SUSTENTO JURÍDICO
Su Solución En Asuntos Legales

Medellín.

Señor.
JUZGADO DIECIOCHO ADMINISTRATIVO ORAL DEL CIRCUITO DE MEDELLIN.
Doctora. Adela Yriasny Cassas Dunlap.
E.S.M.
Ciudad.

Demandantes:	Diana Mabel Zapata Henao
Demandados:	Agregados y Proyectos Mineros de Antioquia APMA y Otros.
Llamante en Gta.	Juan Pablo Arango Vega, Julián Arango Ortega y Sergio Arango Ortega
Llamados en Gta.	Agregados y Proyectos Mineros de Antioquia S**.A**
Radicado:	05001 33 33 018 2018 00490 00
Asunto	Respuesta al llamamiento en garantía.

EDISON ALEXANDER GARCIA OSORIO; abogado en ejercicio identificado con la cedula de ciudadanía 1.128.429.963 expedida en la ciudad de Medellín y Tarjeta Profesional 224.852 del Consejo Superior de la Judicatura, actuando como apoderado judicial de la empresa **AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A** identificada con Nit 900.108.394-7, representado legalmente por la señora liquidadora, **MARIA FERNANDA CORREA VELEZ**, identificada con número de cédula 1.128.273.649; me permito allegar al despacho contestación al llamamiento en garantía formulado por **JUAN PABLO ARANGO VEGA, JULIAN ARANGO ORTEGA Y SERGIO ARANGO ORTEGA,** de la siguiente manera:

Contenido

1. Pretensión.....2
1.1. Conclusiones del Deslizamiento.....4
2. Fundamentos Facticos. 5
3. Fundamentos de Derecho.....6
4. Pruebas.....7
4.1. Documentales.....7
5. Notificaciones.....7
6. Anexos.....8

1. Pretensión.

Me opongo a la pretensión descargada, y contenida en el llamamiento en garantía formulado por **JUAN PABLO ARANGO VEGA, JULIAN ARANGO ORTEGA Y SERGIO ARANGO ORTEGA,** en contra de mi representada **AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. APMA-** toda vez que las pretensiones y los hechos que formulan en contra del llamante carecen de fundamento fáctico y jurídico. Pues debe tener en cuenta el honorable juez, que el deslizamiento de tierra que se generó el pasado 26 de octubre del 2016 obedece jurídicamente a una causa extraña por fuerza mayor, que imposibilita que el resultado sea imputado a los titulares mineros y consecuentemente a mi representada; ya que dicho acontecimiento ocurrido resulto ser **imprevisible, irresistible y exterior, configurándose un eximente de responsabilidad** para mi representada y para el llamante en garantía en calidad de titular minero.

Aportando respaldo jurisprudencial me permito, citar la sentencia de 23 de junio de 2000 (expediente No. 5475):

En cuanto a sus requisitos, que:

> *"[a]l amparo de la citada norma legal, cumple reiterar ahora -por la inescindible relación que tiene con el asunto que ocupa la atención de la Corte- que en el Derecho Colombiano los dos presupuestos -ex lege- que estereotipan, como unidad conceptual y como sinonimia legal, al caso fortuito o fuerza mayor, son la* ***imprevisibilidad*** *y la* ***irresistibilidad*** *del acontecimiento, no siempre de recibo en la doctrina y en la jurisprudencia comparadas, ya que militan algunas voces disidentes que ponen en entredicho la vigencia de ambos caracteres, en especial el primero de ellos, opinión que no se compadece, de jure condito, con la explicitud del aludido texto, existente en Chile, Colombia y Ecuador,…".*
>
> a) Respecto de la primera de esas exigencias, consideró que *"[l]a imprevisibilidad, rectamente entendida, no puede ser desentrañada -en lo que atañe a su concepto, perfiles y alcances- con arreglo a su significado meramente semántico, según el cual, imprevisible es aquello 'Que no se puede prever', y prever, a su turno, es 'Ver con anticipación' (Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española), por manera que aplicando este criterio sería menester afirmar que es imprevisible, ciertamente, el acontecimiento que no sea viable contemplar de antemano, o sea previamente a su gestación material (contemplación ex ante)…*

Sobre el mismo aspecto, seguidamente añadió que el *pasado*

> *(Sentencia del 26 de enero de 1.982, entre otras), tres criterios sustantivos han sido esbozados por ella, en orden a establecer cuando un hecho, in concreto, puede considerarse imprevisible, en la medida en que es indispensable, como lo ha recordado la Corte una y otra vez, examinar cada situación de manera específica y, por contera, individual, a fin de obviar todo tipo de*

generalización: 1) El referente a su normalidad y frecuencia; 2) El atinente a la probabilidad de su realización, y 3) El concerniente a su carácter inopinado, excepcional y sorpresivo".

b) Se ocupó luego de la irresistibilidad y explicó sobre ella, que *"en el lenguaje jurídico"* debe entenderse por tal, *"aquel estado predicable del sujeto respectivo que entraña la imposibilidad objetiva de evitar ciertos efectos o consecuencias derivados de la materialización de hechos exógenos -y por ello a él ajenos, así como extraños en el plano jurídico- que le impiden efectuar determinada actuación, lato sensu. En tal virtud, este presupuesto legal se encontrará configurado cuando, de cara al suceso pertinente, la persona no pueda -o pudo- evitar, ni eludir sus efectos (criterio de la evitación)".*

Con base a las excepciones alegadas se tienen los siguientes fundamentos fácticos y jurídicos:

En el **INFORME TÉCNICO FINAL P016: 271 APMA CANTERAS LAS NIEVES_DESLIZAMIENTO** se enlistan las causas y factores que ocasionaron el deslizamiento el 26 de octubre del 2.016, en la margen derecha de la autopista Medellín-Bogotá Km 12+240 en la CANTERA LAS NIEVES:

"*Factores causales internos para el deslizamiento, como son la geología, los sismos, y las aguas subterráneas; y otros externos, como el relieve, la vegetación, el clima y la actividad humana, donde el desarrollo de fenómeno de remoción es multicausal, con preponderancia mayor en unos factores que en otros, que en la última instancia están controlados por el factor tiempo.*

En cuanto a la geología con un primer factor que predispone a la ocurrencia del fenómeno, se debe a que la zona ubicada dentro de un sector de transición entre dos litologías, los neises al sur y las anfibolitas al norte, donde el grado de facturación aumenta y la meteorización de la roca es más intensa, sobre la cual reposan unos depósitos de vertientes, donde se definieron por lo menos dos eventos, asociados con antiguos movimientos de masa, cuya composición son fragmentos angulares, parcialmente meteorizados envueltos en una matriz de textura limo-arcillosa, que corresponde con los materiales removilizados en el deslizamiento actual.

En cuanto a la geomorfología es un segundo factor importante que predispone al deslizamiento, ya que el sector corresponde con una concavidad del terreno de un sector donde se tienen antiguas huellas de deslizamiento, donde los depósitos quedan colgados en las vertientes, sobre unas laderas de fuerte pendiente. La identificación de las Unidades Morfodinámicas independientes (UMI) indica que si bien la exploración, explotación minera según el C5530 y demás documentos contractuales cobijan el área afectada, las actividades mineras estaban concentradas en un área diferente a la UMI donde se desarrolló el fenómeno."

Por la causal eficiente de daño, se indica en el citado informe:

> *Un factor detonable interno muy importante corresponde con las aguas subterráneas, las cuales se observan aflorando en la base del escarpe principal del deslizamiento, cuyas mediciones de caudal indican que el material deslizado, los depósitos de ventiente antiguos, eran saturados con aguas prevenientes del Antiplano Central de Antioquia, con caudales mayores a 2lts, un aporte de agua importante más que el agua de infiltración de la ladera, donde dadas las condiciones de alta pendiente, la textura del suelo y los cálculos hidrológicos de tiempos de concentración en la cuenca donde ocurrió el fenómeno, indican que en el sector, las precipitaciones más que infiltrar escurren rápidamente en la ventiente.*
>
> *La ladera donde ocurrió el deslizamiento es afectada por la presencia de ciertos acuíferos incofinados en los macizos rocosos parcialmente meteorizados sobre los que se desarrollan un estrato superior de tendencia impermeable que genera una sobrecarga en las vertientes y ocasionan los movimientos de masa tal y como lo evidencia investigaciones realizadas en la región por salvar y Velásquez 2013 y Hoyos 2009, quien afirma que las aguas subterráneas del Valle de Aburrá son, en gran proporción provenientes de la cuenca del río Negro y de la cuenca del río Grande, y son la principal razón por las que se desestabilizan las laderas en el cañón del río Medellín."*

Estos factores y causas mencionadas, los cuales pertenecen al peritaje realizado se basan en las ciencias de la GEOLOGÍA, HIDROLOGÍA, HIDROGEOLOGÍA, GEOMORFOLOGÍA Y GEOTECNIA a partir de la exteriorización o manifestación, de sus efectos, de ahí se evidencia la configuración del elemento de la **IMPREVISIBILIDAD.** Debe verse este elemento según la jurisprudencia del Consejo de Estado, respecto a los efectos producidos por el suceso o acontecimiento exterior y no frente al fenómeno como tal.

1.1. Conclusiones del Deslizamiento

> *Los análisis geológicos, geomorfológicos, hidrológicos superficiales y subterráneas y las evaluaciones de susceptibilidad a los deslizamientos indican que existen tres factores internos importantes que causaron el movimiento del 26 de octubre de 2016, uno son los materiales afectados, que están asociados con depósitos de antiguos movimientos de masas, los cuales reposan sobre un macizo rocoso muy fracturado y meteorizado, dentro de la zona de transición de los neises y las anfibolitas.*
> *El segundo factor se relaciona con la geomorfología, donde la zona afectada se ubica dentro de una región concava, de alta pendiente, delimitada por huellas antiguas de movimientos, dentro de un área modelada sobre depósitos de vertientes colgados.*
> *Y un tercer factor importante y detonante son las aguas subterráneas, corroborando por los afloramientos presente en el área de interés, por los análisis hidrológicos cuya cuenca*

subterránea es mayor que la cuenca superficial, es decir, que el agua de la quebrada Suramericana proviene de otras zonas de recarga aledaña a la cuenca, es decir, en el deslizamiento influye más el agua subterránea que el agua superficial, además, que los tiempos de concentración y las pendientes de las vertientes, indican que el agua de caída directa por precipitación es su mayoría escurre más que infiltrar.

INFORME TECNICO SOLUM.
Punto 2.2.2, establece sobre los depósitos de vertiente que:

"*Dentro del flujo de los escombros y/o lodos, se identificaron al menos cinco series de eventos de depositaciòn relacionados con depósitos de vertiente, los cuales corresponden, desde el más antiguo al más reciente …(sic)*
Estos depósitos presentan un arreglo escalonado o telescópico, donde los más antiguos están localizados hacia la parte media y alta de la ladera y los más jóvenes se localizan hacia la base de la vertiente.
La caracterización geomorfológica de los materiales que componen los depósitos de vertiente se basó en parámetros como rango de alturas de afloramiento, pendiente promedio de la superficie de depositaciòn, profundidad y grado de incisión de dicha superficie y la coincidencia entra el actual patrón de drenaje y las geoformas de los depósitos " (sic)

Se ha logrado establecer la exterioridad del nexo causal, alegando el tráfico de las aguas subterráneas, formados por los acuíferos establecidos en las rocas internas fracturadas, provenientes de la ladera de Rionegro, situación que no fue factible determinar con anterioridad debido a que esta zona se encontraba por fuera del polígono de explotación, tal y como se demuestra en el presente estudio de SOLUM, logrando establecer la exterioridad como requisito sine qua nom para catalogarse como eximente de responsabilidad.

"Si bien la ley ha identificado los fenómenos de fuerza mayor y de caso fortuito, la jurisprudencia nacional ha buscado distinguirlos: en cuanto a la jurisdicción de lo contencioso administrativo concierne, dos concepciones se han presentado: la de considerar que el caso fortuito como el suceso interno, que por consiguiente ocurre dentro del campo de actividad del que causa daño, mientras que la fuerza mayor es un acaecimiento externo ajeno a esa actividad y la que estima que hay caso fortuito cuando la causa del daño es desconocida".(Expediente 7365 del 29 de enero de 1993, C.P, Juan de Dios Montes)

2. Fundamentos Facticos.

PRIMERO: Es cierto, toda vez que el contrato referido reposa en el expediente como prueba.

SEGUNDO. Este Hecho es una transcripción del contrato, por lo tanto, nos atenemos al contenido de este.

TERCERO. Es cierto, toda vez que estas cesiones constan en los CONTRATOS DE CESION DE DERECHOS, y los CONTRATOS DE CONSECIÓN números. 5530 y 6430, la titularidad minera estaba en cabeza del señor JUAN PABLO ARANGO VEGA (50%), JULIAN ARANGO ORTEGA (25%) SERGIO ARANGO ORTEGA (25%).
CUARTO. Es cierto, toda vez que por su aprobación se emitió la RESOLUCIÓN 12475 expedida por el DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.

QUINTO: Es cierto, tal y como reposa en la RESOLUCIÓN 12475 expedida por el DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA.

SEXTO. Es cierto, tal y como consta en el CONTRATO DE ADHESIÓN aportado.

SÉPTIMO: Es cierto, tal y como consta en la demanda principal promovida por la **DIANA MABEL ZAPATA HENAO,** que da lugar a este pleito jurídico. Es importante agregar que este deslizamiento del 26 de octubre del 2.016 en el km 12+200 en la cantera las nieves, donde perdió la vida el señor **CRISTIAM AUGUSTO BLANDON MONTOYA**; pero que dicho hecho fue imprevisible, irresistible y jurídicamente externo no solo para **LOS TITULARES MINEROS**, sino también para APMA. Así las cosas, se logra determinar que el hecho no es imputable por ser una causa extraña por fuerza mayor frente al llamante en garantía, como para mi representada.

OCTAVO. Es cierto, tal y como consta dentro del expediente.

NOVENO. Es cierto, toda vez que APMA se estaba ejecutando el contrato de explotación minera referenciado.

DECIMO. Es cierto, pero cabe resaltar al despacho que los hechos ocurridos el pasado 26 de octubre del 2.016 en cuanto al deslizamiento de la cantera las nieves, carecen de fundamento fáctico y jurídico, toda vez que este resulto imprevisible, irresistible y jurídicamente externo, configurándose entonces una verdadera causa extraña de fuerza mayor que imposibilita que el resultado sea imputable a estos sujetos, aun así dicha relación contractual entre los titulares mineros y mi representada, pero es importante resaltar que mi representada no se encuentra obligada a garantizar la indemnidad de los TITULARES MINEROS.

3. Fundamentos de Derecho.

Ley 1564 del 2012, Articulo 64.

Sentencia del 26 de febrero de 2004, expediente 13833, sala tercera del Consejo de Estado:

"Para efectos de la distinción, y de acuerdo con la doctrina se entiende que la fuerza mayor debe ser:
***1) Exterior:** Esto es que "está dotado de una fuerza destructora abstracta, cuya realización no es determinada, ni aun indirectamente por la actividad del ofensor".*
***2) Irresistible:** Esto es que ocurrido el hecho el ofensor se encuentra en tal situación que no puede actuar sino del modo que lo ha hecho"*

***3) imprevisible:** Cuando el suceso escapa a las previsiones normales, esto es, que ante la conducta prudente adoptada por quien lo alega, era imposible pronosticarlo o predecirlo.*
A su vez, el caso fortuito debe ser interior, no porque nazca del fuero interno de la persona, sino porque proviene de la propia estructura de la actividad riesgosa, puede ser desconocido y permanecer oculto, En tales condiciones, según la doctrina se confunde con el riesgo profesional y por tanto no constituye una causa de exención de responsabilidad"

4. Pruebas.

4.1. Documentales

1. Contrato de con sección 5530
2. Contrato de Cesión de derechos 1
3. Contrato de Cesión de derechos 2
4. Contrato de Adhesión al contrato de exploración y explotación minera
5. Contrato de exploración y explotación
6. Copia simple del informe de SOLUM.
7. Hojas de vida de la experticia realizado por SOLUM.
8. Informe técnico final APMA.

5. Notificaciones.

5.1. Los Llamantes

Dirección: Carrera 35 número 15b-35 oficina 609 Medellín – Antioquia
Teléfonos: (604) 3224087
Email: ameneses@menesesybernal.com

5.2. Los Llamados

Dirección: Carrera 43 b # 16-80 oficina 204 Medellín – Antioquia
Teléfonos: (604) 581 39 39– 310 441 5759
Email: notificaciones@sustentojuridico.com.co

SUSTENTO JURÍDICO
Su Solución En Asuntos Legales

6. Anexos

1. Los Demás Relacionados Como Prueba

Atentamente,

EDISON A. GARCIA OSORIO
C.C. 1.128.429.963 de Medellin
T.P. 224.852 del C.S. de la J.

7-3

58
44

CONTRATO DE CONCESIÓN DE MEDIANA MINERÍA PARA LA EXPLOTACIÓN DE UNA MINA DE ARENAS Y GRAVAS NATURALES, CELEBRADO ENTRE EL GOBERNADOR DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA Y LOS SEÑORES JAIME DIONISIO Y RAÚL EDUARDO ARANGO RAMÍREZ.

Entre los suscritos, **ANÍBAL GAVIRIA CORREA**, Gobernador del Departamento de Antioquia según Acta de Posesión del 01 de enero del 2004, identificado con la Cédula de Ciudadanía número 70.566.243, debidamente facultado para la celebración de este contrato, de conformidad con la Resolución Nro. 18-1532 del 23 de noviembre de 2004 del Ministerio de Minas y Energía, en adelante llamado **EL CONCEDENTE** de una parte, y por la otra los señores **JAIME DIONISIO** y **RAÚL EDUARDO ARANGO RAMÍREZ**, identificados con la cédula de ciudadanía números 3.518.390 y 3.518.405, respectivamente, quienes en adelante serán llamados **EL CONCESIONARIO**, se ha celebrado el presente Contrato de Concesión, y

CONSIDERANDO:

- Que de conformidad con la Ley 685 de 2001, el Ministerio de Minas y Energía delegó, mediante la Resolución N° 18-1532 del 23 de noviembre de 2004, al Gobernador del Departamento de Antioquia, la tramitación, celebración, terminación, caducidad, reversión, devolución de áreas y cesión de derechos de los contratos de concesión, tanto del régimen anterior, Decreto 2655 de 1988, como los regulados por la Ley 685 de 2001.

- Que el artículo 350 de la Ley 685 de 2001, establece que las condiciones, términos y obligaciones consagrados en las leyes anteriores para los beneficiarios de títulos mineros perfeccionados o consolidados, serán cumplidos conforme a dichas leyes.

- Que **EL CONCESIONARIO** es titular de la licencia radicada bajo el N° 5530, para la exploración de una mina de anfibolita para materiales de construcción, ubicada en jurisdicción del municipio de COPACABANA de este Departamento, otorgada mediante la Resolución N° 014121 del 30 de mayo de 2002, inscrita en el Registro Minero Nacional el 14 de octubre de 2003, con el

Código N° HDSN-02 y cedida a **EL CONCESIONARIO** mediante Resolución N° 014683 del 07 de abril de 2003.

- Que la licencia N° 5530, se encuentra regulada por el Decreto 2655 de 1988.

- Que en concepto emitido mediante oficio N° 222 del 10 de marzo de 2006, por los Ingenieros de la Dirección de Titulación y Fiscalización Minera del Departamento de Antioquia, se calificaron las condiciones técnicas para la contratación.

- Que se encuentran aprobados los informes de que trata el artículo 39 del Decreto 2655 de 1988, mediante Resolución N° 13524 del 11 de julio de 2006, siendo el proyecto clasificado como de mediana minería y en consideración a que **EL CONCESIONARIO** cumplió con sus obligaciones de conformidad con el artículo 44 del citado decreto, es procedente celebrar el presente Contrato de Concesión bajo este Régimen.

ACUERDAN:

Celebrar un Contrato de Concesión Minera, con base en la facultad otorgada al **GOBERNADOR DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA** en el artículo 320 del Código de Minas, Ley 685 de 2001, y en la Resolución 18-1532 de noviembre 23 de 2004, expedida por el Ministerio de Minas y Energía, mediante la cual se delegaron las funciones de celebración de los Contratos de Concesión, el cual se regirá por las siguientes cláusulas:

CLÁUSULA PRIMERA. OBJETO. El objeto de este contrato es la explotación y apropiación por parte de **El CONCESIONARIO** del mineral de **ARENAS Y GRAVAS NATURALES**, con un mínimo de explotación, para los dos (2) primeros años, de 120.000 metros cúbicos, que se encuentran en la zona identificada en la Cláusula Tercera de este contrato, así como los minerales que se hallaren asociados o en liga íntima o resultaren como subproductos de la explotación. **PARÁGRAFO PRIMERO.** Se entienden como minerales asociados aquellos que hacen parte integral del cuerpo mineralizado objeto del proyecto minero; como minerales en liga íntima, aquellas sustancias que genéticamente hacen parte del material procesado en la planta de beneficio, y como subproductos, aquellos minerales que estando o no asociados con los del contrato, tienen que ser removidos del

yacimiento durante la operación de extracción minera, pero cuya explotación separada no se justifica económicamente. **PARÁGRAFO SEGUNDO.** En el presente contrato se entienden excluidas aquellas áreas que son susceptibles de ser tituladas colectivamente a comunidades negras, las cuales sólo se integrarán cuando se obtenga el concepto de la autoridad correspondiente de que trata la Ley 70 de 1993 y el artículo 3° del Decreto 1320 del 13 de julio de 1998. - **CLÁUSULA SEGUNDA. MINERALES EXCLUIDOS.** No se considerarán en ningún caso minerales objeto de este contrato ni asociados o en liga íntima, los siguientes: radiactivos y sus subproductos, el carbón, la sal gema y las piedras preciosas y semipreciosas. Si en la explotación se encuentran alguno o algunos de estos minerales, **EL CONCESIONARIO** debe acordar con **EL CONCEDENTE**, que puede legalmente hacer su explotación y las condiciones en que se realizará su extracción. **PARÁGRAFO.** La violación de lo dispuesto en esta cláusula será considerada como explotación ilícita de yacimiento minero, sancionada por el Código Penal y será causal de caducidad del contrato. - **CLÁUSULA TERCERA. ÁREA.** El área dentro de la cual **EL CONCESIONARIO** desarrollará el objeto de este contrato es un globo de terreno ubicado en jurisdicción del municipio de **COPACABANA** del Departamento de Antioquia y cuyos linderos son:

ALINDERACIÓN EN COORDENADAS PLANAS DE GAUSS

PUNTO	COORDENADA "NORTE o X"	COORDENADA "ESTE o Y"
1	1.191.273	843.719
2	1.191.273	843.983
3	1.191.306	843.983
4	1.191.306	844.090
5	1.191.220	844.090
6	1.191.220	844.399
7	1.190.587	844.399
8	1.190.587	843.719

PLANCHA DEL IGAC: 147-I-B

ÁREA: 45,3634 Hectáreas.

Dicha área corresponde a la derivada de la Licencia de Exploración N° 5530, la cual fue reducida y aprobada por la Resolución N° 13524 del 11 de julio de 2006, que ha sido enunciada en el considerando de este contrato. **PARÁGRAFO PRIMERO.** Esta área se contrata como cuerpo

cierto y no por sus unidades de extensión. En consecuencia, **EL CONCESIONARIO** no tendrá derecho a reclamo o indemnización alguna en el evento en que la extensión real contenida por tales linderos, resulte inferior a la mencionada en la presente cláusula. **PARÁGRAFO SEGUNDO. REDUCCIÓN Y DEVOLUCIÓN DE ÁREAS**. Durante el periodo de explotación, **EL CONCESIONARIO** deberá devolver a **EL CONCEDENTE**, en lotes continuos o discontinuos, las zonas que no hayan quedado definitivamente incluidas en los respectivos planes y diseños mineros. En consecuencia, el área objeto de esta concesión deberá reducirse a aquella estrictamente necesaria para la ejecución y desarrollo de las actividades de explotación, proyectadas durante la vida útil del proyecto minero, transporte interno, beneficio, servicios y obras de apoyo, más las extensiones adicionales que sean necesarias para una eficiente operación minera. La zona que retenga **EL CONCESIONARIO** deberá ser continua. - **CLÁUSULA CUARTA. DURACIÓN.** La duración del presente contrato es de **treinta (30) años** contados a partir de su inscripción en el Registro Minero Nacional. - **CLÁUSULA QUINTA. OBLIGACIONES**. Son obligaciones de **EL CONCESIONARIO** en desarrollo del presente contrato: 5.1. Ejecutar las obligaciones de orden técnico y efectuar la explotación. Para ello queda obligado a realizar los estudios, obras y trabajos necesarios para el cumplimiento del contrato en condiciones que garanticen la racional explotación de los recursos mineros y la seguridad de los trabajadores, sujetándose en todo al Programa de Trabajos e Inversiones presentado y sus complementos. 5.2. Amojonar la zona durante los trabajos de desarrollo, montaje y construcción. El amojonamiento se hará por medio de mojones de concreto, debidamente marcados, colocados en cada uno de los vértices del polígono, de manera tal que permitan un fácil reconocimiento y sean estables. Efectuado el amojonamiento debe presentarse el informe correspondiente para su aprobación y anotación en el Registro Minero Nacional. 5.3. Durante la explotación se llevarán registros e inventarios actualizados de la producción en boca o borde de mina y en sitios de acopio, para establecer en todo tiempo los volúmenes de los minerales en bruto y de los entregados en las plantas de beneficio y si fuere el caso, a las de transformación. Estos registros e inventarios se suministrarán, en el Formato Básico Minero, de manera trimestral y anual como lo exige **EL CONCEDENTE**, al Sistema Nacional de Información Minera de conformidad con el artículo 100 de la Ley 685 de 2001, su Decreto Reglamentario y el artículo 352 de la misma Ley. 5.4. Cumplir el Programa de Trabajos e Inversiones (PTI), aprobado y sus complementos. 5.5. Observar y cumplir las normas mineras y ambientales vigentes. 5.6. **EL CONCESIONARIO**, observará las normas y reglamentos expedidos por las autoridades ambientales competentes sobre la materia y solicitará, si fuere el caso, asesoría técnica a **EL CONCEDENTE**, para la adopción de medidas especiales para proteger el medio

ambiente y mitigar los efectos negativos de la operación extractiva sobre los recursos naturales y el medio ambiente. 5.7. Obtener de las autoridades competentes las licencias ambientales que se requieran para la ejecución del proyecto, obra o actividad y los permisos, autorizaciones y concesiones que sean necesarios conforme a la ley para el uso, aprovechamiento o movilización de los recursos naturales renovables. 5.8. Declarar y pagar oportunamente a las entidades correspondientes, las sumas de dinero por concepto de regalías, y demás contraprestaciones económicas según el caso, con acatamiento de lo que determina la Ley 141 de 1994, Ley 756 de 2002, sus leyes modificadoras y Decretos Reglamentarios. 5.9. Indemnizar a terceros por los perjuicios causados, el uso de servidumbres y pagar las expropiaciones si a ello hubiere lugar. 5.10. Pagar las multas que le sean impuestas. 5.11. Mantener vigentes las pólizas constituidas, y su cuantía. 5.12. Observar las disposiciones sobre higiene y seguridad minera. 5.13. Permitir las servidumbres a los demás mineros. 5.14. Prestar el apoyo necesario a las visitas de inspección y fiscalización que sean realizadas por **EL CONCEDENTE** y demás autoridades competentes. Si para la inspección se estima necesaria la presencia permanente de un funcionario de **EL CONCEDENTE** en el área del título minero, **EL CONCESIONARIO** deberá proporcionar a dicho funcionario alojamiento y alimentación adecuados. 5.15. Proteger el trabajo y la industria nacional, de conformidad con lo dispuesto en el Capítulo XXV del Decreto 2655 de 1988. 5.16. Abstenerse de efectuar la explotación fuera del área otorgada o en zonas prohibidas o restringidas. 5.17. No apropiarse de los minerales que no sean objeto del contrato. 5.18. Atender en forma prioritaria la demanda interna de los productos mineros requeridos como insumos de la industria nacional o como recurso para la generación de energía. 5.19. Suministrar a **EL CONCEDENTE** los informes y datos de orden técnico y económico que requiera en cualquier tiempo para el eficiente y oportuno desempeño de sus labores como vigilante y fiscalizador de las actividades mineras, como facilitar la inspección de las obras y trabajos que resuelva hacer para comprobar la exactitud y veracidad de la información recibida, todo ello sin perjuicio de los informes y documentos que debe suministrar por obligación expresa. 5.20. En general, todas las demás previstas en el Decreto 2655 de 1988, disposiciones reglamentarias, y concordantes con la Ley 685 de 2001. - **CLÁUSULA SEXTA. AUTONOMÍA TÉCNICA Y ADMINISTRATIVA. EL CONCESIONARIO** gozará de autonomía técnica, industrial, económica y comercial en la programación, dirección y ejecución del desarrollo, montaje, explotación y beneficio, pudiendo escoger la índole, forma y orden de los sistemas y procesos que considere adecuados y determinar libremente los movimientos, localización y oportunidad de trabajo de su personal, equipos e instalaciones, siempre y cuando se garantice el aprovechamiento racional de los recursos mineros y la conservación del medio ambiente, su

restauración o sustitución, de conformidad con el estudio de Impacto Ambiental que también forma parte de la respectiva autorización ambiental, ello sin perjuicio de la función de inspección y fiscalización a cargo de **EL CONCEDENTE**. - **CLÁUSULA SÉPTIMA. ACTUALIZACIÓN DEL P. T. I. EL CONCESIONARIO** está obligado a presentar y actualizar los datos del Programa de Trabajos e Inversiones, cada cinco (5) años durante el periodo de explotación. - **CLÁUSULA OCTAVA. INSPECCIÓN. EL CONCEDENTE** inspeccionará, en cualquier tiempo, en la forma que lo estime conveniente, las labores que realice **EL CONCESIONARIO**, en procura de alcanzar el debido cumplimiento del presente contrato. - **CLÁUSULA NOVENA. FACULTADES DEL CONCEDENTE.** En desarrollo del presente contrato, **EL CONCEDENTE** efectuará las funciones de inspección y fiscalización, impondrá multas, tomará todas las medidas conservativas que estime conducentes, solicitará las informaciones que considere necesarias para desarrollar sus labores de inspección y fiscalización, declarará la caducidad, y hará uso de la facultad consagrada en el artículo 74, inciso final, del Decreto 2655 de 1988, cuando se declare la caducidad del contrato o se renuncie a éste por **EL CONCESIONARIO** después de veinte (20) años, para que reviertan al Estado a título gratuito todas las propiedades muebles e inmuebles mineras requeridas para continuar con la explotación. **PARÁGRAFO.** En caso de caducidad por muerte de **EL CONCESIONARIO**, esta última facultad sólo podrá ejercitarse si los herederos no hacen uso del derecho de preferencia consagrado en el artículo 13 del Decreto 2655 de 1988, previo el cumplimiento de los requisitos señalados en el Decreto 136 de 1.990, o del derecho que tienen los causahabientes a retirar los bienes afectos a la explotación en los términos del artículo 74 del Decreto 2655 de 1988. - **CLÁUSULA DÉCIMA. GARANTÍAS.** Dentro de los diez (10) días siguientes a la fecha de celebración del contrato de concesión minera, **EL CONCESIONARIO** constituirá a su cargo la siguiente garantía: A favor de **EL CONCEDENTE** y para garantizar el cumplimiento de este contrato, una garantía prendaria, bancaria o de Compañía de Seguros, por el valor correspondiente al diez (10%) por ciento de la producción estimada para los dos (2) primeros años, de acuerdo con el Programa de Trabajos e Inversiones y sus complementos y con una vigencia igual al período de duración de este contrato. En consecuencia, dicha garantía es de la suma de **CIENTO VEINTE MILLONES DE PESOS M/L ($120.000.000)**. Es obligación de **EL CONCESIONARIO** mantener vigente en todo tiempo dicha garantía, y su monto se repondrá cada vez que, en razón de las multas impuestas, se agotare o disminuyere. **CLÁUSULA DÉCIMA PRIMERA. CESIÓN O GRAVÁMENES. EL CONCESIONARIO** podrá ceder o gravar cualquiera de sus derechos y subcontratar la explotación, previo aviso a **EL CONCEDENTE**. En la cesión parcial de derechos, cedente y cesionario serán solidariamente responsables de las obligaciones emanadas del presente contrato. En el evento de

