología de la misma. Hay dos ambientes morfogenéticos que controlan la geomorfología de la zona los cuales corresponden a los ambientes fluvial y estructural.

4.3.1. Ambiente Estructural

Estas geoformas son generadas por el tectonismo ocasionado a partir de las fuerzas internas de la naturaleza con poca intervención denudacional. Las geoformas se caracterizan por la disposición estructural, fallas, estratificación, lineamientos, pliegues, diaclasas y fracturamiento de las rocas aflorantes. Se presentan afectadas por procesos erosivos intensos y se

caracterizan por su relieve predominantemente colinado a montañoso de pendientes abruptas y escarpadas (SGC, 2015).

4.3.1.1.Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshlc)

Superficie vertical a subvertical moderada a larga, de forma cóncava, escalonada, festoneada a irregular, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada a una sierra homoclinal (SGC, 2015).

4.3.1.2.Sierra (Ss)

Prominencia topográfica de morfología montañosa, de laderas largas a extremadamente largas, cóncavas, convexas o rectas, con pendientes muy inclinadas a escarpadas. Su origen está relacionado con procesos de fallamiento intenso en macizos rocosos ígneos, metamórficos y sedimentarios (SGC, 2015).

4.3.2. Ambiente Fluvial

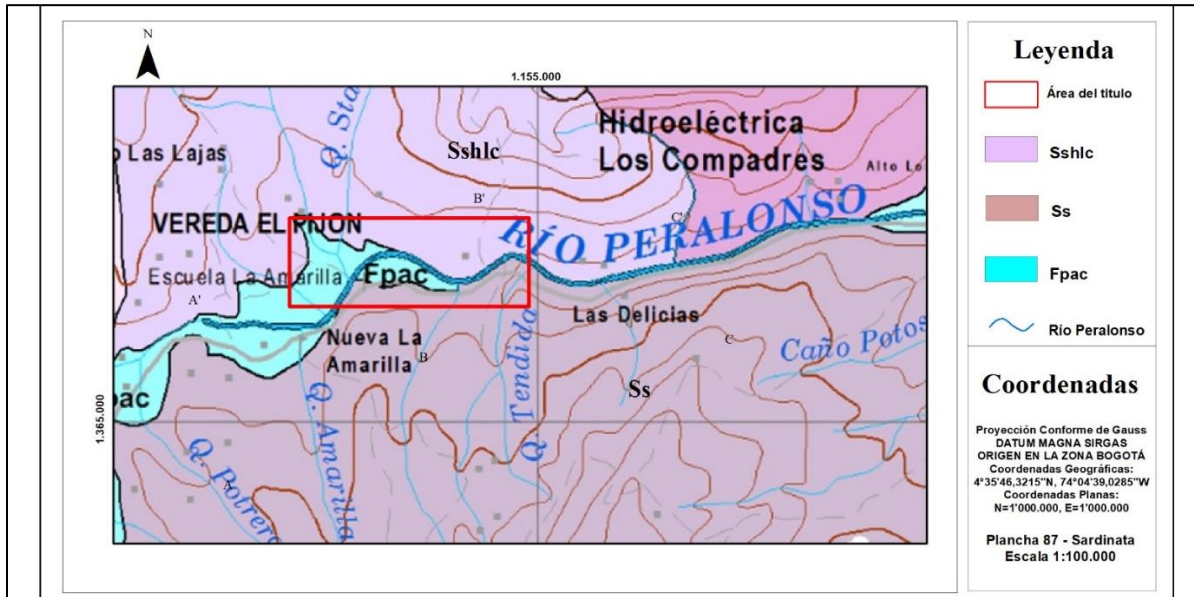
Geoforma asociada a procesos exógenos degradacionales y agradacionales relacionados al efecto erosivo y acumulativo en la base de las laderas de morfología plana, en las corrientes de los ríos y las cuencas de sedimentación (SGC, 2015).

4.3.2.1.Planicie aluvial confinada (Fpac)

Franja de terreno de morfología plana, muy angosta, eventualmente inundable, en forma de “U”, limitada por otros relieves de morfología colinada, alomada o montañosa, que bordean los cauces fluviales, en los cuales se observa el estrangulamiento o estrechamiento del mismo. Constituida por material aluvial (arenas, limos y arcillas) (SGC, 2015).

Figura 3

Mapa regional geomorfológico, plancha 087-Sardinata.



Nota. Mapa Geomorfológico Aplicado a Movimientos en Masa Plancha 087 Sardinata. Fuente: Ochoa et al. (2016).

5. METODOLOGÍA

Para dar cumplimiento con los objetivos planteados en el presente estudio, se llevó a cabo la siguiente metodología:

Figura 4

Diagrama de metodología.



Nota. Metodología usada para realizar la cartografía geológica y geomorfológica. Fuente: Autor.

5.1.FASE 1, RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA

En esta fase se realizó la recopilación de información disponible de la zona de estudio. Se llevó a cabo la consulta y recolección de información básica de fuentes bibliográficas nacionales e internacionales como la Agencia Nacional de Minería (ANM), INGEOMINAS, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Servicio Geológico Colombiano (SGC), el Ministerio de Minas y Energía (MME) y portales de información científica las cuales incluyen tesis e informes geológicos y geomorfológicos, estructurales, hidrológicos e hidrogeológicos y estratigráficos,

incluyendo imágenes de sensores remotos que hagan referencia a la zona de interés. Esta fase es de gran importancia ya que es la base para obtener un contexto previo y realizar un análisis y verificación de la información disponible recopilada de diversas fuentes de información, incluyendo documentos públicos y privados relacionados con el proyecto.

5.2.FASE 2, PRE-CAMPO

En esta fase, teniendo en cuenta el análisis bibliográfico se delimitó el área de estudio de acuerdo con el polígono ya establecido por la ANM y mediante la Guía Metodológica de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Materiales de Arrastre (Vélez et al., 2021) se trabajó la cartografía geológica y geomorfológica a escala 1:5.000. Se tuvo en cuenta la plancha 87 de Sardinata del SGC para tener una perspectiva de los parámetros geológicos y geomorfológicos allí presentes. La zona de estudio se exploró mediante sensores remotos, donde se obtuvieron imágenes satelitales y fotografías aéreas para analizar y corroborar las características estructurales y geomorfológicas visibles de la zona, observando también los posibles cambios morfológicos que se han presentado a lo largo del tiempo en la zona.

5.2.1. Obtención del DEM

Mediante la herramienta LandViewer se obtuvo el modelo de elevación digital (DEM) el cual fue procesado en el software ArcGIS para la interpretación y el desarrollo previo de los elementos geomorfológicos. A partir de este insumo se definieron atributos morfométricos a los elementos geomorfológicos, siguiendo la Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia (Carvajal, 2012).

5.3.FASE 3, TRABAJO DE CAMPO

En esta fase se realizó la obtención de datos e información que rectificó y complementó el estudio de la fase anterior mediante un recorrido de 25 estaciones de campo.

