

**IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS PETREOS PARA  
LA EXPLOTACIÓN POR PARTE DE INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A, EN EL  
PREDIO DE LA SOLICITUD LK5-14091 DEL MUNICIPIO DE COCORNÁ,  
ANTIOQUIA**

**PROYECTO DE GRADO**  
**Para optar por el título de Geólogo**

**Autores:**

Andrés Arbeláez Gómez

&

Juan Esteban Pérez Ferrer

**Asesor:**

José Fernando Duque

**MEDELLÍN**  
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA**  
**UNIVERSIDAD EAFIT**  
**2018**





## TABLA DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 HIPOTESIS.....	2
3 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	2
4 PROBLEMA DE TRABAJO.....	2
5 OBJETIVOS.....	3
5.1 Objetivo General.....	3
5.2 Objetivos Específicos.....	3
6 METODOLOGÍA.....	4
7 CONCEPTUALIZACIÓN.....	12
8 INSUMOS BASICOS.....	15
8.1 Base Cartográfica.....	15
8.2 Modelo de Elevación Digital (DEM).....	16
8.3 Modelo de Sombras.....	17
9 GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	18
9.1 Localización.....	18
9.2 Clima.....	19
9.3 Uso del Suelo.....	20
9.4 Estudios Anteriores.....	21
9.5 Marco Geológico Regional y Local.....	21
9.6 Marco Geomorfológico.....	24
9.7 Geología Estructural.....	25
10 MUESTREO.....	27
10.1 Punto de Muestreo 1.....	28
10.2 Punto de Muestreo 2.....	29
10.3 Punto de Muestreo 3.....	30

10.4 Punto de Muestreo 4.....	31
10.5 Puntos de Muestreo 5 y 6.....	33
11 RESULTADOS.....	34
11.1 INV E – 219.....	34
11.2 INV E – 223.....	36
11.3 Método de los Perfiles Para Estimación de Recursos.....	38
12 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	44
12.1 INV E – 219.....	44
12.2 INV E – 223.....	45
12.3 Método de los Perfiles Para Estimación de Recursos.....	46
12.4 Análisis Económico.....	46
13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
14 BIBLIOGRAFIA.....	50

## FIGURAS

Figura 1. Afloramiento en la zona de estudio, con presencia de esquistos cuarzo-sericiticos.....	5
Figura 2. Muestras tomadas para realizar los ensayos físicos de laboratorio.....	5
Figura 3. Diagrama del método de los perfiles. Tomado de Cruz, P. (2011).....	10
Figura 4. Flujo-diagrama general de la metodología del proyecto.....	11
Figura 5. Mapa base del predio de la solicitud minera LK5 – 14091 a escala 1:10.000.....	15
Figura 6. Modelo de Elevación Digital (DEM) del predio de la solicitud minera LK5 – 14091 a escala 1:10.000.....	16
Figura 7. Modelo de sombras del predio de la solicitud minera LK5 – 14091 a escala 1:10.000.....	17
Figura 8. Localización del predio de la solicitud minera LK5 – 14091, en Google Earth.....	18
Figura 9. Plancha 167 Sonsón, Antioquia a escala 1:100.000. Tomado de González, 1980.....	22
Figura 10. Plancha 168 Argelia, Antioquia a escala 1:100.000 Tomado de Feininger, T., Barrero, D., Castro, N., Ramírez, O., Lozano, H., & Vesga, J, 1970.....	23
Figura 11. Mapa geológico del predio de la solicitud minera LK5 – 14091 a escala 1:10.000.....	24
Figura 12. Mapa geológico del predio de la solicitud minera LK5 – 14091 a escala 1:10.000, donde se presentan los puntos de muestreo del proyecto.....	27
Figura 13. Afloramiento de esquistos cuarzo-sericítico.....	28
Figura 14. Deformación de esquistos y vena de cuarzo lechoso.....	29
Figura 15. Afloramiento de esquistos.....	30
Figura 16. Drenaje que cruza el área de estudio de oeste a este.....	31
Figura 17. Presencia de clorita en esquistos.....	32
Figura 18. Suelo residual de Batolito Antioqueño.....	33

Figura 19. Resultados de laboratorio del ensayo INV E – 219.....	34
Figura 20. Resultados de laboratorio del ensayo INV E – 223.....	36
Figura 21. Mapa geológico del predio de la solicitud minera LK5 – 14091 a escala 1:10.000, donde se presenta el target seleccionado para realizar el método de los perfiles.....	39
Figura 22. Perfil A – A´ usado para el método de los perfiles.....	40
Figura 23. Perfil B – B´ usado para el método de los perfiles.....	41
Figura 24. Perfil C – C´ usado para el método de los perfiles.....	41
Figura 25. Mapa geológica del predio de la solicitud minera LK5 – 14091 a escala 1:10.000, donde se presenta la ubicación de los cortes usados para el método de los perfiles.....	42

## TABLAS

Tabla 1. Cantidad mínima de muestra para ensayos físicos de laboratorio, según lo estipulado por la norma INV E – 201 (Invias, 2012).....	6
Tabla 2. Granulometría de las muestras de ensayo (Invias, 2012).....	7
Tabla 3. Cantidades mínimas para ensayo INV E – 223 (Invias, 2012).....	9
Tabla 4. Clasificación bioclimática del municipio de Cocorná, Antioquia (Alcaldía de Cocorná, 2008).....	19
Tabla 5. Uso actual del suelo en el municipio de Cocorná, Antioquia (Alcaldía de Cocorná, 2008).....	20
Tabla 6. Geología del municipio de Cocorná, Antioquia (González, 1980).....	22
Tabla 7. Clasificación geomorfológica del municipio de Cocorná, Antioquia (Alcaldía de Cocorná, 2008).....	25
Tabla 8. Registro de estructuras presentes en el municipio de Cocorná, Antioquia (Alcaldía de Cocorná, 2008).....	26
Tabla 9. Porcentaje de desgaste según el tipo de producto (Invias, 2012).....	43

## 1. INTRODUCCIÓN

El sector construcción ha sido por varios años uno de los pilares más fuertes de la economía colombiana, representando el 7% del PIB total del país y siendo un importante generador de empleo a lo largo de toda la nación. Después de la caída en el crecimiento de -1.4% experimentado durante el año 2017, para el presente año se estableció la meta de un crecimiento cercano al 2.6%, donde el gobierno destinará recursos para impulsar nuevamente el sector (Chirivi, E., Ortega, K., Sarmiento, V., Sanabria, D., & Forero, S, 2018).

INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A es una constructora antioqueña constituida en el año 1996, dedicada a la explotación, procesamiento y comercialización de materiales granulares y mezclas asfálticas, para la posterior construcción de carreteras y obras urbanas. En la actualidad la empresa no solo cuenta con diversos frentes de explotación activos en el oriente antioqueño, los cuales cubren la demanda actual de agregados pétreos requeridos en las diversas obras, sino que a su vez cuenta con una serie de diversas solicitudes formales ante la Agencia Nacional de Minería (ANM) para la adjudicación de futuros títulos mineros en el momento que se requiera mayor cantidad de material.

Buscando cumplir con los protocolos establecidos por la Agencia Nacional de Minería (ANM) para la adjudicación de títulos mineros y con los lineamientos de “responsabilidad minera” dados por el Ministerio de Minas y Energía (MinMinas), INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A ha comenzado un proceso de priorización de solicitudes mineras vigentes, para así determinar qué zonas presentan un interés económico para la empresa, o por el contrario, definir las áreas que pueden ser liberadas para el uso de otras compañías. Para esto, el proyecto busca apoyar el proceso antes mencionado, aportando evidencia técnica por medio de la exploración geológica de superficie de la solicitud LK5 – 14091, donde a su vez se buscará determinar la calidad del material presente en esta zona por medio de ensayos físicos de laboratorio acordes con lo establecido en la ley INV E – 200 de sanidad de los agregados. Es fundamental a la hora de determinar la continuidad de un proyecto minero la información no solo de índole técnica (composición, cantidad y calidad del material), sino también tener en cuenta los factores modificantes (factores ambientales, sociales, políticos, entre otros) que podrían aumentar los costos de operación en un futuro o hasta impedir la continuidad del proyecto.

El objetivo principal al final del proyecto, será dar un veredicto preliminar para esta solicitud y determinar si esta zona cumple con las expectativas de la empresa en cuanto a cantidad y calidad del material presente en el predio de la zona de estudio, y a su vez que las condiciones dadas en el terreno permitan el correcto desarrollo de un futuro proyecto minero liderado por INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A.

## **2. HIPÓTESIS**

Si la empresa INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A adquirió la solicitud minera LK5-14091, se esperaría que durante el proceso de evaluación en el laboratorio de las muestras recolectadas en la zona, estas cumplan con los requisitos mínimos de calidad y cantidad estipulados por la norma INV E – 200 y la misma compañía, y a su vez que las condiciones en el área del predio en materia de factores modificantes (construcciones, cuerpos de agua, accesibilidad a la zona, entre otros) permitan una futura extracción del material.

## **3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

¿El material presente en la solicitud minera LK5 – 14091 cuenta con la calidad y cantidad óptima para ser extraído y posteriormente utilizado como agregado para la fabricación de los diferentes productos de la empresa INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A?

## **4. PROBLEMA DE TRABAJO**

INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A posee actualmente una serie de solicitudes mineras adjudicadas a su nombre, donde el principal problema radica en que gran parte de estas no posee la suficiente información técnica/geológica para determinar si en esta zona existe el tipo de material de interés económico para la organización. Para el caso concreto de la solicitud LK5 – 14091, aparte de no contar con esta información técnica, se desconoce también de la situación del predio en cuanto a factores modificantes.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 General**

Determinar, por medio de una exploración geológica de superficie, las zonas de interés económico (targets mineros) en el área de la solicitud, para una futura explotación de los agregados pétreos por parte de INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A, y a su vez determinar la viabilidad de un futuro proyecto minero por medio de la evaluación de calidad del material hallado en dichos puntos.

### **5.2 Específicos**

- Recopilar y analizar los conocimientos actuales sobre la geología y geomorfología presente en la zona.
- Determinar la calidad del material encontrado en la zona de estudio, por medio de ensayos físicos de sanidad de los agregados siguiendo los estándares de la norma INV E – 200, para un posible uso como material de construcción.
- Generar mapas temáticos de detalle a escala 1:10.000 para toda el área de la solicitud, definiendo puntos de interés propuestos para la empresa donde se puedan realizar futuros estudios de detalle.
- Realizar una primera estimación de recursos en la zona de interés, por medio del método de los perfiles.
- Definir la viabilidad de la solicitud, basándose en los datos recopilados durante la fase de exploración geológica de superficie y evaluando algunos de los factores modificantes que podrían frenar un futuro proyecto minero.

## 6. METODOLOGÍA

Para llegar a los resultados esperados y cumplir con los objetivos previamente planteados para el proyecto, se estableció una metodología de trabajo donde se siguieron varios lineamientos de la norma INV E – 200 para agregados pétreos (Figura 4). A continuación se presenta las diferentes actividades que se llevaron a cabo a lo largo del proyecto:

- 1) Recopilación de información base previa a visita de campo:** Durante esta etapa se realizó una revisión bibliográfica de trabajos anteriores de la zona, donde se describió las condiciones y características generales en la cercanía al predio de la solicitud.
- 2) Definición de puntos estratégicos para muestreo:** Durante esta etapa se planeó la visita a los predios, definiendo las rutas que se utilizaran durante los recorridos, las zonas estratégicas a visitar, se identificó los cuerpos de agua y las edificaciones que pudieran existir en la zona, y por último se buscó establecer los puntos de muestreo. Como cartografía base y punto de comparación para el trabajo final, se utilizó la plancha 167 Sonsón y 168 Argelia.
- 3) Muestreo para posterior análisis en laboratorio:** En esta etapa se diseñó un formato para la descripción de las muestras que se recolectaron en campo. Siguiendo los lineamientos dados por el Invias para agregados pétreos, la sección 201 especifica la metodología que se debe emplear a la hora de muestrear agregados para la construcción de carreteras. La norma tiene por objetivo apoyar al comprador o beneficiario final de los agregados a aceptar o rechazar el material por medio de una serie de recomendaciones (Invias, 2012).

Para la exploración de fuentes potenciales de agregados pétreos, se recomienda seguir los siguientes pasos:

- Definir la estratificación que presenta el afloramiento por medio de una inspección preliminar, donde se identifiquen los cambios composicionales entre estratos. También se recomienda la identificación de estructuras (Invias, 2012).



Figura 1. Afloramiento en la zona de estudio, con presencia de esquistos cuarzo-sericiticos.

- Tomar de forma aleatoria una muestra representativa de material, no menor a 25kg según lo establecido por la Tabla 1, proveniente de 3 porciones distintas del afloramiento. Posteriormente combinarlas para formar una única muestra de campo que será usada en los ensayos de laboratorio (Invias, 2012) (Figura 2).



Figura 2. Muestras tomadas para realizar los ensayos físicos de laboratorio.

Tabla 1. Cantidad mínima de muestra para ensayos físicos de laboratorio, según lo estipulado por la norma INV E – 201 (Invias, 2012).

Tamaño del agregado	Masa mínima de la muestra de campo Kg (lb)	Volumen de la muestra de campo en litros (galones)
<b>Agregado fino</b>		
2.36 mm (No. 8)	10 (22)	8 (2)
4.75 mm (No. 4)	10 (22)	8 (2)
<b>Agregado grueso</b>		
9.5 mm (3/8")	10 (22)	8 (2)
12.5 mm (1/2")	15 (35)	12 (3)
19.0 mm (3/4")	25 (55)	20 (5)
25.0 mm (1")	50 (110)	40 (10)
37.5 mm (1 1/2")	75 (165)	60 (15)
50.0 mm (2")	100 (250)	80 (21)
63.0 mm (2 1/2")	125 (275)	100 (26)
75.0 mm (3")	150 (330)	120 (32)
90.0 mm (3 1/2")	175 (385)	140 (37)

➤ Se recomienda adjuntar en conjunto con la información general del afloramiento y de las muestras tomadas, la siguiente información:

- Volumen aproximado de la fuente
- Espesor y características del material de cobertura
- Descripción detallada de la ubicación

**4) Ensayos físicos de calidad:** Para conocer la calidad de un agregado pétreo que será utilizado como material de construcción es fundamental definir 2 variables físicas como lo estipula las normas 219 y 223 del Invias respectivamente: la resistencia a la degradación y la absorción del agregado. Estas establecen el protocolo que se debe seguir a la hora de determinar la sanidad de los agregados (Invias, 2012).