la subcontratación, **EL CONCESIONARIO** responderá ante **EL CONCEDENTE**, por todas las obligaciones generadas por este contrato. - **CLÁUSULA DÉCIMA SEGUNDA. MULTAS. EL CONCEDENTE** podrá sancionar administrativamente a **EL CONCESIONARIO** por violaciones al contrato, con multas sucesivas hasta un valor equivalente a veinte (20) veces el monto del salario mínimo mensual legal vigente, cada vez y para cada caso, que serán pagadas dentro de los diez (10) días hábiles siguientes a la fecha en que quede en firme la providencia que las imponga, pagos que se harán en la cuenta del Banco Agrario, N° 1303701966-0 a nombre de Delegación Minminas. **CLÁUSULA DÉCIMA TERCERA. CADUCIDAD. EL CONCEDENTE** podrá, mediante providencia motivada, declarar la caducidad administrativa del presente contrato en los siguientes casos: 1. La disolución de la sociedad o la muerte de **EL CONCESIONARIO**, según el caso. En el segundo evento, los herederos tendrán derecho a hacer uso de la preferencia consagrada en el artículo 13 del Decreto 2655 de 1988, previo cumplimiento de los requisitos señalados en el Decreto 136 de 1.990. 2. La incapacidad financiera de **EL CONCESIONARIO** o beneficiario que se presume cuando se le declare en quiebra o se le abra concurso de acreedores. 3. La no realización de las actividades de montaje, construcción y explotación conforme al Programa de Trabajos e Inversiones aprobado, o la suspensión de tales actividades y obras por más de seis (6) meses acumulados durante el mismo año sin causa justificada. 4. El no pago oportuno de las regalías y demás contraprestaciones económicas establecidas en las disposiciones vigentes del Capítulo XXIV del Decreto 2655 de 1988, así como las que determina la Ley 141 de 1994, Ley 756 de 2002 y demás normas que la modifiquen o reglamenten. 5. El incumplimiento reiterado de las normas de carácter técnico y operativo, relativas a la racional explotación, a la higiene y seguridad de los trabajadores o a la conservación de los recursos naturales renovables y del medio ambiente. 6. El no pago oportuno de las multas o la no reposición de las garantías en caso de terminación o disminución. 7. La cesión total o parcial del título, sin el previo aviso a **EL CONCEDENTE**. 8. La realización de obras y labores mineras en las zonas restringidas para tales actividades, según las disposiciones legales vigentes, sin obtener las autorizaciones requeridas para tal efecto. 9. Si se descubrieren y comprobaren circunstancias que inhabiliten a **EL CONCESIONARIO** para celebrar este contrato. 10. La violación de las normas legales que regulen la venta y comercialización de minerales. 11. La no presentación de los informes a que está obligado, después de haber sido sancionado con multa. - **CLÁUSULA DÉCIMA CUARTA. TRÁMITE PARA DECLARAR LA CADUCIDAD**. Antes de declarar la caducidad, **EL CONCEDENTE** pondrá en conocimiento de **EL CONCESIONARIO** las causales en que haya de fundarse, y **EL CONCESIONARIO** dispondrá del término de un (1) mes para rectificar o subsanar las faltas de que se le acusa, si a ello hubiere

lugar, o para formular su defensa. El trámite para ello será el señalado en el artículo 77 del Decreto 2655 de 1988. - **CLÁUSULA DÉCIMA QUINTA. SUSPENSIÓN DE TÉRMINOS. EL CONCESIONARIO** se compromete con **EL CONCEDENTE** a la cumplida ejecución del contrato, salvo la ocurrencia de fuerza mayor o caso fortuito, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 1° de la Ley 95 de 1.890, caso en el cual tendrá derecho a la suspensión del plazo, a juicio de **EL CONCEDENTE** quien fijará el término de dicha suspensión, siempre que la fuerza mayor o el caso fortuito no imposibiliten la ejecución del contrato en forma definitiva. Para considerar la exoneración de responsabilidad, **EL CONCESIONARIO** comunicará a **EL CONCEDENTE**, por escrito, dentro de los diez (10) días siguientes a la ocurrencia del hecho o acontecimiento. Tan pronto **EL CONCEDENTE** reciba la comunicación, procederá a estudiar las pruebas invocadas, o a ordenar una inspección al área del contrato. Con base en los conceptos **EL CONCEDENTE** decidirá si hay lugar o no a la suspensión. - **CLÁUSULA DÉCIMA SEXTA. REVISIÓN.** Ambas partes, de conformidad con el artículo 59 del Decreto 2655 de 1988, tendrán derecho a solicitar la revisión del contrato, cuando circunstancias de fuerza mayor o caso fortuito o circunstancias graves e imprevisibles de orden técnico o económico hagan excesivamente gravoso el cumplimiento de las obligaciones futuras. - **CLÁUSULA DÉCIMA SÉPTIMA. RESPONSABILIDAD. EL CONCESIONARIO** será el único responsable de todos los daños causados directamente por él o por subcontratistas, en el desarrollo del presente contrato, a cualquiera persona o propiedad y por toda clase de procesos, demandas, reclamos, costos, cargos y gastos que puedan surgir a causa de ellos. **EL CONCEDENTE** en ningún momento tendrá responsabilidad alguna frente a terceros y si éstos inician alguna acción en su contra, **EL CONCESIONARIO** tendrá a su costo que desarrollar las acciones pertinentes e indemnizará a **EL CONCEDENTE** de todo perjuicio. - **CLÁUSULA DÉCIMA OCTAVA. INHABILIDAD E INCOMPATIBILIDADES. EL CONCESIONARIO** afirma bajo juramento no encontrarse incurso en ninguna de las causales sobre inhabilidades e incompatibilidades contempladas en la Ley 80 de 1993 y demás normas legales vigentes sobre el particular. - **CLÁUSULA DÉCIMA NOVENA. TRABAJADORES DEL CONCESIONARIO.** El personal que **EL CONCESIONARIO** ocupe en la ejecución del presente contrato, será de su libre elección y remoción, estando a su cargo los salarios, prestaciones e indemnizaciones que legalmente le correspondan, entendiéndose que ninguna de tales obligaciones le corresponden a **EL CONCEDENTE**. En consecuencia, **EL CONCESIONARIO** responderá por toda clase de procesos, demandas, reclamos, gastos, en que incurriere a causa de sus relaciones laborales. - **CLÁUSULA VIGÉSIMA. SANEAMIENTO.** Queda expresamente convenido que **EL CONCESIONARIO**, no tendrá derecho a reembolsos o indemnizaciones de ninguna clase por no

encontrar el mineral a explotar, en cantidades y calidades comerciales, o en el evento de ser privado de toda o una parte del área contratada por terceras personas que conforme a las disposiciones vigentes demuestren un mejor derecho. **EL CONCEDENTE** en consecuencia, no estará obligado a salir al saneamiento de los derechos de **EL CONCESIONARIO** emanados de este contrato de concesión en ningún caso. - **CLÁUSULA VIGÉSIMA PRIMERA. ACTA DE FINALIZACIÓN DEL CONTRATO**. A la terminación del contrato, por cualquier causa, **EL CONCEDENTE** elaborará un acta de finalización del contrato, en la cual constará el estado de conservación del yacimiento, las instalaciones fijas y excavaciones mineras que reviertan al Estado de acuerdo con la cláusula 9ª del presente contrato, y el cumplimiento de las obligaciones legales y económicas a cargo de **EL CONCESIONARIO**. En el evento de que éste se negare a firmar, **EL CONCEDENTE** la expedirá mediante providencia motivada, que pondrá en conocimiento de **EL CONCESIONARIO**. - **CLÁUSULA VIGÉSIMA SEGUNDA.** Todos los gastos que se requieran para el perfeccionamiento del contrato, tales como impuestos, publicaciones, garantías, y los que sean necesarios para mantener su vigencia, serán de cargo de **EL CONCESIONARIO**. - **CLÁUSULA VIGÉSIMA TERCERA.** La explotación del recurso natural no renovable objeto del presente contrato, de acuerdo con lo dispuesto en la Ley 141 de 1994, Ley 756 de 2002, sus normas modificatorias y decretos reglamentarios, causará a favor del Estado una contraprestación económica a título de regalía. - **CLÁUSULA VIGÉSIMA CUARTA.** Para el perfeccionamiento del contrato de concesión, se requiere la inscripción en el Registro Minero Nacional; una vez se aporte la garantía de cumplimiento, se remitirá para su correspondiente inscripción y del mismo se remitirá copia a la autoridad ambiental para el seguimiento y vigilancia de la gestión ambiental del proyecto minero. Autorizaciones Ambientales. Con base en lo dispuesto en el artículo 198 de la Ley 685 de 2001, los medios e instrumentos para establecer y vigilar las labores mineras por el aspecto ambiental, son los establecidos por la normatividad ambiental vigente para cada etapa o fase de la misma. En consecuencia, **EL CONCESIONARIO** debe, para ejecutar las labores y trabajos de las etapas de Construcción - Montaje y Explotación, presentar a **EL CONCEDENTE** el acto administrativo, ejecutoriado y en firme, en que la autoridad ambiental competente haya otorgado la Licencia Ambiental. **PARÁGRAFO.** No obstante lo anterior, el proyecto deberá contar con todos los permisos, concesiones o autorizaciones de carácter ambiental requeridos para el aprovechamiento y afectación de los recursos naturales renovables por parte del proyecto, obra o actividad. - **CLÁUSULA VIGÉSIMA QUINTA.**- El presente Contrato de Concesión se celebra bajo el régimen del Decreto 2655 de 1988, concordante con lo establecido por el artículo 350 de la Ley 685 de 2001, no obstante le serán aplicables los beneficios y prerrogativas contempladas en el artículo 352

de la citada Ley. **CLÁUSULA VIGÉSIMA SEXTA. REQUISITOS PARA SU PERFECCIONAMIENTO.** El presente contrato se considera perfeccionado una vez suscrito por las partes y se encuentre inscrito en el Registro Minero Nacional, de acuerdo con lo establecido en el Capítulo XXXI del Decreto 2655 de 1988.

En constancia se firma en el Municipio de Medellín, a los días del mes de 06 SET. 2006

EL CONCEDENTE

ANÍBAL GAVIRIA CORREA
Gobernador de Antioquia

EL CONCESIONARIO

JAIME DIONISIO ARANGO RAMÍREZ
C. C. 3.518.390

RAUL EDUARDO ARANGO RAMÍREZ
C. C. 3.518.405

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
INGEOMINAS
REPÚBLICA DE COLOMBIA
SUB-DIRECCIÓN DE CONTRATACIÓN Y TITULACIÓN MINERA
GRUPO DE REGISTRO MINERO
Libertad y Orden

CÓDIGO RMN N°. HDSN-02

FECHA: 2006 (AÑO) 10 (MES) 09 (DÍA)

DESCRIPCIÓN: INSCRIPCIÓN CONTRATO DE CONCESIÓN

INSCRITO

COORDINADOR

ANTIOQUIA NUEVA, un hogar para la vida
Centro Administrativo Departamental (La Alpujarra), Piso 10, Oficina 1004. Tel. 385 9064 Fax 385 90 85

3.12

81
79

CONTRATO DE CESIÓN DE DERECHOS

Entre las partes a saber: Por una parte, el señor RAUL ARANGO RAMÍREZ, identificado tal y como aparece al pie de su correspondiente firma, quien en adelante se denominará **EL CEDENTE** y por la otra, el señor JUAN PABLO ARANGO VEGA, igualmente mayor e identificado como aparece al pie de su correspondiente firma y quien en adelante se denominará **EL CESIONARIO**, se celebra el presente Contrato de Cesión De Derechos de los **CONTRATOS DE CONCESIÓN Nos. 5530 Y 6430**, previas las siguientes

CONSIDERACIONES:

PRIMERA: Que el señor RAUL ARANGO RAMÍREZ y LA GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA, celebraron los Contrato de Concesión Nº 5530 Y 6430, para la exploración y explotación de un yacimiento de ARENAS, GRAVAS NATURALES, MATERIAES DE CONSTRUCCIÓN Y DEMÁS CONCESIBLES, ubicado en jurisdicción del municipio de COPACABANA, departamento de ANTIOQUIA.

SEGUNDA: Que el señor RAUL ARANGO RAMÍREZ cede mediante el presente instrumento el cincuenta por ciento (50%) de sus derechos en el citado contrato de concesión.

TERCERA: Que al tenor de lo dispuesto por el artículo 22 de la Ley 685 de 2001, el señor RAUL ARANGO RAMIREZ manifiesta expresamente haber cumplido todas las obligaciones emanadas de los Contratos de Concesión Nos. 5530 y 6430.

CUARTA: Que la cesión de la mitad de los Contratos De Concesión Nos. 5530 Y 6430, se regirá por las siguientes cláusulas:

CLÁUSULA PRIMERA: ***Objeto.*** La suscripción del presente documento tiene por objeto CEDER LA TOTALIDAD DE LOS DE LOS DERECHOS MINEROS DE LOS CONTRATOS DE CONCESIÓN Nos. 5530 Y 6430, EQUIVALENTE AL CINCUENTA POR CIENTO (50%) DE AMBOS PARA LA EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE UN YACIMIENTO DE ARENAS, GRAVAS NATURALES, MATERIAES DE CONSTRUCCIÓN Y DEMÁS CONCESIBLES, POR PARTE DEL SEÑOR RAUL ARANGO RAMÍREZ A FAVOR DE El señor JUAN PABLO ARANGO VEGA, que comprende las áreas dentro de las cuales el concesionario desarrollará el objeto de estos contratos en dos globos de terreno ubicados en jurisdicción del Municipio de COPACABANA, departamento de ANTIOQUIA.

Dicha área corresponde estrictamente a la señalada en los Contratos de Concesión Nos. 5530 Y 6430.

CLÁUSULA SEGUNDA: ***Fecha Efectiva.*** Las partes acuerdan que las fechas en la cual la cesión comenzará a surtir plenos efectos jurídicos y será jurídicamente vinculante para EL CEDENTE y para EL CESIONARIO, será la de aprobación definitiva de la cesión de derechos por la Gobernación de Antioquia a través de la Dirección de Titulación y Fiscalización Minera.

CLÁUSULA TERCERA: ***Responsabilidad del Cedente.*** EL CEDENTE se obliga a responder frente a EL CESIONARIO por las obligaciones contraídas en el título minero con anterioridad a la fecha efectiva, así como de la existencia y validez de los Contratos de Concesión Nos. 5530 Y 6430 y de sus garantías, mas no de las que le corresponden a la autoridad minera.

CLÁUSULA CUARTA: ***Responsabilidades previas y posteriores a la fecha efectiva.*** EL CEDENTE se obliga a mantener indemne a EL CESIONARIO y a hacerse cargo de cualquier reclamación por parte de la autoridad minera, derivada de incumplimientos anteriores a la fecha efectiva, de la firma de la cesión de los Contratos de Concesión Nos. 5530 Y 6430. Por su parte, EL CESIONARIO se obliga a mantener

indemne a EL CEDENTE y a hacerse cargo de cualquier reclamación por parte de la autoridad minera, derivada de causas posteriores a la fecha efectiva.

CLÁUSULA QUINTA: ***Aviso de la Cesión.*** EL CEDENTE en cumplimiento de lo señalado en los artículos 22 y 352 de la Ley 685 de 2001, procederá a dar aviso de la cesión a la Gobernación de Antioquia a través de la Dirección de Titulación y Fiscalización Minera., quien se pronunciará mediante Resolución motivada en el término de cuarenta y cinco (45) días. Caso contrario, se entenderá que no hay reparos a la cesión y se inscribirá el documento de negociación en el Registro Minero Nacional.

CLÁUSULA SEXTA: ***Poder.*** Tanto EL CEDENTE como EL CESIONARIO confieren poder especial, amplio y suficiente al doctor JORGE MARIO GIRALDO CARRASQUILLA, mayor e identificado con la cédula de ciudadanía Nº 71´621.648 de Medellín para que adelante ante la correspondiente autoridad minera las diligencias necesarias para la debida legalización de la cesión de derechos de los títulos mineros radicados con el Nº 5530 Y 6430.

CLÁUSULA SÉPTIMA: ***Efectos de la cesión y perfeccionamiento.*** La presente cesión produce efectos entre EL CEDENTE y EL CESIONARIO desde la fecha en que la Gobernación de Antioquia, a través de la Dirección de Titulación y Fiscalización Minera, apruebe el presente contrato de cesión de derechos, condición necesaria para la validación y efectos legales. A partir de esa fecha EL CEDENTE quedará completamente libre en cuanto al ejercicio de los derechos mineros y cumplimiento de los deberes.

CLÁUSULA OCTAVA: ***Valor de la Cesión.*** La presente cesión tiene el valor de seis millones m/c ($ 6´000.000^{oo}), suma que EL CEDENTE declara haber recibido a satisfacción, por lo cual este acto carece de impuesto de timbre.

CLÁUSULA NOVENA: ***Obligaciones.*** EL CESIONARIO se obliga, a partir de Fecha Efectiva, a responder ante todas las autoridades de carácter ambiental, minero y demás administrativas o judiciales, por las obras y actividades desarrolladas en la ejecución de los trabajos mineros en el Título Nº 5530 Y 6430. Así como entrar a cumplir con todas las normas ambientales ante las autoridades competentes.

CLÁUSULA DÉCIMA: ***Documentos del Contrato.*** Son documentos del presente contrato y hacen parte integral del mismo los informes y estudios técnicos, resultados de análisis de muestras, planos relacionados con el Título Nº 5530 Y 6430. En virtud de ello, EL CEDENTE hará entrega a EL CESIONARIO de toda la documentación aquí referida.

CLÁUSULA DÉCIMA PRIMERA: ***Documentos que se anexan.*** Copias de las cédulas de EL CEDENTE y EL CESIONARIO.

El presente contrato se suscribe en la ciudad de Medellín, por las partes intervinientes quienes autentican sus firmas con reconocimiento de contenido en notaría, en dos ejemplares del mismo tenor, a los veintitrés (23) días del mes de agosto de 2007.

EL CEDENTE

RAUL ARANGO RAMIREZ
C. C. Nº 3´518.405 de La Estrella

EL CESIONARIO

JUAN PABLO ARANGO VEGA
C. C. Nº 1.039´448.339 de Sabaneta

3.12

SILVIA EUGENIA LOPERA UPEGUI NOTARIA

CONTRATO DE CESIÓN DE DERECHOS

Entre las partes a saber: Por una parte, el señor JAIME DIONISIO ARANGO RAMÍREZ, identificado tal y como aparece al pie de su correspondiente firma, quien en adelante se denominará **EL CEDENTE** y por la otra, los señores JULIAN ARANGO ORTEGA y SERGIO ARANGO ORTEGA, igualmente mayores y quienes en adelante se denominarán **LOS CESIONARIOS**, se celebra el presente Contrato de Cesión De Derechos de los **CONTRATOS DE CONCESIÓN Nos. 5530 Y 6430**, previas las siguientes

CONSIDERACIONES:

PRIMERA: Que el señor JAIME DIONISIO ARANGO RAMÍREZ y LA GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA, celebraron los Contratos de Concesión Nos. 5530 Y 6430, para la exploración y explotación de un yacimiento de ARENAS, GRAVAS NATURALES, MATERIAES DE CONSTRUCCIÓN Y DEMÁS CONCESIBLES, ubicado en jurisdicción del municipio de COPACABANA, departamento de ANTIOQUIA.

SEGUNDA: Que el señor JAIME DIONISIO ARANGO RAMÍREZ cede mediante el presente instrumento el cincuenta por ciento (50%) de sus derechos en los citados contratos de concesión.

TERCERA: Que al tenor de lo dispuesto por el artículo 22 de la Ley 685 de 2001, el señor JAIME DIONISIO ARANGO RAMÍREZ manifiesta expresamente haber cumplido todas las obligaciones emanadas de los Contratos de Concesión Nos. 5530 y 6430.

CUARTA: Que la cesión de la mitad de los Contratos De Concesión Nos. 5530 Y 6430, se regirá por las siguientes cláusulas:

87 89

SILVIA EUGENIA LOPERA UPEGUI NOTARIA

CLÁUSULA PRIMERA: ***Objeto.*** La suscripción del presente documento tiene por objeto CEDER LA TOTALIDAD DE LOS DE LOS DERECHOS MINEROS DE LOS CONTRATOS DE CONCESIÓN Nos. 5530 Y 6430, EQUIVALENTE AL CINCUENTA POR CIENTO (50%) DE AMBOS TÍTULOS, PARA LA EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE UN YACIMIENTO DE ARENAS, GRAVAS NATURALES, MATERIAES DE CONSTRUCCIÓN Y DEMÁS CONCESIBLES, POR PARTE DEL SEÑOR JAIME DIONISIO ARANGO RAMÍREZ A FAVOR DE LOS SEÑORES JULIAN ARANGO ORTEGA y SERGIO ARANGO ORTEGA, que comprende las áreas dentro de las cuales el concesionario desarrollará el objeto de estos contratos en dos globos de terreno ubicados en jurisdicción del Municipio de COPACABANA, departamento de ANTIOQUIA.

Dicha área corresponde estrictamente a la señalada en los Contratos de Concesión Nos. 5530 Y 6430.

CLÁUSULA SEGUNDA: ***Fecha Efectiva.*** Las partes acuerdan que la fecha en la cual la cesión comenzará a surtir plenos efectos jurídicos y será jurídicamente vinculante para EL CEDENTE y para LOS CESIONARIOS, será la de aprobación definitiva de la cesión de derechos por la Gobernación de Antioquia a través de la Dirección de Titulación y Fiscalización Minera.

CLÁUSULA TERCERA: ***Responsabilidad del Cedente.*** EL CEDENTE se obliga a responder frente a LOS CESIONARIOS por las obligaciones contraídas en el título minero con anterioridad a la fecha efectiva, así como de la existencia y validez de los Contratos de Concesión Nos. 5530 Y 6430 y de sus garantías, mas no de las que le corresponden a la autoridad minera.

CLÁUSULA CUARTA: ***Responsabilidades previas y posteriores a la fecha efectiva.*** EL CEDENTE se obliga a mantener indemne a LOS CESIONARIOS y a hacerse cargo de cualquier reclamación por parte de la autoridad minera, derivada de incumplimientos anteriores a la fecha efectiva, de la firma de la cesión de los Contratos de Concesión Nos.

5530 Y 6430. Por su parte, LOS CESIONARIOS se obliga a mantener indemne a EL CEDENTE y a hacerse cargo de cualquier reclamación por parte de la autoridad minera, derivada de causas posteriores a la fecha efectiva.

CLÁUSULA QUINTA: ***Aviso de la Cesión.*** EL CEDENTE en cumplimiento de lo señalado en los artículos 22 y 352 de la Ley 685 de 2001, procederá a dar aviso de la cesión a la Gobernación de Antioquia a través de la Dirección de Titulación y Fiscalización Minera., quien se pronunciará mediante Resolución motivada en el término de cuarenta y cinco (45) días. Caso contrario, se entenderá que no hay reparos a la cesión y se inscribirá el documento de negociación en el Registro Minero Nacional.

CLÁUSULA SEXTA: ***Poder.*** Tanto EL CEDENTE como LOS CESIONARIOS confieren poder especial, amplio y suficiente al doctor JORGE MARIO GIRALDO CARRASQUILLA, mayor e identificado con la cédula de ciudadanía Nº 71´621.648 de Medellín para que adelante ante la correspondiente autoridad minera las diligencias necesarias para la debida legalización de la cesión de derechos de los títulos mineros radicados con el Nº 5530 Y 6430.

CLÁUSULA SÉPTIMA: ***Efectos de la cesión y perfeccionamiento.*** La presente cesión produce efectos entre EL CEDENTE y LOS CESIONARIOS desde la fecha en que la Gobernación de Antioquia, a través de la Dirección de Titulación y Fiscalización Minera, apruebe el presente contrato de cesión de derechos, condición necesaria para la validación y efectos legales. A partir de esa fecha EL CEDENTE quedará completamente libre en cuanto al ejercicio de los derechos mineros y cumplimiento de los deberes.

CLÁUSULA OCTAVA: ***Valor de la Cesión.*** La presente cesión tiene el valor de seis millones m/c ($ 6´000.000°°), suma que EL CEDENTE declara haber recibido a satisfacción, por lo cual este acto carece de impuesto de timbre.

CLÁUSULA NOVENA: ***Obligaciones.*** LOS CESIONARIOS se obligan a partir de Fecha Efectiva, a responder ante todas las autoridades de carácter ambiental, minero y demás administrativas o judiciales, por las obras y actividades desarrolladas en la ejecución de los trabajos mineros en los títulos Nº 5530 Y 6430. Así como entrar a cumplir con todas las normas ambientales ante las autoridades competentes.

CLÁUSULA DÉCIMA: ***Documentos del Contrato.*** Son documentos del presente contrato y hacen parte integral del mismo los informes y estudios técnicos, resultados de análisis de muestras, planos relacionados con el Título Nº 5530 Y 6430. En virtud de ello, EL CEDENTE hará entrega a LOS CESIONARIOS de toda la documentación aquí referida.

CLÁUSULA DÉCIMA PRIMERA: ***Documentos que se anexan.*** Copias de las cédulas de EL CEDENTE y LOS CESIONARIOS.

El presente contrato se suscribe en la ciudad de Medellín, por las partes intervinientes quienes autentican sus firmas con reconocimiento de contenido en notaría, en dos ejemplares del mismo tenor, a los veintitrés (23) días del mes de agosto de 2007.

EL CEDENTE

JAIME DIONISIO ARANGO RAMÍREZ
C. C. Nº 3´518.390 de La Estrella

LOS CESIONARIOS

JULIAN ARANGO ORTEGA
C. C. Nº 8´163.047

SERGIO ARANGO ORTEGA
C. C. Nº 1.037´572.771

DOCUMENTO DE ADHESION AL CONTRATO DE EXPLORACION Y EXPLOTACIÓN CELEBRADO ENTRE AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. y JAIME DIONISIO ARANGO RAMIREZ Y RAUL EDUARDO ARANGO RAMIREZ

Los suscritos LUIS GERMAN GOMEZ BARRERA, mayor de edad, vecino de Bogotá, identificado con la Cédula de Ciudadanía número 19.380.263 de Bogotá, obrando en calidad de representante legal de la sociedad AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A., sociedad constituida mediante escritura pública No. 2369 del 20 de septiembre de 2006 otorgada ante la Notaría Sexta del Círculo de Medellín y JULIAN ARANGO ORTEGA, también mayor de edad, vecino de Medellín, identificado con la cédula de ciudadanía número 8.163.047 expedida en Medellín y SERGIO ARANGO ORTEGA, también mayor de edad, vecino de Medellín, identificado con la cédula de ciudadanía número 1.039.572.771 expedida en Medellín, JAIME DIONISIO ARANGO RAMIREZ, también mayor de edad, vecino de Medellín, identificado con la Cédula de Ciudadanía número 3.518.390 de la Estrella, MARIA PATRICIA ORTEGA JARAMILLO, también mayor de edad, vecina de Medellín, identificada con cedula de ciudadanía numero 42.869.946, RAUL EDUARDO ARANGO RAMIREZ también mayor de edad, vecino de Medellín, identificado con la Cédula de Ciudadanía número 3.518.405 de la Estrella, y JUAN PABLO ARANGO VEGA también mayor de edad y vecino de Medellín, identificado con la cedula numero 1.039.448.339 de Medellín, suscribimos el presente documento:

CONSIDERANDO

PRIMERO: Que entre la sociedad AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A., en calidad de EXPLOTADORA y los Señores JAIME DIONISIO ARANGO RAMIREZ Y RAUL EDUARDO ARANGO RAMIREZ, en calidad de CONTRATANTE, fue celebrado el día 29 de noviembre de 2006 el denominado CONTRATO DE EXPLORACION Y EXPLOTACION, cuyo objeto social, de conformidad con su Cláusula Primera, es:

*"**OBJETO.**- La parte CONTRATANTE, es decir, los señores JAIME Y RAUL ARANGO en su calidad de titulares del contrato de concesión para explotación minera, contratan y permiten a la sociedad AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. para que, con plena autonomía, procedan (sic) a la exploración, explotación, procesamiento y comercialización de gravas, arenas, base, sub base, triturados y materiales*

de cantera en general y demás minerales asociados al depósito de la cantera LAS NIEVES, correspondiente al contrato de concesión minera No. 5330 y 6430 (anexos al presente contrato), ubicadas (sic) en el municipio de Copacabana, Departamento de Antioquia."

SEGUNDO: Que de conformidad con lo establecido por la Cláusula Novena del CONTRATO DE EXPLORACION Y EXPLOTACION celebrado el día 29 de noviembre de 2006, entre AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A., en calidad de EXPLOTADORA y los Señores JAIME DIONISIO ARANGO RAMIREZ Y RAUL EDUARDO ARANGO RAMIREZ, en calidad de CONTRATANTE, existe expresa prohibición en relación con la cesión del denominado contrato de concesión minera identificado en la Cláusula Primera del mencionado CONTRATO DE EXPLORACION Y EXPLOTACION, por parte de LA CONTRATANTE[1].

TERCERO: Que no obstante la existencia de la prohibición de que da cuenta el anterior considerando, los Señores DIONISIO ARANGO RAMIREZ Y RAUL EDUARDO ARANGO RAMIREZ, en calidad de parte CONTRATANTE, cedieron el denominado contrato de concesión minera a favor de JUAN PABLO ARANGO VEGA, JULIAN ARANGO ORTEGA, SERGIO ARANGO ORTEGA y MARIA PATRICIA ORTEGA JARAMILLO.

De conformidad con lo anterior:

ACORDAMOS

PRIMERO: Los suscritos JUAN PABLO ARANGO VEGA, JULIAN ARANGO ORTEGA, SERGIO ARANGO ORTEGA y MARIA PATRICIA ORTEGA JARAMILLO manifestamos que, según consta en documento adjunto, somos los actuales titulares del contrato de concesión minera No. 5530 y 6430 que hace referencia a la denominada CANTERA LAS NIEVES, cuya descripción y alinderación se encuentran debidamente identificadas en el CONTRATO DE EXPLORACION Y EXPLOTACION celebrado el día 29 de noviembre de 2006 entre la sociedad AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. y los Señores JAIME DIONISIO ARANGO RAMIREZ Y RAUL EDUARDO ARANGO RAMIREZ.

---

[1] *"**GARANTIA.-** LA CONTRATANTE garantiza que el área objeto de este contrato es de su exclusiva propiedad, que lo está poseyendo materialmente, que hasta el momento no lo ha dado en anticresis, uso o usufructo y que su dominio está libre de condiciones, gravámenes y que en todo caso saldré al saneamiento en los casos de ley. También garantiza que es el titular (sic) contrato de concesión minera **y que mantendrá la titularidad de tal contrato por el tiempo de duración de este contrato y sus prórrogas.**"* (Subrayado y destacado fuera de texto).

SEGUNDO: Que con el propósito de garantizar la totalidad de los derechos de la sociedad AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. derivados del CONTRATO DE EXPLORACION Y EXPLOTACION celebrado entre la misma y los Señores JAIME DIONISIO ARANGO RAMIREZ Y RAUL EDUARDO ARANGO RAMIREZ el día 29 de noviembre de 2006, nos adherimos a los términos del mencionado contrato en todo lo atinente a la garantía de explotación y exploración, por parte de la sociedad AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A., del área identificada y descrita en la Cláusula Segunda del mismo contrato y de los demás derechos que para tal sociedad se deriven de su ejecución.

TERCERO: AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A., por su parte acepta la adhesión al denominado CONTRATO DE EXPLORACIÓN Y EXPLOTACION celebrado entre esta sociedad y los Señores JAIME DIONISIO ARANGO RAMIREZ Y RAUL EDUARDO ARANGO RAMIREZ el día 29 de noviembre de 2006, que mediante el presente documento manifiestan los Señores JUAN PABLO ARANGO VEGA, JULIAN ARANGO ORTEGA, SERGIO ARANGO ORTEGA y MARIA PATRICIA ORTEGA JARAMILLO.

CUARTO: JAIME DIONISIO ARANGO RAMIREZ Y RAUL EDUARDO ARANGO RAMIREZ en calidad de parte CONTRATANTE dentro del denominado CONTRATO DE EXPLORACIÓN Y EXPLOTACIÓN que celebraron con la sociedad AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. el día 29 de noviembre de 2006, por medio del presente documento se obligan a garantizar el debido ejercicio de la totalidad de los derechos que a favor de la mencionada sociedad se derivan, tanto de las obligaciones aquí asumidas por los Señores JUAN PABLO ARANGO VEGA, JULIAN ARANGO ORTEGA, SERGIO ARANGO ORTEGA y MARIA PATRICIA ORTEGA JARAMILLO, como de las derivadas del ya mencionado CONTRATO DE EXPLORACION Y EXPLOTACION.

Para constancia de lo anterior, se firma el presente documento por quienes en el intervienen, en la Ciudad de Medellín a los 30 días del mes de Julio de 2008.

Los Adherentes

JULIAN ARANGO ORTEGA
C.C. No. 8.163.047

SERGIO ARANGO ORTEGA
C.C. No. 1.039.572.771

MARIA PATRICIA ORTEGA JARAMILLO
C.C. No. 42.869.946

JUAN PABLO ARANGO VEGA
C.C. No 1.039.448.339

JAIME DIONISIO ARANGO R
C.C. No. 3.518.390

RAUL EDUARDO ARANGO R
C.C. No. 3.518.405

LUIS GERMAN GOMEZ BARRERA
C.C. No. 19.380.263
Representante Legal
AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A.