5.3.1. Recopilación de datos

Se realizó la toma de datos de localización con GPS y toma de datos estructurales con brújula Brunton, esta información se plasmó junto a la descripción de los afloramientos en la libreta de campo. Se tomaron muestras con ayuda del martillo geológico y se analizaron con lupa 10x. Se realizó un sobrevuelo con el dron EVO II PRO V2 para rectificar y corregir los datos tomados, dicho vuelo alcanzó una altura de 120 metros donde se cubrió alrededor de 60 hectáreas de la zona, lo que indica la totalidad del título minero y se instalaron 4 puntos de control para una mayor precisión en la obtención de las ortofotos, las cuales fueron procesadas en el Software Agisoft Metashape Professional.

5.3.2. Elaboración de los mapas

En esta etapa se definió la morfogénesis y la morfometría de los elementos geomorfológicos siguiendo los parámetros propuestos por Carvajal (2012) y se identificaron las unidades geológicas mediante la toma de datos para la elaboración en la siguiente fase del mapa geológico y el mapa geomorfológico. Se realizó un registro fotográfico el cual evidenciará las descripciones realizadas en el presente informe.

5.4.FASE 4, TRABAJO DE OFICINA

En esta fase se realizó el trabajo de oficina recopilando la información obtenida del análisis bibliográfico y del estudio geológico-geomorfológico realizado en las fases anteriores; se

reunieron los análisis cuantitativos y cualitativos, se definieron los elementos geomorfológicos con ayuda de la guía metodológica de Carvajal (2012) y las unidades geológicas que se encuentran en el área. Se procesaron las imágenes del sobrevuelo realizado en el Software Agisoft Metashape Professional para analizar el levantamiento fotogramétrico realizado y corroborar los elementos geomorfológicos. Los mapas finales se elaboraron en el programa ArcGIS, donde se añadieron las estaciones tomadas, datos estructurales, el polígono del título, los perfiles geológicos y las curvas de nivel. Se realizaron las descripciones de las unidades geológicas y elementos geomorfológicos y se elaboraron los perfiles geológicos para complementar la cartografía geológica y geomorfológica realizada. En esta fase se digitalizarán todos los datos tomados para la siguiente fase.

5.5.FASE 5, INFORME FINAL

En la fase final se compilarán los resultados de las fases previas para elaborar el informe final en formato APA, el cual dará respuesta a la pregunta de investigación y mostrará los insumos obtenidos como los perfiles geológicos, mapas temáticos, tablas, figuras e imágenes que avalan la cartografía geológica y geomorfológica de la mina Aguas del Peralonso, junto a las conclusiones y recomendaciones. Se proporcionará a la empresa los productos requeridos para el PTO como el mapa geológico, el mapa geomorfológico, los perfiles geológicos y sus respectivas descripciones a escala 1:5.000 cumpliendo con los objetivos del proyecto.

6. RESULTADOS

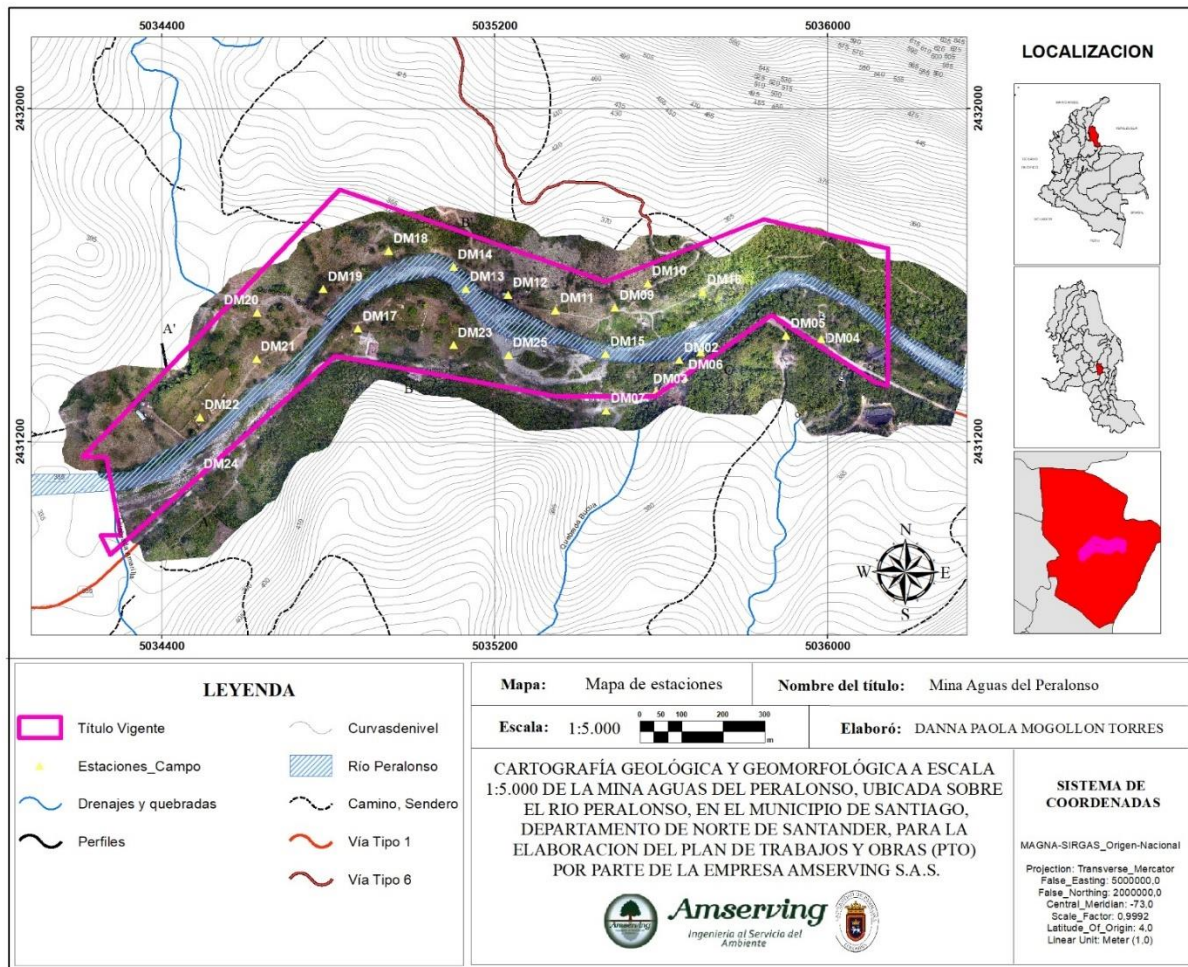
En la siguiente sección se presentan los resultados de la cartografía geológica y geomorfológica a escala 1:5.000 de la mina Aguas del Peralonso.