➤ **INV E – 219: Resistencia a la degradación de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm ( $3/4$  ") por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles**

Por medio de este ensayo se busca medir la degradación que presentan los agregados por medio de la abrasión, impacto y molienda proporcionada por la máquina de los ángeles. Esta se encuentra compuesta por un cilindro hueco de acero rotatorio cerrado en ambos extremos, donde se introducen bolas de acero de aproximadamente 390g. También es determinante para la realización del ensayo el uso de un horno, una balanza y tamices para encontrar la degradación final de la muestra (Invias, 2012).

El procedimiento para llevar a cabo el ensayo es el siguiente:

1. Una vez se obtiene la muestra de campo por medio de la metodología de muestreo sugerida por la norma, esta es triturada y tamizada para obtener un tamaño uniforme para el comienzo del ensayo.
2. La muestra es lavada y secada en el horno a una temperatura aproximada de 110°C, para así asegurar que no haya ni impurezas, ni humedad.
3. Con ayuda de la Tabla 2 se elige la granulometría más parecida y la muestra se separa en las reducciones indicadas por la misma tabla. Se recombinan las fracciones para formar la muestra que será sometida al ensayo. Finalmente se pesa usando una balanza con aproximación a 1g.

Tabla 2. Granulometría de las muestras de ensayo (Invias, 2012).

Tamaño el tamiz		Masa de las fracciones (g)		
Pasa	Retiene	Granulometría		
		1	2	3
75 mm (3")	63 mm ( $2\frac{1}{2}$ " )			
63 mm ( $2\frac{1}{2}$ " )	50 mm (2")	2500±50		
50 mm (2")	37.5 mm ( $1\frac{1}{2}$ " )	2500±50	5000±50	
37.5 mm ( $1\frac{1}{2}$ " )	25 mm (1")	5000±50	5000±50	5000±25
25 mm (1")	19 mm ( $3/4$ " )			5000±25
Total		10000±100	10000±75	10000±50

4. Se introducen en el cilindro metálico, la muestra y la carga abrasiva, que corresponderá al número de bolas de acero que indique la granulometría antes determinada, que para el caso de los agregados gruesos (mayores a 19 mm ( $3/4$ ")) es de 12 esferas. Una vez sellado el cilindro se procede a girar el tambor a una velocidad comprendida entre los 188 y 208 rad/minuto, hasta completar las 500 revoluciones.
5. Una vez se cumple con el número de vueltas, el material es descargado y tamizado. Finalmente la muestra es nuevamente lavada y pesada en la balanza, para así conocer el porcentaje de pérdidas que hubo durante el ensayo por degradación del material, donde el resultado final es la diferencia entre la masa original y la masa final de la muestra ensayada, expresada como porcentaje de la masa original.

➤ **INV E – 223: Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso**

Por medio de este ensayo se busca determinar la densidad promedio de una cantidad de agregado, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del material, con la ayuda de una canastilla metálica, un tanque de agua, un dispositivo de suspensión, tamices, un horno y una balanza. Estas 3 variables físicas son descritas en la norma como se presenta a continuación (Invias, 2012):

- Densidad: Masa por unidad de volumen de un material, expresada generalmente en  $kg/m^3$ .
- Densidad relativa (Gravedad específica): relación entre la densidad de un material y la densidad del agua a una temperatura indicada.
- Absorción: Incremento de la masa de un agregado, debido a la penetración de agua dentro de los poros de sus partículas durante un periodo específico, sin incluir el agua adherida a la superficie exterior del material.

El procedimiento para llevar a cabo el ensayo es el siguiente:

1. Una vez se obtiene la muestra de campo por medio de la metodología de muestreo sugerida por la norma, esta es triturada y tamizada para obtener un tamaño uniforme para el comienzo del ensayo.
2. La muestra es lavada y secada en el horno a una temperatura aproximada de  $110^{\circ}C$ , para así asegurar que no haya ni impurezas, ni humedad.
3. Se cuartea la muestra hasta obtener la cantidad mínima para el ensayo, como se indica en la Tabla 3. Se debe eliminar el material inferior 4.75 mm (No. 4).

Tabla 3. Cantidades mínimas para ensayo INV E – 223 (Invias, 2012).

Tamaño máximo nominal		Masa mínima de la muestra de ensayo	
mm	pg.	kg	lb
12.5	1/2	2	4.4
19	3/4	3	6.6
25	1	4	8.8
37.5	1 1/2	5	11
50	2	8	18
63	2 1/2	12	26
75	3	18	40
90	3 1/2	25	55
100	4	40	88
125	5	75	165

4. La muestra se sumerge en agua a temperatura ambiente por un lapso de 24 horas. Se determina la masa sumergida de la muestra.
5. Después de la inmersión, la muestra es secada con un paño para eliminar las partículas de agua que se encuentran adheridas a la superficie de la muestra.
6. Se determina la masa de la muestra en condición saturada con superficie seca (SSS)
7. Por último se procede a secar la muestra con ayuda del horno, para así medir la masa de la muestra seca.

**5) Generación de mapas temáticos y elección de targets mineros:** Durante esta etapa se realizó una recopilación de los datos adquiridos en campo, y con la ayuda de los diferentes softwares especializados (ArcGIS y AutoCAD), se generaron diferentes mapas temáticos a escala 1:10.000 donde se determine los frentes mineros tentativos para la empresa. Con este proceso se busca priorizar las zonas de interés para la empresa, para futuros estudios de detalle (perforaciones, geofísica, entre otros).

**6) Estimación de recursos con el método de los perfiles:** Definir los recursos presentes en un yacimiento de mineral en su cantidad, lugar y su disposición espacial es de gran importancia, ya que permite definir la dimensión del depósito, las características generales del yacimiento y la cantidad de mineral que es factible de extraer, lo anterior define la viabilidad de un proyecto minero. Para el cálculo de los recursos se debe tener en cuenta aspectos como la génesis del depósito, las estructuras presentes en el yacimiento, y el muestreo realizado.

Para esta primera estimación se utilizó el método de los perfiles, el cual se usa cuando se presenta un cuerpo con forma irregular. Con la ayuda de la información recopilada en campo, se elaboraron cortes o perfiles en los que se basa el cálculo de las reservas.

El procedimiento para llevar a cabo este método de estimación es el siguiente:

1. Una vez identificada la zona de interés (target minero) y recopilar la información técnica de campo, se procede a delimitar el cuerpo de interés considerado como la roca mena de explotación para la empresa.
2. Se trazan 3 líneas equidistantes que cortan el cuerpo de roca como se muestra en la Figura 3.
3. Con ayuda de un software especializado, se generan 3 perfiles interpolando el modelo de elevación digital (DEM) con las 3 líneas previamente trazadas a lo largo de la zona de interés.

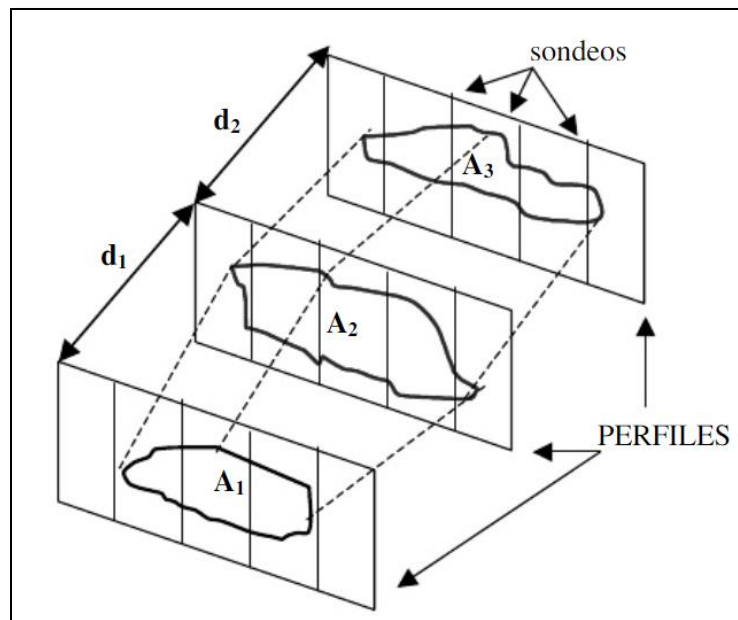


Figura 3. Diagrama del método de los perfiles. Tomado de Cruz, P. (2011)

4. Se determina el área de cada uno de los perfiles con ayuda del software y se procede a calcular el volumen del cuerpo comprendido entre estos 3 mediante la fórmula prismoidal, en donde según esta, se le da mayor peso al perfil del centro, como se podrá apreciar en el capítulo de resultados.

**7) Informe final del proyecto:** Finalmente se buscó plasmar a través de un informe los resultados de la investigación, acompañado de una interpretación de estos y unas conclusiones que buscan apoyar la decisión de la empresa de seguir adelante

con las siguientes etapas de la exploración y explotación minera del predio en cuestión.

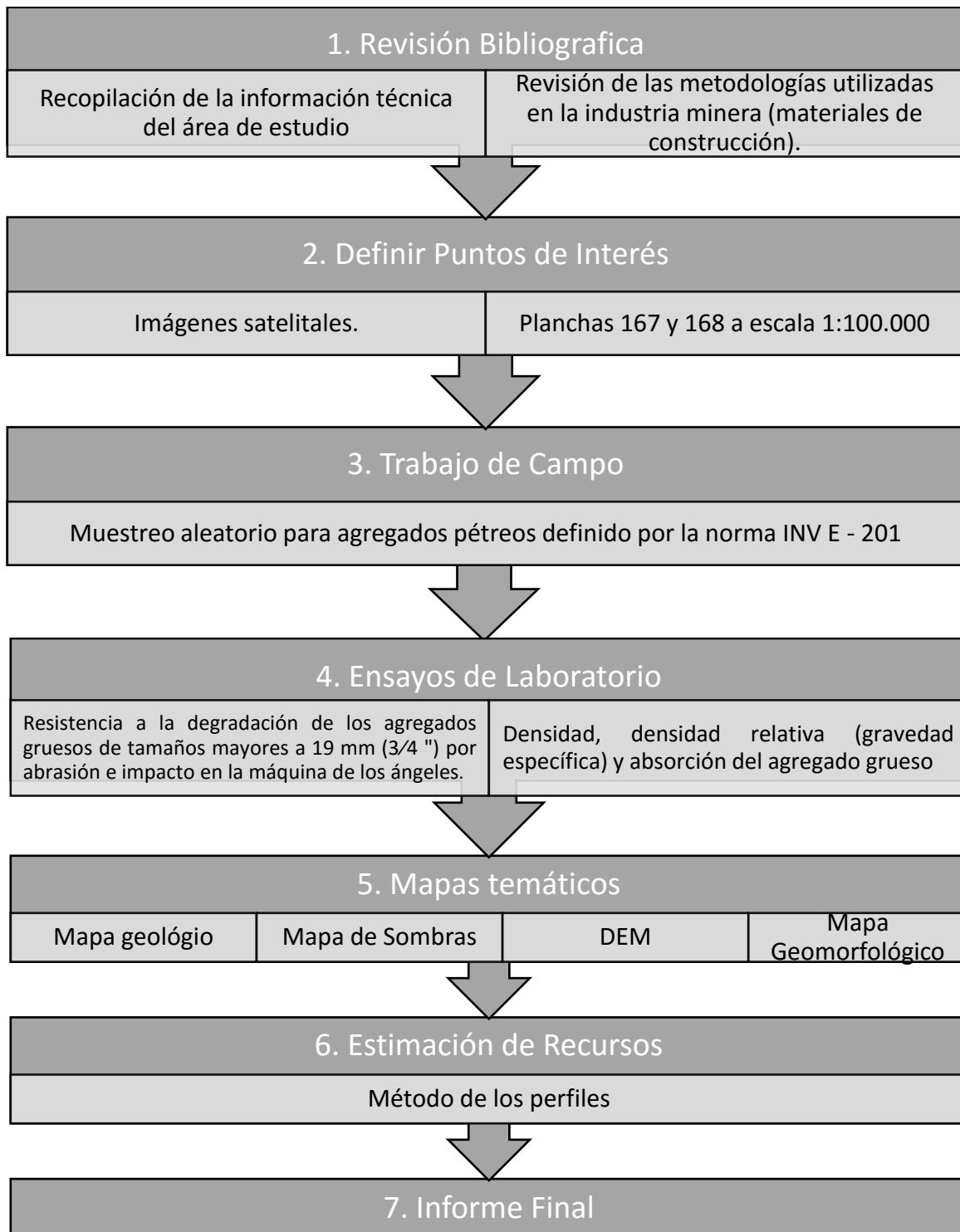


Figura 4. Flujo-diagrama general de la metodología del proyecto.

## 7. CONCEPTUALIZACIÓN

Durante el siguiente capítulo se definirán los términos y conceptos utilizados a lo largo de todo el documento, extraídos del Glosario Técnico Minero hecho en el 2015 por el Ministerio de Minas y Energía (MinMinas) y el documento hecho por la Agencia Nacional de Minería (ANM) llamado “*El Título Minero*”, con el objetivo de establecer un marco conceptual para el lector.

**Agregados pétreos:** Materiales de roca que debidamente fragmentados y clasificados, se emplean en la industria de la construcción. Para el caso de INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A el material es utilizado como agregado para cemento y en mezclas asfálticas para la construcción de obras civiles y vías respectivamente (MinMinas, 2015).

**Autoridad minera:** tiene a su cargo la administración de los recursos mineros, la promoción de los aspectos relacionados a la industria minera, la administración del recaudo y distribución de las contraprestaciones económicas, con el fin de desarrollar las funciones de titulación, registro, asistencia técnica, fomento, fiscalización y vigilancia de las obligaciones emanadas de los títulos y solicitudes de áreas mineras (MinMinas, 2015).