Julian Arango Ortega

8163047

Medellín, 30 JUL 2008

Luis Germán Gómez Ramírez.
19380203
Bogotá

GOBERNACION DE ANTIOQUIA REPUBLICA DE COLOMBIA	**INFORME FINAL DE VISITA TÉCNICA Y DE SEGURIDAD MINERA A EXPLOTACIONES A CIELO ABIERTO ANEXOS**	**Código:** FO-M3-P1-16 **Versión:** 02 **Fecha de aprobación:** 18 de Mayo de 2011 Página 1 de 11

Fecha: 1 de Octubre de 2015

Clase de Título y Radicado: Contrato de Concesión N° 5530 (D. 2655)

1. OBJETIVO DE LA VISITA

Ejercer la fiscalización y vigilancia teniendo en cuenta lo previsto en el artículo 279 del Código de Minas, de la forma y condiciones en que se ejecuta el contrato de concesión tanto por los aspectos técnicos como por los operativos y ambientales, sin perjuicio de que sobre los últimos la autoridad ambiental y sus auditores autorizados, ejerzan igual vigilancia en cualquier tiempo, manera y oportunidad, de acuerdo con lo establecido en el artículo 318 del Código de Minas

2. INFORMACIÓN GENERAL DE LA MINA:

Nombre del titular/ explotador u operador	Juan Pablo Arango y otros / Agregados y Proyectos Mineros de Antioquia S.A.			
Visita atendida por, cargo	Cesar Saldarriaga, Gerente de Planta APMA			
Nombre de la mina	Las Nieves			
Ubicación	Municipio	Vereda		
	Copacabana	El Cabuyal		
Sitio de referencia cercano	Retorno número 4 de la vía Medellín – Bogotá			
Coordenadas frente de explotación (s)	Frente Norte	1190866 N	843904 E	
	Polvorín	1190682 N	843841 E	
Teléfono de la mina	4081157			
Mineral	Principal: gravas y arenas		Secundario: No reporta	
Datos Estructurales: (Dirección, buzamiento, espesor y/o tipo de yacimiento)	Rocas de origen metamórfico (anfibolitas y metasedimentos)			
Actividad	Continua X	Periódica	Inactiva	

3. SEGUIMIENTO a PTI o PTO:

	Actividad o Asunto		*Presentado en PTI o PTO*	*Encontrado en visita*	*Observaciones*
1	PRODUCCIÓN/mes ( )grs ( )ton (X)m^3		16.666	27000 ton (aproximadamente 17000 m^3)	
2	PERSONAL:				Transportadores y personal de mantenimiento.
	Empleos directos	Mina	No Reporta	6	
		Diferente a mina	18	21	
	Empleos indirectos		No Reporta	9	
	Total		18	36	
3	INFRAESTRUCTURA (Breve descripción):				La planta cuenta con tolva, trituradora de mandíbula, zaranda, banda transportadora y cono triturador.
	Planta beneficio o transformación		X	X	
	Tolvas y/o acopios		X	X	
	Taller		No Reporta	No Reporta	

	Campamento	X	No Reporta	Cuenta con oficina
	Actividad o Asunto	*Presentado en PTI o PTO*	*Encontrado en visita*	
	Casino o comedor	No Reporta	X	Se compara botellones de agua para el consumo. Subestación eléctrica 650 kva. 3 baños (sanitarios). Tanque de 3.000 galones.
	Agua potable	No Reporta	X	
	Suministro de energía	X	X	
	Baños (1 por cada 15 trabajadores), duchas	No Reporta	X	
	Tanque combustible	No Reporta	X	
4	OPERACIONES UNITARIAS	*Presentado en PTI o PTO*	*Encontrado en visita*	*Observaciones*
	Preparación	Niveles y bancos de explotación	Descapote, conformación de bancos	Bancos de 10 metros de alto y 19 metros de ancho.
	Arranque	Perforación y Voladura	Perforación y Voladura	Los sobretamaños de la voladura se reducen de tamaño con retromartillo. Las voladuras se realizan de acuerdo a la necesidad de producción cada 20 días aproximadamente.
	Cargue	retroexcavadora	Cargadores y retroexcavadora	
	Transporte	Camiones de 7m^3	Volquetas	Doble troque de 15 m^3 Sencillas de 7,5 m^3
	Método de Explotación (Método, diseño, etc.) Tajo abierto, Descubierta, Contorno, Mixto, Hidráulico, Dragado.	Bancos descendentes	Bancos descendentes	En el frente se encontraron haciendo barrenos de perforación.

4. EXPLOSIVOS:

Promedio/mes consumido y tipo de explosivo:
Anfo: 2200 kg; Indugel plus: 25 unidades ; Mecha se seguridad: 2 metros; detonador común: 3 unidades

Explosivo utilizado cuenta con el permiso de DCCA del Ministerio de Defensa Nacional	Sí X	No	NA
Polvorín:	Sí X	No	NA
Polvorín externo a más de 100 metros de edificios, carretera	Sí X	No	NA
Dispone de Extintores internos y externos en el polvorín	Sí X	No	NA
Elementos de voladura (Explosivos, fulminantes, etc.) se transportan en recipientes de madera, cuero, lámina galvanizada o plástica y en varios compartimentos	Sí X	No	NA

5. OTROS:

Dirección técnica y supervisión en el control y vigilancia de seguridad e higiene en mina realizada por:
( ) Capataz o técnico minero con cursos en el Sena
( ) Ingeniero de Minas
( ) Departamento especializado en minería (ingenieros)
(X) Otro. Cuál: Copaso
( ) Ninguno

Menores de 18 años trabajando dentro de la mina	Sí	No X
Personal ajeno permanece o transita por la zona minera Ver Observaciones	Sí X	No
Plano topográfico actualizado (2 veces al año)	Sí X	No
Existe señalización informativa, preventiva y de seguridad	Si X	No
Elementos de protección personal (casco, gafas, botas, guantes, tapa oídos, overol; especifique subrayando cuales sí)	Sí X	No
Otros Equipos o dispositivos de seguridad (camilla, botiquín, arnés, mascarilla; especifique subrayando cuales sí)	Sí X	No

6. DIAGNÓSTICO DE SALUD OCUPACIONAL	**F.B.M**		**Visita**	
	Sí	**No**	**Sí**	**No**
Reglamento de Higiene y Seguridad Industrial	X		X	
Programa de Salud Ocupacional vigente y en ejecución	X		X	
Capacitación mínimo de 8 horas antes de ingresar como nuevo trabajador	NA	NA	X	
Comité Paritario de Salud Ocupacional o Vigía Ocupacional vigente	X		X	
Estadísticas de accidente de trabajo e informe de investigación y enfermedades profesionales, y control posterior para evitar nuevas ocurrencias	X		X	
Reglamento interno de trabajo	NA	NA	X	

7. SEGURIDAD SOCIAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	**F.B.M**			**Visita**		
	SI	NO	Cuantos	SI	NO	Cuantos
EPS	X		26	X		22
Fondo de pensiones	X		26	X		22
Afiliación vigente a una ARP, ¿cuál?	X		26	X		22

8. PRODUCCIÓN Y PERSONAL EMPLEADO EN LA EXPLOTACIÓN MINERA

Producción (año)	1340,67 Arena y 29031,78 Gravas		
Costo del mineral en bocamina	$ 22.000		
Usos del mineral y destino	Construcción		
N° Turnos y horas por turno	Planta: 1 turno de 12 horas; Mina: 2 turnos de 12 horas c/u		
Personas empleadas	Admón. 7	Operativo 20	
Tipo de contrato (Número)	Fijo	Indefinido X	Destajo

9. ASPECTOS AMBIENTALES (Botaderos, vertimientos, emisiones atmosféricas, recuperación de área

explotada, ruido, afectación de la dinámica de cuerpos de agua subterránea y superficial, erosión, subsidencia, afectación de infraestructura pública y privada, etc)

Cuenta con Licencia Ambiental otorgada, 1 pozo séptico, 1 captación de agua para uso doméstico.

10. ENTREGAS PERIÓDICAS

10.1. Formatos Básicos Mineros Ver anexo

Año*	2013			2014			2015		
Periodo	Unidad	Cantidad	Precio de venta	Unidad	Cantidad	Precio de venta	Unidad	Cantidad	Precio de venta
Semestral	M^3	42.108	17.495	M^3	50.532	17.495	M^3	62.903	19.526
Anual	M^3	119.333	No Reporta	M^3	176.591,65	No Reporta	-------	-------	-------

**Los años reportados deben ser el actual y dos anteriores*

Semestral
Unidad: Es la reportada en el FBM en el literal B casilla (9)
Cantidad: Es la reportada en el FBM en el literal B
Precio de venta: Es la reportada en el FBM en el literal B casilla (10)
Anual
Unidad: Es la reportada en el FBM en el literal C casilla (9)
Cantidad: Es la reportada en el FBM en el literal C
Precio de venta: Es la reportada en el FBM en el literal C casilla (10

10.2. Pago de Regalías

Año**	2012		2013		2014		2015	
Trimestre	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
I	30.162	No Reporta	15.615	No Reporta	44.366,27	No Reporta	29.031,78	No Reporta
II	20.868	No Reporta	26.493	No Reporta	32.722	No Reporta	33.872	No Reporta
III	26.515	No Reporta	42.110	No Reporta	51.357,27	No Reporta	-------	------
IV	16.205	No Reporta	35.315,22	No Reporta	48.145,8	No Reporta	------	-------

***Los años reportados deben ser el actual y tres anteriores*
Cantidad: Corresponde al volumen de material (mineral) producido en el período a que se refiere la declaración
Unidad: Corresponde a la unidad de volumen

OBSERVACIONES:

22 personas afiliadas a seguridad social por parte de la empresa y el resto del personal está empleado por oficina temporal. La empresa Agregados y Proyectos Mineros de Antioquia cuenta con un subcontrato de operación con el titular del Contrato de Concesión No. 5530. Por una zona de las vías internas de la mina, transita personal ajeno a la explotación debido a que en un área contigua al titulo se encuentra una casa y la única vía de acceso de los habitantes es por las vías de la mina (esta área la empresa la tiene como servidumbre minera)

Arenas

10.1. Formatos Básicos Mineros									
Año*	**2013**			**2014**			**2015**		
Periodo	Unidad	Cantidad	Precio de venta	Unidad	Cantidad	Precio de venta	Unidad	Cantidad	Precio de venta
Semestral	M³	2.335	35.300	M³	1.000	35.300	M³	3.521	27.662
Anual	M³	5.393	No Reporta	M³	4.619,45	No Reporta	------	--------	------

10.2. Pago de Regalías								
Año**	**2012**		**2013**		**2014**		**2015**	
Trimestre	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
I	639	No Reporta	1.144	No Reporta	919,57	No Reporta	1.340,67	No Reporta
II	693	No Reporta	1.191	No Reporta	671,93	No Reporta	2.181	No Reporta
III	1.729	No Reporta	1.238	No Reporta	1.798,14	No Reporta	--------	--------
IV	373	No Reporta	1.820,30	No Reporta	1.229,81	No Reporta	--------	--------

Recebo

10.1. Formatos Básicos Mineros									
Año*	**2013**			**2014**			**2015**		
Periodo	Unidad	Cantidad	Precio de venta	Unidad	Cantidad	Precio de venta	Unidad	Cantidad	Precio de venta
Semestral	M³	51.178	6.665	M³	43.399	6.665	M³	37.833	6.596
Anual	M³	98.723	No Reporta	M³	117.146,74	No Reporta	------	------	------

10.2. Pago de Regalías								
Año**	**2012**		**2013**		**2014**		**2015**	
Trimestre	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
I	48.382	No Reporta	20.762	No Reporta	16.714,01	No Reporta	16.161,55	No Reporta
II	28.104	No Reporta	30.406	No Reporta	35.432	No Reporta	21.672	No Reporta
III	25.743	No Reporta	22.209	No Reporta	38.584,39	No Reporta	--------	--------
IV	14.471	No Reporta	25.346,82	No Reporta	26.415,40	No Reporta	--------	--------

ANEXO 1

CERTIFICADO DE ASISTENCIA.

El día 01 del mes Octubre del año 2015 visitó la mina Las Nieves correspondiente al título minero Nº 5530, con motivo de Fiscalización Minera, el ingeniero Karen Barros Miranda, contratista del Convenio interadministrativo N° 1506-124, Convenio interadministrativo N° 4600003871 / 1505-72, la cual fue atendida por Cesar Saldarriaga, empleado de la empresa Agregados y Proyectos Mineros S.A. y cuyo cargo es Gerente de Planta.

Quien atendió

Firma: _____

Nombre: Cesar Saldarriaga
c.c. 71.596.862

Profesional Universitario

Firma: _____

Nombre: Karen Barros Miranda
c.c. 1.128.265.963

CONTRATO DE EXPLORACION Y EXPLOTACION

PRELIMINARES.- PARTES. *(I)* JAIME DIONISIO ARANGO RAMIREZ Y RAUL EDUARDO ARANGO RAMIREZ, Identificados con las c.c. No.3.518.390 de La Estrella, y 3.518.405 de La Estrella, respectivamente, quienes en adelante y para los efectos de este contrato se llamarán LA CONTRATANTE, han efectuado los estudios de exploración para un proyecto de mediana minería, con el fin de explotar como mineral principal arenas y gravas naturales, lo cual acredita con los contratos de de concesión minera números 6430 del 6 de febrero del 2006 y 5530 del 6 de septiembre del 2006, ambos contratos de concesión minera suscritos entre los señores Arango Ramirez y la Gobernación de Antioquia y debidamente registrados en el titulo minero, *y (ii)* LUIS GERMAN GOMEZ BARRERA mayor de edad y vecino de ciudad de Bogotá---, obrando en su calidad de representante legal de - AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A, sociedad constituida por escritura publica No. 2369 del 20 de Septiembre de 2006registrada en la Notaria sexta del circulo de Medellín, quien para los efectos de este contrato se llamará LA EXPLOTADORA; manifiestan que celebran el presente contrato de exploración y explotación, el cual se rige por las siguientes cláusulas:

CLAUSULA PRIMERA.- OBJETO. La parte CONTRATANTE, es decir, los señores JAIME Y RAUL ARANGO en su calidad de titulares del contrato de concesión para explotación minera, contratan y permiten a la sociedad AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. para que, con plena autonomía, procedan a la exploración, explotación, procesamiento y comercialización de gravas, arenas, base, sub base, triturados y materiales de cantera en general y demás minerales asociados al deposito en la cantera LAS NIEVES, correspondiente al contrato de concesión minera No. 5530 y 6430 (anexos al presente contrato), ubicadas en el , municipio de Copacabana, Departamento de Antioquia.

CLAUSULA SEGUNDA.- IDENTIFICACION DE LA CANTERA. La cantera LAS NIEVES, objeto de este contrato se encuentran ubicadas en el municipio de Copacabana, departamento de Antioquia, y se identifica con los siguientes linderos, tomados de los contratos de concesión minera, 6430 y 5530 a que se han hecho referencia, suscritos entre los señores Arango Ramirez la Gobernación del Departamento de Antioquia, alinderación expresada en COORDENADAS PLANAS DE GAUSS:

Para el contrato 5530 del 6 de septiembre del 2006:

PUNTO	COORDENADA NORTE o X	COORDENADA ESTE o Y
1	1.191.273	843.719

2	1.191.273	843.983
3	1.191.306	843.983
4	1.191.306	844.090
5	1.191.220	844.090
6	1.191.220	844.399
7	1.190.587	844.399
8	1.190.587	843.719

Para un área de 45,3634 hectáreas.

Para el contrato 6430 del 6 de febrero del 2006:

PUNTO	COORDENADA NORTE o X	COORDENADA ESTE o Y
1	1.190.586	844.004
2	1.190.032	844.004
3	1.190.032	843.719
4	1.190.586	843.719

Para un áres de 15,7890 hectáreas

PARAGRAFO.- La propiedad superficiaria del predio es de la sociedad AGROPECUARIA LAS NIEVES S.A., sociedad con domicilio en la ciudad de Medellín, constituida por la Escritura Pública No. 1395 del 13 de junio del 2000, otorgada en la Notaría Novena (9) del Círculo de Medellín, todo lo cual se acredita con el certificado de existencia y representación legal de la sociedad expedido por la Cámara de Comercio de Medellín y con los certificados de tradición de los inmuebles, correspondientes a los folios de matrícula inmobiliaria expedidos por la Oficina de Registro de Instrumentos Públicos de Girardota (Antioquia)..

CLAUSULA TERCERA.- OBLIGACIONES DE LA EXPLOTADORA. a) Realizar los trabajos de exploración y explotación en forma técnica de tal manera que se logre una recuperación ambiental y morfológica, de conformidad con el plan minero adoptado y con las normas técnicas sobre la materia, y en general, adoptar y mantener todas aquellas medidas indispensables para evitar daños y contaminaciones a personas, bienes y recursos de la zona donde se lleva a cabo la explotación. b) Atender los requerimientos que le presenten las autoridades nacionales, departamentales o municipales, o de cualquier orden, dentro del ámbito de sus competencias, en relación con la adecuada explotación de la cantera LAS NIEVES. c) Responder ante terceros por los perjuicios que se causen con motivo o por causa de la ejecución de este contrato. d) Al vencimiento del contrato o de sus prórrogas, hacer entrega del inmueble a LA CONTRATANTE, a paz y salvo por concepto de los impuestos sobre la actividad, regalías y demás contribuciones de carácter especial sobre la actividad minera. e) Cumplir con

todas las obligaciones que se desprendan de la naturaleza de este contrato así como con todas las normas y disposiciones o reglamentos vigentes o que se expidan sobre la materia. ii) g) Mantener vigente una póliza de seguro que garantice la responsabilidad civil extracontractual, por daños a terceros y como asegurados LA EXPLOTADORA y LAS CONTRATANTES.

PARÁGRAFO PRIMERO. La violación por parte de LA EXPLOTADORA de cualquiera de las obligaciones de este contrato dará lugar a la terminación del contrato con indemnización de perjuicios.

CLAUSULA CUARTA. OBLIGACIONES DE LA CONTRATANTE.a) Constituir las servidumbres necesarias con el dueño del área superficiaria, para que la sociedad AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. o quien haga sus veces o sus dependientes, tengan acceso al área de explotación y de montaje; b) Entregar a la sociedad EXPLOTADORA o quien haga sus veces, un área superficiaria con un mínimo de dos hectáreas, anexa al área de explotación, para que la sociedad AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. pueda hacer el montaje de la maquinaria, planta y equipo y demás elementos propios de la infraestructura necesaria para la explotación. c) Celebrar y ejecutar con el dueño del área superficiaria que coincide con el área de explotación minera, todos los actos y contratos necesarios para garantizar el libre acceso al área de explotación y al área superficiaria anexa para el montaje de la planta e infraestructura. d) Instalar los servicios públicos domiciliarios necesarios para la explotación minera y para el personal que labore en la explotación. e) Permitir el acceso de la EXPLOTADORA, sus dependientes o cualquier persona autorizada por ella, al área objeto de este contrato, por las vías existentes o que se construyan en el área minera, de conformidad con el plano anexo a este contrato, siempre y cuando no contravenga o extralimite lo pactado. f) Permitir la tenencia y el goce pacífico, tranquilo y exclusivo del área del contrato por parte de LA EXPLOTADORA en los términos del presente contrato. g) Permitir la legal explotación de la cantera por parte de la EXPLOTADORA, en los términos del presente contrato. LA CONTRATANTE no puede responder ni legitimar ningún acto contra la ley ejecutado por la EXPLOTADORA. h) Cumplir con todas las obligaciones que se desprenden de la naturaleza de este contrato, así como con todas las normas o disposiciones y reglamentos vigentes o que se expidan sobre la materia, con la asesoría de LA EXPLOTADORA., i) mantener vigente el contrato de concesión minera y cumplir con todas las disposiciones de carácter nacional, departamental y municipal, así como dar cumplimiento a todas las disposiciones de carácter ambiental de cualquier orden, necesarias para la cabal y legal explotación minera, j) Durante la vigencia del contrato, asumir directamente el costo de las primas relativas a las pólizas de seguro que deben suscribirse a favor del Ministerio de Minas y Energía por el cumplimiento del plan minero y de Corantioquia por el cumplimiento del plan de manejo ambiental. PARAGRAFO PRIMERO.- para el cumplimiento de todas las obligaciones a cargo de la contratante para mantener vigentes las licencias y el contrato de concesión minera, el contratista o explotador, será informado por el contratante

oportunamente, sobre todos y cada uno de los trámites que deben realizarse, con el fin de que el explotador acompañe al contratante en dichos trámites, para verificar el cumplimiento de los mismos y garantizar al explotador la legal y correcta explotación de la mina. PRAGRAFO SEGUNDO.- El incumplimiento de las obligaciones pactadas en esta cláusula a cargo de la contratante dará derecho a AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. al cobro de una suma de seiscientos (600) salarios mínimos legales vigentes a la fecha de pago, a título de pena y sin perjuicio del cumplimiento de las demás obligaciones pactadas en este contrato, sin necesidad de requerimiento judicial y extrajudicial a los cuales renuncia.

CLAUSULA QUINTA. INDEMNIDAD.- *(i)* LA CONTRATANTE no tendrá responsabilidad alguna por los daños causados por LA EXPLOTADORA a terceros. La violación por parte de LA EXPLOTADORA de cualquiera de las obligaciones de este contrato dará lugar a la terminación del contrato con indemnización de perjuicios. *(II)* la CONTRATANTE mantendrá indemne a la EXPLOTADORA, es decir a la sociedad AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. o quien haga sus veces, frente a cualquier reclamación que haga un tercero por la explotación de la mina o por la ocupación del predio o área anexa a la mina en la cual se ubique la infraestructura necesaria para la explotación de la mina, y también por la utilización de las vías de acceso o cualquier otra servidumbre que exista o deba constituirse para la correcta explotación de la mina y el transporte del material explotado fuera de la mina, para poder ser entregado. En consecuencia, la sociedad AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A., no pagará suma, distinta de la pactada en este contrato como precio o retribución alguna por tales conceptos, es decir: servidumbres necesarias para la explotación de la mina y transporte de material, utilización de vía, ocupación del área de explotación y del área anexa para el montaje y mantenimiento de la infraestructura necesaria para la explotación. PARAGRAFO.- Si un tercero cobrare a la sociedad EXPLOTADORA o quien haga sus veces, suma alguna, con motivo u ocasión de la explotación minera, ocupación de predios, utilización de vías o cualquier otro concepto relacionado, la parte CONTRATANTE se allanará al pago inmediato de las sumas cobradas y, en caso de proceso judicial contra la sociedad EXPLOTADORA, es decir AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. o quien haga sus veces, comparecerá el CONTRATANTE al proceso como litisconsorte, coadyuvante, llamado en garantía o cualquier otra figura de intervención procesal, con el fin defender los intereses de la sociedad AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. o quien haga sus veces.

CLAUSULA SEXTA.- LICENCIA AMBIENTAL Y PASIVO AMBIENTAL. LA CONTRATANTE ejecutará la totalidad de las obligaciones derivadas de la licencia ambiental otorgada por Corantioquia, así como el pasivo ambiental que se genere a partir de la fecha del presente contrato. En consecuencia, la parte CONTRATANTE, es decir los señores ARANGO, se obligan a la reforestación y conservación de cuencas a que haya lugar, de acuerdo con las normas vigentes establecidas por organismos tales como Corantioquia, y otras entidades encargadas de velar por la conservación de cuencas hidrográficas y recursos naturales. La sociedad EXPLOTADORA no pagará a la CONTRATANTE, suma alguna de dinero por este concepto, ni como indemnización, retribución o precio. Toda la contingencia derivada del pasivo ambiental estará a cargo de la parte CONTRATANTE, es decir, los señores ARANGO o quien haga sus veces. PARAGRAFO.- El incumplimiento de las obligaciones pactadas en esta cláusula a cargo de la contratante dará derecho a AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. al cobro de una suma de seiscientos (600) salarios mínimos legales vigentes a la fecha del pago, a título de pena y sin perjuicio del cumplimiento de las demás obligaciones pactadas en este contrato, sin necesidad de requerimiento judicial y extrajudicial a los cuales renuncia y sin necesidad de constituir en mora al incumplido.

CLAUSULA SEPTIMA. PRECIO. LA EXPLOTADORA pagará a LA CONTRATANTE a título de retribución, por: *(i)* la posibilidad de explotar la mina alinderada en este documento, *(ii)* la ocupación de un área no inferior a dos hectáreas (o mayor si así lo acuerdan las partes) para el montaje y mantenimiento de la infraestructura, *(iii)* por la utilización de vías y servidumbres, *(iv)* por regalías, beneficio o retribución un porcentaje del seis por ciento (6%) sobre el valor de cada metro cúbico de material extraído, procesado, vendido, o transferido a terceros a cualquier título que fuere; tomando como referencia para este cálculo el precio promedio de venta de todos los productos (Ingresos totales/m3 vendidos). la parte CONTRATANTE no podrá cobrar ninguna otra suma de dinero, ni la sociedad EXPLOTADORA estará obligada al pago de suma alguna de dinero adicional, como consecuencia del presente contrato

PARAGRAFO.- FORMA DE PAGO.- La EXPLOTADORA pagará a LA CONTRATANTE la suma de que trata la CLAUSULA SEPTIMA de este contrato, dentro de los 30 días siguientes a la fecha de facturación realizada por LA CONTRATRANTE. Dentro de los 5 días hábiles siguientes, las partes podrán realizar las objeciones a que haya lugar.

CLAUSULA OCTAVA.-. AUDITORIA. LA CONTRATANTE, directamente o a través de un tercero designado por ella, y a su costa, realizará control sobre el mineral extraído y el volumen de explotación. Para ello tendrá la facultad de contratar una persona en forma permanente en el área objeto de la mina, para que vigile el número de volquetas y cantidad de metros cúbicos o toneladas cargadas,

tenga copia de los recibos de despacho y tenga acceso a la planilla de envío o cualquier otro mecanismo utilizado por la EXPLOTADORA para el suministro del mineral. La facultad de auditoria, comprende también la verificación del cumplimiento por parte del EXPLOTADOR del plan minero vigente y la verificación del cumplimiento del plan de manejo ambiental vigente y el estado de vigencia y cobertura de todas las pólizas de seguro relativas al presente contrato. LA CONTRATANTE comunicar por escrito a LA EXPLOTADORA el nombre del auditor designado, su reemplazo cuando se ausente y en su oportunidad los cambios que realice.

CLAUSULA NOVENA.-. GARANTIA.- LA CONTRATANTE garantiza que el área objeto de este contrato es de su exclusiva propiedad, que lo está poseyendo materialmente, que hasta el momento no lo ha dado en anticresis, uso o usufructo y que su dominio esté libre de condiciones gravámenes y que en todo caso saldrá al saneamiento en los casos de ley. También garantiza que es el titular contrato de concesión minera y que mantendrá la titularidad de tal contrato por el tiempo de duración de este contrato y sus prórrogas.

CLAUSULA DECIMA. DE LOS BIENES, MAQUINARIA, PLANTA Y EQUIPO DE LA EXPLOTACION.[iv] La sociedad AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A., para la explotación minera, requiere de la infraestructura necesaria para la explotación de la mina. Tal infraestructura se conforma por los siguientes elementos:

- maquinaria para la explotación, tales como equipos de perforación, retroexcavadora, buldózer, retrocargadora.
- planta de procesamiento o decantación: Tolva y alimentador, trituradora primaria, trituradora secundaria, zaranda, bandas transportadoras, noria, vehículos para el transporte del material
- Equipo móvil: Cargador, planta eléctrica, subestación eléctrica
- Equipo de soldadura eléctrica, oxicorte y herramienta para mantenimiento.
- Báscula camionera, construcciones e instalaciones (oficinas, taller, casetas de control y vigilancia, polvorín, tanques para captación de aguas, pozo séptico)
- Construcción y adecuación de vías, manejo de aguas, piscinas sedimentadoras, área para disposición de estériles, redes eléctricas y de comunicaciones
- operarios para el manejo de la maquinaria, necesaria para la explotación de la mina, quienes serán empleados, subcontratistas, o prestadores de servicio de AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A

La infraestructura requerida por AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. en el inmueble donde habrá de adelantarse la explotación

minera y su área anexa, se rige de conformidad con las siguientes condiciones, las cuales deberá conocer también el dueño del área superficiaria, para lo cual la parte CONTRATANTE, entregará estas condiciones al dueño o poseedor del área o superficie donde se explote la mina junto con el área anexa para el montaje, y entregará a la sociedad EXPLOTADORA un documento suscrito por el dueño o poseedor del área antedicha, en el que acepta las siguientes condiciones, que también acepta la parte CONTRATANTE:

a) Todos los elementos son propiedad de AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. y aquellos que deban ser fijados en el suelo, no se entienden como inmuebles por destinación, accesión o adhesión, cualquiera sea la denominación, sin que esta enumeración resulte limitativa, y desde ahora los propietarios del inmueble y la parte CONTRATANTE en este documento reconocen tal circunstancia.

   De esta forma, expresamente los señores ARANGO y el dueño o poseedor del área superficiaria donde se ubique la infraestructura descrita, reconocen el dominio, posesión, o mera tenencia de todos los equipos, maquinaria, elementos necesarios para la explotación minera como de AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. y se abstendrá de alegar que tales bienes hacen parte del inmueble de su propiedad o que son mejora del mismo.

b) AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. o quien haga sus veces, podrá en cualquier momento y sin consentimiento previo del dueño o poseedor del área superficiaria o la parte CONTRATANTE, de sus herederos o causahabientes, o de cualquier otro comunero o copropietario del predio: enajenar, disponer, alterar, reponer, cambiar, gravar o realizar cualquier otro acto dispositivo en relación con todos los bienes que hagan parte de la infraestructura necesaria para la explotación de la mina.

c) Las partes podrán elaborar un inventario de los bienes que hagan parte de la infraestructura que aporta AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. para la explotación de la mina y el beneficio de los materiales objeto de la explotación minera, con el fin de identificar los bienes que hacen parte de la infraestructura para la explotación minera. No obstante, si por omisión, algún elemento no aparece en el inventario inicial o inventario adicional de la explotación minera a que hace referencia este párrafo, la parte CONTRATANTE y el dueño del área superficiaria, sus causahabientes, así como los demás copropietarios del inmueble y sus causahabientes reconocen desde ahora la propiedad, tenencia o posesión de tales bienes o elementos, como de AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. o quien haga sus veces.

d) En caso de embargo y secuestro o cualquier otra medida cautelar sobre el inmueble en el cual se desarrolle la explotación minera y se encuentre la infraestructura puesta por AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. o quien haga sus veces, los propietarios del inmueble o el afectado con la medida cautelar, se obliga a indicar durante la diligencia en que se perfeccione la medida cautelar, que los bienes destinados a la explotación son de AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. o quien haga sus veces y se obliga a dar noticia inmediata a AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. o quien haga sus veces, por escrito dirigido por correo electrónico, fax y por correo certificado, el mismo día en que se realice la diligencia que afecte a los bienes, con el fin de que AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. o quien haga sus veces ejerzan el derecho de defensa respectivo, en el proceso pertinente.

Si por culpa de la parte CONTRATANTE o del dueño o poseedor del del inmueble , sus causahebientes o cualquiera de los comuneros del inmueble, no se diere noticia oportuna sobre la medida cautelar o cualquier otro evento que pueda afectar el dominio, tenencia o posesión de los bienes objeto de la explotación minera por parte de AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. o quien haga sus veces, la parte CONTRATANTE, responderá por el valor de los bienes afectados, el lucro cesante y daño emergente, sin necesidad de constituirlo en mora, ni requerimiento judicial o extrajudicial.

e) La parte CONTRATANTE, mediante el presente documento manifiesta que se abstendrá, por sí o por interpuesta persona, de constituir un establecimiento de comercio del que haga parte total o parcialmente el inmueble en el que habrá de instalarse la infraestructura necesaria para la explotación de la mina, dispuesta por AGREGADOS Y PROYECTOS MINEROS DE ANTIOQUIA S.A. o quien haga sus veces.

f) En caso de incumplimiento total o parcial, de las obligaciones contenidas en esta cláusula décima a cargo de la parte CONTRATANTE, pagará como cláusula penal por este incumplimiento la suma de mil (1000) salarios mínimos mensuales legales vigentes a la fecha del pago, sin perjuicio del cumplimiento de la obligación principal, y no será necesario: requerimiento judicial o extrajudicial, ni constituir en mora al incumplido

CLAUSULA DECIMA PRIMERA. DURACION.- El presente contrato tiene una vigencia de 15 años contados partir de la fecha de la firma del mismo, término prorrogable con anticipación de seis (6) meses a la fecha de terminación, siempre que medie acuerdo escrito entre las partes.

PARÁGRAFO PRIMERO. Siempre debe mediar acuerdo escrito entre las partes para la prorroga o renovación del presente contrato, en todo caso cualquier prorroga o renovación que se acuerde será como mínimo por un periodo de cinco (5) años adicionales, cada vez que haya un vencimiento de cada periodo.

PARÁGRAFO SEGUNDO. Periodo de desmonte. Una vez haya terminado el contrato, por cualquier causa, en su periodo inicial o en cualquiera de sus prorrogas, habrá un periodo en que no se realizarán explotaciones, el cual no podrá ser superior a nueve (9) meses. Durante este periodo de tiempo se procederá a desmontar la maquinaria y equipos y LA EXPLOTADORA pagará a La CONTRATANTE una suma de DOS MILLONES DE PESOS MCTE ($ 2.000.000), ajustados con el IPC anual, pagaderos mes vencido durante los primeros cinco (5) días de cada mes, por concepto de arrendamiento temporal. En ningún caso el periodo de desmonte de la planta, será superior a nueve (9) meses contados a partir de la fecha en que se termine el contrato.