Mediante la recopilación bibliográfica se obtuvo una visión preliminar de la zona de estudio y sus alrededores, donde la plancha 87 Sardinata del SGC y el PTO antiguo fueron de gran importancia para tener un contexto previo de las unidades geológicas y elementos geomorfológicos que posiblemente se encontraban en el área de la mina. Se realizaron 25 estaciones de campo (Figura 5) y un sobrevuelo de dron donde se obtuvo como resultado la identificación de 4 unidades geológicas con edades del Cretácico Superior y Cuaternario, y 10 elementos geomorfológicos pertenecientes a los ambientes fluvial, denudacional y antropogénico.

Como apoyo para la elaboración de la cartografía geológica y geomorfológica se realizó un sobrevuelo con el dron EVO II PRO V2 a una altura de 120 metros donde se obtuvo el ortomosaico de la mina Aguas del Peralonso mediante el procesamiento de las imágenes en el software Agisoft Metashape. Mediante la herramienta LandViewer se obtuvo el modelo de elevación digital (DEM) el cual fue procesado en el software ArcGIS para la interpretación y el desarrollo previo de los elementos geomorfológicos. Se modelaron las curvas de nivel, las cuales se usaron en el software Leapfrog Geo para observar más detalladamente la topografía del terreno (Figura 6) con el fin de analizar la morfología y apoyarse en la delimitación de las unidades y elementos presentes en el área de estudio; de esta topografía también se obtuvieron los perfiles del relieve para la elaboración de los perfiles geológicos.

Figura 5

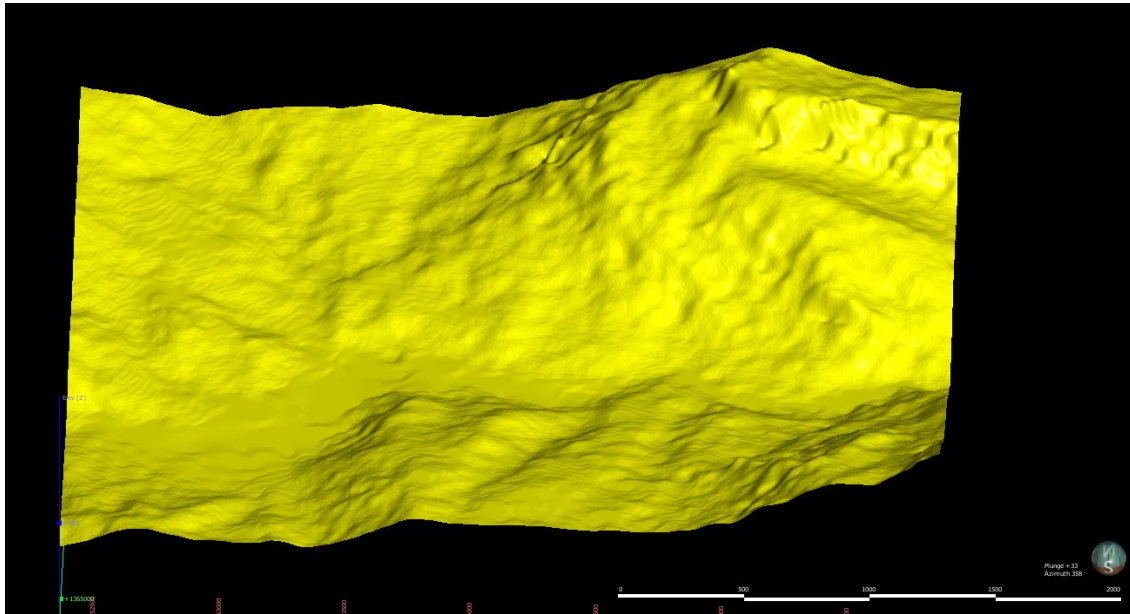
Mapa de estaciones junto al ortomosaico de la mina Aguas del Peralonso.



Nota. Figura que muestra el mapa de estaciones. Fuente: Autor.

Figura 6

Relieve de la zona de estudio generado a partir de curvas de nivel en el programa Leapfrog Geo.



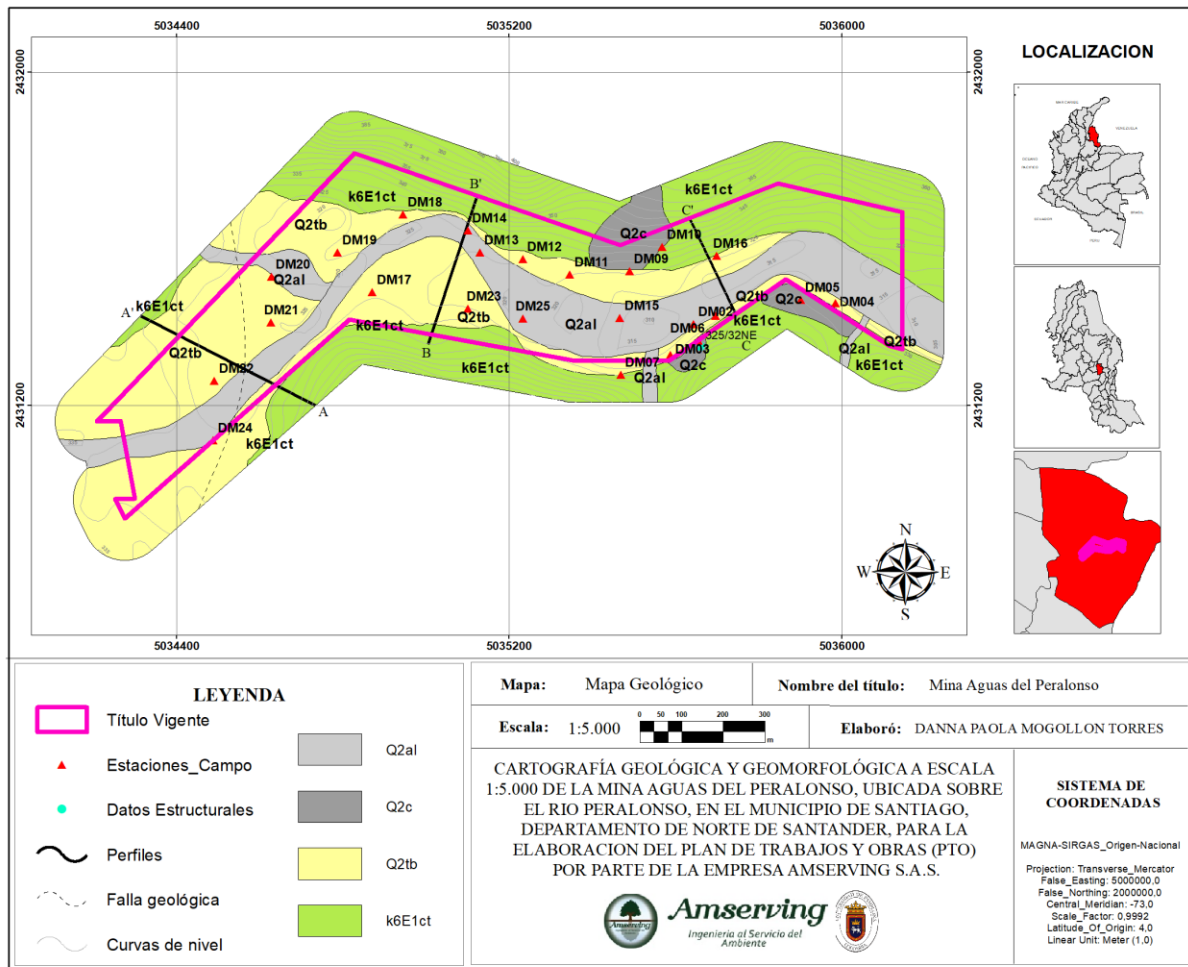
Nota. Topografía realizada en Leapfrog Geo. Fuente: Autor.