**Catastro Minero Nacional:** Conformación física en documentos cartográficos de todas las alinderaciones de las áreas que son objeto de títulos mineros o solicitudes para explorar o explotar minerales, así como las áreas de reserva para utilidad pública, parques naturales, zonas de protección ecológica, agrícola o ganadera, perímetros urbanos, entre otros (MinMinas, 2015).

**Contrato de concesión:** Son contratos administrativos celebrados entre el Estado (Ministerio de Minas y Energía, como representante de la Nación) y un particular (persona natural o jurídica) para efectuar, por cuenta y riesgo de éste, los estudios, trabajos y obras de exploración de minerales de propiedad estatal que puedan encontrarse dentro de una zona determinada y para explotarlos en los términos y condiciones establecidos en la legislación vigente al momento de su celebración. Comprende dentro de su objeto las fases de exploración técnica, explotación económica, beneficio de los minerales y cierre o abandono de los trabajos y obras correspondientes (MinMinas, 2015).

**Estudios geológicos:** Recopilación de información geológica de un área o una región, con un objetivo primordial (minería, exploración minera, obras civiles, entre otros). Un estudio geológico provee información sobre litología, estructuras, ocurrencias minerales, entre otros, permitiendo la detección de posibles problemas, para salvar de esta manera tiempo, dinero y hasta vidas humanas (MinMinas, 2015).

**Exploración geológica de superficie:** Es el conjunto de actividades que conducen al estudio y a la caracterización geológica superficial de una zona determinada, y permiten establecer los sectores que presentan las mejores manifestaciones o los indicios geológicos que indican la presencia somera o profunda, de una sustancia mineralizada y de proponer los sitios específicos donde la misma sustancia pueda ser evaluada mediante la aplicación de técnicas directas o indirectas (MinMinas, 2015).

**Factores Modificantes:** Los Factores Modificantes son consideraciones usadas para la delimitación de frentes mineros y la generación de planes mineros a largo plazo. Estos incluyen, pero no se limitan a, factores de minería, procesamiento, metalúrgicos, infraestructura, económicos, de mercado, legales, ambientales, sociales y gubernamentales (MinMinas, 2015).

**Prospección:** Reconocimiento o exploración superficial de una zona, dirigida a determinar áreas de posible mineralización (targets o áreas anómalas), por medio de indicaciones químicas y físicas medidas con instrumentos y técnicas de precisión (MinMinas, 2015).

Prospección es el proceso para investigar la existencia de minerales y delimitar zonas prometedoras. Sus métodos consisten, entre otros, en la identificación de afloramientos, la cartografía geológica, los estudios geofísicos y geoquímicos, y la investigación superficial, en áreas no sujetas a derechos exclusivos (MinMinas, 2015).

**Prospecto:** Acumulaciones de minerales que, además de mostrarse geológicamente anómalas, han merecido un estudio geológico detallado con el fin de determinar su verdadero valor económico (AGI, 1974) (pueden tener cálculos de recursos y reservas, y tienen estudios de prefactibilidad o factibilidad) (MinMinas, 2015).

**Título minero:** Se define como el acto administrativo escrito mediante el cual, la ANM (Agencia Nacional de Minería) le otorga a un tercero el derecho a explorar o explotar el suelo y el subsuelo minero propiedad de la nación (ANM, 2001).

- **Título minero de exploración:** Es el acto administrativo que confiere a una persona el derecho exclusivo a realizar dentro de una zona determinada, trabajos dirigidos a establecer la existencia de minerales y sus reservas en calidad y cantidad comercialmente explotables (ANM, 2001).
- **Título minero de explotación:** Es el derecho que tiene el titular de la licencia de exploración que ha sido clasificado en forma definitiva como de pequeña minería para convertir su título en licencia de explotación (ANM, 2001).

**Recursos medidos:** se tomará como recursos medidos, aquellos cuando se disponga de una información directa tomada de un muestreo detallado en los tres

sentidos del cuerpo mineralizado, dirección, buzamiento y profundidad (MinMinas, 2015).

**Recursos indicados:** igualmente determinados por un muestreo, análisis estructural, en donde esencialmente se podrán caracterizar dos de las tres dimensiones del cuerpo mineralizado y en el cual existe un grado de conjetura a criterio del profesional en ciencias de la tierra (MinMinas, 2015).

**Recursos inferidos:** para el concepto de recursos inferidos primará el criterio geológico sobre las mediciones directas, siempre y cuando se pueda hacer la medición de por lo menos una de las direcciones del cuerpo mineralizado, (dirección, buzamiento o profundidad). Este criterio puede estar basado en la repetición de rasgos geológicos en el yacimiento, o través de la comparación con otro yacimiento equivalente (MinMinas, 2015).

**Solicitud minera:** Se define como el paso previo a la adjudicación de un título minero, durante el cual el interesado debe generar una solicitud formal ante la ANM (Agencia Nacional de Minería) y presentar una serie de requisitos establecidos por medio del Registro Nacional Minero. Para el otorgamiento de las concesiones mineras, la ANM se rige bajo el principio de “primero en tiempo, primero en derecho” (ANM, 2001).

## 8. INSUMOS BASICOS

**8.1 Base cartográfica:** Se empleó como base cartográfica las planchas 167 y 168 a escala 1:100.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), correspondientes a Sonsón y Argelia respectivamente. A su vez, se utilizó la información proporcionada por el POT del municipio de Cocorná en la dimensión ambiental del documento, donde se describen drenajes, vías, zonas de vida, entre otros. Como resultado, se obtuvo una cartografía base a escala 1:10.000 del predio, utilizando curvas de nivel cada 10m, de la solicitud minera LK5-14091 como se muestra a continuación (Figura 5).

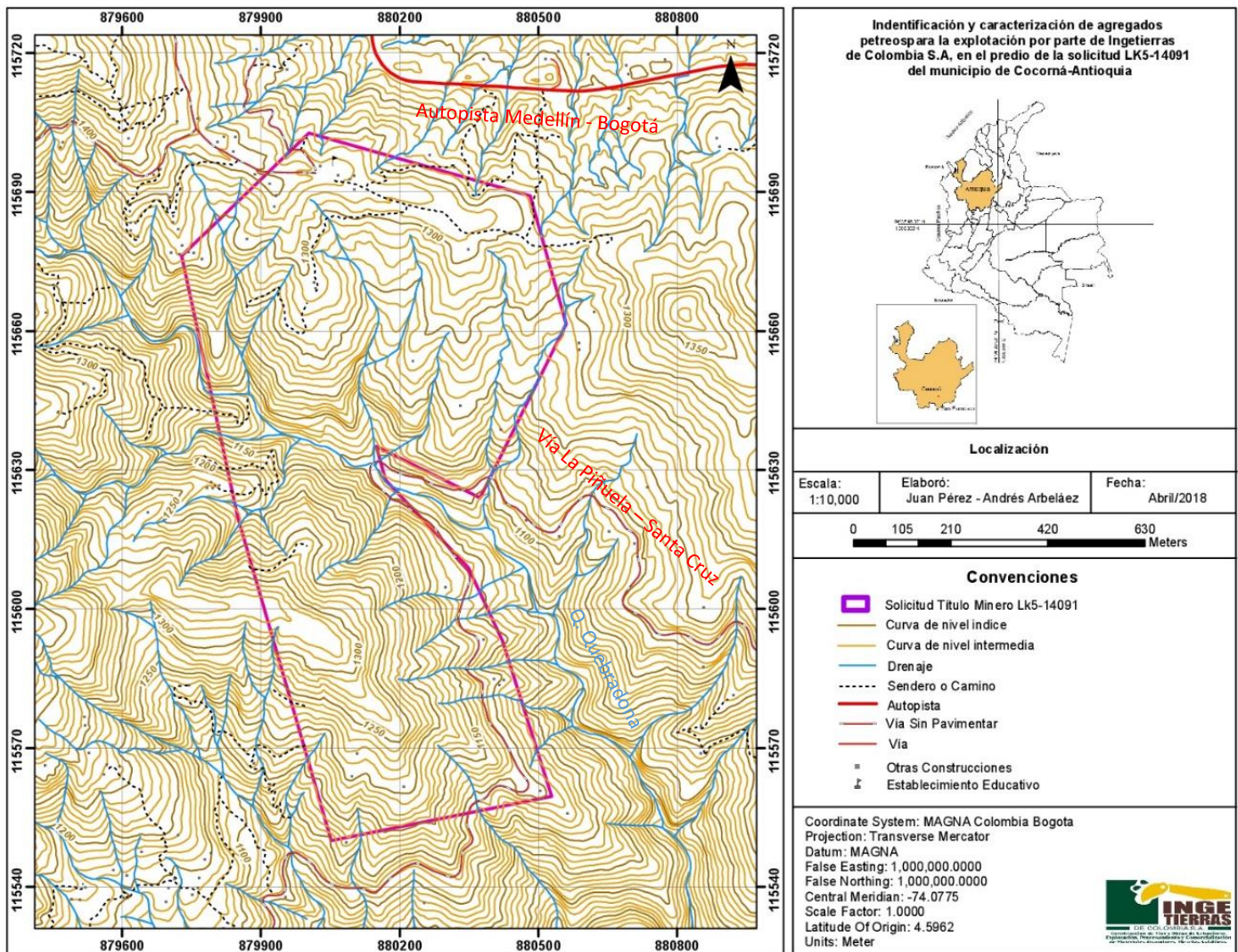


Figura 5. Mapa base del predio de la solicitud minera LK5 – 14091 a escala 1:10.000.

**8.2 Modelo de elevación digital (DEM):** La topografía representa una característica básica a la hora de comenzar y desarrollar un proyecto minero, ya que aparte de ser una entrada de información clave al generar modelos geotécnicos e hidrogeológicos para el planeamiento minero a largo plazo, permite realizar una primera estimación de recursos inferidos en la zona de estudio.

Para la generación del modelo de elevaciones se utilizaron curvas de nivel cada 10m (Figura 6), el cual consiste en una malla continua de celdas y al cual se le conoce por el nombre de Modelo Digital de Elevación (DEM).

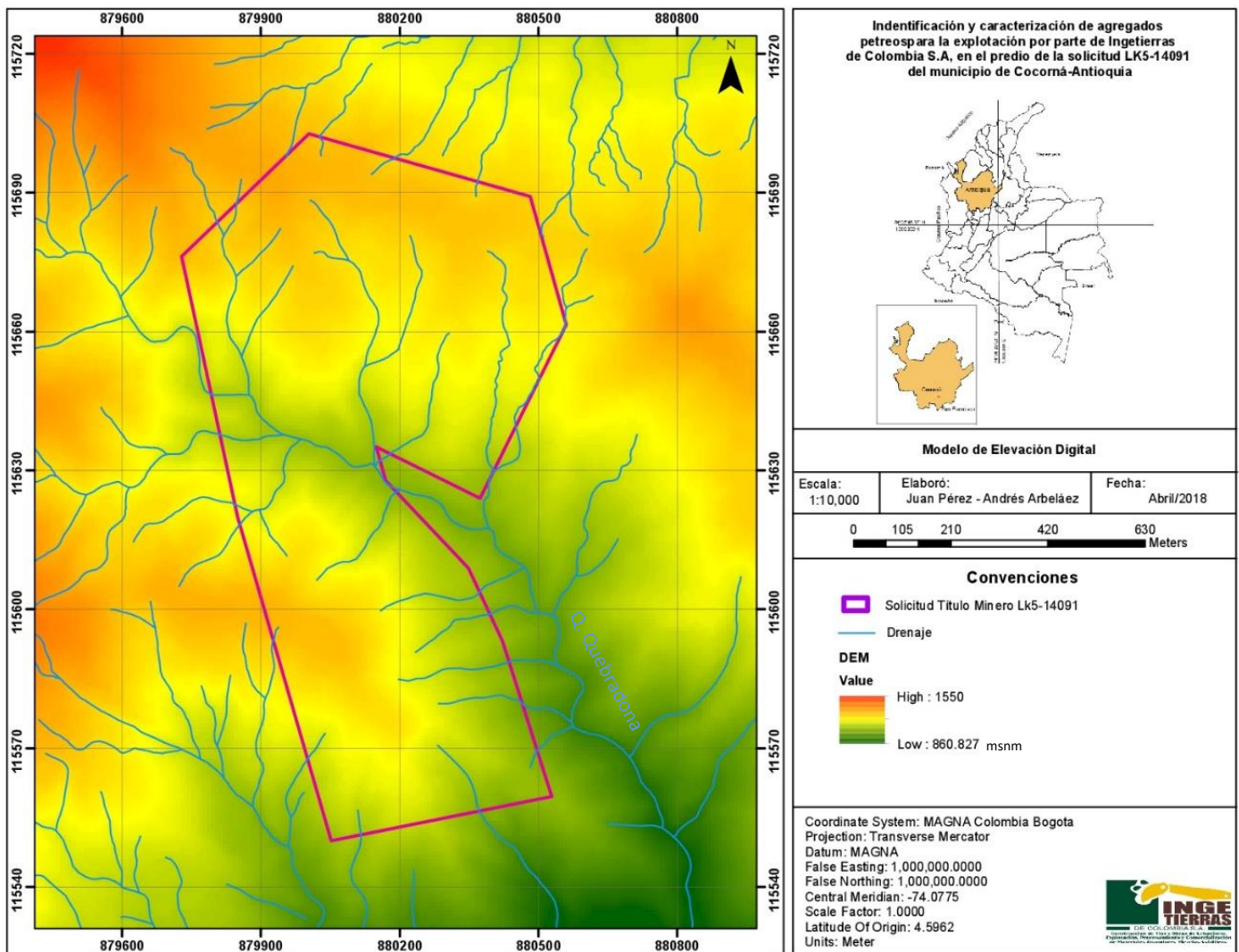


Figura 6. Modelo de Elevación Digital (DEM) del predio de la solicitud minera LK5 – 14091 a escala 1:10.000.