PARAGRAFO TERCERO. Retiro de bienes. A la terminación del contrato, durante el periodo de desmonte, LA EXPLOTADORA se obliga a retirar las obras, edificaciones y bienes existentes, y cualquiera otra que vaya en detrimento del predio

CLAUSULA DECIMA SEGUNDA. COSTOS.- Todos los costos de la explotación y procesamiento del material, al igual que los suministros de energía, acueducto y demás servicios públicos y la mano de obra requerida, serán asumidos por LA EXPLOTADORA incluidos los impuestos especiales, tasas, regalías y demás contribuciones relacionadas con la actividad minera, exceptuando el pasivo ambiental.

CLAUSULA DECIMA TERCERA. CAUSALES DE TERMINACION. Constituyen justas causas para dar por terminado el presente contrato las siguientes: a) La expiración del término pactado inicialmente o de sus prórrogas. b) La violación total o parcial de cualquiera de las cláusulas de este contrato. c) La suspensión definitiva de la explotación de materiales pétreos de la cantera LAS NIEVES, ordeneda por cualquier autoridad nacional, departamental o municipal o cualquier entidad oficial competente. d) La suspensión de actividades de LA EXPLOTADORA en razón del agotamiento de los materiales pétreos objeto de explotación, de acuerdo con los términos del presente contrato. e) La suspensión de actividades de LA EXPLOTADORA por la ocurrencia de circunstancias económicas que hagan excesivamente gravoso el cumplimiento del contrato. f) Las demás previstas en la ley.

CLAUSULA DECIMA CUARTA. CLAUSULA COMPROMISORIA. Será sometida decisión arbitral, con el lleno de los requisitos legales, cualquier diferencia que ocurriere entre LA CONTRATANTE y LA EXPLOTADORA, por razón de incumplimiento, aplicación, desarrollo, liquidación e interpretación del presente contrato, durante su ejecución o a su expiración. Al efecto las partes conjuntamente nombrarán, tres árbitros para que integren un tribunal. Si no hubiere acuerdo para la designación de uno o de la totalidad de árbitros, el nombramiento correspondiente lo hará la Cámara de Comercio de Medellín ante solicitud escrita por cualquiera de las partes. En dicho escrito deberán indicarse los puntos materia de este arbitraje; los árbitros definirán en derecho los puntos sometidos a su decisión. El arbitraje será en derecho y no podrá tener una duración mayor a seis meses. Los honorarios de los árbitros se regirán por la tarifa de honorarios para árbitros de la Cámara de Comercio de Medellín, si esta no tuviere tarifas, la de árbitros de la Cámara de Comercio de Bogotá.

CLAUSULA DECIMA QUINTA. DOMICILIO.- Las partes designan la ciudad de Medellín como domicilio contractual para todos los efectos legales.

CLAUSULA DECIMA SEXTA. CESION Y SUBCONTRATACION OPERATIVA DEL CONTRATO. La cesión y subcontratación de la totalidad de la operación del presente contrato requerirá para su validez de la aprobación previa de la otra parte contratante.

CLAUSULA DECIMA SEPTIMA.- VIGENCIA.- El presente contrato tendra vigencia siempre y cuando la parte contratante obtenga el contrato de concesión minera, debidamente registrado en el registro minero ante la autoridad competente, de lo contrario, este contrato no podrá entrar en vigencia.

Firmado en la ciudad de Medellín, a los 29 dias del mes de Noviembre de 2006, ante dos testigos, en doble original, cada uno de los cuales conservarán las partes.

LA CONTRATANTE:

c.c. No. 3 518 890 Jamilla.

c.c. No. 3.518.605

LA EXPLOTADORA:

c.c. No. 19.280263 Bgt.

CANTERA LAS NIEVES

MOVIMIENTO EN MASA

APMA
Agregados y Proyectos Mineros de Antioquia S.A.
Gravas Trituradas, Arena Triturada, Base y Sub-base
// Normas NTC 174 e INVIAS.

INFORME TÉCNICO FINAL

ASPECTOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS
P016-271 APMA CANTERA LAS NIEVES_DESLIZAMIENTO

GRUPO SOLUM
soluciones geotécnicas s.a.s

MEDELLÍN-COLOMBIA

MAYO DE 2017

LISTA DE DISTRIBUCIÓN

Copias de este documento han sido entregadas a la empresa APMA S.A. según se indica a continuación. Las observaciones que resulten de su revisión y aplicación deben ser informadas a esta oficina para proceder a realizar sus modificaciones:

DEPENDENCIA	**N° de Copias**
APMA S.A.	1
GRUPO SOLUM S.A.S.	1

APMA S.A. es responsable de administrar la copia correspondiente a este documento dentro de los grupos de trabajo.

GRUPO SOLUM soluciones geotécnicas s.a.s

Teléfono: (+57) (4) 411 45 24
Celular: (+57) (4) 317 404 94 08
Carrera 83 Nº 32EE - 44
Barrio Laureles La Castellana
Email: comercial@gruposolum.co
www.gruposolum.co
Medellín - Colombia

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Índice Revisión	Capítulo modificado	Fecha de modificación	Observaciones
0			Versión Original

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

Título Documento:		INFORME TÉCNICO FINAL				
Documento N°: **P016-271 APMA CANTERA LAS NIEVES_DESLIZAMIENTO**						
APROBACIÓN	Número de Revisión		0	1	2	3
	Elaboró	Nombre	Norbey Arcila Quintero / José Luís Valásquez Serna			
		M.P	05223-332274 ANT / 05202-278314 ANT			
		Firma				
		Fecha				
	Revisó	Nombre	Carlos Eduardo Parra Vargas			
		M.P	1149 cpg			
		Firma				
		Fecha				
	Aprobó	Nombre				
		M.P				
		Firma				
		Fecha				

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN 1
2. GENERALIDADES Y ASPECTOS REGIONALES 1
2.1 LOCALIZACIÓN 1
2.2 GEOLOGÍA REGIONAL 2
2.2.1 Grupo El Retiro. 3
2.2.2 Depósitos de Vertiente 4
2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL 6
2.3.1 Falla La Acuarela 6
2.3.2 Falla El Salto 8
2.3.3 Lineamientos 8
2.4 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL 8
2.4.1 ESCS - Escarpes Semicirculares Superiores 8
2.4.2 SSDPI - Superficies Suaves en Depósitos Poco Incisados 8
2.4.3 Colinas en Suelo Residual 8
2.4.4 L – Lomos 9
2.5 AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA 9
2.6 DELIMITACIÓN DE LA UMI 10
3. ASPECTOS GEOLÓGICOS LOCALES 13
3.1 GNEIS DE LA CEJA 13
3.2 ANFIBOLITAS DE MEDELLÍN 13
3.3 DEPÓSITOS DE VERTIENTE 17
4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS LOCALES 20
4.1 RELIEVE – ALTURAS 20
4.2 MAPA DE PENDIENTES. 20
4.3 MAPA GEOMORFOLÓGICO 20
4.4 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE PROCESOS MORFODINÁMICOS 24

4.5 DEFINICIÓN DE CAMBIOS TOPOGRÁFICOS EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO. ... 27
5. SUSCEPTIBILIDAD A LA AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA 30
5.1 GENERACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS. 30
5.1.1 Procesos morfodinámicos 30
5.1.2 Geología y formaciones superficiales 30
5.1.3 Geomorfología 31
5.1.4 Coberturas terrestres 31
5.1.5 Morfometría 37
5.1.6 Generación de mapa de susceptibilidad a la amenaza por movimientos en masa……. 43
6. ESTUDIO HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO E HIDROGEOLÓGICO 49
6.1 METODOLOGÍA 49
6.2 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE, Y TRABAJO DE CAMPO 49
6.2.1 VISITA 16 DE NOVIEMBRE DEL 2016 50
6.3 VISITA 23 DE NOVIEMBRE DEL 2016 54
6.4 COMPONENTES HIDROLÓGICO 58
6.4.1 INFORMACIÓN HIDROLÓGICA BÁSICA ADQUIRIDA 58
6.4.2 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA 58
6.4.3 RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES 59
6.5 VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA TEMPERATURA. 62
6.6 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS CUENCAS 62
6.7 CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN - FRECUENCIA 66
6.7.1 CÁLCULO DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN 67
6.7.2 INTENSIDADES DE DISEÑO 71
6.8 DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN 74
6.9 DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN EL ÁREA 74
6.10 CAUDAL MEDIO 75
6.10.1 MEDICIONES EN CAMPO 75
6.10.2 CAUDALES MÁXIMOS POR MÉTODOS SINTÉTICOS 78

6.10.3 PARÁMETROS BÁSICOS PARA LOS MÉTODOS SINTÉTICOS 78
6.10.4 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA 78
6.10.5 DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN EL TIEMPO 81
6.10.6 PRECIPITACIONES EFECTIVAS 81
6.10.7 MODELO HIDROGRAMA UNITARIO DE WILLIAMS & HANN 85
6.10.8 MÉTODO DEL SOIL CONSERVATION SERVICE (S.C.S) 87
6.10.9 MODELO HIDROGRAMA UNITARIO DE SNYDER 88
6.10.10 RESULTADOS DE CAUDALES OBTENIDOS POR LOS MÉTODOS SINTÉTICOS 91
6.11 MÉTODO RACIONAL 92
6.11.1 RESULTADOS DE CAUDALES OBTENIDOS POR EL MÉTODO RACIONAL 96
6.12 CAUDALES SELECCIONADOS 96
6.13 HIDROGEOLOGÍA 99
6.13.1 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 99
6.13.2 NIVELES FREÁTICOS 100
6.14 ESTUDIOS HIDRÁULICOS 101
6.14.1 OBRAS PROYECTADAS 103
6.14.2 SOLUCIONES PROPUESTAS 103
6.14.3 EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL CANAL PROYECTADO EN LA QUEBRADA SURAMÉRICA 103
6.14.4 DISEÑO DE LOS SISTEMAS ESCALONADOS 106
6.14.5 MODELAMIENTO DEL CANAL PROYECTADO. 111
6.14.6 CÁLCULO DEL BORDE LIBRE (B.L) TEÓRICO EN EL CANAL PROYECTADO 122
7. COMPONENTE GEOTÉCNICO 123
7.1 ANÁLISIS GEOTÉCNICO ZONA DEL DESLIZAMIENTO. 123
7.1.1 METODOLOGÍA ESTABILIDAD DE TALUDES 123
7.1.2 LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA 124
7.1.3 ENSAYOS DE LABORATORIO 131
7.1.4 PERFILES ESTRATIGRÁFICOS 132
7.1.5 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS 132

7.1.6 RESULTADOS DE ESTABILIDAD 132
7.2 ANÁLISIS GEOTÉCNICO FRENTE DE EXPLOTACIÓN. 143
7.2.1 METODOLOGÍA ANÁLISIS CINEMÁTICO 143
7.2.2 Clasificaciones geomecánicas 146
7.2.3 Análisis de estabilidad 148
7.2.4 Análisis cinemático 150
8. SISMICIDAD 173
9. ANÁLISIS VOLADURAS EN LA CANTERA LAS NIEVES 183
9.1 MONITOREO DE VOLADURAS 185
9.2 ESPECTRO DE RESPUESTA PARA LOS SUELO DEL MUNICIPIO DEL VALLE DE ABURRÁ 196
10. TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS 198
11. ANÁLISIS DEL DESLIZAMIENTO 200
12. CONCLUSIONES 202
12.1 GEOLOGÍA 202
12.2 HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO E HIDROGEOLÓGICO 203
12.3 GEOTECNIA 204
12.3.1 CONCLUSIONES ANÁLISIS GEOTÉCNICO ZONA DE DESLIZAMIENTOS. 204
12.3.2 CONCLUSIONES FRENTE DE EXPLOTACIÓN 205
12.4 ANÁLISIS VOLADURAS EN LA CANTERA LAS NIEVES 205
12.5 CONCLUSIONES DEL DESLIZAMIENTO 205
13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 208
ANEXO 1. RESULTADOS DE LABORATORIO 210

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1. Ubicación del deslizamiento - Autopista Medellín – Bogotá (km 12+200). 2
Figura 2-2. Litología zona de deslizamiento. Elaboración propia (Base: AMVA, 2006). 3

Figura 2-3. Estructuras regionales zona de estudio (Tomado y modificado de AMVA, 2006). 7

Figura 2-4. Unidades geomorfológicas zona de deslizamiento (Modificado de SGC, 2014a). 9

Figura 2-5. Amenaza por Movimientos en Masa Plancha 147. (Modificado AMVA 2009). 10

Figura 2-6 Delimitación de la UMI en la zona 12

Figura 3-1. Geología Local Movimiento en Masa APMA. 14

Figura 3-2. Ilustraciones Gneis de la Ceja. 15

Figura 3-3. Familias de diaclasas Gneis de la Ceja. 15

Figura 3-4. Ilustración Anfibolitas de Medellín. 16

Figura 3-5. Familia de diaclasas Anfibolitas de Medellín. 16

Figura 3-6. Ilustración composición Depósitos de Vertientes. 18

Figura 3-7. Contacto depositacional de los depósitos de vertiente. 18

Figura 3-8. Contactos depositacionales QFIII. 19

Figura 3-9. Depósitos de Flujo QFIV. 19

Figura 4-1. Mapa de Alturas Movimiento en Masa. 21

Figura 4-2. Mapa de Pendientes Movimiento en Masa. 22

Figura 4-3. Geomorfología Local Movimiento en Masa 23

Figura 4-4. Mapa procesos morfodinámicos previos al deslizamiento. 25

Figura 4-5. Mapa procesos morfodinámicos posteriores al deslizamiento 26

Figura 4-6. Mapa de variación altimétrica posterior al deslizamiento. 29

Figura 4-7. Mapa de variación volumétrica posterior al deslizamiento 29

Figura 5-1. Análisis de procesos Morfodinámicos. 31

Figura 5-2. Formaciones superficiales y procesos Morfodinámicos. 32

Figura 5-3. Geomorfología y procesos Morfodinámicos. 33

Figura 5-4. Coberturas terrestres y Procesos Morfodinámicos. 34

Figura 5-5. Profundidad efectiva. 35

Figura 5-6. Drenaje profundo. 36

Figura 5-7. Número de Estratos. 37

Figura 5-8. Pendientes y cicatrices. 39

Figura 5-9. Rugosidad. 41

Figura 5-10. Curvatura. 42

Figura 5-11. Relieve Relativo. 43

Figura 5-12 Porcentaje acumulado de los procesos morfodinámicos Vs Porcentaje acumulado. 45

Figura 5-13. Susceptibilidad a movimientos en masa. 46

Figura 5-14. Procedimiento – Susceptibilidad. 48

Figura 6-1. Quebrada El Atajo, justo antes de entrar al "Box Culvert" de la vía Medellín-Bogotá. 51

Figura 6-2. Sitio de entrega de la quebrada Suramérica a la quebrada El Atajo. 51

Figura 6-3: Conducción provisional de la quebrada Suramérica, donde se observa el aumento de turbiedad por el transporte de sedimentos. 51

Figura 6-4: Conducción provisional de la quebrada Suramérica, donde se observa el aumento de turbiedad por el transporte de sedimentos. 51

Figura 6-5. Sedimentador 6. En esta obra descarga la qda. Suramérica antes de entregar a la confluencia (requiere mantenimiento). 52

Figura 6-6. Qda. Suramérica al cruzar la vía de paso hacia la cantera, el agua pasa sobre la vía, no presenta obra. 52

Figura 6-7. Qda. Suramérica al cruzar la vía de paso que conduce a la zona de derrumbe en la parte alta. 52

Figura 6-8. Descarga de la qda. Suramérica al cruzar la vía Medellín-Bogotá, esto en su alineamiento natural antes del derrumbe. 52

Figura 6-9. Zona de movimiento de masa, vista desde corona de inicio de movimiento. 53

Figura 6-10. Escurrimiento de afloramientos por la zona del derrumbe. 53

Figura 6-11. Zona de movimiento de masa, vista desde la vía que conduce de la cantera hasta el sitio donde se obtiene la roca. 53

Figura 6-12. Zona de movimiento de masa, sitio donde se descargan las aguas captadas de los afloramientos. 53

Figura 6-13. Zona de movimiento de masa, conducción de aguas captadas de los afloramientos. 54

Figura 6-14. Zona de movimiento de masa, sitio de captación de aguas que escurren por la ladera y que son de afloramientos. 54

Figura 6-15. Localización de puntos de aforo y estación pluviométrica. 55

Figura 6-16. Pluviómetro. 55

Figura 6-17. Muestreador de agua lluvia. 55

Figura 6-18. Datos de precipitación (mm) en meses de noviembre y diciembre de 2017. . 56

Figura 6-19. Aforos de afloramientos. 56

Figura 6-20. Muestreo de calidad de agua de afloramientos. 57

Figura 6-21. Punto de aforo 4. 58

Figura 6-22. Ubicación de las estaciones pluviográficas cercanas al sitio de estudio. 59

Figura 6-23. Distribución de la precipitación mensual para la estación Chorrillos (PM). 60

Figura 6-24. Isoyetas de la precipitación media anual con la ubicación de las cuencas en estudio. 61

Figura 6-25. Mapa de Temperatura Media Anual en las cuencas en estudio. 63

Figura 6-26. Mapa de delimitación de las cuencas. 64

Figura 6-27. Modelo digital del terreno (MDT). 65

Figura 6-28. Mapa de pendientes 66

Figura 6-29. Curvas I-D-F de la estación Chorrillos. 67

Figura 6-30. Tiempos de concentración obtenidos, cuenca qda. Suramérica, hasta el box culvert 1.5 x1.5 m 72

Figura 6-31. Tiempos de concentración obtenidos, cuenca qda. Suramérica, hasta el box culvert 2.0 x1.5 m 72

Figura 6-32. Tiempos de concentración obtenidos, cuenca El Atajo. 73

Figura 6-33. Punto de ubicación para aforo sobre la quebrada Suramérica. 76

Figura 6-34. Cuenca hasta el sitio de aforo sobre la quebrada Suramérica. 76

Figura 6-35. (a) Qda Suramérica. Punto de intersección con la vía, que atraviesa provisionalmente sobre esta. Sitio de aforo.(b) Qda Suramérica al cruzar la vía de paso hacia la cantera. El agua pasa sobre la vía, no presenta obra. 77

Figura 6-36. (a) Adecuación del sitio para realizar medición de caudal. (b) Instante del aforo volumétrico realizado en la quebrada Suramérica. 77

Figura 6-37. Mapa de usos del suelo en las cuencas de estudio. 80

Figura 6-38. Distribución de la lluvia en tormentas fuertes estación Chorrillos, primer cuartil. 82

Figura 6-39. Hietogramas de precipitación efectiva y total para la cuenca qda. Suramérica, hasta “box culvert” de 1.5 x 1.5 m, para un suelo Tipo B y C. 83

Figura 6-40. Hietogramas de precipitación efectiva y total para la cuenca qda. Suramérica, hasta “box culvert” de 2.0 x 1.5 m, para un suelo Tipo B y C. 84

Figura 6-41. Hietogramas de precipitación efectiva y total para la cuenca qda. El Atajo para un suelo Tipo B y C. 85

Figura 6-42. Hidrograma Unitario Adimensional Propuesto por Williams - Hann. 86

Figura 6-43. Parámetros de la cuenca, B vs. n 87

Figura 6-44. n vs k/tp. 87

Figura 6-45. Hidrograma unitario Adimensional Propuesto por el SCS 88

Figura 6-46. Hidrograma Unitario Adimensional de Snyder. 91

Figura 6-47. Caudales de creciente, qda. Suramérica, hasta “box culvert” 1.5 m x 1.5 m. 98

Figura 6-48. Caudales de creciente, qda. Suramérica, hasta box culvert de 2.0 x 1.5 m. 98

Figura 6-49. Caudales de creciente, qda. El Atajo. 99

Figura 6-50. Ubicación en planta de la sección de corte AA. 102

Figura 6-51. Perfil longitudinal de la sección de corte AA. 102

Figura 6-52. Resultado del canal en la quebrada Suramérica (Hidraflow Express). 105

Figura 6-53. Comportamiento del régimen de flujo rasante en un canal escalonado. 107

Figura 6-54. Esquema ilustrativo de la sobreelevación en curva. 109

Figura 6-55. Clasificación de las condiciones de flujo para el canal escalonado. Sector 1 y Tramo 2. 110

Figura 6-56. Esquema base en planta bajo condiciones proyectadas de la quebrada Suramérica. 113

Figura 6-57. Perfil de flujo Tr = 25 años para las condiciones proyectadas en la quebrada Suramérica. 113

Figura 6-58. Quebrada Suramérica. Sección 0+283.338 inicio del canal del sector 1 y tramo 2, canal de sección rectangular. Tr = 25 años. 114

Figura 6-59. Quebrada Suramérica. Sección aguas arriba del “*box culvert*” de 1.5 x 1.5 m, Tr = 25 años. 114

Figura 6-60. Quebrada Suramérica. Sección aguas abajo del "box culvert" de 1.5 x 1.5 m, Tr = 25 años. 115

Figura 6-61. Quebrada Suramérica. Sección aguas arriba del "*box culvert"* de 2.0 x 1.5 m, Tr = 25 años. 115

Figura 6-62. Quebrada Suramérica. Sección aguas abajo del "box culvert" de 2.0 x 1.5 m, Tr = 25 años. 116

Figura 6-63. Quebrada Suramérica. Sección 0+82.5 final del canal del sector 3 y tramo 2, canal de sección rectangular. Tr = 25 años. 116

Figura 7-1. Modelo de capas para LRS1. 126

Figura 7-2. Modelo de capas para LRS2. 127

Figura 7-3. Modelo de capas para LRS3. 127

Figura 7-4. Modelo de capas para LRS4. 128

Figura 7-5. Modelo de capas para LRS5. 128

Figura 7-6. Modelo de capas para LRS6. 129

Figura 7-7. Modelo de capas para LRS7. 129

Figura 7-8. Modelo de capas para LRS8. 130

Figura 7-9. Modelo de capas para LRS9. 130

Figura 7-10. Modelo de capas para LRS10. 131

Figura 7-11 Localización de secciones de analisis zona del deslizamiento 133

Figura 7-12 Perfiles estratigráficos Sección A- Antes del deslizamiento (A) Condición Actual (B) 133

Figura 7-13 Análisis de sensibilidad parámetros del depósito de vertiente - condición Estática - NF Alto 134

Figura 7-14 Retro análisis deslizamiento en condiciones Estáticas - NF Alto 134

Figura 7-15 Retro análisis deslizamiento en condiciones seudo-estáticas - NF Alto 135

Figura 7-16 Correlación ángulo de fricción interna y el SPT 136

Figura 7-17 Topografía cantera Las Nieves actualizada a abril de 2017 139

Figura 7-18 Estado actual del deslizamiento - condición estática - NF Alto 141

Figura 7-19 Estado actual del deslizamiento - condición estática - NF Medio 142

Figura 7-20 Estado actual del deslizamiento - condición seudo-estática - NF Alto 142

Figura 7-21 Estado actual del deslizamiento - condición estática - NF Alto-talud entre cotas 2113 m.s.n.m y la 2126 m.s.n.m. pendiente 1,0H:1,0V. 143
Figura 7-22: Falla Planar. Esquema del proceso del movimiento en masa. 144
Figura 7-23: Falla de cuña. Esquema del proceso del movimiento en masa. 144
Figura 7-24: Falla Esférica. Esquema del proceso del movimiento en masa. 145
Figura 7-25: Falla por volteo simple. Esquema del proceso del movimiento en masa. 145
Figura 7-26: Falla por volteo flexión. Esquema del proceso del movimiento en masa. 146
Figura 7-27: Análisis de estabilidad. Condición estática 149
Figura 7-28. Análisis de estabilidad. Condición seudo estática 149
Figura 7-29. Proyección estereográfica de los datos estructurales 151
Figura 7-30. Tendencias estructurales 151
Figura 7-31. Talud 1. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla planar 152
Figura 7-32. Talud 1. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla planar 153
Figura 7-33. Talud 1. Análisis de falla planar 153
Figura 7-34. Talud 1. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por cuña 154
Figura 7-35. Talud 1. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por cuña 155
Figura 7-36. Talud 1. Análisis de falla por cuña 155
Figura 7-37. Talud 1. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por volteo flexional 156
Figura 7-38. Talud 1. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por volteo flexional 157
Figura 7-39. Talud 1. Análisis de falla por volteo flexional y volteo directo. 157
Figura 7-40. Talud 1. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por volteo directo. 158
Figura 7-41. Talud 1. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por volteo directo 159
Figura 7-42. Talud 2. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla planar 160
Figura 7-43. Talud 2. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla planar 160
Figura 7-44. Talud 2. Análisis de falla planar 161
Figura 7-45 161
Figura 7-46. Talud 2. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por cuña 162
Figura 7-47. Talud 2. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por cuña 162
Figura 7-48. Talud 2. Análisis de falla por cuña 163

Figura 7-49. Talud 2. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por volteo flexional 164

Figura 7-50. Talud 2. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por volteo flexional.... 164

Figura 7-51. Talud 2. Análisis de falla por volteo flexional y volteo directo. 165

Figura 7-52 Talud 2. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por volteo directo..... 166

Figura 7-53. Talud 2. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por volteo directo..... 166

Figura 7-54. Talud 3. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla planar..... 167

Figura 7-55. Talud 3. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla planar..... 167

Figura 7-56. Talud 3. Análisis de falla planar..... 168

Figura 7-57. Talud 3. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por cuña..... 169

Figura 7-58. Talud 3. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por cuña..... 169

Figura 7-59. Talud 3. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por volteo flexional 170

Figura 7-60. Talud 3. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por volteo flexional.... 171

Figura 7-61. Talud 3. Análisis de falla por volteo flexional y volteo directo. 171

Figura 7-62. Talud 3. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por volteo directo..... 172

Figura 7-63. Talud 3. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por volteo directo..... 172

Figura 8-1. Mapa de Amenaza sísmica Municipio de Copacabana. Tomado y modificado de SGC (2017b). 173

Figura 8-2. Sismicidad y zonas sismogénicas superficiales (Tomado de AMVA, 2006)..... 175

Figura 8-3. Sismicidad histórica en la zona del Departamento de Antioquia (Tomado y modificado de AMVA, 2006)..... 176

Figura 8-4. Amenaza sísmica a nivel Municipal para PGA y para un período de retorno de 9,3 años (Tomado y modificado de AMVA, 2006). 179

Figura 8-5. Amenaza sísmica a nivel Municipal para PGA y para un período de retorno de 475 años (Tomado y modificado de AMVA, 2006). 180

Figura 8-6. Perímetro de 25 y 75 km aprox. con sismos cercanos al Municipio de Copacabana. Tomado y modificado de SIATA (2017). 181

Figura 8-7. Mapa del detonante sismo para la plancha 147 – Medellín Oriental (Tomado y modificado de SGC (2014c). 183

Figura 9-1 Puntos de monitoreo aledaños a la cantera Las Nieves. Tomado de Orica (2015). 185

Figura 9-2 Registro sismográfico voladura 26-02-2015. Punto de monitoreo 1. Tomado de Orica (2015). 187

Figura 9-3 Espectros de Fourier voladura 26-02-2015. Punto de monitoreo 1. Tomado de Orica (2015). 188

Figura 9-4 Registro sismográfico voladura 07-05-2015. Punto de monitoreo 1. Tomado de Orica (2015). 190

Figura 9-5 Espectros de Fourier voladura 07-05-2015. Punto de monitoreo 1. Tomado de Orica (2015). 191

Figura 9-6 Registro sismográfico voladura 03-09-2015. Punto de monitoreo 1. Tomado de Orica (2015). 193

Figura 9-7 Espectros de Fourier voladura 03-09-2015. Punto de monitoreo 1. Tomado de Orica (2015). 194

Figura 9-8 Espectro de respuesta máxima y mínima para el perfil de flujo sobre residual de anfibolita de Medellín. Tomado de AMVA (2006). 197

Figura 10-1. Esquema de localización de líneas geoeléctricas. 198

Figura 10-2. Tomografías líneas 1 a la 4. Tomado de Tropical (2016). 199

Figura 10-3. Tomografías líneas 5 a la 9. Tomado de Tropical (2016). 199

LISTA DE TABLAS

Tabla 4-1: Lista de fotografía Aéreas Usadas. 24

Tabla 4-2: Lista Bases Topográficas Usadas. 24

Tabla 5-1. Categorías para definir la Profundidad efectiva. 34

Tabla 5-2. Categorías para definir el Drenaje Profundo. 35

Tabla 5-3. Número de estratos por tipo de cobertura. 36

Tabla 5-4. Definición de rangos de pendientes. 38

Tabla 5-5. Definición de intervalos de rugosidad. 40

Tabla 5-6. Definición de intervalos de curvatura. 41

Tabla 5-7. Rangos de clasificación del relieve relativo. 42

Tabla 5-8. Rangos y categorias de Susceptibilidad. 45

Tabla 6-1. Aforos de los afloramientos en el área de estudio. 57

Tabla 6-2: Estaciones climatológicas utilizadas 58

Tabla 6-3. Precipitación media mensual para la estación analizada. 60

Tabla 6-4. Porcentaje de influencia de las estaciones en las cuencas de la quebrada Suramérica y El Atajo. 61

Tabla 6-5. Coordenadas de salida de la cuenca. 63

Tabla 6-6. Características morfométricas de las cuencas en estudio. 64

Tabla 6-7. Parámetros de las hipérbolas de la estación de influencia en las cuencas 66

Tabla 6-8. Cálculo del tiempo de concentración de la cuenca quebradada Suramérica, hasta el box culvert 1.5 x1.5 m. 69

Tabla 6-9. Cálculo del tiempo de concentración de la cuenca Qda. Suramérica, hasta el box culvert 2.0 x1.5 m. 70

Tabla 6-10. Cálculo del tiempo de concentración de la cuenca El Atajo 70

Tabla 6-11. Velocidad promedio del agua en función de la pendiente del cauce (Tomado de Manual de drenaje para carreteras del INVIAS). 73

Tabla 6-12. Tiempos de concentración y velocidad media para las cuencas en estudio. 74

Tabla 6-13. Intensidad (mm/h). 74

Tabla 6-14. Precipitaciones (mm). 74

Tabla 6-15. Caudal medio con factor de escorrentía de 0.5 75

Tabla 6-16. Resultados del aforo en la quebrada Suramérica. 77

Tabla 6-17. Caudal medio con factor de escorrentía de 0.5, hasta sitio de aforo. 78

Tabla 6-18. Descripción de los grupos Hidrológicos del suelo. 79

Tabla 6-19. Porcentaje de grupos de suelos en las cuencas en estudio. 80

Tabla 6-20. Usos del suelo y números de curva de las cuencas en estudio. 81

Tabla 6-21. Caudales de crecientes para la cuenca en estudio, determinados por Métodos sintéticos. 91

Tabla 6-22. Coeficientes de escorrentía para los diferentes períodos de retorno obtenidos mediante la metodología del número de curva, cuenca qda. Suramérica, hasta "box culvert" de 1.5 x 1.5 m. 94

Tabla 6-23. Coeficientes de escorrentía para los diferentes períodos de retorno obtenidos mediante la metodología del número de curva, cuenca qda. Suramérica, hasta "box culvert" de 2.0 x 1.5 m. 94

Tabla 6-24. Coeficientes de escorrentía para los diferentes períodos de retorno obtenidos mediante la metodología del número de curva, cuenca qda. El Atajo. 94

Tabla 6-25. Cálculo del coeficiente de escorrentía, cuenca qda. Suramérica, hasta "box culvert" de 1.5 x 1.5 m. 95

Tabla 6-26. Cálculo del coeficiente de escorrentía, cuenca qda. Suramérica, hasta "box culvert" de 2.0 x 1.5 m. 95

Tabla 6-27. Cálculo del coeficiente de escorrentía, cuenca qda. El Atajo. 95

Tabla 6-28. Caudales de crecientes en m^3/s para las cuencas en estudio, determinados por el método Racional. 96

Tabla 6-29. Resumen de caudales obtenidos por las metodologías utilizadas (m^3/s), cuenca qda. Suramérica hasta "box culvert" de 1.5 x 1.5 m. 96

Tabla 6-30. Resumen de caudales obtenidos por las metodologías utilizadas (m^3/s), cuenca qda. Suramérica hasta "box culvert" de 2.0 x 1.5 m. 97

Tabla 6-31. Resumen de caudales obtenidos por las metodologías utilizadas (m^3/s), cuenca qda. El Atajo. 97

Tabla 6-32. Caudales seleccionados en las cuencas en estudio. 97

Tabla 6-33. Tramos del canal en la quebrada Suramérica. 104

Tabla 6-34. Valores utilizados en la evaluación hidráulica de canales con pendiente menor al 5 %. 105

Tabla 6-35. Resultado de la evaluación hidráulica de los tramos del canal con pendiente menor al 5% 106

Tabla 6-36. Cálculo del canal escalonado del Sector 1 y Tramo 2. 109

Tabla 6-37. Cálculo de la rugosidad equivalente en el canal escalonado. 110

Tabla 6-38. Resultados de sobreelevación en curva en el sector 1 y tramo 2. 110

Tabla 6-39. Resumen de la evaluación hidráulica de los canales escalonados. 110

Tabla 6-40. Resultados de la evaluación de la quebrada Suramérica en la condición proyectada para la creciente de 25 años de período de retorno. 117

Tabla 6-41. Bordes Libres Propuestos – *Central Board of Irrigation and Power.* 122

Tabla 6-42. Borde Libre Teórico (B. L). 122

Tabla 7-1. Factores de seguridad para el caso estático y dinámico (US Army Corps of Engineers, octubre 2003). 124

Tabla 7-2. Coordenadas de las líneas de refracción sísmica. 125

Tabla 7-3. Resumen de ensayos de laboratorio 131

Tabla 7-4 Ángulo de fricción para diferentes tipos de materiales 136

Tabla 7-5 Relación de valores para parámetros de resistencia materiales friccionantes.. 136

Tabla 7-6 Valores propuestos por Grundbau Taschenbuch(1980) 137

Tabla 7-7 Parámetros geotécnicos para materiales grueso- granulares..... 137

Tabla 7-8 Valores de resistencia a la compresión simple a partir del Nspt para suelos cohesivos, Department of Navy 137

Tabla 7-9 Valores típicos para el módulo de elasticidad E para suelos seleccionados 138

Tabla 7-10 Parámetros geotécnicos por diferentes metodologías para depósito de vertiente 138

Tabla 7-11 Parámetros geotécnicos Zona del Deslizamiento 139

Tabla 7-12 Factores de seguridad condición actual del deslizamiento..... 140

Tabla 7-13: Clasificación geomecánica, RMR (BienIawski, 1989)..... 146

Tabla 7-14: Clasificación geomecánica. Índice Q..... 147

Tabla 7-15. Metodología Hoek-Brown (2002)..... 147

Tabla 7-16. Datos estructurales..... 150

Tabla 8-1. Clasificación de zonas de amenaza sísmica para el Municipio de influencia de la zona de la Cantera. 173

Tabla 8-2. Registro histórico de sismos en el Municipio de influencia de la zona de interés. 174

Tabla 8-3. Fallas ubicadas en la zona 2 – Murindó (Tomado de AMVA, 2006). 177

Tabla 4. Relación de sismos presentados en cercanías al Municipio de Copacabana (Tomado de SIATA, 2017). 181

Tabla 9-1 DIN 4150 Daño estructural-Límites seguros para vibración percibida por construcciones. Tomado de ORICA (2015). 184

Tabla 9-2 Registros sismográficos puntos de monitoreo 1 y 2. Tomado de Orica (2015). 186

Tabla 9-3 Registros sismográficos puntos de monitoreo 1 y 2. Tomado de Orica (2015). 189

Tabla 9-4 Registros sismográficos puntos de monitoreo 1 y 3. Tomado de Orica (2015). 192

CANTERA LAS NIEVES
INFORME TÉCNICO FINAL
P016-271 APMA CANTERA LAS NIEVES_DESLIZAMIENTO

1. INTRODUCCIÓN

La compañía Agregados y Proyectos Mineros de Antioquia S.A. (APMA S.A.), contrató a la empresa consultora en geotecnia GRUPO SOLUM SAS, para realizar un estudio en la Cantera Las Nieves con el objetivo de identificar las posibles causas que ocasionaron el deslizamiento ocurrido el 26 de octubre de 2016 en predios del Título Minero C5530, que afectó no sólo los predios de la mina sino también la ruta nacional No. 60. Identificada como "Autopista Medellín – Bogotá", concesionada y manejada por DEVIMED S.A.