6.1. Geología Local

La mina Aguas del Peralonso está constituida geológicamente por una formación del Cretácico Superior y depósitos cuaternarios descritos geocronológicamente del más antiguo al más joven, iniciando con la Formación Catatumbo la cual está cubierta por los depósitos cuaternarios que corresponden a depósitos de terrazas, depósitos aluviales recientes y depósitos coluviales. Específicamente dentro del área del título (polígono morado, Figura 7) las unidades geológicas se distribuyen de la siguiente manera: Formación Catatumbo 20%, depósitos de terraza 48%, depósitos aluviales recientes (30%) y los depósitos coluviales (2%).

Figura 7

Mapa Geológico de la mina Aguas del Peralonso.



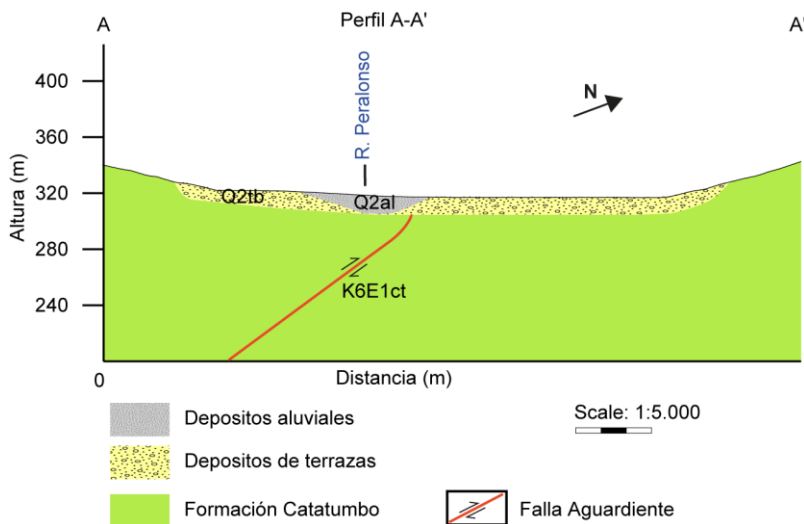
Nota. Mapa geológico. Fuente: Autor.

6.1.1. Perfiles Geológicos

A continuación, se muestran los perfiles geológicos realizados.

Figura 8

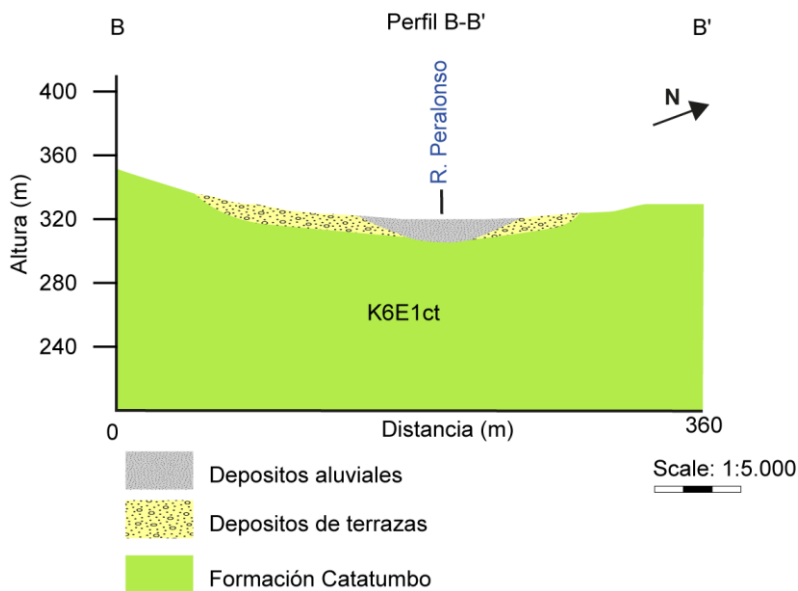
Perfil geológico A-A'.



Nota. Figura donde se observa el perfil geológico A-A'. Fuente: Autor.

Figura 9

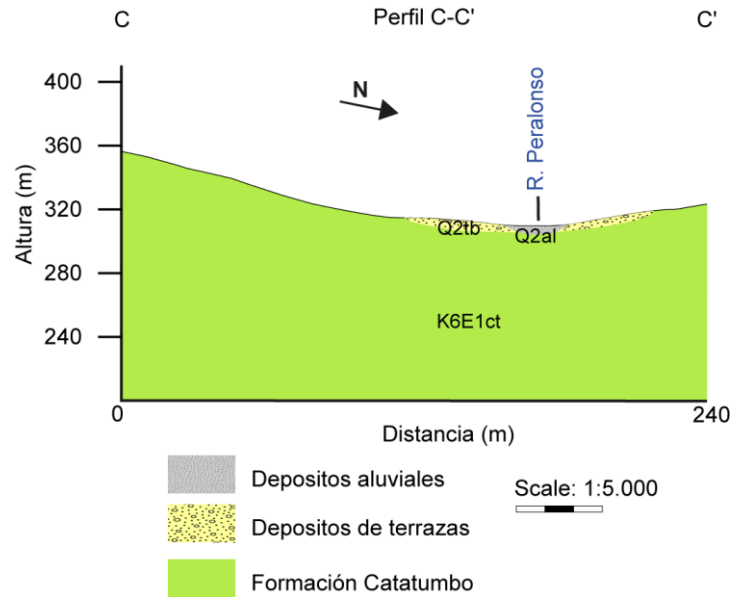
Perfil geológico B-B'.



Nota. Figura donde se observa el perfil geológico B-B'. Fuente: Autor.

Figura 10

Perfil geológico C-C'.



Nota. Figura donde se observa el perfil geológico C-C'. Fuente: Autor.

6.1.2. Formación Catatumbo (k6E1ct)

La Formación Catatumbo se puede observar en la zona de estudio en la vía Zulia-Santiago al margen izquierdo de la carretera y hacia el norte del título minero cubierto por depósitos Coluviales. Se presenta estratificación plano paralela discontinua de lodolitas fisiles de color gris rojizo en roca meteorizada y gris claro en roca fresca con presencia de materia orgánica. Las capas presentan una orientación de 325 azimuth de rumbo y buzan hacia el NE con una inclinación de 32°. En el afloramiento visto en campo se presenta intercalaciones con lodolitas arenosas de grano fino. El contacto entre la Formación Catatumbo y los depósitos Coluviales es discordante erosional. A un lado del afloramiento se observan muros de contención evidenciando deslizamientos en el sector.