**8.3 Modelo de Sombras:** este modelo fue generado a partir del modelo de elevación digital, y busca representar las sombras y los niveles de radiación solar sobre el terreno, dando sensación de profundidad en la geografía (Figura 7).

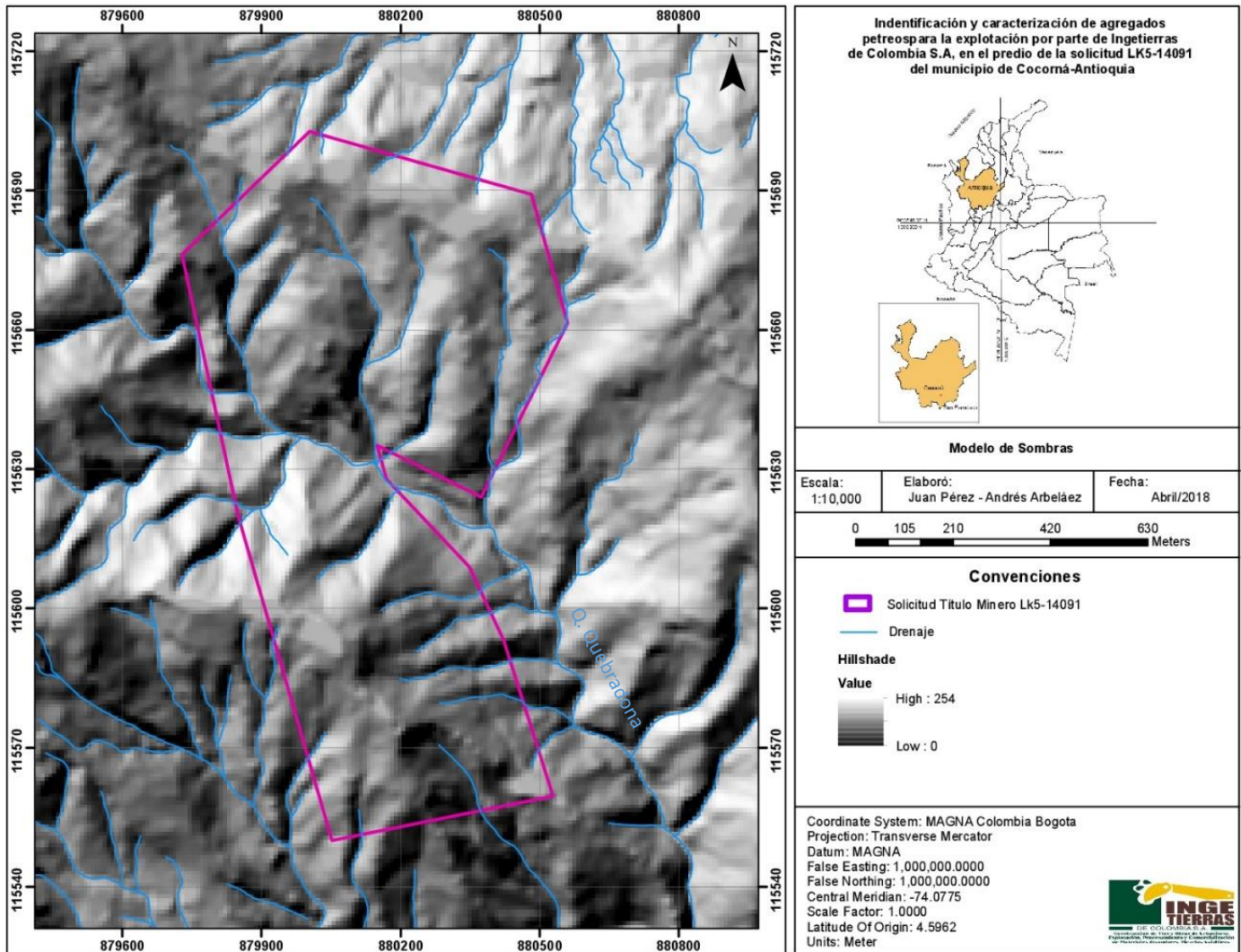


Figura 7. Modelo de sombras del predio de la solicitud minera LK5 – 14091 a escala 1:10.000.

## 9. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO

**9.1 Localización:** El predio de la solicitud minera LK5 – 14091 se encuentra localizado entre las coordenadas 6°00'31.99" de latitud Norte y a 75°09'41.66" de longitud Oeste, correspondiente a la vereda La Piñuela, al suroriente de la ciudad de Medellín a aproximadamente unos 53km de distancia, y a unos 8km del corregimiento de San Francisco (Figura 8). La zona pertenece a la jurisdicción del municipio de Cocorná, donde esta ocupa el 0.51% del total del área del municipio (Alcaldía de Cocorná, 2008).

La zona de estudio se encuentra ubicada a una altura mínima de 1085 msnm, donde la topografía de la zona contribuye a que esta alcance una altura máxima de 1340 msnm, en apenas 1.2km<sup>2</sup> de extensión total. El polígono tiene una longitud de Norte a Sur de 1.5km y Este a Oeste de 0.85km (Alcaldía de Cocorná, 2008).



Figura 8. Localización del predio de la solicitud minera LK5 – 14091, en Google Earth.

**9.2 Clima:** Según la clasificación de zonas de vida para la plancha 167 Sonsón, cuadrángulo IIB2 y 168 Argelia cuadrángulo IA1, la cual se realizó con base en la categorización hecha por Holdridge sobre pisos bioclimáticos y zonas de vida, el municipio de Cocorná, al igual que Marinilla y Guarne, se encuentran regidos por tres zonas de vida: bosque muy húmedo tropical (bmh – T), bosque pluvial premontano (bp – PM) y bosque pluvial montano (bp – MB) (Tabla 4).

Tabla 4. Clasificación bioclimática del municipio de Cocorná, Antioquia (Alcaldía de Cocorná, 2008).

<b>Clasificación bioclimática del Municipio de Cocorná</b>						
<b>Zona de vida</b>	<b>Piso térmico</b>	<b>Precipitación (mm/año)</b>	<b>Temperatura (C°)</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Extensión (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Veredas</b>
Bosque Muy Húmedo Tropical (bh – T)	Cálido	2000 - 4000	Entre 24 y 26°C	450 a 1000	53	La Inmaculada, San Lorenzo, La Granja, La Veta, La Tolda, Pailania, Los Limones, La Paila, Morritos, Cebadero, El Retiro, El Cocuyo, El Entablado, Agualinda, La Florida, El Porvenir, El Suspiro, Cuchilla del Rejo, San Martín.
Bosque Pluvial Premontano (bp – P)	Templado	Superior a 4000	Entre 18 y 24°C	1000 a 2000	104	Casco urbano, Media Cuesta, La Chonta, San Juan, Playas, La Peña, El Chocó, San Antonio, Santa, Bárbara, El Jordán, Los Mangos, El Molino, Campo Alegre, La Aurora, La Inmaculada, La Milagrosa, La Chorrera, San Vicente, El Tesoro, Las Mercedes, San José, Los Cedros, El Salado, El Coco, El Recreo, Palmita, Villahermosa, La Primavera, La Vega, Santa Cruz, Santo Domingo, LaPiñuela, Guayabal, San Lorenzo, Balcones, La Granja, La Quiebra, El Palmar, La Tolda, La Solita, El Sinaí, Majagual, Los Limones, La Paila, Aguabonita, La Cima, El Rosal, Alto Bonito, El Higuierón, Morritos, El Estío, Agualinda, La Florida, Santa Rita, La Secreta.
Bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh – MB)	Frío	Superior a 4000	Entre 16 y 18°C	2000 a 2350	53	El Viaho, Cruces, La Trinidad, Potreros, El Viadal, Media Cuesta, La Chonta, San Miguel, El Ciprés

Al igual que la gran mayoría de municipios en Antioquia, Cocorná cuenta con precipitaciones que presentan alternancia de periodos de lluvia y secos. De abril a mayo y de septiembre a noviembre se presentan los periodos lluviosos, mientras que de junio a julio y de diciembre a marzo se presenta una notoria disminución de lluvias (periodos secos) (Alcaldía de Cocorná, 2008).

**9.3 Uso del suelo:** En la actualidad, más de la mitad del territorio del municipio de Cocorná se encuentra destinado para uso agropecuario, donde se destaca la ganadería y los cultivos tecnificados, y no tecnificados de café, plátano y frutos (Tabla 5). La segunda mitad se encuentra dividida en bosques naturales con diferentes grados de intervención y áreas de rastrojos (Henao, 2012).

Tabla 5. Uso actual del suelo en el municipio de Cocorná, Antioquia (Alcaldía de Cocorná, 2008).









<b>Uso actual del suelo en el Municipio de Cocorná</b>			
<b>Uso del suelo</b>		<b>Extensión (Ha)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
<b>Bosques (22.6%)</b>	Bosque natural primario intervenido	463	1.7
	Bosque natural secundario	5324	20.1
	Bosque plantado	216	0.8
<b>Rastrojos (29.8%)</b>	Rastrojo alto	6259	23.7
	Rastrojo bajo	1606	6.1
<b>Cultivos agrícolas (18.4%)</b>	Cultivo permanente no tecnificado	4863	18.4
	Cultivo permanente tecnificado	200	0.8
	Cultivo transitorio no tecnificado	251	1.0
	Cultivo transitorio tecnificado	126	0.5
<b>Potreros (7.3%)</b>	Pasto enmalezado	1941	7.3
	Pasto manejado	5103	19.3
<b>Otros (0.4%)</b>	Suelos eriales, construcciones, vías	94	0.4
<b>TOTAL</b>		<b>26446</b>	<b>100</b>




**9.4 Estudios anteriores:** Según el plan de ordenamiento territorial del municipio de Cocorná, a pesar de que este territorio cuenta un gran potencial en términos de recursos minerales tanto metálicos, como no metálicos, históricamente el municipio se ha caracterizado por tener una minería esporádica y artesanal, lo que en parte explicaría la falta de estudios más detallados sobre este tipo de recursos.

En la actualidad existe una solicitud de explotación vigente por parte de la empresa MINERALES E INGENIERIA LTDA para la explotación de mármol en la zona del Sinaí. Por otro lado, la empresa PAVIMENTOS Y CONSTRUCCIONES actualmente extrae materiales de construcción en un área de 20 hectáreas. Finalmente, INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A extrae hoy en día materiales pétreos en el municipio, más precisamente en las cercanías a la vereda San Francisco, por lo que la empresa ya ha estado y sigue estando en contacto, tanto con las autoridades ambientales locales, como con la población de la zona (Alcaldía de Cocorná, 2008).

**9.5 Marco geológico regional:** A lo largo del territorio del municipio de Cocorná se pueden encontrar rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas con edades que van desde el Paleozoico hasta el Mesozoico (Figura 9 y 10). A continuación se presenta una breve reseña de las diferentes formaciones que afloran en el territorio del municipio en orden cronológico (Tabla 6).

Tabla 6. Geología del municipio de Cocorná, Antioquia (González, 1980).

Edad	Complejo / Grupo	Tipo de Roca	Nomenclatura	Descripción
Paleozoico	Complejo Cajamarca	Esquisto Cuarzo Sericítico	Pes –  Es – 	Roca de color oscuro (de gris a negro) compuesta en su gran mayoría por cuarzo y sericita (>95%). Se encuentra en la zona sur del municipio.
		Cuarzita	Pnq –  Nq – 	Roca de color claro que se encuentra bien definida en una franja al sur oriente del municipio. Esta está compuesta por cuarzo en más de un 60%.
		Anfibolita	Pa –  A – 	Roca compuesta en un alto porcentaje por hornblenda y plagioclasa, que se encuentra aflorando al suroriente del municipio en un gran paquete.
		Intrusivo Néisico Sintectónico	Pni –  Ni – 	Cuerpo ígneo que se encajó durante el proceso de metamorfismo. Este se encuentra al oriente del municipio, en una faja bien definida compuesta por cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa.

Mesozoico	-	Batolito Antioqueño	Kcda -  Kqd - 	Las rocas de este cuerpo intruyen rocas sedimentarias y metamórficas al norte, centro y oriente del municipio. Predomina la presencia de cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y horblenda.
	-	Depósitos de origen aluvial y de vertiente	Qal, Qv, Qfl 	Estos depósitos se encuentran a lo largo de los ríos Cocorná, Santo Domingo, Melcocho, Quebradona, entre otros. Su estratigrafía está compuesta por intercalaciones de arenas, arcillas y gravas.