Este informe contiene los análisis geológicos, geomorfológicos, geotécnico e hidrológicos, tanto local, como regional, del sector donde ocurrió el proceso de remoción, para entender el desarrollo de dicho evento, con base en levantamientos de campo y análisis técnicos detallados que simulen el desarrollo del evento. GRUPO SOLUM adelantó los trabajos técnicos de campo, laboratorio y oficina, entre los meses de noviembre de 2016 y febrero de 2017, para lo cual se realizaron visitas al sitio, foto-interpretación de imágenes, recuperación de muestras de suelos, rocas y aguas, levantamiento geológico-geomorfológico detallado y el estudio hidrológico e hidráulico.

En este informe se presenta:

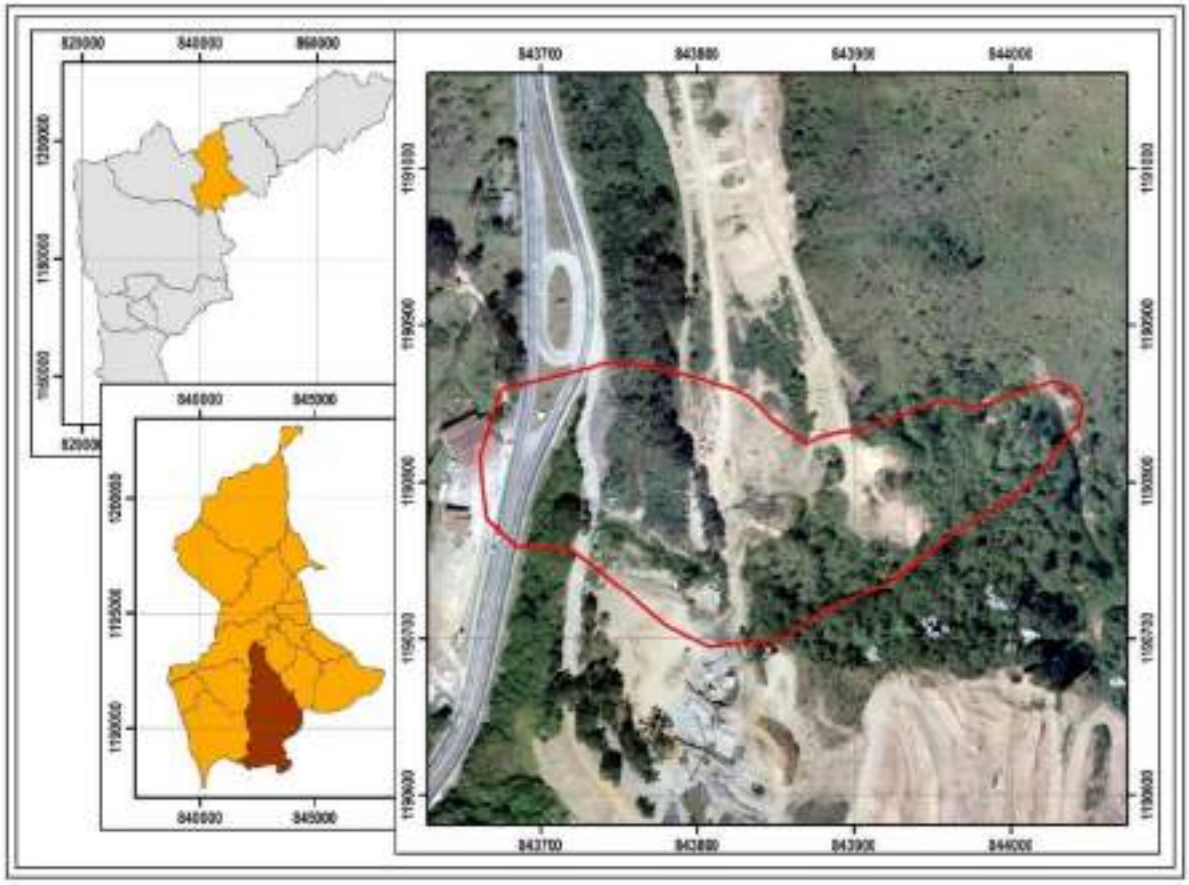
- Las generalidades y las condiciones geológicas del sitio.
- Una reseña del relieve y los procesos del entorno
- La descripción de los materiales del subsuelo.
- Conclusiones.
- Recomendaciones y/o alternativas de solución.

2. GENERALIDADES Y ASPECTOS REGIONALES

2.1 LOCALIZACIÓN

El movimiento de masa se presentó a las 8:00 a.m., del miércoles 26 de octubre de 2016 este evento se presentó en los escarpes nororientales del Valle de Aburrá, zona limítrofe entre el mencionado valle y el altiplano del oriente antioqueño en terrenos de la Cantera Las Nieves, ubicada en la vereda Cabuyal, zona suroriental del Municipio de Copacabana, hacia el retorno 4 en la abscisa k12+200 sobre la autopista Medellín – Bogotá, coordenadas Magna _Sirgas Colombia Bogotá X: 843.850; Y: 1.190.800 (Figura 2-1).

Figura 2-1. Ubicación del deslizamiento - Autopista Medellín – Bogotá (km 12+200).

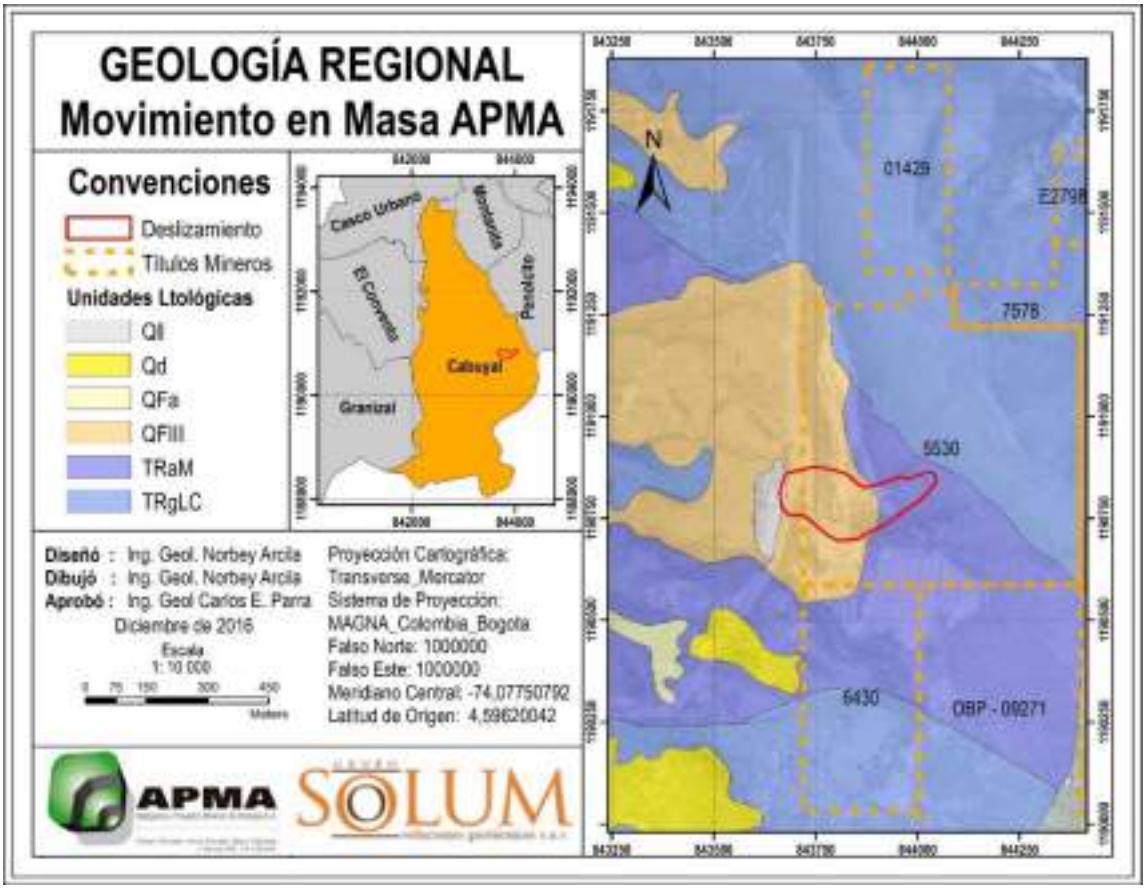


2.2 GEOLOGÍA REGIONAL

El nororiente del Valle de Aburrá está formado por rocas cristalinas fracturadas, en particular por rocas ígneas intrusivas del Batolito Antioqueño, y Rocas metamórficas del Complejo El Retiro. Sobre estos cuerpos cristalinos se acumulan diferentes tipos de materiales no consolidados compuesto por material alterado del basamento, junto con fragmentos de roca, granos minerales y otros depósitos superficiales transportados gravedad o por afluentes de drenajes, todos estos descansan sobre roca solida inalterada.

Para la zona en cuestión afloran principalmente rocas del Complejo el Retiro más específicamente las unidades denominadas Anfibolitas de Medellín y Gneis de la Ceja (INGEOMINAS, 2010), estas rocas subyacen depósitos gravitatorios de tipo deslizamientos, así como de tipo flujo de lodos y/o escombres de diferentes edades y depósitos antrópicos.

Figura 2-2. Litología zona de deslizamiento. Elaboración propia (Base: AMVA, 2006).



2.2.1 Grupo El Retiro.

Unidad litodémica, propuesta por Ingeominas (2005), bajo la cual están incluidas rocas de medio y alto grado de metamorfismo, correspondientes con la denominada Zona Ayurá del Complejo Polimetamórfico de la Cordillera Central (Restrepo y Toussaint, 1984). Para el área de estudio se presentan dos miembros de esta unidad geológica, el Gneis de la Ceja, y la Anfibolita de Medellín.

2.2.1.1. Gneis de La Ceja (TRgLC)

El cuerpo tiene forma alargada de franja en sentido norte–sur de 34 km de longitud, con 9,1 km de amplitud en el extremo sur y amplitud irregular hacia el norte, con aproximadamente 1,2 km en la parte central y hasta 3 km al norte. Consiste de gneises y granofels bandeados, compuestos esencialmente por cuarzo, feldespato y biotita, localmente plegados y con estructura migmatítica e intercalaciones de gneis miloníticos, cuarcitas y anfibolitas, y asociado especialmente a granulitas y migmatitas. Incluye localmente granulitas básicas y enderbíticas con débil bandeo composicional, textura

granoblástica poligonal y metamorfismo retrogrado de alto grado en la mayoría de las muestras. El gneis exhibe importantes variaciones en las características texturales debido a los efectos dinámicos, hecho que explica la íntima asociación entre éstos y algunos paquetes de esquistos.

Este gneis, se encuentra en afloramientos rocosos y es poco frecuente el desarrollo de saprolítos y suelos residuales. Sin embargo, los pocos suelos que pueden encontrarse presentan características de un suelo homogéneo, limo arenoso, con tonalidades rojas pálidas y es fácilmente disgregable, además es común observar delgadas bandas y lentes de cuarzo.

2.2.1.2. Anfibolitas de Medellín (TRaM).

Son rocas constituidas esencialmente por hornblenda y plagioclasa, de textura por lo general isotrópica a bandeada, en ocasiones difícil de diferenciar de un gabro o una diorita, estas rocas han sufrido un metamorfismo de medio a alto grado. A nivel de afloramiento, esta roca se encuentra profundamente meteorizada, con desarrollo de suelos residuales con espesores superiores a los 20 m, de carácter limoso, color amarillento a amarillo rojizo predominantemente y están cubiertos frecuentemente por los depósitos de vertiente derivados de estas mismas rocas.

Es común un cambio gradual a un saprolito limo arenoso de color gris verdoso con láminas blancas, presentando estructuras heredadas de la roca parental y donde se define la textura de la roca bandeada. Los afloramientos de los diferentes cuerpos de anfibolita se destacan por una morfología de cerros y pendientes fuertes a moderadas, cortas, con una zona donde la topografía es relativamente plana y las rocas presentan un avanzado estado de meteorización. La roca fresca *in situ* se observa en la parte alta de las vertientes montañosas escarpadas.

2.2.2 Depósitos de Vertiente

Bajo esta denominación de depósitos no litificados se incluyen los de deslizamiento y los flujos de escombros y/o lodos que por su extensión permitan ser cartografiados. Por sus espesores y grado de madurez es conveniente cartografiarlos como unidades geológicas independientes y no como formaciones superficiales. La edad de estos depósitos es variable, no obstante, las características de altura, consolidación, madurez, pendiente y grado de incisión, permiten hacer relaciones cronoestratigráficas entre ellos, y, en el caso de los flujos, agruparlos en series de eventos.

Dentro de los flujos de escombros y/o lodos, se identificaron al menos cinco series de eventos de depositación relacionados con depósitos de vertiente, los cuales corresponden, desde el más antiguo al más reciente, a NFpreI, NFI, NQFII, QFIII, QFIV y

QFa. Estos depósitos presentan un arreglo escalonado o telescópico, donde los más antiguos están localizados hacia la parte media y alta de la ladera y los más jóvenes se localizan hacia la base de la vertiente (Rendón *et al*. 2006).

La caracterización geomorfológica de los materiales que componen los depósitos de vertiente se basó en parámetros como rango de alturas de afloramiento, pendiente promedio de la superficie de depositación, profundidad y grado de incisión de dicha superficie y la coincidencia entre el actual patrón de drenaje y las geoformas de los depósitos (Rendón *et al.* 2006). Las relaciones cronoestratigráficas tuvieron en cuenta, adicional a los parámetros ya mencionados, marcadores estratigráficos como paleosuelos y tefras, donde se determinaron edades máximas de depositación con base en las dataciones de circones volcánicos con edades que alcanzan hasta el Plioceno Tardío (Rendón *et al*. 2006).

2.2.2.1 Depósitos de Deslizamiento (Qd).

Son el producto de fenómenos de inestabilidad o movimientos de masa ocurridos en los terrenos inclinados o vertientes, que fueron generados por una combinación de factores como la gravedad, el agua y la intervención humana, entre otras. Su identificación y delimitación se facilita porque generalmente están asociados con una zona de pendiente alta en forma de escarpe, desde donde se desprendieron los materiales que los componen, seguida de unas vertientes donde se observan condiciones de baja pendiente y topografía suave.

2.2.2.2 Flujos de escombros y/o lodos (QFa, QFIV, QFIII, NQFII, NFI, NFpreI).

Estos depósitos están constituidos por flujos de varias generaciones, cuyos clastos presentan diferentes grados de meteorización. Son generados al producirse hacia las partes altas de las vertientes una saturación y pérdida de resistencia, lo que hace más vulnerables a fenómenos tales como las altas precipitaciones o los movimientos sísmicos. Estos eventos en caso de ocurrir, les confieren a los suelos un carácter viscoso, debido a la mezcla del agua con los suelos arcillosos y limosos, de forma que pueden descender más o menos controlados por los cauces de las corrientes, arrastrando nuevos materiales y mezclándose caóticamente hasta encontrar unas condiciones de baja pendiente que permitan su depositación.

Según la granulometría de los materiales que conforman la fuente, pueden darse depósitos de flujo con predominio de bloques rocosos denominados flujos de escombros o de la fracción fina (en general arcilla o limo) en cuyo caso se llaman flujos de lodos. Sin embargo, dada la mecánica del fenómeno, que no permite una selección o clasificación del material, pueden existir dentro del mismo depósito zonas que correspondan a flujos de escombros y otras a flujos de lodos. El estado de meteorización, su grado de incisión y

altura respecto al fondo de las vaguadas permitirá definir su edad relativa y grado de estabilidad.

2.2.2.3 Depósitos Antrópicos – Llenos (Qll)

Estos depósitos son derivados de la actividad urbanística y constructiva propia del crecimiento de la ciudad y las poblaciones de los alrededores, compuestos por una gran cantidad de escombros, materiales de rezaga, desechos de residuos sólidos, dispuestos generalmente con poco criterio técnico de disposición final. Dentro de esta unidad se incluyen las acumulaciones artificiales que hacen parte de la construcción de obras de infraestructura, como son los terraplenes de aproximación a los puentes viales que pueden alcanzar espesores hasta de unos 10 m, bajo extensiones importantes, cuyas características fundamentales estriban en que constituyen suelos más homogéneos y fueron conformados según metodologías de construcción adecuadas.

2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

En la zona de estudio confluyen varias estructuras tectónicas formadas bajo condiciones frágiles y en niveles de deformación dúctil, estas últimas caracterizadas por el desarrollo de zonas amplias deformadas donde afloran principalmente rocas miloníticas. Las estructuras identificadas se presentan como fallas y lineamientos, de las primeras se tienen como principal exponente la falla La Acuarela y la falla El Salto, las cuales presentan dirección preferencial N-S a N-NW. Con respecto a los lineamientos estos presentan direcciones subordinadas por las fallas regionales ya mencionadas, sin embargo pueden presentarse algunos lineamientos con tendencias hacía el este (Figura 2-3).

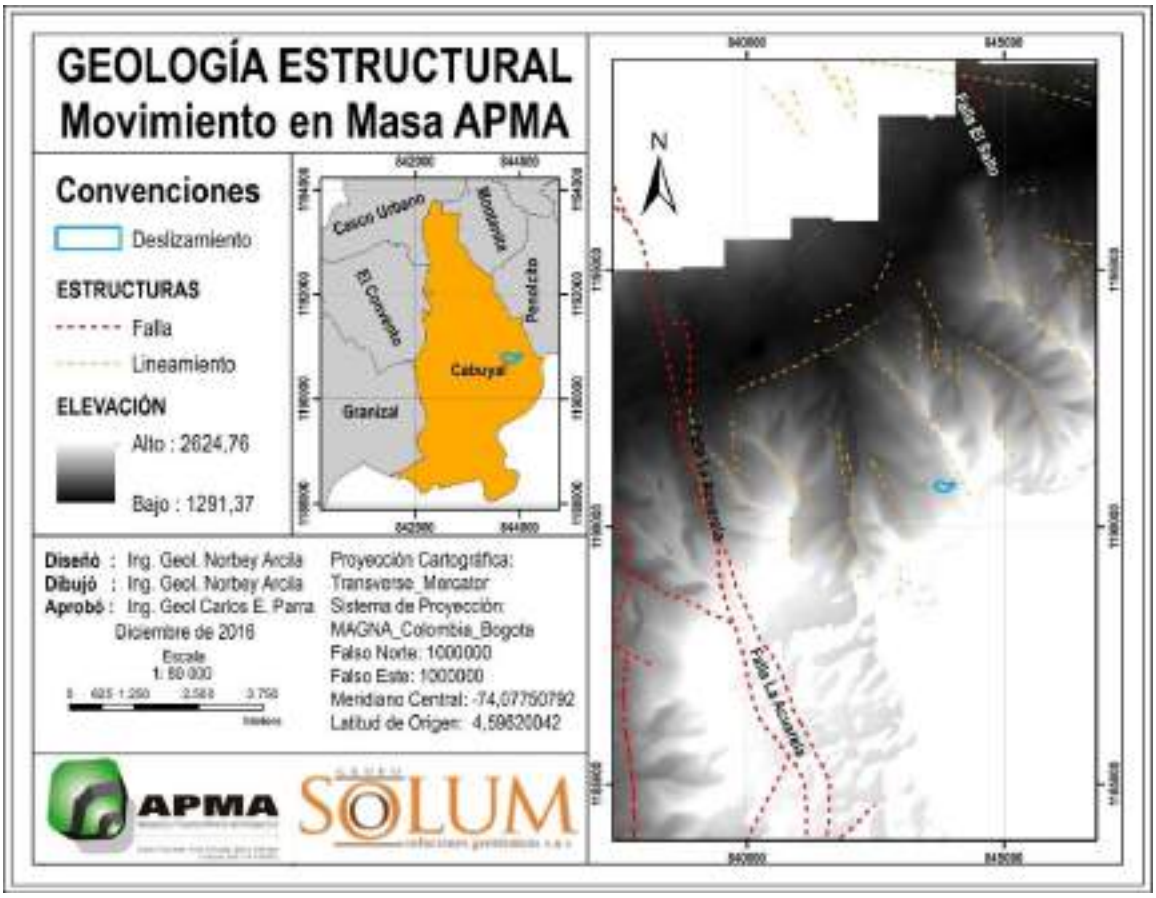
2.3.1 Falla La Acuarela

Corresponde con una falla de rumbo de dirección N-S a N-NW, de una extensión aproximada de 35 km ubicada al oriente del valle de Aburrá, que se bifurca en dos trazas limitando al Neis Milonítico de Sajonia con la Dunita de Medellín al occidente y con las Anfibolitas de Medellín al oriente. Constituye una falla con forma de “cola de caballo” con dos trazas que conforman la Falla La Acuarela y entre estas se presentan neises, esquistos y anfibolitas fuertemente deformados, los cuales se han denominado en conjunto Neis Milonítico de Sajonia, que alcanzan localmente una amplitud o separación mayor a 1,1 km y la zona de rocas al interior de las dos trazas se encuentra atravesada por diques de cuarzo lechoso y andesitas.

La bifurcación de la falla se inicia al sur en la Vía Las Palmas- Represa de La Fe, sector de Paulandia y llega hasta la Curva de Rodas sobre la Vía Medellín – Bogotá. La traza occidental se caracteriza por marcar un cambio geomorfológico entre la vertiente oriental del altiplano de Santa Elena y una zona deprimida oriental que coincide con el cambio litológico entre dunitas y neises y anfibolitas, este cambio está marcado en algunos sectores (vereda Pericos) por un cambio fuerte de pendiente, además, alinea algunos

drenajes como las quebradas Rodas y Seca, en general, forma una depresión a todo lo largo de la traza. Entre las dos trazas se forman colinas elongadas en sentido N-S.

Figura 2-3. Estructuras regionales zona de estudio (Tomado y modificado de AMVA, 2006).



La deformación en los neises y esquistos del Neis Milonítico de Sajonia está ligada a la deformación producida por el movimiento de la Falla La Acuarela y en general se caracteriza por una deformación dúctil, con formación de bandeo milonítico fino y presencia de augens de grafito. La foliación de las rocas con deformación dúctil localizadas entre ambas trazas tiene orientación N-S con buzamientos al oriente y al occidente. Sobre la traza occidental la dirección de la falla varía entre N-S y N15ºW con buzamientos de 58ºW a verticales. La traza oriental presenta valores entre N10ºE y N10ºW y buzamientos entre 56º y vertical generalmente hacia el Este. Algunos análisis locales de movimiento de la falla, basados en la forma de los augenes como indicadores cinemáticos, permiten determinar un movimiento sinestral del sistema.

2.3.2 Falla El Salto

Documentada como una falla con dirección N7°W y buzamientos superiores a 65º tanto al este como al oeste. Se extiende desde la cuchilla El Contador hasta la vereda Peñolcito de Copacabana. Presenta una fuerte expresión morfológica, formando escarpes con pendientes muy pronunciadas (cuchillas Ancón Norte y Contador) y valles profundos desarrollados en los lineamientos de las quebradas.

2.3.3 Lineamientos

Consiste figuras lineales a gran escala, donde hay una organización topográfica y morfológicas de ciertos componentes del relieve donde se tiene ciertas continuidad y en ocasiones repetitividad subparalela. Esta es una expresión geomorfológica asociada con los rasgos estructurales mayores, que comprenden: Valles; frentes de cadenas montañosas; montañas aisladas o cadenas de colinas y crestas estrechas; líneas de colinas aisladas; segmentos de cauces entre otros. En la zona de estudio se presentan con orientan S-N, S-NW, dónde pueden presentare algunas con tendencia al E.

2.4 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

En la zona de interés se presentan cuatro unidades geomorfológicas principales, una de origen denudacional, estas unidades consiste de 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, 2014a), tal como se aprecia en la Figura 2-4.

2.4.1 ESCS - Escarpes Semicirculares Superiores

Son geoformas ubicadas entre zonas escarpadas en superficies rocosas hacia los límites de los altiplanos, presentan además fuertes pendientes. Aparecen en los municipios de Envigado, Medellín, Copacabana, Girardota y Barbosa.

2.4.2 SSDPI - Superficies Suaves en Depósitos Poco Incisados

Son geoformas continuas de inclinación suave a moderada y modeladas sobre depósitos de vertiente del tipo flujos de lodos y/o escombros. Presentan un grado de incisión baja a muy baja. Esta unidad aparece a partir de los municipios de La Estrella y Sabaneta al sur, y llega hasta el municipio de Barbosa al norte.

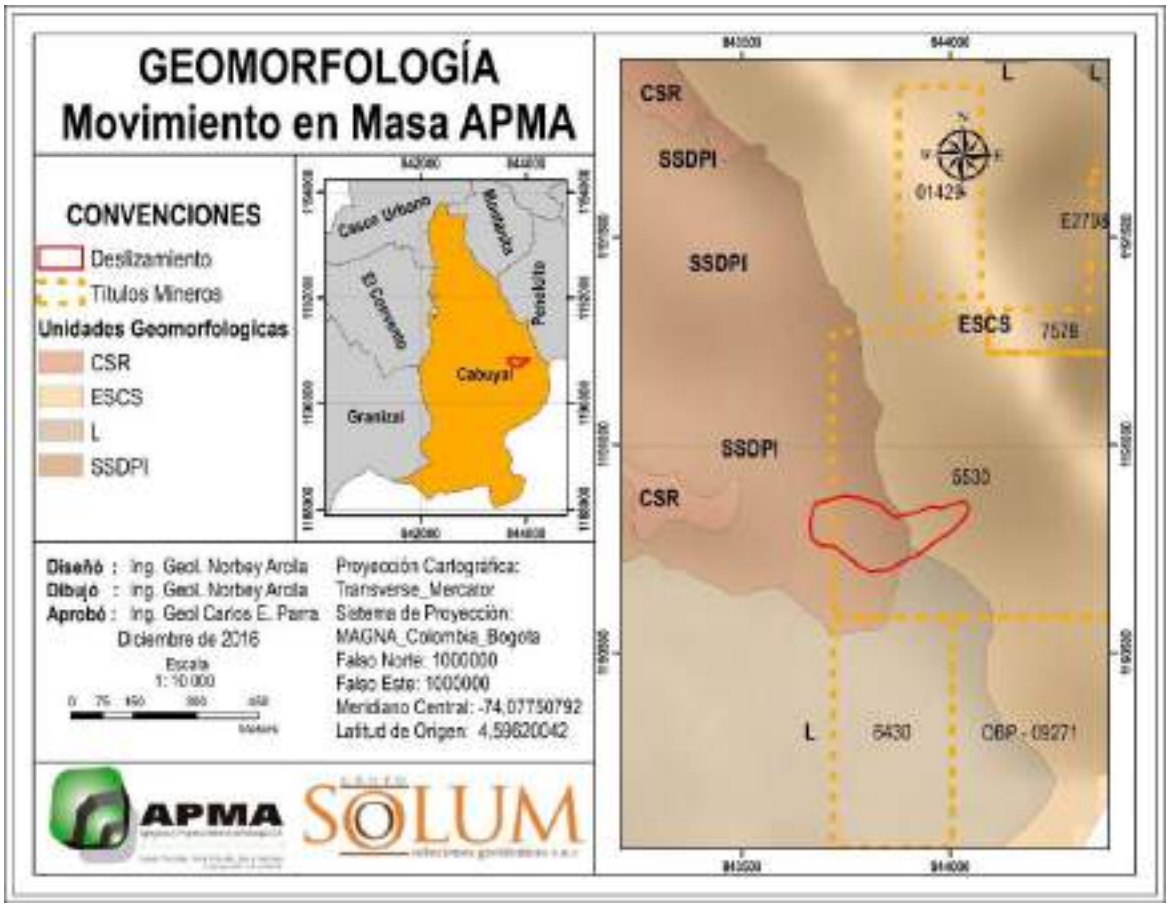
2.4.3 Colinas en Suelo Residual

Esta unidad se localiza generalmente cerca de los lomos o en la terminación de los mismos. Presentan formas redondeadas con topes planos a ligeramente convexos. Las pendientes son moderadas y tienen un moderado grado de incisión. Aparecen en a suelos residuales de anfibolita, metagabros, gneis, dunitas, rocas volcanosedimentarias, esquistos, rocas graníticas.

2.4.4 L – Lomos

Son filos alargados y estrechos con orientación hacia el eje fluvial principal. Son las unidades dominantes y de mayor cobertura dentro del área de estudio, aparecen en todo el valle de Aburrá.

Figura 2-4. Unidades geomorfológicas zona de deslizamiento (Modificado de SGC, 2014a).