Figura 11

Afloramiento de la Formación Catatumbo.



Nota. Se observan los depósitos de Coluvión cubriendo la Formación Catatumbo. Tomada en el margen izquierdo de la vía Zulia-Santiago, frente a la entrada de la mina Aguas del Peralonso.

Fuente: Autor.

Figura 12

Afloramiento de la Formación Catatumbo.



Nota. Obsérvese estratificación de lodolitas con presencia de material orgánico Tomada en el margen izquierdo de la vía Zulia-Santiago, frente a la entrada de la mina Aguas del Peralonso.

Fuente: Autor.

6.1.3. Depósitos cuaternarios

La geología de la mina se caracteriza por presentar sedimentos aluviales transportados por el río Peralonso y sus quebradas afluentes producto de la erosión, transporte y acumulación de los diferentes tipos de rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas, cuyo piso está formado por rocas del cretácico superior de la Formación Catatumbo. A continuación, se describen los siguientes depósitos.

6.1.3.1. Depósitos Aluviales Recientes (Q2al)

El depósito aluvial del río Peralonso corresponde a sedimentos presentes en el cauce actual del río y son heterogéneos, encontrando variaciones en el tamaño del grano donde se incluyen bloques, gravas, arenas, limos y arcillas, predominando las gravas. La forma de los bloques es subangular y de baja esfericidad, las gravas y arenas son principalmente subesfericas redondeadas, el depósito es matriz soportado, la matriz es arenosa de grano medio a grueso con presencia de material orgánico y composicionalmente se encuentra conformado por rocas metamórficas (10%), ígneas (25%) y sedimentarias (65%).

Figura 13

Deposito Aluvial del río Peralonso.



Nota. Depósito aluvial del río Peralonso conformado por bloques, gravas y arenas. Fuente: Autor.

Figura 14

Fotografía río Peralonso, entrada de la mina.



Nota. Figura donde se observan las formas de los clastos. Fuente: Autor.

6.1.3.2. Depósitos de Terraza baja (Q2tl)

Estos depósitos corresponden a terrazas bajas con matriz soportada de composición areno gravosa con clastos sedimentarios, metamórficos e ígneos en menor proporción, la forma de los granos es subangular con esfericidad media. Presentan una altura entre 2 a 8 metros, se observan grietas de disecación y contenido de material orgánico.

Figura 15

Afloramiento de Terraza.



Nota. Terraça aluvial matriz soportada areno gravosa de 7 metros de altura y 20 metros de ancho ubicada al margen izquierdo del río Peralonso. Fuente: Autor.

Figura 16

Afloramiento de terraza.



Nota. Capa 1 de 1 metro de terraza matriz soportada areno arcillosa con gravas, subangulosos de media esfericidad. Capa 2 de 50 cm donde la selección de los cantos varia de subangulosos a redondeados encontrándose en el margen derecho del río Peralonso. Fuente: Autor.

6.1.3.3. Depósitos Coluviales (Q2c)

Estos depósitos se presentan vía Zulia-Santiago al margen izquierdo de la carretera y al margen derecho del río Peralonso pasando el puente La Hamaca cubriendo la Formación Catatumbo. Presentan una altura entre 5 y 15 metros, matriz soportado conformado por bloques de cuarzo arenitas con tamaños entre 1 y 3 metros, subangulosos de baja esfericidad, de color gris verdoso en roca meteorizada y ocre claro en roca fresca, tamaño de grano grueso, subredondeados con esfericidad media. Matriz areno arcillosa con presencia de guijos.

Figura 17

Fotografía tomada de depósito de coluvión.



Nota. Depósito de Coluvión al margen izquierdo del río Peralonso pasando el puente la Hamaca.

Fuente: Autor.