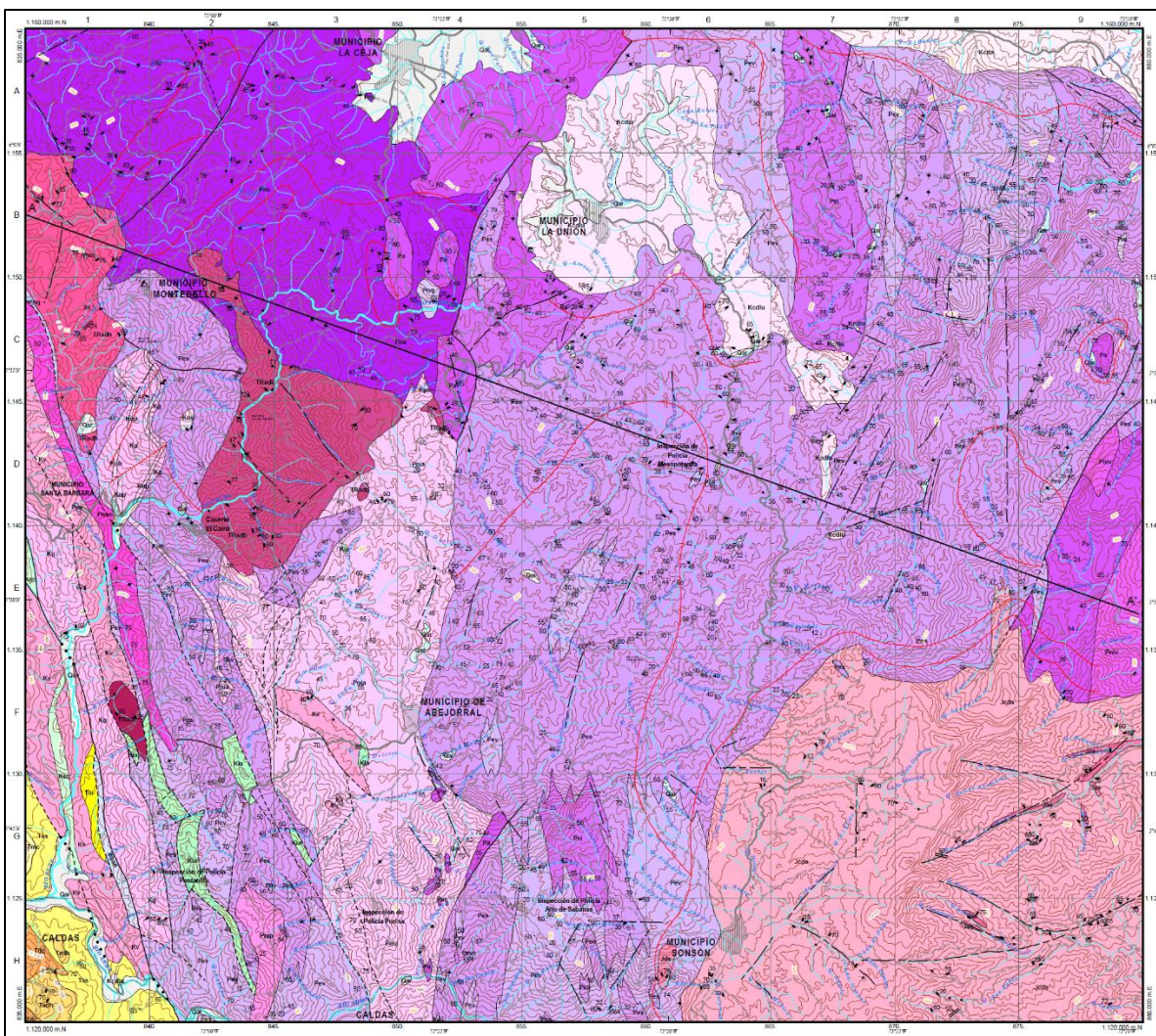


Figura 9. Plancha 167 Sonsón, Antioquia a escala 1:100.000. Tomado de González, 22  
1980.

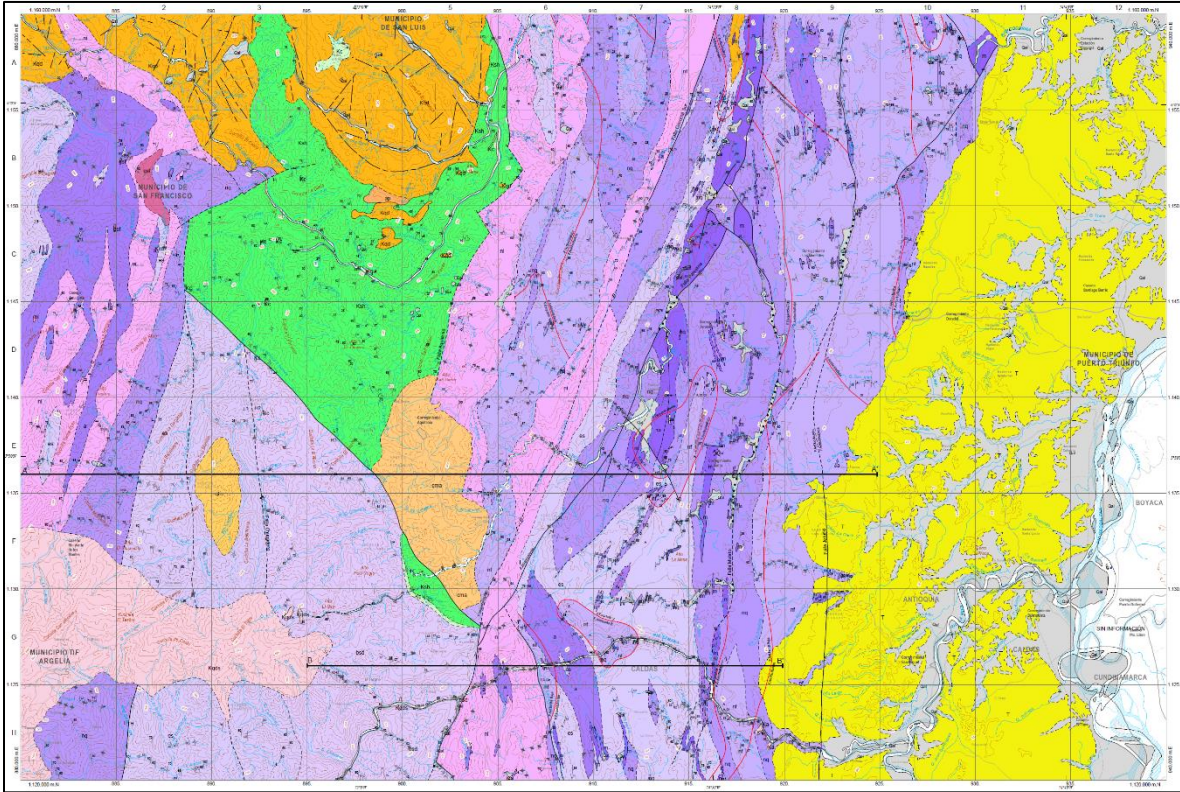


Figura 10. Plancha 168 Argelia, Antioquia a escala 1:100.000. Tomado de Feininger, T., Barrero, D., Castro, N., Ramírez, O., Lozano, H., & Vesga, J, 1970.

Localmente, la solicitud minera se encuentra ubicada en casi toda su totalidad sobre esquistos cuarzo – sericiticos del complejo Cajamarca (Pes), mientras que al norte de este mismo se encuentran pequeños afloramientos de cuarzdioritas pertenecientes al Batolito Antioqueño (González, 1980) (Figura 11).

Cabe resaltar que para este proyecto se utilizó la nomenclatura establecida y usada por el Ingeominas para la denominación de las rocas metamórficas e ígneas, como se presenta en la plancha 167 de Sonsón, y no como se presenta en la plancha 168 de Argelia, donde se denomina al grupo “Cajamarca” con el nombre de “Rocas Metamórficas de la Cordillera Central al Oeste de la Falla Otu”.

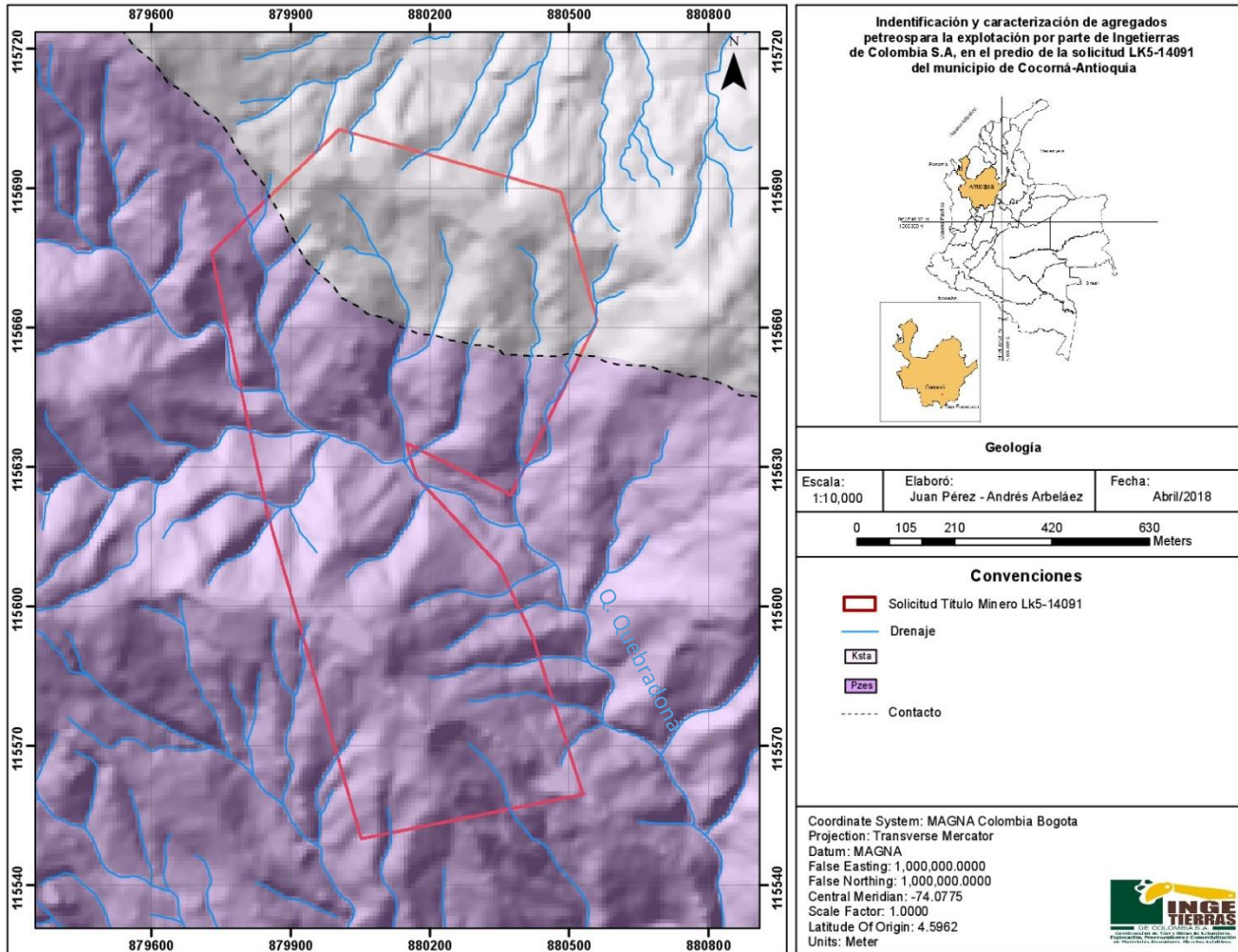


Figura 11. Mapa geológico del predio de la solicitud minera LK5 – 14091 a escala 1:10.000.

**9.6 Marco Geomorfológico:** Según la clasificación geomorfológica del municipio de Cocorná realizada por la gobernación de Antioquia, Cornare y la alcaldía de Cocorná en el 2012, se identificaron 6 unidades principales con diferentes características, las cuales componen una macrounidad denominada de Vertiente como se muestra en la Tabla 7 (Alcaldía de Cocorná, 2008).

Cabe resaltar que Gómez, 1997; realizó una clasificación a una mayor escala, donde se observa un mayor número de unidades geomorfológicas debido al mismo detalle del trabajo. Debido a que el objetivo del presente estudio no es determinar la geomorfología detallada para el predio de la solicitud minera LK5 – 14091, se utilizó la clasificación del POT del municipio como se muestra a continuación.

Tabla 7. Clasificación geomorfológica del municipio de Cocorná, Antioquia (Alcaldía de Cocorná, 2008).

Clasificación geomorfológica del municipio de Cocorná		
Macrounidad	Unidad	Descripción
Macrounidad de Vertiente	Sedimentitas de San Luis	Inclinación: Media y alta (>20%) Topes: Agudos y alargados Forma de las pendientes: Plana a cóncava Tipo de drenajes: Paralelos a subparalelos Tipo de roca: Metamórfica Ubicación: Al sur del municipio
	De Vertiente	Inclinación: Baja a media Topes: Agudos y alargados Forma de las pendientes: Plana a cóncava Tipos de drenajes: subparalelos Tipo de roca: Ígnea y metamórfica Ubicación: Occidente del municipio
	Escarpe	Inclinación: Mayores o iguales a 45° (100%) Ubicación: En el centro del municipio
	Morritos	Inclinación: Menor a 20° Forma de las pendientes: Convexa Tipo de drenajes: subparalelos Tipo de roca: Depósitos de vertiente Ubicación: Vereda Morritos
	Pendientes Suaves	Inclinación: Media a alta (15° a 30°) Topes: Redondeados Forma de las pendientes: convexa a plana, largas Tipos de drenajes: subdendríticos Ubicación: En cercanías al Carmen de Viboral
	Cocorná	Inclinación: Media a alta (15° a 30°) Forma de las pendientes: Convexa a plana, largas Tipo de drenajes: subparalelos y subdendríticos Ubicación: Cabecera municipal

**9.7 Geología estructural:** El Valle Medio del Magdalena se encuentra limitado en el área de estudio al occidente por las fallas de Mulato y Jetudo al sur y las fallas de Bagre y Nus al Norte, abarcando rocas de edades paleozoica (Basamento), terciaria y cuaternaria, dichas fallas representan los límites estructurales más occidentales; al oriente la falla de Salinas representa el límite estructural del valle (Alcaldía de Cocorná, 2008).

Dicho valle corresponde a una fosa tectónica, originada a comienzos de la orogenia andina (Mioceno); la cual presenta fallas con movimientos de rumbo principalmente lateral izquierdo, con componente vertical normal, su ángulo aún es incierto, se piensa que son de ángulo alto (Feininger et al, 1972).

En cuanto al municipio de Cocorná se refiere, se han identificado dos estructuras principales a lo largo de todo el territorio como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Registro de estructuras presentes en el municipio de Cocorná, Antioquia (Alcaldía de Cocorná, 2008).

<b>Nombre de estructura</b>	<b>Tipo de estructura</b>	<b>Descripción</b>
Falla al suroriente del municipio	Falla	Falla de tipo normal, que se encuentra al suroriente del municipio, afectando esquistos cuarzo – sericiticos y cuarzitas del complejo Cajamarca.
Alineamientos fotogeológicos	Falla	Este alineamiento se encuentra relacionado al batolito Antioqueño, donde una de las hipótesis sugiere que este fracturamiento se dio debido al enfriamiento del batolito.