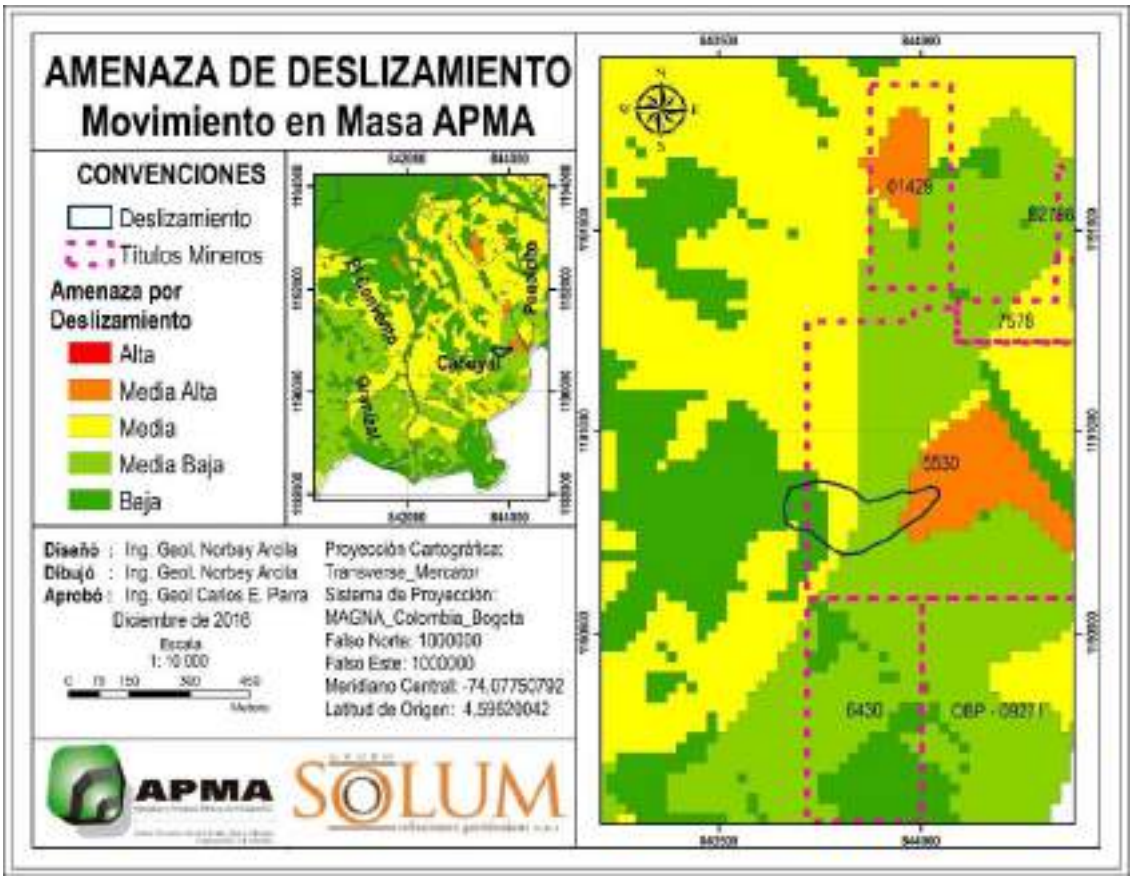


2.5 AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

A partir del informe del AMVA (2009), la zona de interés presenta una susceptibilidad de media a media alta a movimientos en masa (Figura 2-5). Esto es determinado a través de análisis, hidrológicos, litológicos, de pendientes, y usos del suelo. Cabe anotar que la zona en cuestión presenta altas pendientes, sumado a zonas litológicamente más inestables (sección 2.2.2 DEPÓSITOS de Vertiente), y algunas condiciones de escorrentía. Cabe anota que gran parte del título donde ocurrió el siniestro se encuentra bajas a medias, así como

los demás títulos asignados a la empresa APMA, por lo que se pueden suponer estados de inestabilidad muy locales. Figura 2-5.

Figura 2-5. Amenaza por Movimientos en Masa Plancha 147. (Modificado AMVA 2009).



2.6 DELIMITACIÓN DE LA UMI

Basado en la cartilla “Directrices y lineamientos para la elaboración de los estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervenciones en zonas de ladera, en el Valle de Aburrá” y con los aportes de todo el equipo de trabajo de la empresa Grupo Solum S.A.S, integrado por profesionales en geotecnia, geología, ingeniería Civil, e hidráulica, se definieron las Unidades Morfodinámicas Independiente para el título 5530, en la Cantera las Nieves .

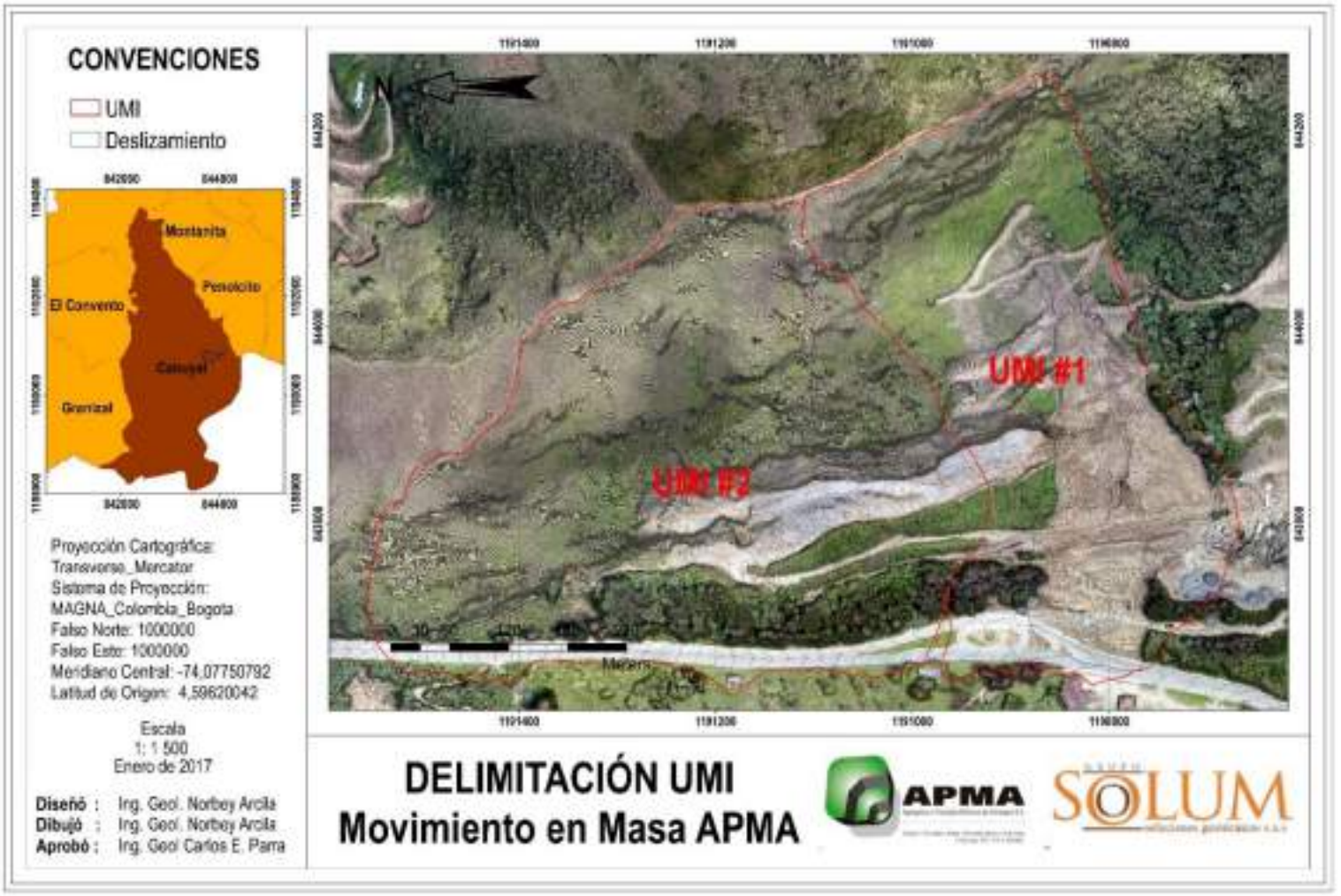
Según la cartilla de Directriz y Lineamientos del Área Metropolitana se entiende como una **Unidad Morfodinámica Independiente** (**UMI**), una porción de territorio, dentro de la que

se encuentra el predio de interés, que presenta un comportamiento morfodinámico independiente de las unidades de terreno adyacente, es decir, los procesos que ocurren al interior de la UMI no afectan otras unidades de terreno y los procesos que ocurren afuera de la UMI, no la afectan.

La delimitación de la UMI se desarrolló a partir de los recorridos de campo realizados en la zona del proyecto, la lecturas y análisis de las bases topográficas y de la inspección de fotografías aéreas e imágenes satelitales dando como resultado la delimitación que se presenta en la Figura 2-6, donde se observa la vista en planta en aerofotografías de la delimitación de las UMI junto con la base topográfica y la delimitación del movimiento en masa.

Se identificaron dos (2) UMI, la primera ó UMI # 1 corresponde con el área donde ocurrió el movimiento en masa, y la segunda (UMI #2), pertenece a la zona de explotación de materiales de la Cantera Las Nieves. Estas UMI están enmarcadas por expresiones topográficas que evidencian procesos de movimientos en masa y caídas de rocas, siendo principalmente el primer proceso asociado a la UMI #1 y el segundo proceso a la UMI #2. Estas UMI son limitadas al oriente (la zona de mayor cota), por la el filo de la cuchilla “las Peñas”, que a su vez sirve de divisoria de agua entre la cuenca, y continua de donde se desarrolla el presente informe, y se limitan al sur (la zona de menor cota), por la autopista Medellín – Bogotá, a su vez son separadas por un lomo que va en sentido NE-SW entre la divisoria de aguas y la autopista, el cual controla los procesos morfodinámicos presentes en la zona, dirigiéndolos hacía el interior de cada una de las respectivas UMI.

Figura 2-6 Delimitación de la UMI en la zona



3. ASPECTOS GEOLÓGICOS LOCALES

Durante la etapa de recolección de información secundaria se pudieron identificar principalmente aspectos regionales de orden geológico, y geomorfológicos que pueden ser correlacionables con datos levantados en campo y son fuente de información primaría para el desarrollo del presente informe. Esta información de detalles se presenta a continuación y se ilustra con mapas en escalas de detalles 1:1500. En la Figura 3-1 se ilustra el mapa de geología local de la zona de interés, cuyas unidades litológicas se explican a continuación.

3.1 GNEIS DE LA CEJA

Esta unidad geológica aflora en la zona sur y oriental (escarpe) del título 5530, donde las rocas pueden presentar grandes variedades texturales y composicionales, y es posible encontrarse gneises cuarzo feldespáticos, gneises cuarzo feldespáticos con anfíbol y biotita, y esquistos anfibólicos, con coloraciones grises hasta azulosas, moteada blanco y en sectores donde ya se encuentra meteorizada toma colores que van de pardo claro a pardo amarillento, con tonalidades rojizas en las rocas más meteorizadas (Figura 3-2).

En muestra de mano se observan plagioclasa, anfíbol, y biotita, como minerales principales, en porcentajes variables, siempre con granos de tamaños finos a medios siguiendo cierto bandeamiento, y en el caso de los esquistos planos de esquistosidad. Hacía las zonas más orientales puede encontrarse la roca en un estado de deformación milonítica, evidenciable por las segregaciones de cuarzo y la presencia de augens.

El macizo rocoso en esta unidad litológica presenta principalmente cuatro familias de diaclasas (Figura 3-3), con dirección Dip / DipDirection promedio de: 82/026, 60/237, 80/284, 80/071; por lo general poseen un espaciamiento entre 0,20-1,5 m, persistencia entre 3 m y 6 m, rugosidad media, las discontinuidades del tipo bandeamiento o esquistosidad no suelen presentar apertura algunas sin embargo las de tipo diaclasas pueden alcanzar hasta 10 mm.

3.2 ANFIBOLITAS DE MEDELLÍN

Esta unidad geológica aflora en la zona más norte del título 5530, se caracteriza por ser de color verde oscuro a negro, con bandas blancas en roca fresca, y en sectores donde ya se encuentra meteorizada toma colores pardos, con tonalidades rojizas y amarillas (Figura 3-4). La roca presenta como minerales principales anfíbol y plagioclasas, en granos finos a medios, que usualmente siguen ciertos lineamientos, aunque puede encontrarse materiales completamente milonitizados. La anfibolita aflora principalmente en las zonas escarpadas del título más concretamente en los frentes de explotación.

Figura 3-1. Geología Local Movimiento en Masa APMA.

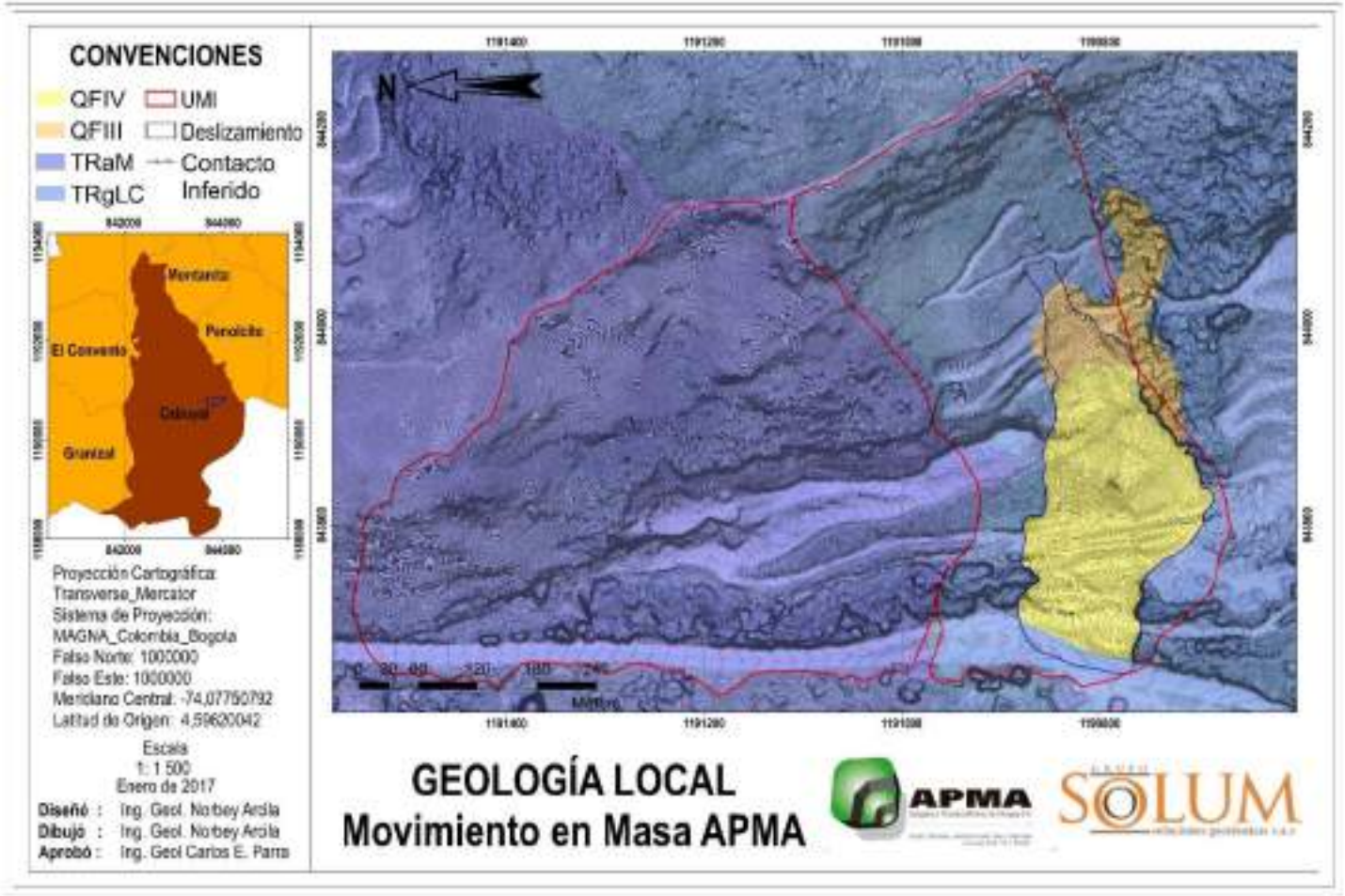
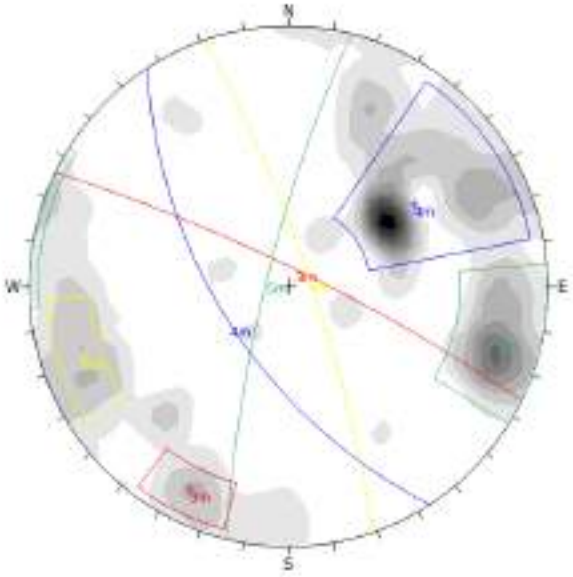


Figura 3-2. Ilustraciones Gneis de la Ceja.

Figura 3-3. Familias de diaclasas Gneis de la Ceja.

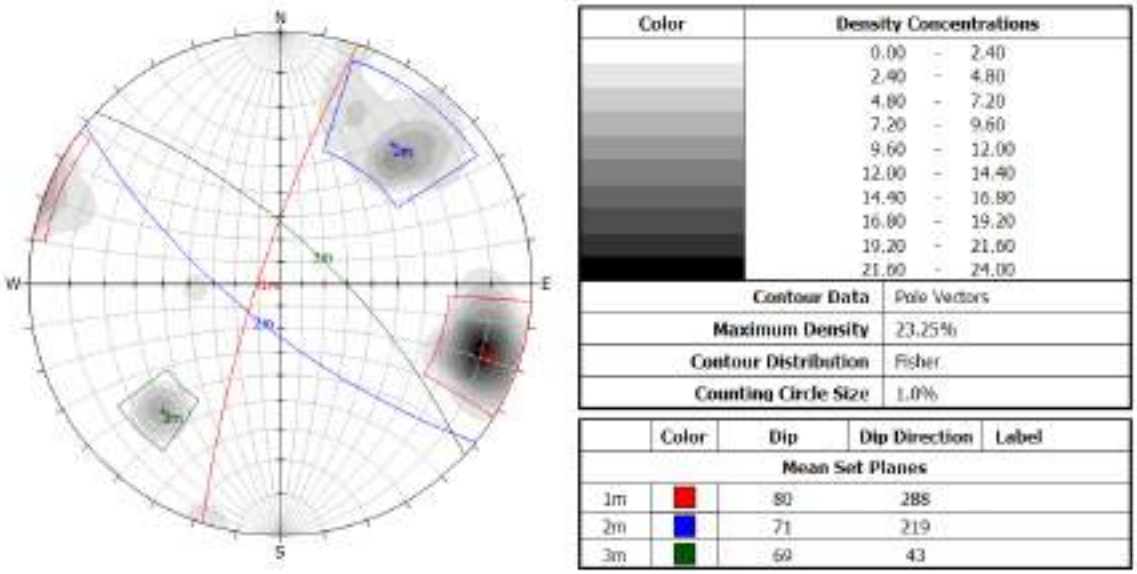


Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.20
	1.20 - 2.40
	2.40 - 3.60
	3.60 - 4.80
	4.80 - 6.00
	6.00 - 7.20
	7.20 - 8.40
	8.40 - 9.60
	9.60 - 10.80
	10.80 - 12.00
Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	11.75%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
3m		82	26	
4m		60	237	
5m		80	284	
6m		80	71	

Figura 3-4. Ilustración Anfibolitas de Medellín.

Figura 3-5. Familia de diaclasas Anfibolitas de Medellín.



Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.40
	2.40 - 4.80
	4.80 - 7.20
	7.20 - 9.60
	9.60 - 12.00
	12.00 - 14.40
	14.40 - 16.80
	16.80 - 19.20
	19.20 - 21.60
	21.60 - 24.00

Contour Data	Pole Vectors
Maximum Density	23.25%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		80	288	
2m		71	219	
3m		69	43	

El macizo rocoso en esta unidad litológica presentan principalmente tres familias de diaclasas (Figura 3-5), con dirección Dip / DipDirection promedio de: 80/288, 71/219, 69/43, por lo general poseen un espaciamiento entre 0.20 m -0.60 m, persistencia entre 1 m y 5 m, rugosidad suave plana, apertura menores de un 1mm pero localmente alcanza hasta 5 mm usualmente, sin presencia de rellenos.

3.3 DEPÓSITOS DE VERTIENTE

La zona oriental del Valle de Aburrá se caracteriza por presentar una serie de depósitos de magnitudes variables, que se ubican tanto en los sectores más altos, como en los más bajos de las laderas, que son generados por acción de la gravedad y la pendiente, que pueden ser detonados por la tectónica regional y la alta pluviosidad característica de esta región del país, los cuales aceleran los procesos morfodinámicos y provocando esta clase de depósitos.

En las zona de estudio se presentan dos tipos de depósitos, los QFIII y los QFIV, ambos poseen coloración que va entre pardo amarillento y pardo rojizo y se caracteriza por ser un material con matriz limo arenoso de humedad y plasticidad entre media y baja, que presentan fragmentos de roca de composición entre gneises cuarzo feldespáticos y esquistos anfibólicos, de tamaños variables, que pueden ir de pocos centímetros a órdenes métricos, los cuales se presentan en estados de meteorización entre II y IV (Figura 3-6).

El flujo tipo QFIII es un depósito de mayor antigüedad y consolidación, resultado de antiguos procesos de remoción y acumulación, que se observa desde la banca siniestrada en la cota 2230 msnm y se distingue del flujo QFIV por encontrarse en zonas más empinadas y permitir pendientes más altas. Los depósitos QFIII usualmente se encuentran reposando sobre la roca meteorizada del gneis de la Ceja, observándose fácilmente al acercarse hacia la cicatriz del deslizamiento en la zonas donde solían encontrarse las bancas arrasadas en el movimiento en masa como se observa en la Figura 3-7. Sin embargo al observase más de cerca estos contacto puede apreciarse antiguos contactos de depositación de este flujo sobre flujos más antiguos que a su vez reposan sobre suelo residual del Gneis de la Ceja (Figura 3-8). Esto evidencia la recurrencia de movimientos en masa, indicando que dicho proceso ha sucedido al menos en dos ocasiones en tiempo geológicos no identificados.

El flujo QFIV consiste del material transportado y acumulado por el pasado evento de deslizamiento, es un material más suelto y de menor consistencia con respecto al QFIII, se ubica en la zona central del área de estudio donde las bajas pendientes no pudieron permitirle continuar con su transporte siguiendo una morfología de abanico que se abre hacía las zonas de menor pendiente. Parte de este material fue transportado desde las zonas altas de la cantera hacía la autopista Medellín – Bogotá. Aunque gran parte se

removió, otra gran porción quedó depositada en la mina poseyendo pendientes moderadas a altas (Figura 3-9).

Figura 3-6. Ilustración composición Depósitos de Vertientes.

Figura 3-7. Contacto depositacional de los depósitos de vertiente.

Figura 3-8. Contactos depositacionales QFIII.

Figura 3-9. Depósitos de Flujo QFIV.

4. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS LOCALES

La zona de estudio se caracteriza por tener una geomorfología variable donde se pueden distinguir cinco diferentes unidades, cuya discriminación ha sido producto del procesamiento y análisis de condiciones de relieve, pendientes y geología.

4.1 RELIEVE – ALTURAS

Para ambas UMI se observan alturas topográficas que van desde 2025 m.s.n.m hasta los 2700 m.s.n.m. Es de anotar la tendencia principalmente planar a ligeramente ondulada en algunas zonas del área de estudio que siguen una tendencia al NW describiendo una forma alargada. En la Figura 4-1 se aprecia como el ancho de las franjas de curvas de nivel mantienen espesores poco variables, que tienden a estrecharse un poco hacía las zonas de mayor altura. Estas medidas son replicadas de forma casi simétrica hacía el otro costado del filo. Con respecto a la zona de explotación de la cantera y la zona donde ocurrió el siniestro se encuentran en las franjas de alturas entre 2100 a 2200 m.s.n.m. justo el área donde las franjas de curvas de nivel se tornan más onduladas.

4.2 MAPA DE PENDIENTES.

De acuerdo a lo establecido en la cartilla de Procedimientos técnicos y metodológicos de los estudios para intervenciones en zonas de ladera en el Valle de Aburrá, las pendientes deben agruparse entre 0°-5° (bajo), 5°-15° (Moderado), 15°-30° (Alto) y mayores a 30° (Muy Alto). Para la zona en general son predominante las zonas de pendientes muy altas, poseyendo zonas de pendientes menores hacía la zona de mayor altura de las UMI, justo sobre el filo en la divisoria de aguas, así como en la zona de la autopista Medellín – Bogotá y las vías al interior de la mina, productos de los cortes y llenos para la realización de la misma. Otro sector de área de estudio donde se dan pendientes altas a son zonas centrales del material deslizado, donde se dan ciertos puntos de descanso topográfico durante flujo de lodos y escombros (Figura 4-2).

4.3 MAPA GEOMORFOLÓGICO

A partir del análisis de aspectos del relieve y las pendientes se puede determinar que componente geomorfológico de la zona es ampliamente variado debido a las cinco unidades geomorfológicas existentes en la UMI y sus alrededores, tal como se aprecia en la Figura 4-3. El grueso de la UMI está comprendido por las unidades geomorfológicas del tipo Lomos (L) el cual se distingue por su superficie alargada y estrecha con orientación hacia el eje fluvial principal del valle. Esta unidad se ubica en gran parte de las UMI incluso extendiendo más de la divisoria de aguas, esto enmarcando esta unidad geomorfológica a gran parte del denominado Filo Las Peñas.

Figura 4-1. Mapa de Alturas Movimiento en Masa.

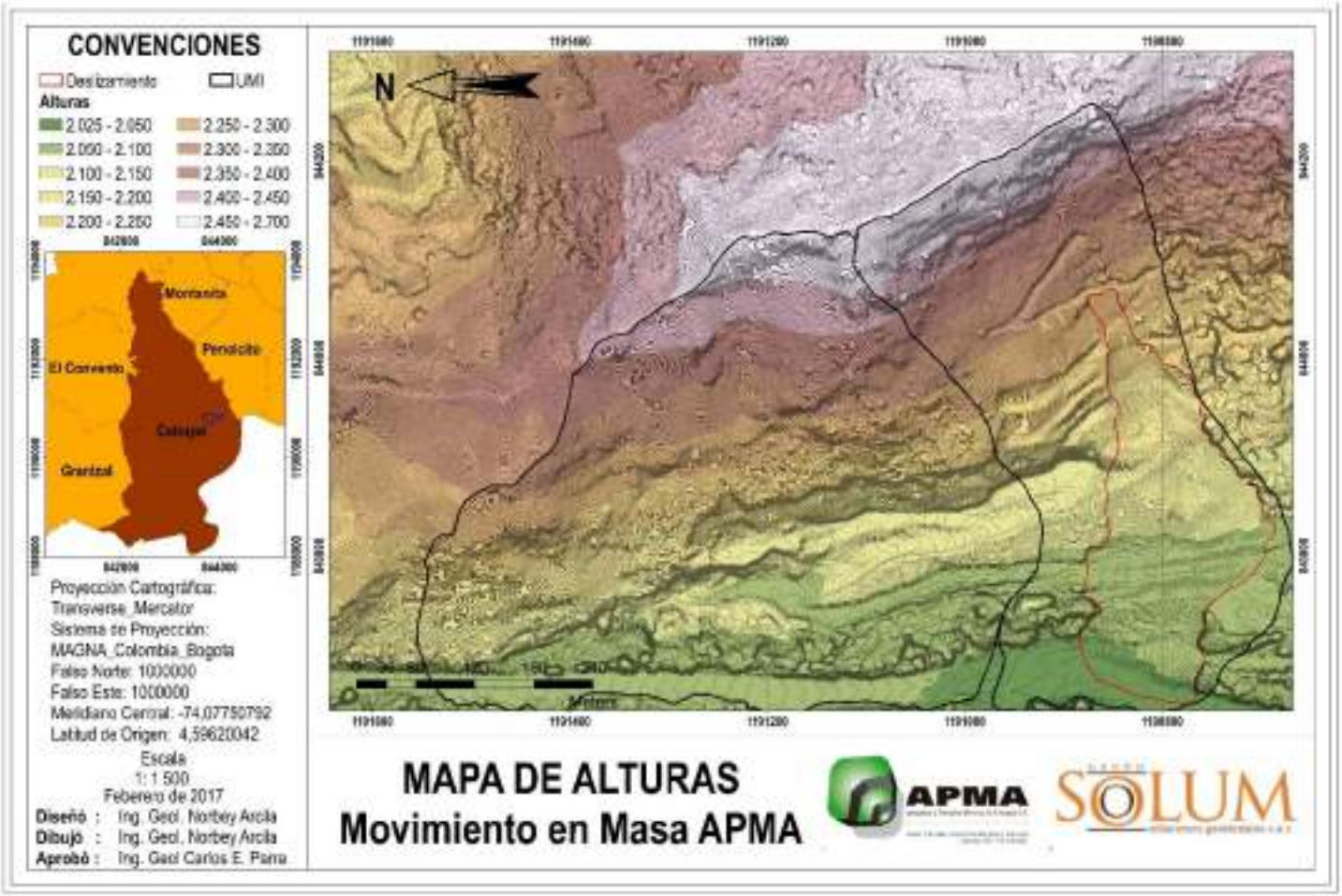


Figura 4-2. Mapa de Pendientes Movimiento en Masa.

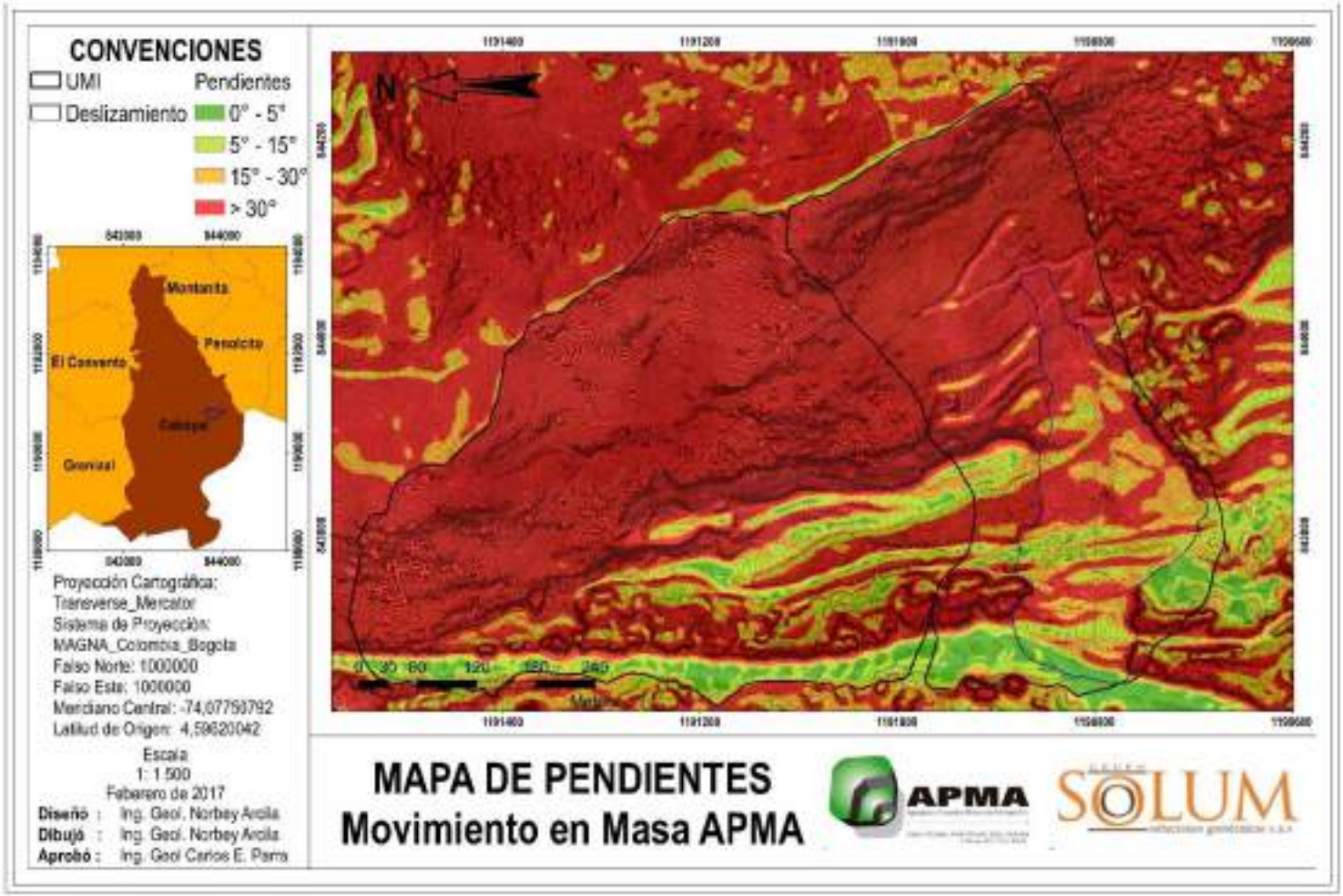
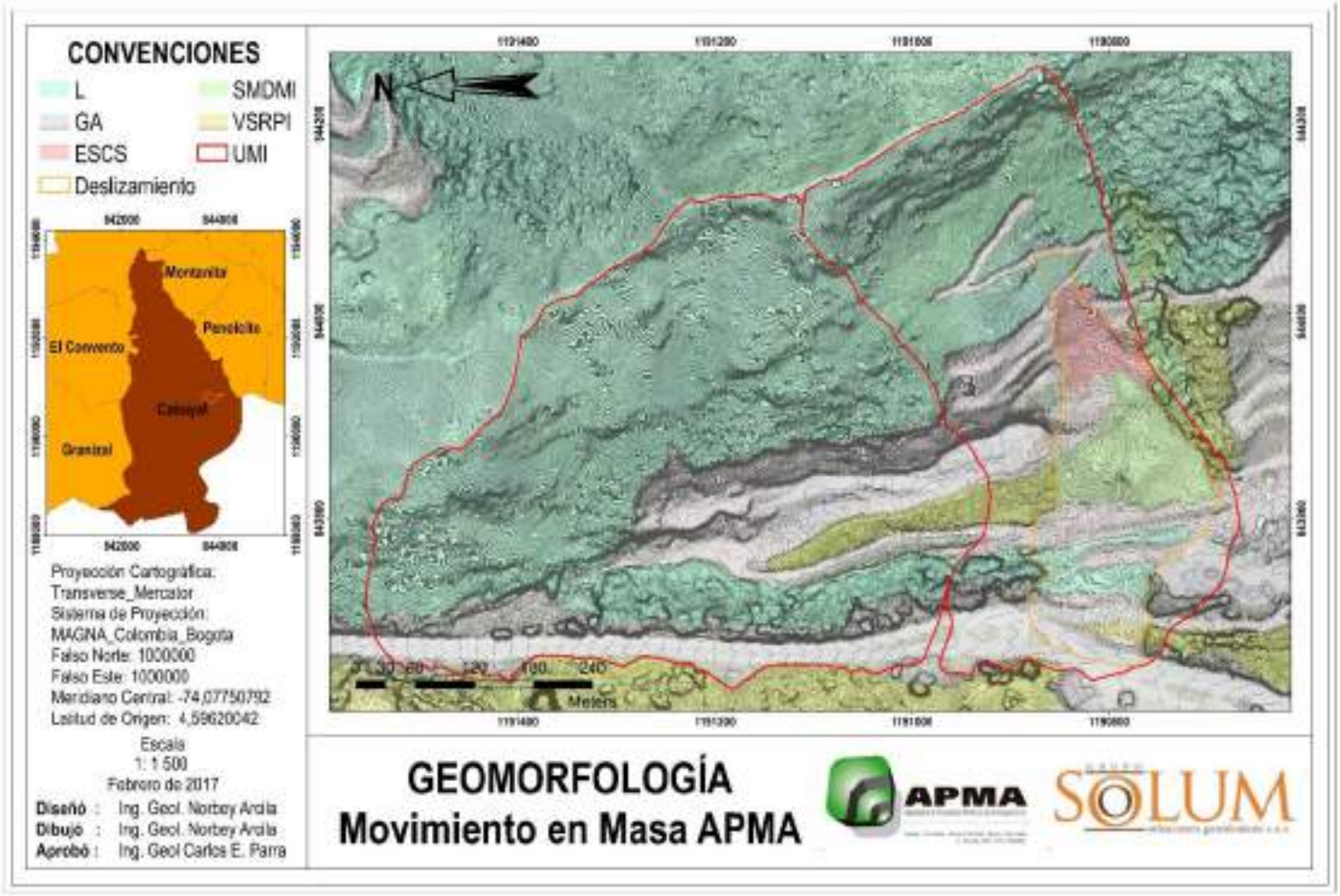


Figura 4-3. Geomorfología Local Movimiento en Masa



.