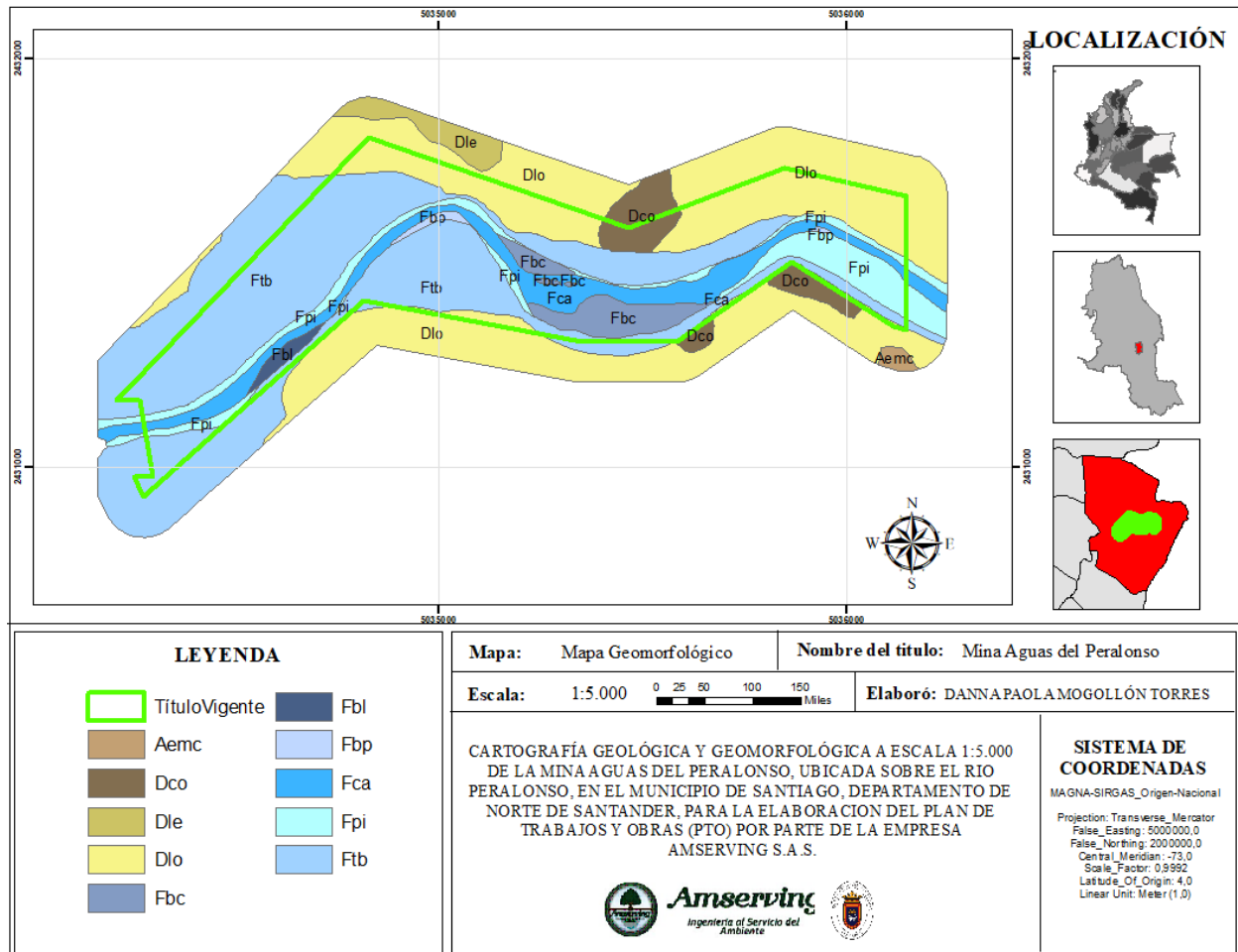
6.2. Geomorfología

Se pueden distinguir 3 ambientes morfogenéticos los cuales corresponden a: ambiente fluvial, ambiente denudacional y ambiente antropogénico. Específicamente dentro del título las geoformas fluviales corresponden al 78% del área y las geoformas denudacionales corresponden al 22%. Se delimitaron 10 elementos geomorfológicos a partir del análisis morfométrico de los cálculos de los atributos cuantitativos geomorfológicos como las pendientes y curvatura, también mediante las características obtenidas por los vuelos de drone y las salidas de campo realizadas en la zona de estudio. Se determinaron 6 elementos que corresponden al ambiente fluvial, 3 al

ambiente denudacional y 1 al ambiente antropogénico. A continuación, se describen cada uno de ellos.

Figura 18

Mapa Geomorfológico de la mina Aguas del Peralonso.



Nota. Figura mapa geomorfológico. Fuente: Autor

6.2.1. Geoformas de ambiente fluvial

Incluye las geoformas que se originan por procesos de erosión de las corrientes de los ríos y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes,

tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes, durante la época seca (SGC, 2015).

6.2.1.1.Cauce Aluvial (Fca)

Morfología plana o suavemente inclinada ($< 5^\circ$) la cual corresponde al dominio del cauce actual activo del río Peralonso el cual persiste grandes distancias, presenta socavación y erosión lateral, pendientes escarpadas de 2 a 8 metros de alto y su ancho sobrepasa los 12 metros. Esta zona es fácilmente inundable en los periodos durante las crecientes. Actualmente no hay extracción de material en la zona.

Figura 19

Fcap, río Peralonso.



Nota. Ortomosaico creado en el software Agisoft Metashape a partir de las imágenes captadas en los vuelos de dron. Fuente: Autor.

6.2.1.2. Terraza baja (Ftb)

Morfología que presenta una superficie plana la cual corresponde a la acumulación y erosión vertical de los sedimentos, por la dinámica del río Peralonso. Presenta una altura entre los 2 y 8 metros. Estas terrazas presentan desprendimiento de material y son fácilmente afectadas por la socavación lateral del río Peralonso.

Figura 20

Terraza baja (Ftb)



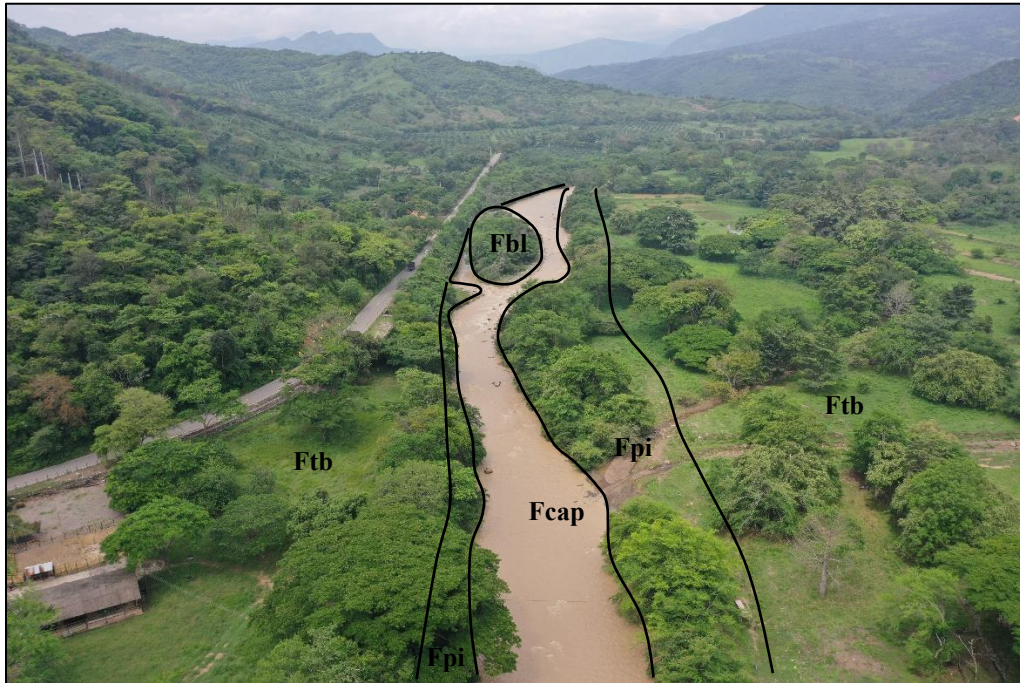
Nota. Fotografía tomada sobre la terraza baja del río Peralonso. Fuente: Autor.

6.2.1.3. Plano o Llanura de Inundación (Fpi)

Morfología que presenta una superficie plana y alargada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando el cauce principal del río Peralonso, y se encuentra limitado por escarpes de las terrazas bajas.

Figura 21

Fotografía donde se observa llanura de inundación y cauce aluvial.



Nota. Obsérvese en la imagen la barra longitudinal (Fbl), la llanura de inundación (Fpi), la terraza baja (Ftb) y el cauce aluvial (Fcap). Fuente: Autor.

6.2.1.4.Barra Longitudinal (Fbl)

Esta geoforma se encuentra en el área con una morfología elongada de forma recta dispuesto en la parte SW del título minero, con la punta más aguda en la dirección de la corriente del río. Esta geoforma es fácilmente inundable en los periodos de crecientes del río.