## 10 MUESTREO

Primero se realizó una descripción de afloramiento en campo, en la vía que del sector de La Piñuela conduce a la parte sur del área de estudio. Sobre esta vía se tomaron tres puntos de muestro; El primero en un talud sobre la vía de unos 30 metros de altura aproximadamente, el segundo se tomó sobre una pequeña quebrada que atravesaba la vía, el tercer punto se tomó en el extremo sur del título y se logró corroborar la continuidad del cuerpo de interés en esta parte del área de estudio. Un cuarto punto se tomó sobre la quebrada Quebradona que recorre el área de estudio de oeste a este. El quinto y sexto punto, se tomaron sobre la vía que de la autopista Medellín-Bogotá, conduce a la parte norte de la solicitud minera (Figura 12).

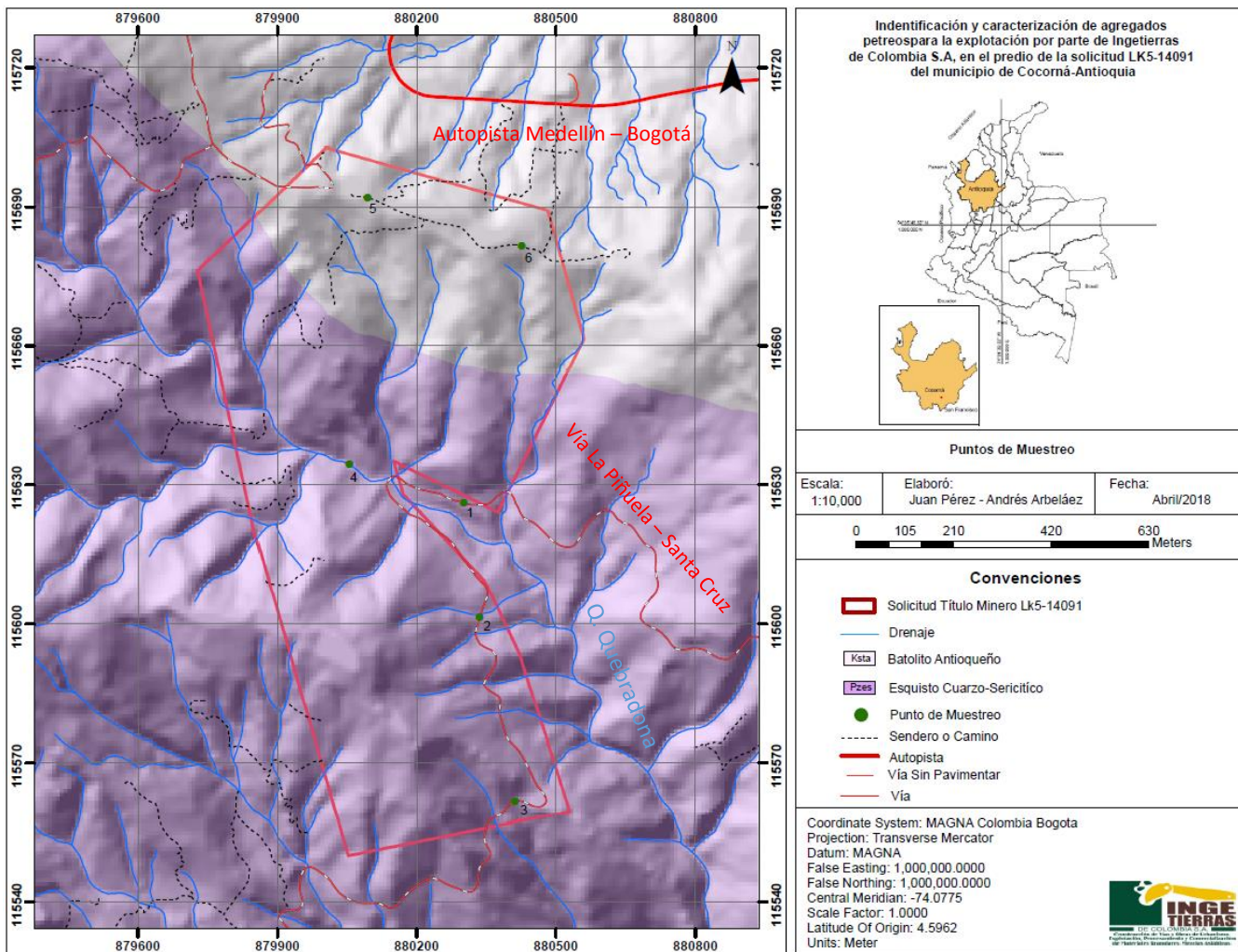


Figura 12. Mapa geológico del predio de la solicitud minera LK – 14091 a escala 1:10.000, donde se presentan los puntos de muestreo del proyecto.

## 10.1 Punto de Muestreo 1

Ubicación: Vía La Piñuela – Sur del área de estudio.

Coordenadas: 1.156,261 N  
880,301 W

En este punto se observa un talud con una altura de 30 m de altura y unos 20 metros de ancho aproximadamente (Figura 13). En este se pueden distinguir dos capas, una orgánica de 80 cm, que corresponde a capa vegetal y subyaciendo ésta se encuentra una gran pared de esquisto, compuesto principalmente por sericita, cuarzo, biotita, y en menor medida presenta plagioclasa, presentan bandas de cuarzo de máximo 6 mm de espesor.

Se pueden observar marcas de material removido manualmente, lo que indica que se está extrayendo material de manera ilícita (Figura 13).



Figura 13. Afloramiento de esquisto cuarzo-sericítico. También se muestra algunas de las zonas de donde se ha removido material de forma ilícita por habitantes de la zona.

## 10.2 Punto de Muestreo 2

Ubicación: Vía La Piñuela - Sur del área de estudio.

Coordenadas: 1.156,013 N  
880,335 W

En la vía que de La Piñuela conduce al sur de la zona de estudio, sobre una de las quebradas que cruza dicha vía, se puede observar un afloramiento de esquistos, compuesto principalmente por sericita, biotita y cuarzo, se pueden observar venas de cuarzo lechoso de unos 4 cm de espesor aproximadamente paralelas a la foliación de la roca, lo que indica que el plegamiento de los esquistos fue posterior o contemporáneo con el plegamiento regional (Feininger, 1972), se observa también en esta sección un plegamiento del esquistos, indicando un plegamiento posterior al origen de los esquistos (Figura 14).



Figura 14. Deformación de esquistos y vena de cuarzo lechoso.

### 10.3 Punto de Muestreo 3

Ubicación: Vía La Piñuela - Sur del área de estudio.

Coordenadas: 1.155,617 N  
880,411 W

Afloramiento ubicado en la parte sur del área de estudio, lo que corrobora la continuidad del material a lo largo de la solicitud; Se puede observar un afloramiento de esquisto, de 2 m de alto aproximadamente y 4 m de ancho (Figura 15). El afloramiento cuenta con una capa orgánica de materia vegetal de aproximadamente 80 cm y bajo este, esquisto compuesto principalmente por sericita biotita y lentes de cuarzo de aproximadamente 3 cm.



Figura 15. Afloramiento de esquisto.

#### 10.4 Punto de Muestreo 4

Ubicación: Vía La Piñuela - Sur del área de estudio.

Coordenadas: 1.156,343 N  
880,054 W

Punto localizado sobre la quebrada Quebradona que recorre el área de estudio de oeste a este (Figura 16). En este recorrido se pudo corroborar la continuidad del material de interés de la empresa INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A, ya que nuevamente se observaron esquistos compuestos principalmente por sericita, cuarzo y biotita y se pudo observar muestras de esquistos con presencia de clorita (Figura 17).



Figura 16. Drenaje que cruza el área de estudio de oeste a este.



Figura 17. Presencia de clorita en esquistos.

### 10.5 Punto de Muestreo 5 y 6

Ubicación: Autopista Medellín-Bogotá – Norte del área de estudio

Coordenadas Punto 5: 1.156,919 N  
880,093 W

Coordenadas Punto 6: 1.156,814 N  
880,425 W

En la parte norte del área de estudio, se encuentra el Batolito Antioqueño como lo sugiere la literatura. No se pudo visualizar ningún afloramiento para corroborar la presencia de este tipo de roca, debido al alto grado de meteorización en la zona (suelo residual) (Figura 18). De forma preliminar se descarta esta litología para su extracción y posterior uso como agregado para construcción.



Figura 18. Suelo residual de Batolito Antioqueño. Foto tomada en el punto 6.

## 11. RESULTADOS

### 11.1 INV E – 219: Resistencia a la degradación de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm ( $3/4$ " ) por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles

A continuación se presenta el comportamiento de los agregados al ser sometidos a cargas abrasivas en la máquina de los ángeles, donde el principal factor a tomar en consideración será el porcentaje de desgaste que el material presente después del ensayo (Figura 19).


		RESISTENCIA AL DESGASTE DE AGREGADOS POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES								
Código: FR - P04		F-12	Versión: 01	FECHA: 15-1-2009	Página: 1 de 1					
NORMA TÉCNICA DE ENSAYO INV E 218 INV E 219										
FECHA :	22/03/2018	MUESTRA 1								
OBRA:	SOLICITUD LK 5									
LOCALIZACION:										
DESCRIPCIÓN:	FRAGMENTO DE GRAVA GRIS OSCURA									
PRUEBA		SECO		SUMERGIDO						
Gradación Usada.	A	G								
No. de Esferas.	12	12								
No. de Revoluciones.	100	1000								
Pa = Peso Muestra Seca Antes del Ensayo (g)		9987,5								
Pb = Peso Muestra Seca Despues del Ensayo (g)		8264								
Pérdida (g)		1724								
% de desgaste		17,3								
Relación Húmedo/seco										
BASE 40% máx RODADURA 25% máx		CUMPLE	SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	CUMPLE	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>					
Pérdida = (Pa - Pb) % de desgaste = $\frac{(Pa - Pb)}{Pa} \times 100$										
DATOS SOBRE GRADACION, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES										
PASA TAMIZ		RETIENE TAMIZ		PESO Y GRANULOMETRIA DE LA MUESTRA						
Alterno	mm	Alterno	mm	A	B	C	D	E	F	G
3"	75	2 1/2"	63					2500 ± 50		
2 1/2"	63	2"	50					2500 ± 50		
2"	50	1 1/2"	37,5					5000 ± 50	5000 ± 50	
1 1/2"	37,5	1"	25	1250 ± 25					5000 ± 25	5000 ± 25
1"	25	3/4"	19	1250 ± 25						5000 ± 25
3/4"	19	1/2"	12,5	1250 ± 25	2500 ± 10					
1/2"	12,5	3/8"	9,5	1250 ± 25	2500 ± 10					
3/8"	9,5	1/4"	6,3			2500 ± 10				
1/4"	6,3	No. 4	4,75			2500 ± 10				
No. 4	4,75	No. 8	2,36				5000 ± 10			
TOTALES				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	10000 ± 100	10000 ± 50	10000 ± 75
No. de Esferas.				12	11	8	6	12	12	12
No. de Revoluciones.				500	500	500	500	1000	1000	1000
OBSERVACIONES:										
<u>JUAN C. VÉLEZ</u> LABORATORISTA						<u>ING. DIDIER MARÍN</u> REVISÓ				

Figura 19. Resultados de laboratorio del ensayo INV E – 219.

### Cálculos

***Pa: Peso Muestra Seca Antes del Ensayo (g)***

***Pb: Peso Muestra Seca Después del Ensayo (g)***

### Fórmulas

$$\%de\ Desgaste = \frac{(Pa - Pb)}{Pa} \times 100$$

$$Pérdida = Pa - Pb$$

### Valores

$$Pa = 9987.5\ g$$

$$Pb = 8264\ g$$

### Resultados

$$\%de\ Desgaste = \frac{(9987.5 - 8264)}{9987.5} \times 100$$

$$= 17.3\%$$

$$Pérdida\ (g) = 9987.5 - 8264$$

$$= 1724\ g$$

## 11.2 INV E – 223: Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso

A continuación se presentan los resultados del ensayo INV E – 223, donde se midió la densidad de los agregados en los diferentes estados de saturación, y la absorción del material (Figura 20).


		<b>ENSAYOS DE LABORATORIO</b>			FP-22
<b>PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO</b>					
<b>FECHA:</b>	22/03/2018				
<b>MUESTRA No.</b>	1				
<b>ORIGEN:</b>	SOLICITUD LK 5				
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	GRAVA GRIS OSCURA				
DETERMINACION No	1	2	3	PROMEDIO	
A	1296,3	2380,9			
B	1304,7	2397,3			
C	828,9	1519,2			
B - C	475,8	878,1			
A - C	467,4	861,7			
B - A	8,4	16,4			
PESO ESPECIFICO BULK = A / B - C	2,724	2,711		2,718	
PESO ESPECIFICO BULK S.S.S. = B / B - C	2,742	2,730		2,736	
PESO ESPECIFICO APARENTE = A / A - C	2,773	2,763		2,768	
% DE ABSORCION = B - A/A x 100	0,65	0,69		0,7	
<p>A: PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO DESPUES DEL ENSAYO g.            B: PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA g.            C: PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA g.</p>					
<b>OBSEVACIONES:</b>					
<u>JUAN C. VÉLEZ</u> LABORATORISTA		<u>DIDIER MARIN</u> INGENIERO			

Figura 20. Resultados de laboratorio del ensayo INV E – 223.