La segunda unidad geomorfológica en relevancia hallada en la zona corresponde a las geoformas antrópicas las cuales de identifican como unas unidades recientes y en su totalidad creadas por el hombre a modo de cortes, llenos y perfilajes sobre la topografía inalterada. Dado al uso del suelo en esta zona como de autopista nacional y de actividades mineras, se puede observar ampliamente extendido este tipo de unidad geomorfológica.

Otras de las unidades geomorfológicas encontradas corresponden a Escarpe Semi-Circular Superior (ESCS), el cual puede atribuirse como la corona del flujo, distinguible por su topografía con forma cóncava con pendientes altas producto de la cicatriz del proceso de remoción en masa ocurrido. Por último se encuentran Vertientes de Suelo Residual Poco Incisadas (VSRPI) y las Superficies Suaves en Depósitos Moderadamente Incisados (SSDMI) las cuales se distingue por ser superficie ligeramente redondeada cortada o incisada por afluentes, estas separadas principalmente por su componente geológico al desarrollarse una en suelos residuales y las otras en suelos transportados (Figura 4-3).

4.4 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

Con el fin de definir el marco morfodinámico en el cual se encuentra enmarcada las UMI se hace un análisis de los eventos presentados en la zona a través del tiempo, en busca de identificar la dinámica en el sector, por lo cual se realizó un análisis a través de fotografías aéreas, lecturas de curvas topográficas, y revisión de ortofotografías previo y posterior del evento.

Las áreas de estudio que conforman la licencia H6430005, están fotografiadas aéreamente bajo los fajas F: 2C y F: 5R, tomadas para el Municipio de Copacabana – Antioquia, que se resumen en la Tabla 4-1. Adicionalmente, en la Tabla 4-2 se identifica la topografía del sector, donde se realizan las lecturas de las curvas de nivel, cuyos resultados se ilustran en la Figura 4-4 y la Figura 4-5. Allí se indican los procesos morfo-dinámicos principales y modeladores de la geomorfología de la zona, la cual se caracteriza por ser un lomo escarpado.

Tabla 4-1: Lista de fotografía Aéreas Usadas.

VUELO	FOTOGRAFÍAS	ESCALA	Fecha de Toma
F – 5R	938,939,940	1:7600	22-Sep-1996
F – 2C	508, 509, 510	1:7000	28-Nov-2002

Tabla 4-2: Lista Bases Topográficas Usadas.

Base Topográfica	ESCALA	Fecha de Levantamiento
Cartoantioquia	1:5000	2012
Suministrada Cantera Las Nieves	1:1000	2016

Figura 4-4. Mapa procesos morfodinámicos previos al deslizamiento.

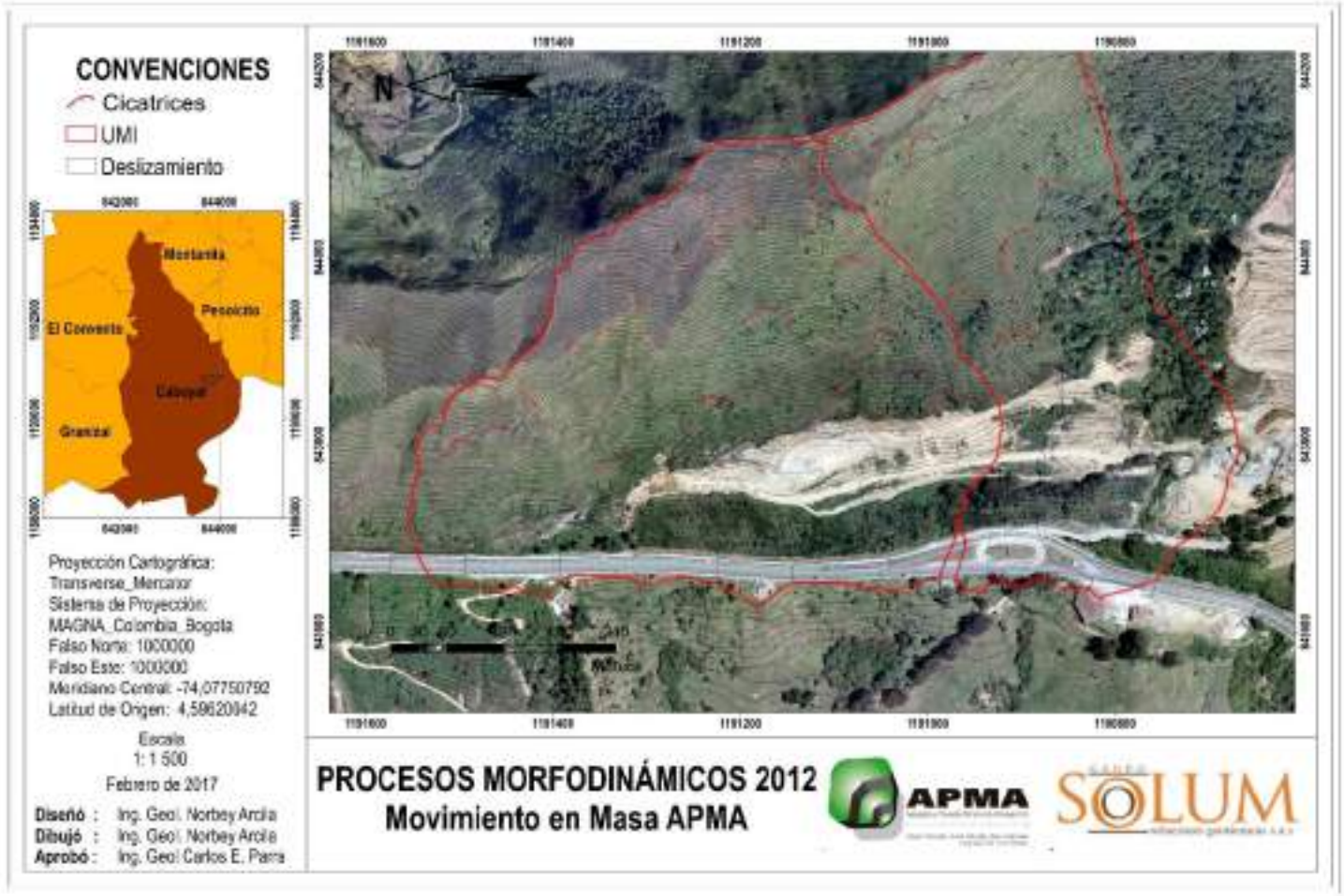
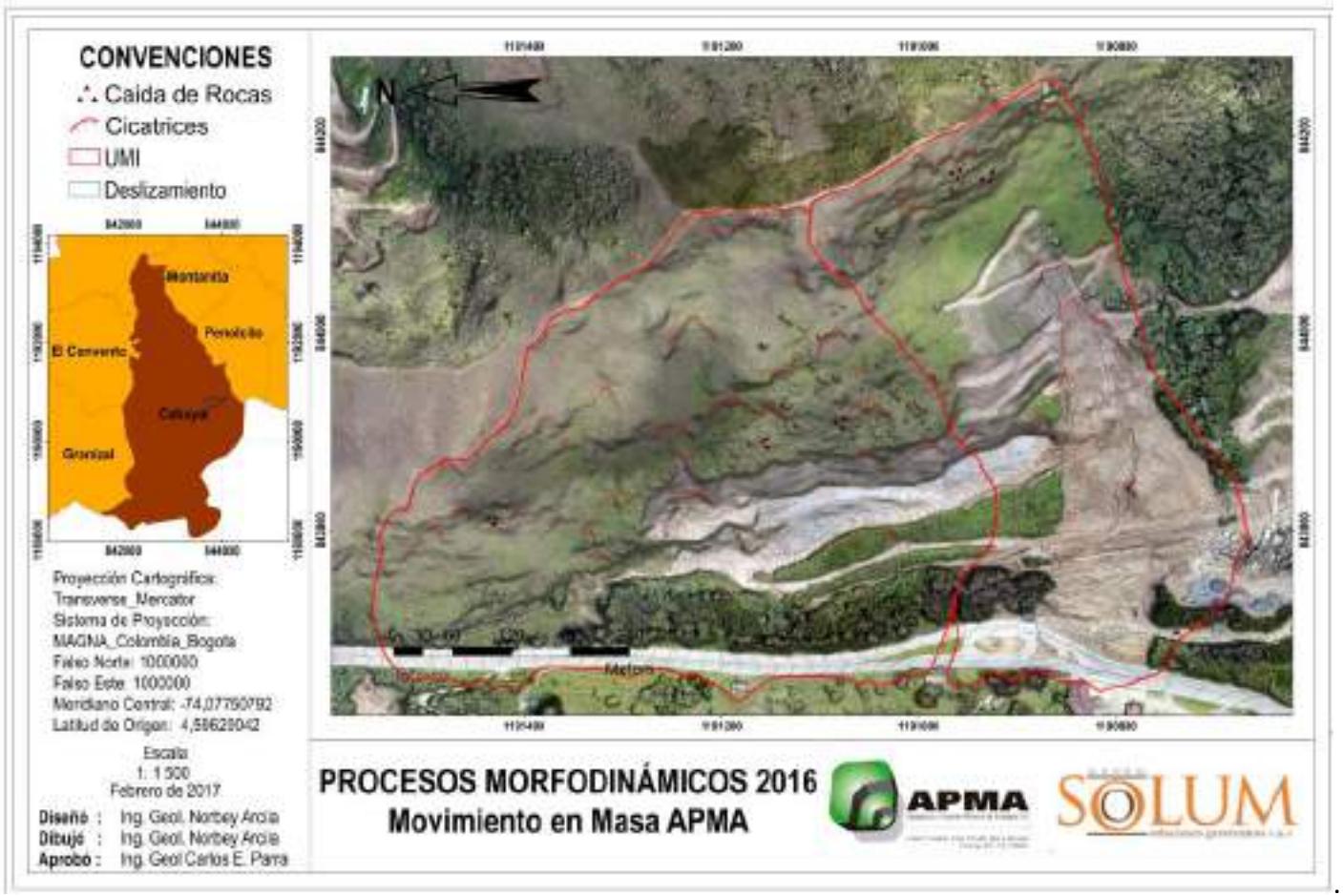


Figura 4-5. Mapa procesos morfodinámicos posteriores al deslizamiento



Los principales procesos observados corresponden con movimientos en masa, de pequeñas a grandes magnitudes, evidenciado por todas las cicatrices observables, que se concentran principalmente en la UMI #2 (frente de explotación), justo en su zona media, donde se focalizan los procesos mineros. Para UMI #1 pueden observarse cicatrices previas y posteriores al evento de octubre de 2016, respaldando lo sugerido en la sección 3.3. donde se evidencian varios eventos de flujos. En la actualidad en ambas UMI se observan varios procesos de caídas de rocas asociados principalmente a las labores mineras.

4.5 DEFINICIÓN DE CAMBIOS TOPOGRÁFICOS EN LA ZONA DEL DESLIZAMIENTO.

Con el fin de realizar la relación de la variación en profundidad en metros luego de la ocurrencia del deslizamiento en la zona del titulo minero 5530 de la cantera Las Nieves, se realizó un análisis de estacionareidad en el tiempo, comprendido entre los años 2012-2016, para definir la variabilidad del cambio topográfico, con el fin de estimar las diferencias de profundidad (m) del material removilizado y determinar a su vez el volumen del mismo. Para el análisis se utilizó el programa ArcGis 10.3, para iniciar el análisis se realizó:

- Un modelo de elevación digital (DEM) para cada topografía (2012 -2016)
- Shape de la zona del deslizamiento a partir de la ortofoto.

Luego de generar el DEM para cada año se realizó una extración con el poligono de la zona de explotación. Una vez se tuvo los raster resultante del procedimento anterior, se generó uno nuevo a partir de la resta de las dos topografías (DEM). El nuevo raster generado de esta resta muestra que la variación en profunidad (m) oscila en el rango de (0 – 42.6)m, tal como se observa en la Figura 4-6. Adicionalmente, en la zona donde ocurrió el evento (deslizamiento), las variaciones altimétricas oscilan en un 76% entre (0-2.85) m, en un 8% profundidades entre (2.85-5.71) m, 7% oscilan en profundidades entre entre (5.71-11.42) m, 5% entre (11.42-17.14) y un 3% en profundidades entre (17.14-22.85) m.

Para la estimación de variación en volumen en el mismo intérvalo de análisis se tomó el ultimo raster de la resta de las dos topografías (Figura 4-6) y se multipicó por el tamaño de la celda (0.79x0.79), dándo como resultado el volumen de excavación. Para saber el volumen total del material desplazado, se realizó una conversión de este último raster a un vector (punto). Con este último paso, se realizó la estadistica del total de los puntos en todas las celdas y con este valor se definió el volumen total del material removilizado. En la Figura 4-7 se muestra los rangos de volúmenes de excavación en todo el polígono del deslizamiento. Con esta información, se estima que un un 76% del área total de la intersección equivale a rangos de volumen que oscilan entre 0 – 1.78 m^3, en un 8% se encuentran volúmenes entre 1.78-3.56 m^3, 7% oscilan en volumenes entre 3.56-7.13 m^3,

5% entre 7.13-10.69 m^3 y un 3% en profundidades entre 10.69-14.26 m^3. El volumen total de material removilizado en el deslizamiento es de 113.810.640 m^3.

Figura 4-6. Mapa de variación altimétrica posterior al deslizamiento.

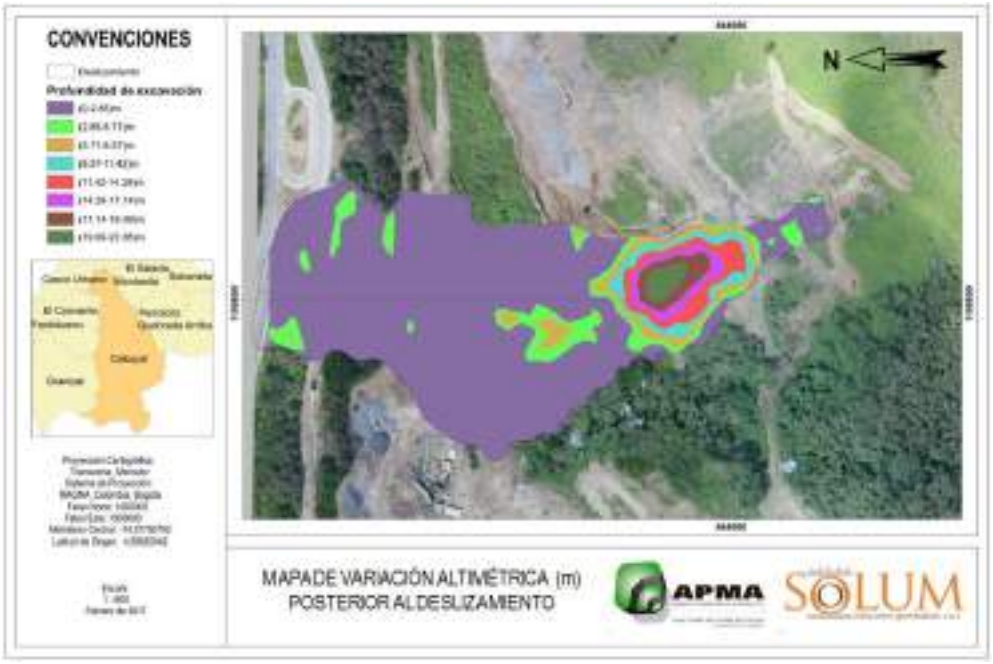
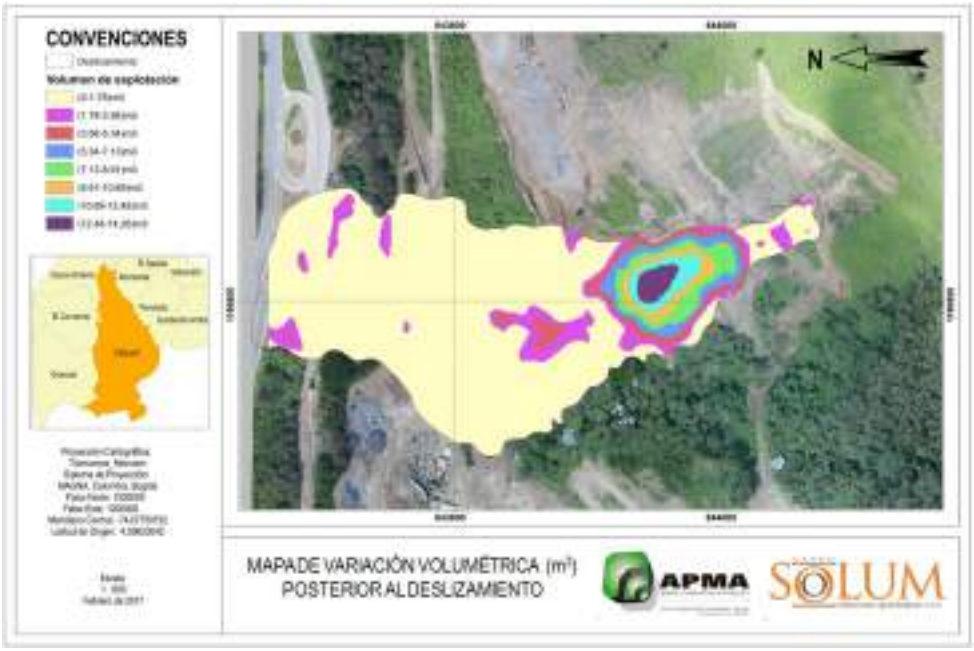


Figura 4-7. Mapa de variación volumétrica posterior al deslizamiento.



5. SUSCEPTIBILIDAD A LA AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA

Un movimiento en masa se refiere al término que incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efecto de la gravedad (Cruden, 1991). La susceptibilidad se asocia con la propensión del terreno a desarrollar este tipo de proceso de remoción, por efecto de diferentes factores como la litología, el grado de meteorización, el fracturamiento, la morfometría, la morfogénesis, la densidad de drenaje, los suelos y sus propiedades hidrofísicas y las coberturas de la tierra (EAFIT, 2015). El propósito de este capítulo es presentar la metodología empleada para generar el mapa de susceptibilidad a las amenazas por movimientos en masa mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG), y cuyos procesos principales consisten en la generación de mapas temáticos y el mapa de susceptibilidad.

5.1 GENERACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS.

Para el proceso de construcción de mapas temáticos se recopila la información cartográfica disponible sobre cada uno de los mapas a emplear, que para este caso corresponde con los procesos morfodinámicos, geología y formaciones superficiales, geomorfología, coberturas vegetales y morfometría. A continuación, se describe el proceso para la obtención de cada una de las variables requeridas para su análisis.

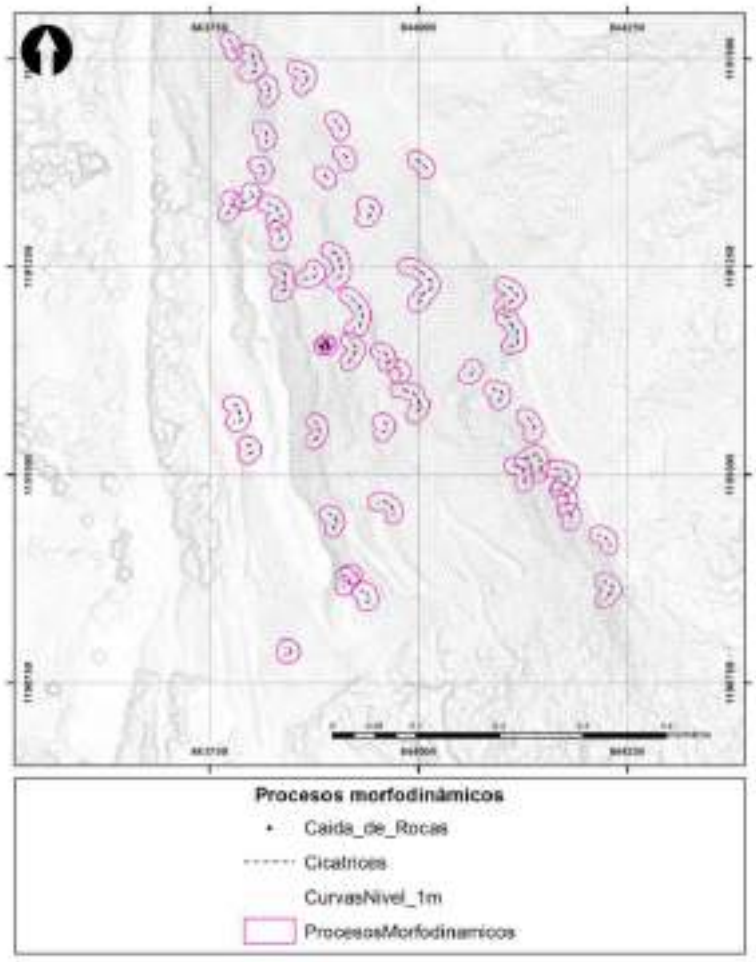
5.1.1 Procesos morfodinámicos

A partir de la identificación de los procesos de caídas de roca y cicatrices de procesos de remoción identificadas en la zona de estudio, representados por puntos y líneas, se construyó una capa de polígonos, mediante la generación de un buffer de 10 metros para cada uno de ellos y se calculan áreas de afectación del proceso. (Figura 5-1)

5.1.2 Geología y formaciones superficiales

Una formación geológica superficial corresponde al conjunto de materiales que conforman la superficie de un terreno como son: roca fresca, roca meteorizada, suelo y depósitos no consolidados (Hermelin, 1987). Las formaciones superficiales y geológicas, dependiendo de su origen, son afectadas por diferentes procesos morfodinámicos por lo que su caracterización y cartografía constituye una variable básica para susceptibilidad a las amenazas. Para la descripción de la geología y las formaciones superficiales, los mapas geomorfológicos se convierten en una herramienta fundamental debido a que las geoformas o unidades geomorfológicas están asociadas a formaciones superficiales caracterizadas por un perfil de suelo particular que se diferencian según el tipo material, las condiciones de climáticas, cobertura vegetal y el índice de relieve relativo (EAFIT, 2015).

Figura 5-1. Análisis de procesos Morfodinámicos.



Identificada las unidades superficiales en la zona se procede a sobreponer en los procesos morfodinámicos identificados (Figura 5-2).

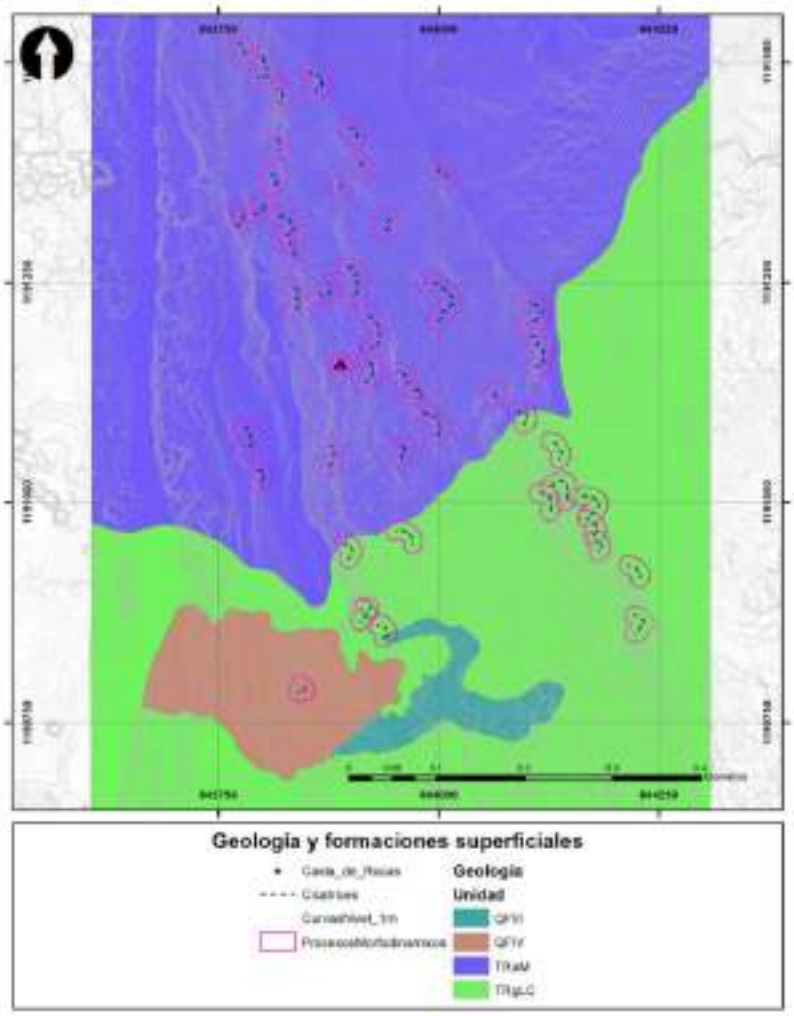
5.1.3 Geomorfología

De igual manera como se sobrepusieron los procesos morfodinámicos identificados en las unidades geológicas superficiales, se realiza en mismo procedimiento con las unidades geomorfológicas (Figura 5-3).

5.1.4 Coberturas terrestres

La cobertura de la tierra es un resultado de la interacción de la dinámica natural con la geología, geomorfología, el clima y los sistemas de comunidades bióticas, que a su vez es alterada por el hombre. Esta alteración estimula y/o afecta algunos procesos como la evolución de las especies, deterioro de ecosistemas, cambios en el patrón de ciclos hidrológicos, cambios en las formas del relieve, entre otros. (EAFIT, 2015)

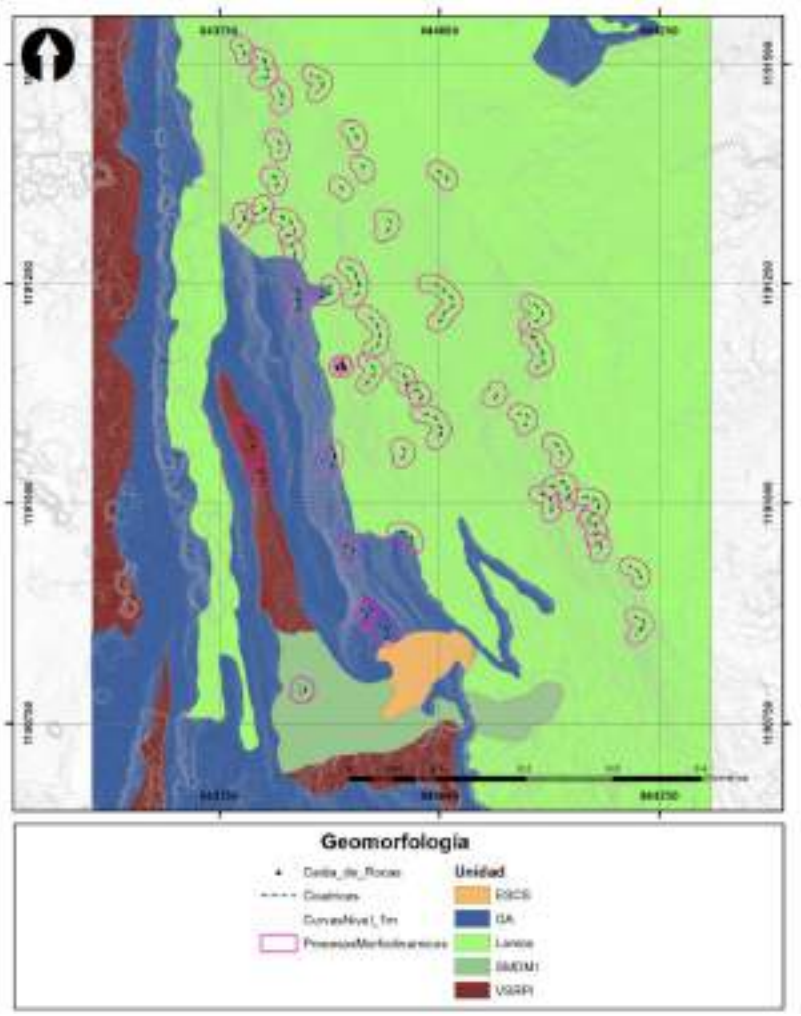
Figura 5-2. Formaciones superficiales y procesos Morfodinámicos.



Gran parte de esta alteración o modelamiento del paisaje, genera en la mayoría de los casos movimientos en masa, flujos, avalanchas, erosión, entro otros fenómenos. De esta manera, será necesario interpretar la relación e interdependencia de los recursos como la cobertura y uso del suelo para estimar la susceptibilidad a la amenaza por movimientos en masa en cuya expresión se manifieste el efecto del hombre (EAFIT, 2015).

La metodología para el análisis e interpretación de las coberturas de la tierra, parte de las ortofotografías disponibles en *Google Earth*, y se realiza la digitalización de las coberturas de la tierra siguiendo la metodología CLC (Corine Land Cover) adaptada para Colombia por el IDEAM (2010) y llevada a escala 1:2.000, teniendo en cuenta también el nivel que sugieren las variables a utilizar en el modelo de susceptibilidad que es el nivel III (Figura 5-4).

Figura 5-3. Geomorfología y procesos Morfodinámicos.



A partir del análisis de las coberturas de la tierra y la integración con otras variables medio ambientales asociadas, se califican los atributos como profundidad efectiva, drenaje profundo y número de estratos de la cobertura. Para cada atributo se cualifican las interacciones entre las coberturas y el medio natural (suelos, agua y actividad antrópica). (EAFIT, 2015).

a) **Profundidad efectiva**: este atributo indica la profundidad máxima del suelo hasta donde pueden penetrar las raíces sin mayores impedimentos. Sabiendo que a mayor profundidad radicular menor es la susceptibilidad de la cobertura a los movimientos en masa. (Tabla 5-1 y Figura 5-5)

Figura 5-4. Coberturas terrestres y Procesos Morfodinámicos.