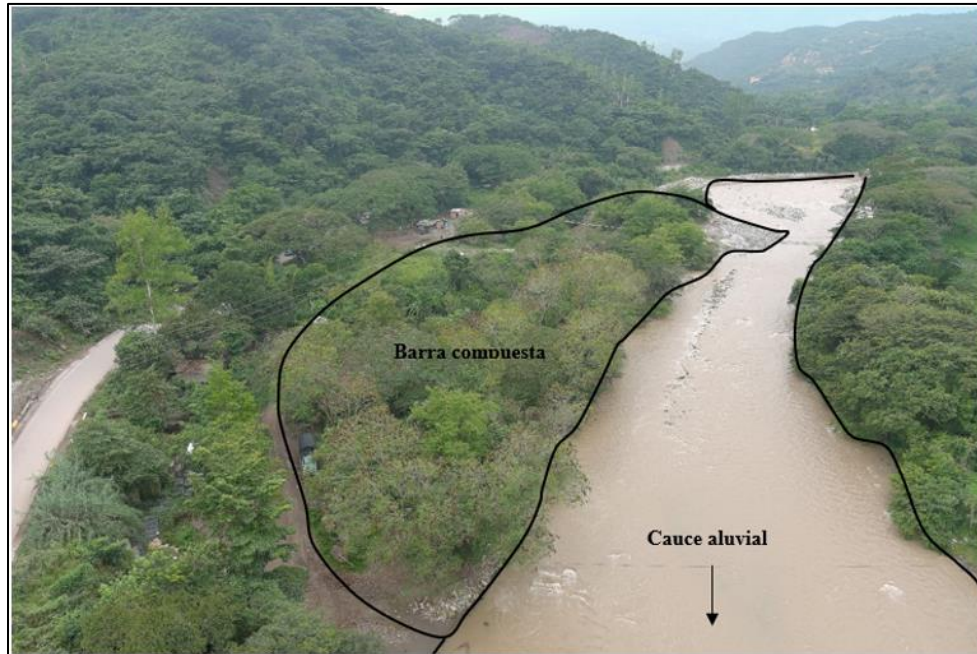
6.2.1.5.Barra Compuesta (Fbc)

Conjunto de barras unitarias desarrolladas en la mitad del título minero sobre depósitos del cauce del río Peralonso, las cuales se relacionan a la erosión del río. Esta geoforma se originó por el amalgamamiento de varias barras, como resultado de múltiples eventos de erosión,

sedimentación y migración del canal del río Peralonso en este sector del cauce. De esta barra se realizó la explotación de material de arrastre de la mina.

Figura 22

Fotografía de barra compuesta y cauce aluvial.



Nota. Fotografía tomada en el sobrevuelo donde se observa la barra compuesta y el cauce aluvial

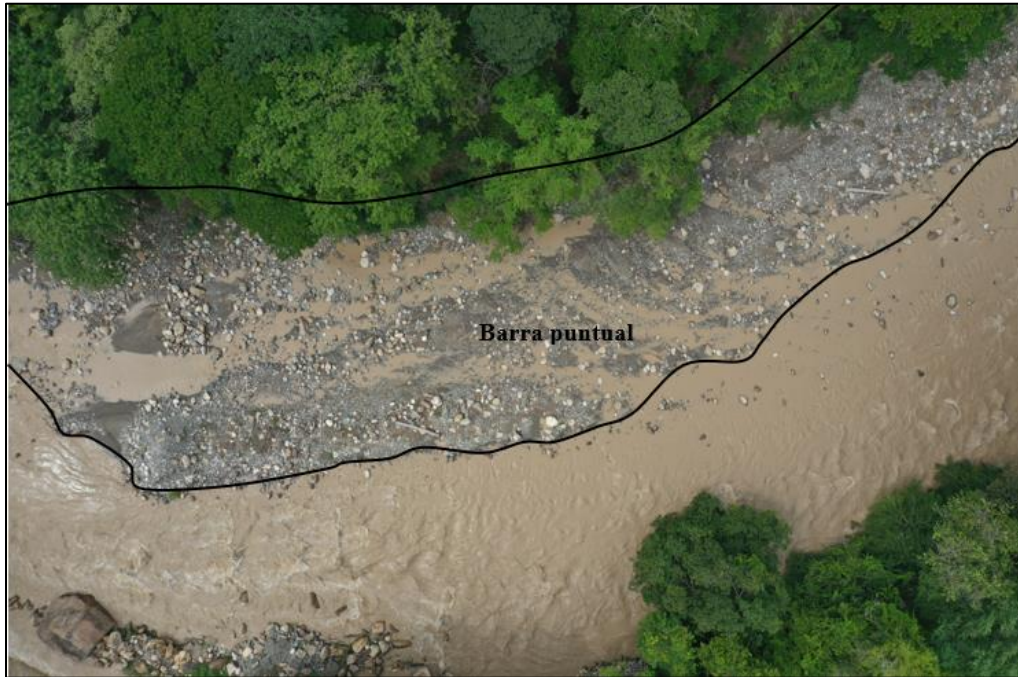
Fuente: Autor.

6.2.1.6.Barra Puntual (Fbp)

Esta geoforma se encuentra en el área en las zonas cóncavas del cauce del río debido a la acumulación de sedimentos de tamaños arenosos y finos erodados de la parte convexa del cauce, se presenta en forma de medialuna, de longitud corta y erosionada debido al incremento de río por crecientes.

Figura 23

Fotografía parte de la barra puntual.



Nota. Fotografía tomada en el sobrevuelo donde se observa la barra puntual. Fuente: Autor.

6.2.2. Geoformas de ambiente denudacional

Incluye las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes de las unidades preexistentes y de igual manera, crean nuevas por la acumulación de sedimentos (SGC, 2015).

6.2.2.1. Ladera denudacional erosiva (Dle)

Elemento geomorfológico de forma cóncava, con pendientes muy inclinadas (10° a 15°), la ladera presenta longitud corta entre los 50 y 60 metros dependiendo del lugar en el que se sitúe. Esta geoforma se encuentra fuera del título minero.

6.2.2.2. Cono o lóbulo coluvial (Dco)

En el área de estudio este elemento geomorfológico se encuentra en forma de lóbulo o cóncavo, con pendientes que varían entre muy inclinados y muy abruptas (10° - 30°), con longitud muy corta o corta. Su depósito está constituido por bloques de cuarzo arenitas que han caído por efectos gravitacionales.

6.2.2.3. Ladera denudacional ondulada (Dlo)

Esta geoforma ondulada se presenta en la zona de estudio hacia la parte norte del título y hacia la parte sur fuera de los límites del título, con una longitud corta, con pendientes muy inclinadas a muy abruptas (10° - 30°), la ladera presenta una forma cóncava. Este elemento se encuentra asociado con los suelos residuales de la Formación Catatumbo por lo que se evidencian procesos erosivos, con presencia de cárcavas y surcos.

Figura 24

Imagen de ladera denudacional ondulada y el lóbulo Coluvial.



Nota. Fotografía tomada en el sobrevuelo. Fuente: Autor.

6.2.3. Geoforma de ambiente antropogénico

Incluye las geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías, que modifica la morfología natural del terreno (SGC, 2015).

6.2.3.1.Explotación minera (Aemc)

Esta geoforma corresponde al área dedicada a la extracción de materiales y minerales la cual se ubica al SE del título minero, que ha sido adaptada o aplanada por procesos de explanación y rellenos de materiales.

Figura 25

Imagen de la Explotación minera



Nota. Fuente: Tomado y modificado de Google Earth.