### Cálculos

*A: Peso de la Muestra Secada al Horno Despues del Ensayo (g)*

*B: Peso de la Muestra en el Aire Saturada Superficialmente Seca (g)*

*C: Peso de la Muestra en el Agua Saturada Superficialmente Seca (g)*

*SH: Densidad relativa (gravedad especifica) ó Peso especifico bulk seca al horno*

*SSS: Densidad relativa (gravedad especifica) ó Peso especifico bulk en condición saturada y superficialmente seca*

### Fórmulas

$$SH = \frac{A}{(B - C)}$$

$$SSS = \frac{B}{(B - C)}$$

$$\text{Densidad relativa aparente ó Peso especifico aparente} = \frac{A}{(A - C)}$$

$$\%de \text{ Absorción} = \frac{(B - A)}{A} \times 100$$

### Valores

$$A1 = 1296.3 ; A2 = 2380.9$$

$$B1 = 1304.7 ; B2 = 2397.3$$

$$C1 = 828.9 ; C2 = 1519.2$$

### Resultados

$$SH1 = \frac{1296.3}{(1304.7 - 828.9)} = 2.724 ; SH2 = \frac{2380.9}{(2397.3 - 1519.2)} = 2.711$$

$$SSS1 = \frac{1304.7}{(1304.7 - 828.9)} = 2.742 ; SSS2 = \frac{2397.3}{(2397.3 - 1519.2)} = 2.730$$

$$\text{Densidad Relativa Aparente 1} = \frac{1296.3}{(1296.3 - 828.9)} = 2.773$$

$$\text{Densidad Relativa Aparente 2} = \frac{2380.9}{(2380.9 - 1519.2)} = 2.763$$

$$\% \text{de Absorción 1} = \frac{1304.7 - 1296.3}{1296.3} \times 100 = 65\%$$

$$\% \text{de Absorción 2} = \frac{2397.3 - 2380.9}{2380.9} \times 100 = 69\%$$

### **11.3 Método de los perfiles para estimación de recursos**

Para la realización de este de este método, se seleccionó una porción de interés del área de la solicitud minera LK5 – 14091, donde se realizaron los cortes (Figura 25). Cabe resaltar que el método no fue aplicado para la totalidad de la solicitud debido a los diferentes limitantes que entran en consideración a la hora de estimar el material extraíble, ya sea por factores ambientales (cercanía a drenajes), factores sociales (viviendas construidas y cercanía a vías), accesibilidad o simplemente material de baja calidad para los intereses de la compañía.

La zona seleccionada (target) fue delimitada bajo los siguientes parámetros: al sur se acotó siguiendo la carretera que bordea la misma solicitud, al oriente y occidente se delimito respetando el retiro a las quebradas con dirección norte – sur, las cuales desembocan a la quebrada Quebradona, y finalmente al norte se delimito siguiendo el contacto del esquisto cuarzo – sericitico con el Batolito Antioqueño, ya que como se mencionó previamente en el capítulo de muestreo, no se pudo visualizar ningún afloramiento para corroborar la presencia de este tipo de roca, debido al alto grado de meteorización en la zona, lo que impide utilizar dicho material a la hora de ser estimado y aprovechado (Figura 21).

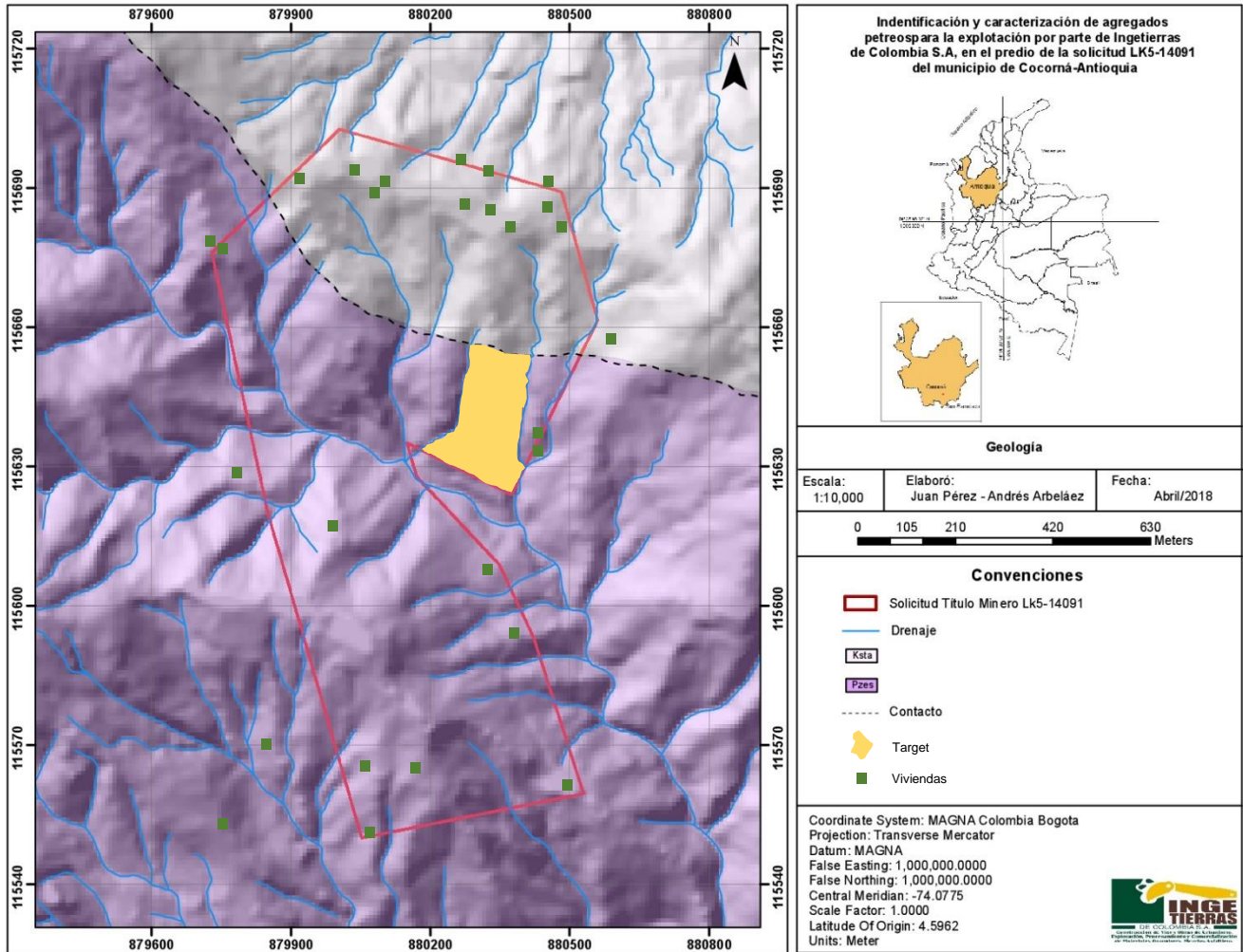


Figura 21. Mapa geológico del predio de la solicitud minera LK5 – 14091 a escala 1:10.000, donde se presenta el target seleccionado para realizar el método de los perfiles.

Es importante aclarar que pueden existir otras zonas potenciales de interés para INGETIRRAS DE COLOMBIA S.A a lo largo de la misma solicitud, donde debido a la falta de vías de acceso, estas no pudieron ser tomadas en cuenta para este proyecto.

En las figuras 21 a 23 se muestran los perfiles realizados con el fin de calcular una primera estimación de los recursos posiblemente explotables por la empresa INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A, en el target de interés seleccionado (Figura24).

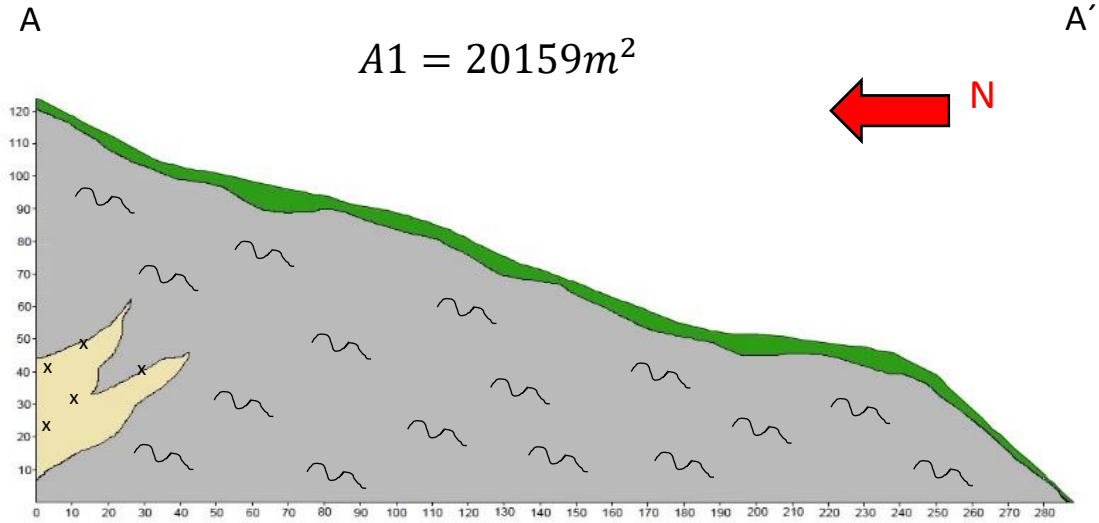


Figura 22. Perfil A – A´ usado para el método de los perfiles.

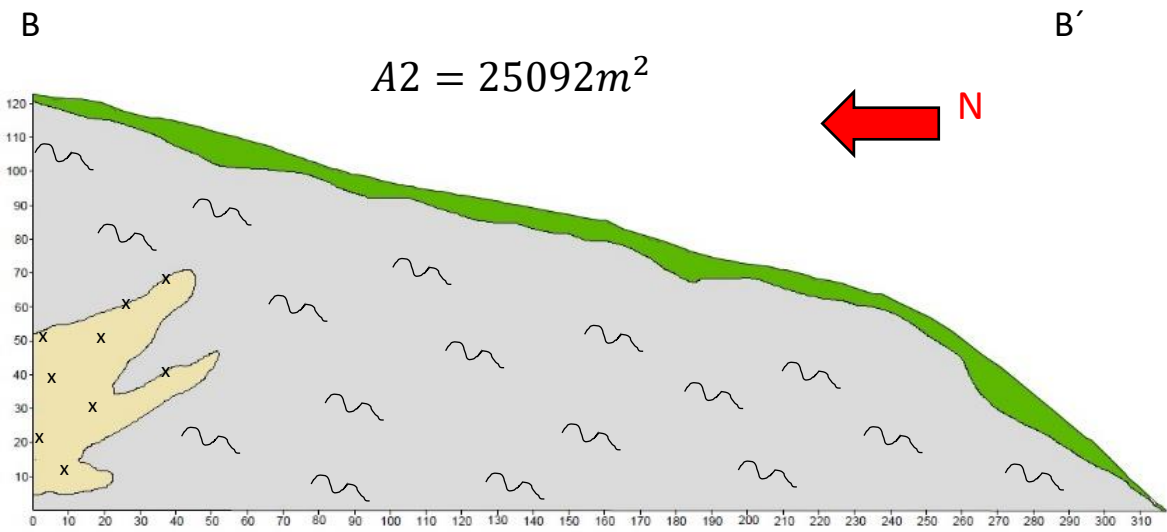


Figura 23. Perfil B – B' usado para el método de los perfiles.

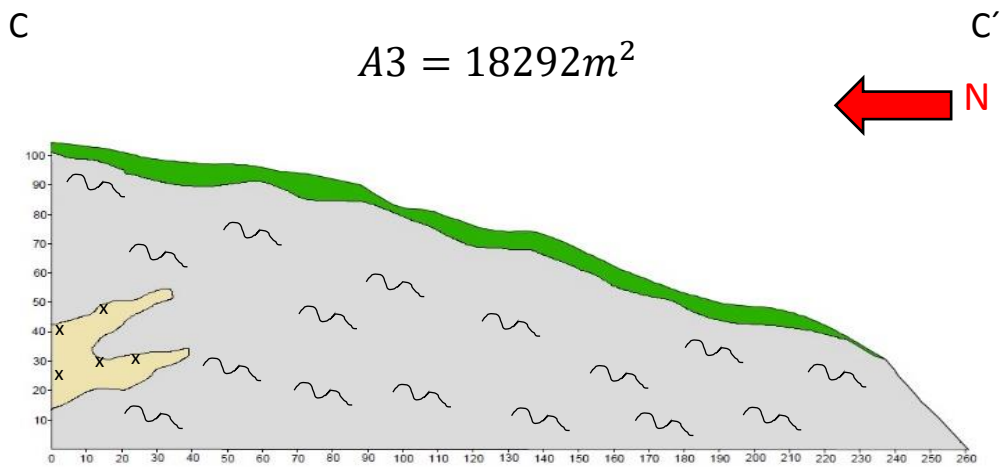


Figura 24. Perfil C – C' usado para el método de los perfiles.

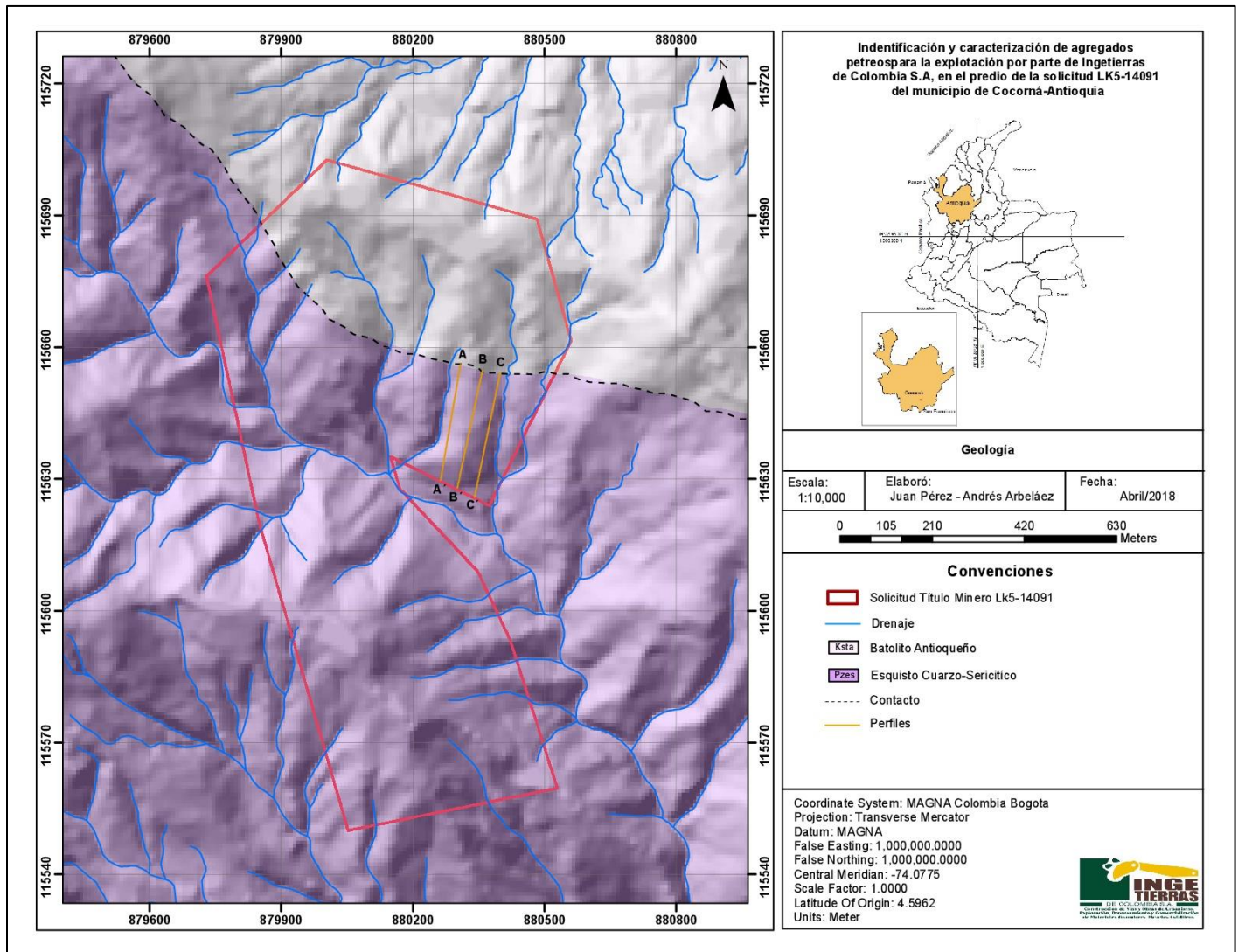


Figura 25. Mapa geológico del predio de la solicitud minera LK – 14091 a escala 1:10.000, donde se presenta la ubicación de los cortes usados para el método de los perfiles.