6.3. Geología estructural

El área de estudio se ubica en el flanco occidental del anticlinal de los compadres; las rocas de la Formación Catatumbo se encuentran buzando el NE como se evidencio en el dato estructural 325/32 azimut de rumbo tomado en un afloramiento de esta formación sobre el margen izquierdo de la carretera, ubicada cerca del título (Figura 12).

Hacia la parte oeste del título pasa la Falla Aguardiente; dentro del área esta falla inversa se encuentra cubierta por los depósitos aluviales y terrazas del Río Peralonso, en su trazo por la zona su orientación varia de N-S a NE-SW (Figura 7).

7. CONCLUSIONES

En la mina Aguas del Peralonso afloran 4 unidades geológicas, una del Cretácico superior la cual corresponde a la Formación Catatumbo y tres del Cuaternario las cuales corresponden a depósitos aluviales, depósitos de terraza y depósitos coluviales.

La Formación Catatumbo está compuesta por capas delgadas a muy gruesas de lodolitas fisiles intercaladas con lodolitas arenosas de grano fino de color gris rojizo en roca meteorizada y gris claro en roca fresca. Esta formación se puede observar en contacto discordante erosional neto con los depósitos Coluviales los cuales presentan matriz areno arcillosa con presencia de guijos y bloques de cuarzo arenitas subangulosos de baja esfericidad, de color gris verdoso en roca meteorizada y color ocre claro en roca fresca, tamaño de grano grueso, subredondeados con esfericidad media, los cuales han caído por la acción de la gravedad.

Los depósitos de terrazas corresponden a terrazas bajas, las cuales presentan una altura entre los 2 y 8 metros y presentan desprendimiento de material afectadas por la socavación lateral del río Peralonso; el depósito aluvial corresponde al río Peralonso el cual presenta un gran valor para la mina ya que de este es donde se han extraído los materiales de interés económico. Los materiales de arrastre son mayormente arenas, gravas y cantos que se localizan a lo largo del río Peralonso.

Geomorfológicamente la mina presenta geoformas de origen fluvial, denudacional y antropogénico, sin embargo, se observan principalmente geoformas de origen fluvial las cuales corresponden a terrazas bajas, llanuras de inundación y el cauce aluvial junto a las barras longitudinal, puntual y compuesta.

A partir del análisis del mapa geológico, se determinó que dentro del área del título las unidades geológicas se distribuyen de la siguiente manera: Formación Catatumbo 20%, depósitos de terraza 48%, depósitos aluviales recientes (30%) y los depósitos coluviales (2%). De la misma manera, las geoformas fluviales corresponden al 78% del área y las geoformas denudacionales corresponden al 22%, según lo analizado en el mapa geomorfológico.

Parte de las barras han sido previamente explotadas, sin embargo, actualmente la mina no se encuentra activa en labores mineras. La superficie del río Peralonso cuya elevación se encuentra entre los 320-325 msnm, se caracteriza por ser plana lo que facilita la acumulación de material de arrastre y su explotación.

Mediante la realización de los perfiles geológicos se puede evidenciar que los depósitos cuaternarios reposan discordantemente sobre la unidad geológica del Cretácico superior la cual corresponde a la Formación Catatumbo.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios de amenaza en la zona debido a que el área presenta actualmente socavaciones en las orillas del río lo que podría afectar gravemente en un futuro la carretera y las viviendas que se encuentran en los alrededores del título.

Se recomienda realizar estudios geofísicos para determinar de forma más exacta la geometría de los depósitos de la mina Aguas del Peralonso, con el fin de ajustar la información geológica del título a futuro.

Se recomienda realizar a futuro nuevos estudios, con el fin de actualizar la geología y geomorfología de los depósitos del cauce activo, ya que la dinámica fluvial de erosión, sedimentación y migración de canales hace que la geometría de estos depósitos varíe con el tiempo, con el fin de mantener actualizado el modelo del depósito.

9. REFERENCIAS

- Carvajal, J. H. (2012). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*. Servicio Geológico Colombiano.
<https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadas/Documents/Propuesta%20de%20estandarizacion.PDF>
- Cediel, F., Shaw, R. & Cáceres, C. (2003). Tectonic assembly of the Northern Andean Block, in C. Bartolini, R. T. Buffer, and J. Blickwedel, eds., *The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics*. AAPG Memoir 79, p. 815 – 848.
- Cooper, M., Addison, F., Alvarez, R., Coral, M., Graham, R., Hayward, A., Howe, S., Martinez, J., Naar, J., Peñas, R., Pulham, A & Taborda, A. (1995). Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. *AAPG Bulletin*, V. 79, No. 10, P. 1421–1443
- Lozano, E., & Zamora, N. (2014). *Anexo D - Compilación de la Cuenca de Catatumbo*. Servicio Geológico Colombiano.
<https://recordcenter.sgc.gov.co/B20/23008100024725/Documento/Pdf/2105247251104000.pdf>
- Ochoa, A., Oviedo, J., Rios, P., Garcia, G., Lozano L., y Martinez, E. (2016). *Cartografía geológica de la plancha 87 Sardinata. Departamento de Norte de Santander*. Servicio Geológico Colombiano.
<https://recordcenter.sgc.gov.co/B19/23008010028508/documento/pdf/2105285081101000.pdf>

- Ochoa, A., Oviedo, J., Rios, P., Garcia, G., Lozano L., y Martinez, E. (2016). *Anexo B mapa geológico de la plancha 87 Sardinata*. Servicio Geológico Colombiano.
<https://recordcenter.sgc.gov.co/B19/23008010028508/mapa/pdf/2105285081300001.pdf>
- Servicio Geológico Colombiano. (2015). *Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenazas por movimientos en masa escala 1:100.000. Anexo A glosario de términos geomorfológicos*.
- Servicio Geológico Colombiano. (2015). *Memoria técnica explicativa del mapa geomorfológico analítico aplicado a la zonificación de amenazas por movimientos en masa escala 1:100.000 plancha 087 – sardinata, departamento del Norte de Santander*.
https://recordcenter.sgc.gov.co/B23/607_19_PL_87_GmfSardinataC/Documento/Pdf/MemoTecExpGmfPl87.pdf
- Vélez, M., Mora, A., Pacheco, B. y Pinzón, F. (2021). *Guía de Buenas Prácticas para la Exploración y Estimación de Recursos y Reservas de Materiales de Arrastre*. Agencia Nacional de Minería.
<https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/guia-materiales-de-arrastre.pdf>

ANEXOS

Productos obtenidos de la Cartografía Geológica y Geomorfológica a escala 1:5.000 de la mina Aguas de Peralonso, ubicada sobre el río Peralonso, en el municipio de Santiago, departamento de Norte de Santander.

Anexo 1. Mapa de localización del área a escala 1:5.000.

Anexo 2. Mapa de estaciones a escala 1:5.000.

Anexo 3. Ortofoto a escala 1:5.000.

Anexo 4. Mapa geológico a escala 1:5.000.

Anexo 5. Mapa geomorfológico a escala 1:5.000.

Anexo 6. Perfiles Geológicos.