### Cálculos

***A1: Área del Perfil A – A' (m<sup>2</sup>)***

***A2: Área del Perfil B – B' (m<sup>2</sup>)***

***A3: Área del Perfil C – C' (m<sup>2</sup>)***

***d1: Distancia entre el Perfil A – A' y B – B' (m)***

***d2: Distancia entre el Perfil B – B' y C – C' (m)***

***V: Volumen del Cuerpo***

### Fórmulas

$$V = (A1 + 4A2 + A3) \times \frac{d1 + d2}{6}$$

### Valores

$$A1 = 20159m^2$$

$$A2 = 25092m^2$$

$$A3 = 18292m^2$$

$$d1 = 45m$$

$$d2 = 45m$$

### Resultados

$$V = (20159 + 4 \times 25092 + 18292) \times \frac{45 + 45}{6}$$

$$V = 2082285m^3$$

## 12. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Teniendo en cuenta los resultados presentados en el capítulo anterior de los ensayos realizados para determinar la calidad del material, y el resultado del método de los perfiles para la estimación del volumen de material, se realizaron las siguientes interpretaciones.

### 12.1 INV E – 219: Resistencia a la degradación de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm ( $3/4$ " ) por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles

La resistencia a la degradación de los agregados gruesos, comúnmente llamada desgaste de los materiales, nos da una idea del comportamiento de los materiales a los impactos físicos, convirtiéndose este en uno de los ensayos primarios para conocer las características físicas de los materiales.

En la empresa INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A, dedicada a la elaboración de materiales pétreos a partir del procesamiento de agregados extraídos de diferentes tipos de roca, se vuelve fundamental este tipo de análisis para determinar el porcentaje de desgaste permitido para cada uno de los productos que se comercializan; la Tabla 9, muestra claramente el porcentaje máximo de desgaste permitido según el tipo de producto.

Tabla 9. Porcentaje de desgaste según el tipo de producto (Invias, 2012).

Porcentaje de Desgaste	Tipo de Producto	Descripción
50%	Afirmado	Capa compactada de material granular natural o procesado con gradación específica que soporta directamente las cargas y esfuerzos del tránsito. Debe poseer la cantidad apropiada de material fino cohesivo que permita mantener aglutinadas las partículas. Funciona como superficie de rodadura en carreteras y trochas carrozables.
40%	Sub-Base	Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de Base.

40%	Agregados para Concreto	Material inerte, de forma granular, natural o artificial, que aglomerado por el cemento Portland en presencia de agua forman un todo compacto, conocido como concreto.
35%	Base	Capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una sub-base o de la sub-rasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseños. La base es parte de la estructura de un pavimento.
25%	Mezcla Asfáltica	Consiste en un agregado de asfalto y materiales minerales que se mezclan juntos, se extienden en capas y se compactan

De acuerdo a la Tabla 9 y con los resultados presentados en el capítulo anterior, donde el porcentaje de desgaste de la muestra extraída en el área de interés es de un 17,3%, se puede concluir que dicha muestra cumple satisfactoriamente con los estándares propuestos para la elaboración de cualquier tipo de producto de la empresa.

## **12.2 INV E – 223: Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso**

Este ensayo permite la determinación de la densidad de una cantidad de partículas de agregado grueso (sin incluir el volumen de los vacíos entre las partículas), la gravedad específica (densidad relativa) y la absorción del agregado grueso.

La gravedad específica (densidad relativa) se usa principalmente para calcular el volumen ocupado por el agregado en mezclas que contengan dicho material, como por ejemplo el concreto, y los valores de absorción se utilizan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en el espacio de los poros dentro de las partículas constituyentes, comparadas con la condición seca.

Teniendo en cuenta los estándares establecidos en la empresa donde un agregado de buenas características presenta un peso de 2.6g y comparándolo con el peso específico de los análisis de laboratorio que corresponden a 2,768 g, estamos con

un agregado aceptable, que cumple con lo requerido para la elaboración de los productos.

Igualmente el porcentaje de absorción corresponde a 0,7% y de acuerdo a lo expresado por el laboratorio, la absorción máxima para cumplir con el producto más exigente que son las mezclas asfálticas es del 3% (Invias, 2012), comprobando así, la gran calidad de la muestra y aumentando el interés del área de estudio

### **12.3 Método de los perfiles para estimación de recursos**

Definir los recursos presentes en un yacimiento de mineral en su cantidad, lugar y su disposición espacial es muy importante porque permite definir la dimensión del depósito, las características generales del yacimiento y la cantidad de mineral que es factible de extraer, lo anterior define la viabilidad de un proyecto minero.

El cálculo de recursos se realizó mediante el método de los perfiles, método teórico que se usa cuando se presenta un cuerpo con forma irregular; como se expresó en el capítulo anterior de resultados. Se levantó en campo tres perfiles separados por una misma distancia y se logró definir el área del cuerpo aprovechable interceptada por cada perfil.

Aplicando la fórmula prismoidal, donde se da mayor peso al perfil que queda en el centro y se calcula el volumen comprendido en los extremos, tenemos como resultado un volumen de **2.082.285 m<sup>3</sup>**. Este volumen, de acuerdo a las expectativas de la empresa y teniendo en cuenta volúmenes de producción en otras canteras similares donde mensualmente se extraen 20.000 m<sup>3</sup>, representa un tiempo de operación de 8,6 años, solo en un bloque minero; Esto genera altas expectativas sobre esta área de estudio y abre la posibilidad de encontrar nuevos bloques mineros que aseguren un largo tiempo de explotación para hacer viable el proyecto.

### **12.4 Análisis Económico**

Teniendo en cuenta las proyecciones nacionales que hablan de un crecimiento en el sector de la construcción en el país del 2,6% para el 2018 y que va a seguir aumentando en los próximos años, se vuelve prioridad para la empresa INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A buscar nuevas fuentes de material,

aprovechando su ubicación estratégica en el oriente antioqueño donde se evidencia un continuo desarrollo y crecimiento en el sector construcción (Chirivi, E., Ortega, K., Sarmiento, V., Sanabria, D., & Forero, S, 2018).

Según datos históricos de extracción de material de la empresa INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A, para este tipo de canteras se tiene proyectado una producción de 20.000 m<sup>3</sup> que luego serán procesados en la planta principal ubicada en el municipio de Rionegro, Antioquia para obtener productos como arenas, triturados y bases granulares, comercializados directamente o utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas o premezclados sacando mejor provecho económico.

Teniendo en cuenta lo anterior, y los datos establecidos por la empresa en cada una de las fases que hace parte de la explotación (extracción, transporte y procesamiento), se obtiene un margen de utilidad del 20% (valor que puede aumentar según el producto); Esto hace que con un volumen de 2.082.285 m<sup>3</sup> de material extraído se obtengan ganancias aproximadas de 39.563´415.000 pesos colombianos, haciendo completamente viable la operación.

### 13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se planteó en un comienzo, la empresa INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A al presentar la solicitud para la adquisición del título minero LK5 – 14091 esperaba encontrar recursos explotables con la calidad suficiente para el cumplimiento de la norma INV E – 200 para uso como material de construcción, y que a su vez al evaluar los principales factores modificantes estos no afectarían la estimación de recursos y/o el futuro desarrollo de un posible proyecto minero. El principal obstáculo al momento de responder la pregunta de investigación, fue la incertidumbre y la falta de información técnica de la zona de estudio, ya que los únicos estudios anteriores existente sobre el predio correspondía a las memorias de las planchas 167 y 168 a escala 1:100.000, y el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Cocorná, Antioquia. A continuación se presentan las principales conclusiones, y a su vez se presentan algunas recomendaciones para la continuación del proyecto minero.

- Después de haber recorrido la totalidad del predio de la solicitud LK5 – 14091 y haber evaluado las diferentes variables de calidad, cantidad y disponibilidad del material, se propuso una zona de interés para un futuro desarrollo de un proyecto minero por parte de INGETIERRAS DE COLOMBIA S.A.
- El ensayo INV E – 219, que mide la degradación de los agregados gruesos por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles, determinó que el material presenta un porcentaje de desgaste del 17%, el cual cumple con el mínimo de calidad de máximo 50% estipulado por la norma.
- El ensayo INV E – 223, que mide la densidad, el peso específico y la absorción, determinó que el material presenta una masa que cumple con lo establecido por los estándares de la empresa (2.6g), mientras que la absorción del agregado se encuentra muy por debajo del límite del 3%, cumpliendo así con la norma.
- En los diferentes mapas temáticos a escala 1:10.000, se puede apreciar que los principales factores modificantes, como son el ambiental en términos de cercanía a drenajes y zonas protegidas, y el social en términos de zonas construidas, cercanía a vías principales e impedimentos del POT, no afectan de forma directa la zona de interés propuesta.

- Una vez recorrida la totalidad del predio de la solicitud LK5 – 14091, de conocer los resultados de los ensayos de laboratorio y de haber realizado los diferentes mapas temáticos de detalle de la zona, se recomienda a la empresa adquirir este título minero y continuar con los estudios geotécnicos, hidrogeológicos y geofísicos.
- Se recomienda realizar un mapa geomorfológico de detalle donde se identifique y clasifique las diferentes geoformas presentes en el predio de la solicitud LK5 – 14091.
- Aunque ambos ensayos (INV E – 219 y 223) arrojaron resultados positivos en términos de calidad del material, se recomienda realizar otros controles de calidad complementarios como lo exige la norma, entre los cuales se encuentran el INV E – 213: Análisis granulométrico de los agregados gruesos y finos, y el INV E – 220: Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio y magnesio.
- Se recomienda realizar una evaluación de los factores modificantes más a fondo, donde se evalúen las variables económicas, de mercado, legales, ambientales, sociales, de infraestructura y gubernamentales, previo a continuar con las etapas de exploración geológica de subsuelo y posteriormente de explotación.
- Una vez realizada la evaluación de factores modificantes, previamente recomendada, se debe realizar una nueva estimación de recursos donde se tengan en cuenta estos factores, para así conocer la cantidad efectiva de material a explotar.
- Se recomienda visitar las zonas que no se pudieron visitar, debido a la falta de vías de acceso, para realizar un muestreo en estas áreas y determinar si la cantidad y calidad de material en estos lugares es lo suficientemente rentable para la compañía, como para plantear la posibilidad de un nuevo target minero.
- Teniendo en cuenta la cantidad de material a extraer y con el fin de maximizar ganancias, se recomienda realizar el procesamiento de material dentro del área de estudio, economizando gastos de transporte, y su vez aumentando el radio de venta, no solo en el oriente cercano, sino también en lugares como Cocorná, San Francisco y San Luis, aprovechando la cercanía con la autopista Medellín-Bogotá.

## 14. Bibliografía

Agencia Nacional de Minería. (2001). *El Título Minero*. Bogotá.

Alcaldía de Cocorná. (2008). *Esquema de ordenamiento territorial*. Cocorná: Convenio Idea - UN.

Chirivi, E., Ortega, K., Sarmiento, V., Sanabria, D., & Forero, S. (2018). *Panorama de la actividad edificadora en 2018*. Bogotá: Camacol.

Congreso de Colombia. (2001). *Ley 685 de 2001, por la cual se expide el Código de Minas y se dictan otras disposiciones*. Bogotá.

Cruz, P. (2011). *Cálculo de reservas*. Scribd.

Feininger, T., Barrero, D., Castro, N., Ramírez, O., Lozano, H., & Vesga, J. (1970). *Oriente de Antioquia, cuadrángulo I-9 y parte de los cuadrángulos H-9, H-10, I-10, J-9 y J-10*. Bogotá: Ingeominas.

González, H. (1980). *Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina)*. Bogotá: Ingeominas.

Henao, D., Celis, D., Ramírez, V., Villaruel, A., Alcalá, A., & Ospina, H. (2012). *Evaluación y zonificación de riesgos por avenida torrencial, inundación y movimiento en masa y dimensionamiento de procesos erosivos en el municipio de Cocorná*. Medellín: Convenio Cornare - Gobernación de Antioquia.

Instituto Nacional de Vías. (2012). *Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras*. Bogotá.

Ministerio de Minas y Energía. (2015). *Glosario Técnico Minero*. Bogotá.