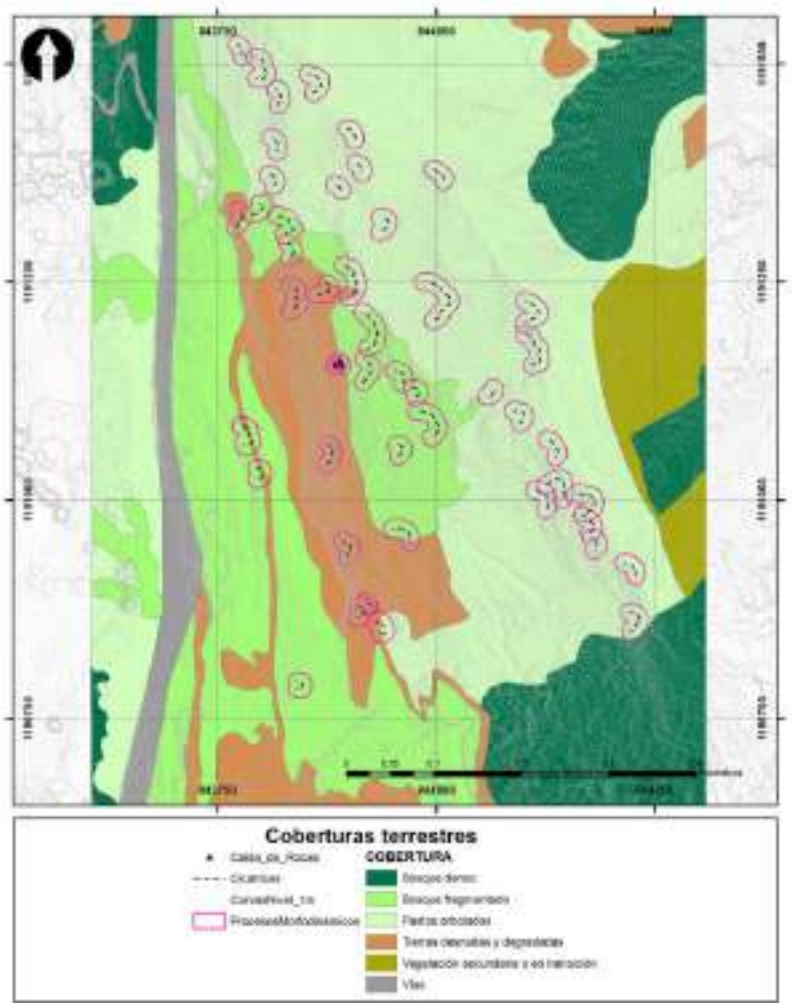
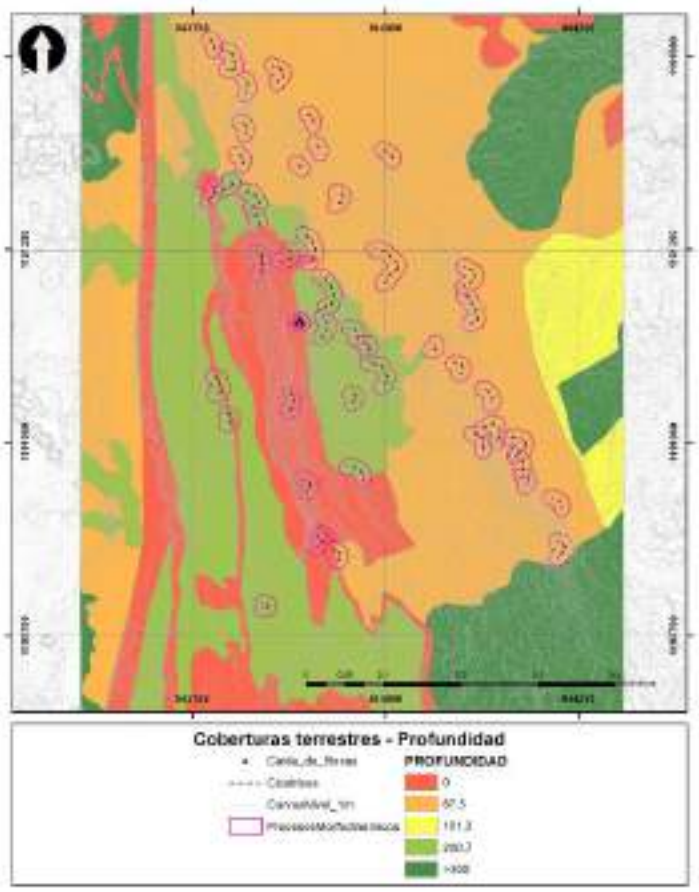


Tabla 5-1. Categorías para definir la Profundidad efectiva.

Profundidad efectiva	Rango (cm)
Muy superficial	Menos de 25 cm
Superficial	25 – 50 cm
Moderadamente profundo	50 – 100 cm
Profundo	110 – 150 cm
Muy profundo	> 150cm

Fuente. Manual de suelos de la subdirección de Agrología – IGAC. (USDA-2007).

Figura 5-5. Profundidad efectiva.



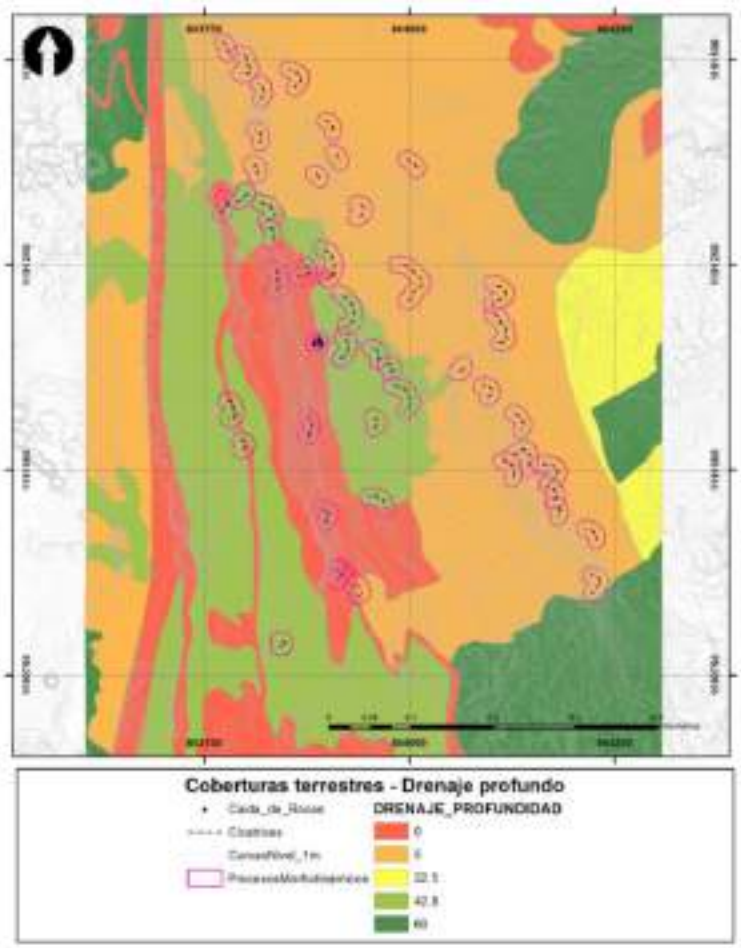
b) Drenaje profundo: Significa la facilidad con la cual el flujo de agua se mueve hasta el drenaje profundo en presencia de determinada cobertura vegetal (Tabla 5-2 y Figura 5-6).

Tabla 5-2. Categorías para definir el Drenaje Profundo.

Drenaje profundo	Rango (%)	Coberturas asociadas
Muy superficial	0 - 10	Pastos
Superficial	10,1 - 20	Áreas agrícolas
Moderadamente profundo	20,1 - 30	Arbustales abiertos
Profundo	30,1 - 40	Arbustales densos
Muy profundo	> 40	Zonas boscosas

Fuente: SGC (2013).

Figura 5-6. Drenaje profundo.



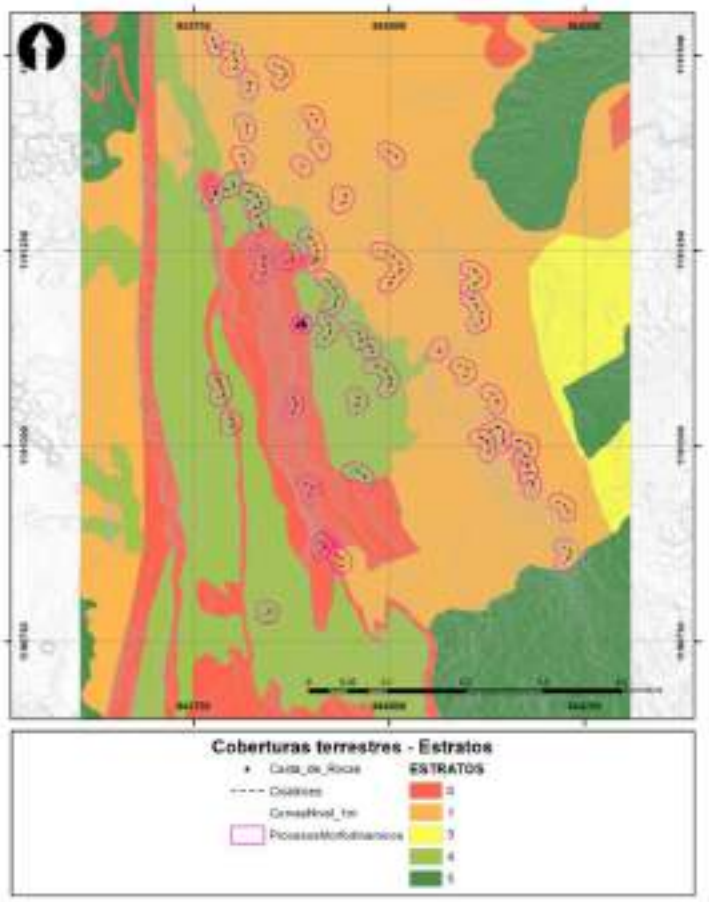
c) **Numero de estratos:** el número de estratos de una cobertura vegetal para darse una idea por ejemplo del tipo de bosque, de su densidad, estructura, el resultado es que tan buena protección hace en algunos aspectos (Tabla 5-3 y Figura 5-7).

Tabla 5-3. Número de estratos por tipo de cobertura.

Cobertura	No. de estratos verticales
Bosques denso	5
Bosques fragmentado	4
Pastos arbolados	1
Vegetación secundaria o en transición	1
Tierras desnudas o degradadas	0
Vías	0

Fuente: Adaptada de SGC (2013)

Figura 5-7. Número de Estratos.



5.1.5 Morfometría

La morfometría corresponde con los aspectos cuantitativos en términos de medidas métricas y se compone de cuatro atributos básicos: Pendientes, Rugosidad, Curvatura y relieve relativo, además incluye la comparación según la relación geométrica entre las diferentes posiciones espaciales. Para la definición de dichos atributos se emplea la información almacenada en el modelo digital de elevación con tamaño de pixel de 1 metro, construido a partir de las curvas de nivel cada metro (1 metro), suministradas por la compañía.

Mapa de pendientes: se refiere al ángulo que forma la superficie del terreno con respecto a un plano horizontal. Por lo tanto, el grado de inclinación del terreno que puede variar entre 0° y 90°, tiene una estrecha relación con el tipo de material que constituye una unidad y por consiguiente con la susceptibilidad a los procesos de remoción de masa. (EAFIT, 2015). La definición del mapa de pendientes se realiza en porcentajes, que

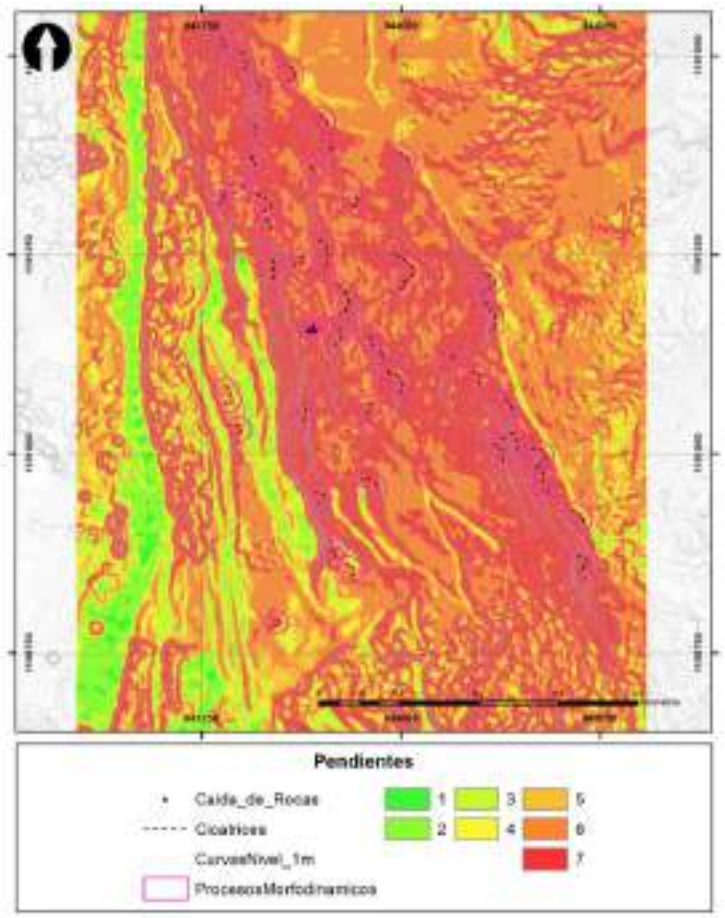
representa la tangente del ángulo de inclinación, teniendo en cuenta los rangos de la Tabla 5-4 y Figura 5-8.

Tabla 5-4. Definición de rangos de pendientes.

Rango		Clasificación	Nombre
0-3%	0 – 2°	1	Muy suave
3-10 %	2- 6°	2	Suave
10-25%	6-14°	3	Inclinada
25-40%	14- 22°	4	Muy Inclinada
40-60%	22- 31°	5	Abrupta
60-100%	31-45°	6	Muy Abrupta
>100%	>45°	7	Escarpada

Fuente: EAFIT (2015).

Figura 5-8. Pendientes y cicatrices.



Mapa de rugosidad: La rugosidad se define como la variación de la pendiente en un área y representa la desviación del vector normal a la superficie de cada celda. Entre mayor es la rugosidad del terreno más probabilidad de que se generen movimientos en masa, debido a que los cambios continuos de pendiente favorecen la inestabilidad del terreno. (Eafit, 2015)

El atributo de Rugosidad según Hobson (1972) es una medida de la dispersión tridimensional de los vectores normales a las facetas planares sobre un paisaje, que combina la variación en los mapas de pendiente y de aspecto en una única medida, permitiendo obtener una mejor representación de la heterogeneidad del terreno que aquellas medidas que se basan exclusivamente en la pendiente o en la elevación (SGC, 2013). Para el cálculo de la rugosidad se empleó el script diseñado por Sappington (2008), el cual requiere para el cálculo un modelo de elevación digital (DEM), en cuyo resultado se

diferencian cuatro (4) intervalos, con su correspondiente clasificación como se muestra en la Tabla 5-5 y Figura 5-9.

Curvatura: Indica el grado de convexidad/concavidad espacial de cada celda del terreno (en su centro), calculado a partir de un cuadrado de 3x3 celdas. Se determina mediante el radio de curvatura de la celda según un plano vertical. Se define como la tasa de cambio de la pendiente y depende de las derivadas de segundo grado de la altitud. Esta variable se relaciona con los deslizamientos en la medida en que indica el grado de concentración o dispersión del drenaje superficial. En las zonas cóncavas el flujo se concentra hacia la celda, y se puede esperar un aumento en la presión de agua en los poros, igualmente, es de esperarse una mayor acumulación de formación superficial, mientras que en las celdas convexas ocurre lo contrario: el flujo se dispersa y el espesor de la formación superficial debería ser menor (EAFIT, 2015). En la Tabla 5-6 y Figura 5-10 se presenta la clasificación de la variable curvatura diferenciado en cinco intervalos de concavidad/convexidad.

Relieve Relativo: Corresponde a la diferencia de altura por unidad de área, se calcula como un estadístico focal de rango, con un parámetro de 5 pixeles, los cuales permiten una mejor caracterización de las geoformas del terreno para la escala de trabajo y tamaño de pixel, los rangos de reclasificación se muestran en la Tabla 5-7 y Figura 5-11.

Tabla 5-5. Definición de intervalos de rugosidad.

Rango	Clasificación	Clasificación
< 455	1	Rugosidad Muy baja o Nula
455 – 510	2	Rugosidad Baja
510 – 550	3	Rugosidad Media
>550	4	Rugosidad Alta

Fuente. Adaptada de SGC (2013)

Figura 5-9. Rugosidad.

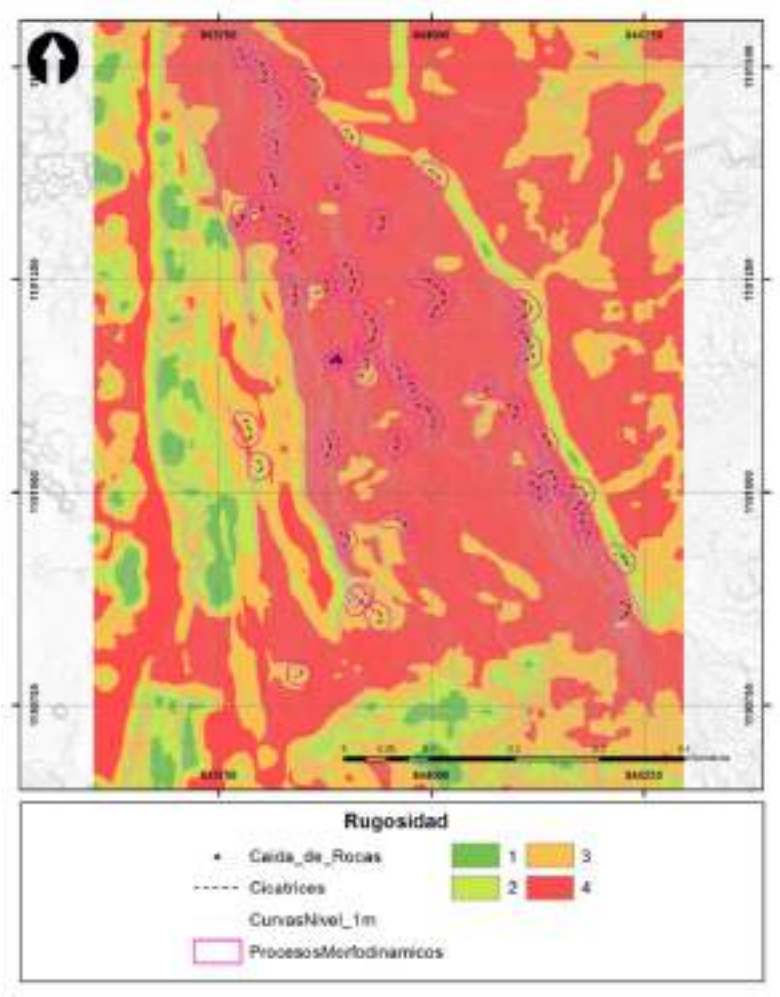


Tabla 5-6. Definición de intervalos de curvatura.

Rango	Clasificación	Rango
< -40	1	Muy cóncavo
-40 y -10	2	Cóncavo
-10 y 10	3	Plano
10 y 40	4	Convexo
>40	5	Muy convexo

Fuente. Adaptada de EAFIT (2015).

Figura 5-10. Curvatura.

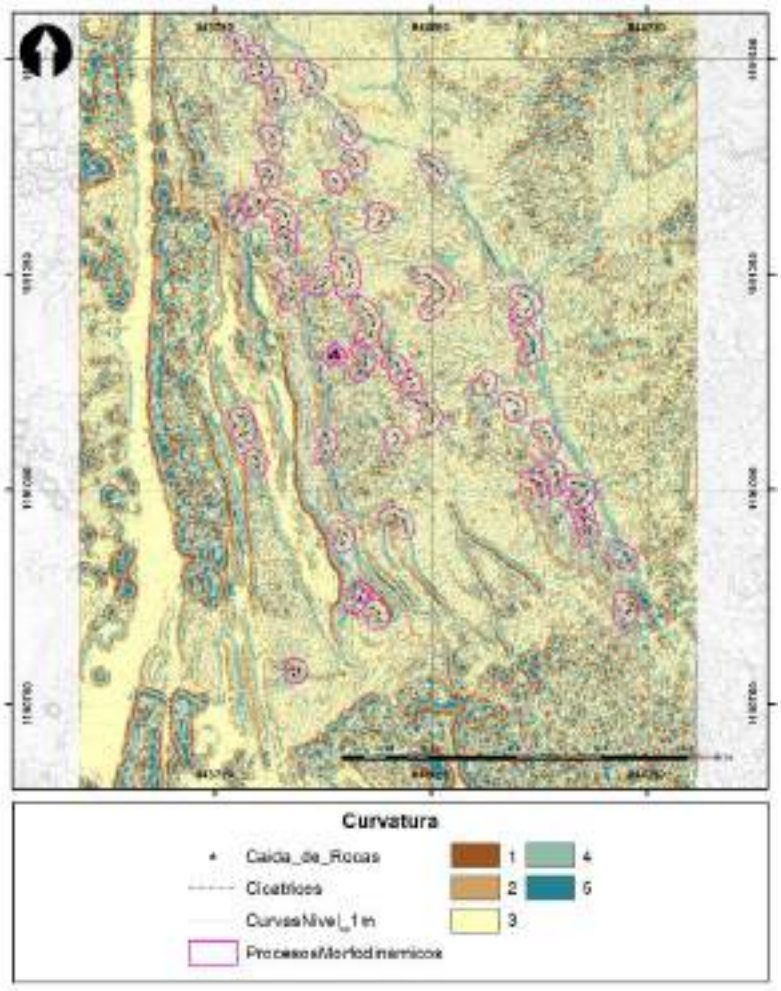
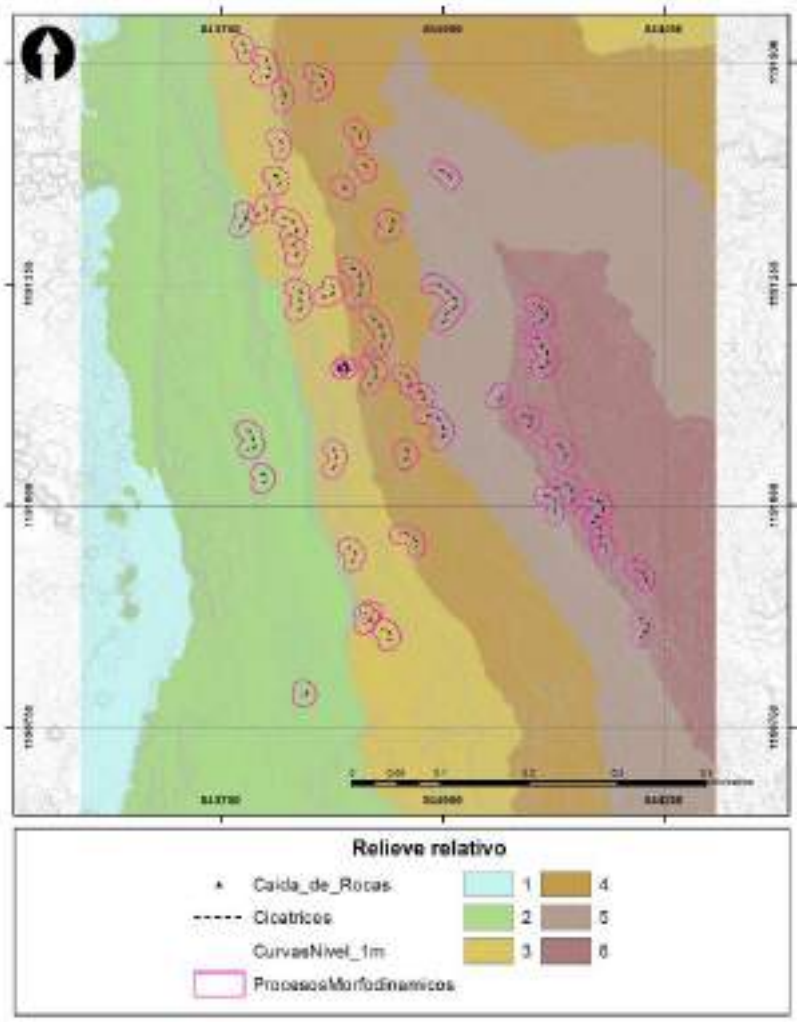


Tabla 5-7. Rangos de clasificación del relieve relativo.

Rango (metros)	Clasificación
< 2050	1
2050 - 2150	2
2150 – 2250	3
2250 - 2350	4
2350 – 2450	5
>2450	6

Fuente. Adaptada de EAFIT (2015).

Figura 5-11. Relieve Relativo.



5.1.6 Generación de mapa de susceptibilidad a la amenaza por movimientos en masa

Para la generación del mapa de susceptibilidad a la amenaza por movimientos en masa se emplea un método basado en análisis estadístico llamado método de índice de riesgo, el cual emplea una operación cruzada entre cada uno de los mapas de temáticos y el mapa de procesos morfodinámicos, mediante la relación de áreas totales y áreas de afectación y calcula un factor de condicionamiento al deslizamiento potencial para cada parámetro de cada mapa temático. La ecuación para el cálculo del factor es:

$$W_i = \ln\left(\frac{Densclas}{Densmap}\right) = \ln\left(\frac{\frac{Area(Si)}{Area(Ni)}}{\frac{\sum Area(Si)}{\sum Area(Ni)}}\right)$$

Dónde:

Wi: El peso dado a una determinada clase de parámetro (por ejemplo, un tipo de roca o una clase de pendiente).
Area(Si): Área que contienen deslizamientos, en una determinada clase de parámetro.
Area(Ni): Área total en una determinada clase de parámetro

El logaritmo natural se utiliza para dar pesos negativos cuando la densidad de procesos morfodinámicos es inferior a lo normal y positivo cuando es mayor que lo normal. Mediante la combinación de los mapas de valores de peso se crea el mapa de susceptibilidad.

Se destaca que mediante la aplicación de este método, la combinación de factores que generan los movimientos de masa en el pasado se hace estadísticamente y se generan predicciones cuantitativas.

Una vez calculado el factor de condicionamiento al deslizamiento potencial para parámetro de cada mapa temático (Anexo presentado en la carpeta InfoProducida\Calculos\Calculo_Wi.xls), es asociado a la tabla de atributos y mediante el "Algebra de mapas", en sistema de información geográfica SIG; se realiza la suma lineal para obtener el mapa de susceptibilidad.

El mapa de susceptibilidad obtenido, presenta una gran cantidad de polígonos, producto de las superposiciones de mapas anteriormente mencionados los cuales contienen los factores de condicionamiento al deslizamiento potencial.

Con el fin de analizar la tasa de éxito y verificar la confiabilidad del mapa, se ordenan los píxeles del mapa de susceptibilidad en un número de clases, desde valores altos a bajos, basándose en la información de frecuencia del histograma. Después se hace una superposición con el mapa de procesos morfodinámicos y se calcula la frecuencia conjunta. La tasa de éxito indica cuánto porcentaje de todos los procesos morfodinámicos se produce en los píxeles con los valores más altos en los diferentes mapas de combinación.

Al realizar este análisis de determina la escala de valores absolutos para definir el nivel de susceptibilidad en los rangos establecidos como: muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo (Tabla 5-8 y Figura 5-13).

Figura 5-12 Porcentaje acumulado de los procesos morfodinámicos Vs Porcentaje acumulado.

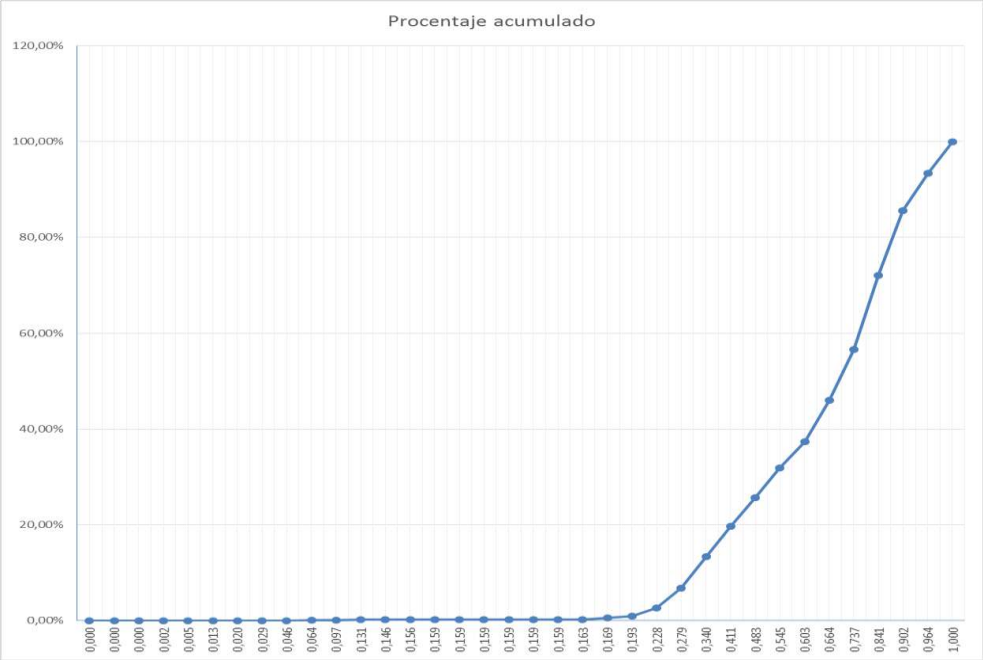


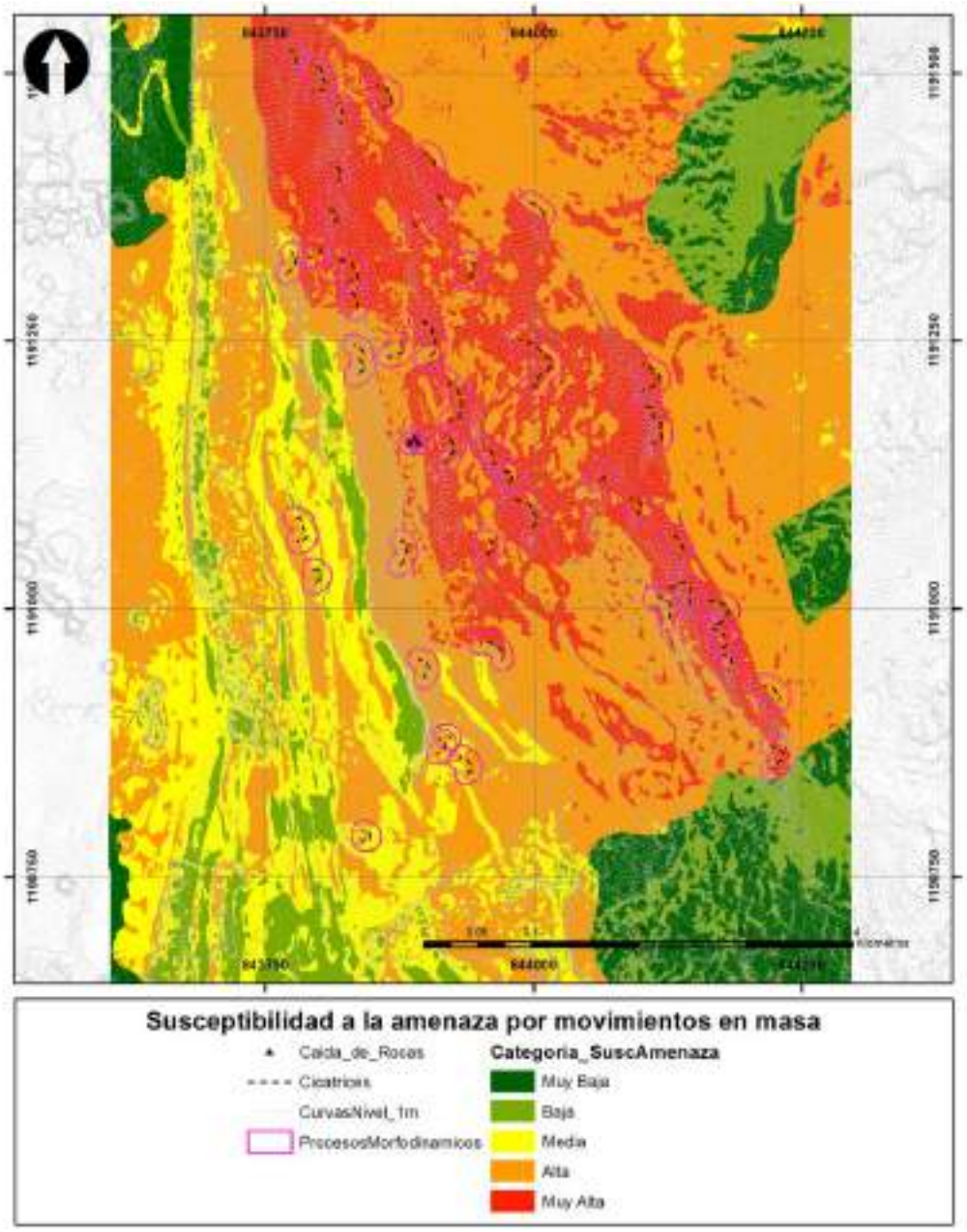
Tabla 5-8. Rangos y categorias de Susceptibilidad.

% Área Acumulada	Wi Clase	Categoría	Susceptibilidad
<10	≥40	1	Muy Baja
10 - 25	<39 - >13	2	Baja
25 - 45	<12 - >10	3	Media
45 - 85	<9- >4	4	Alta
>85	≤3	5	Muy Alta

El rango de susceptibilidad muy bajo se define a partir del porcentaje de área acumulada igual o inferior al 10% en el cual se concentra hasta el 0,15% del área de los procesos morfodinámicos. El rango bajo se define a partir del porcentaje de área acumulada igual o inferior al 25% en el cual se concentra hasta el 5% del área de los procesos morfodinámicos. El rango medio se define a partir del porcentaje de área acumulada igual o inferior al 45% en el cual se concentra hasta el 25% del área de los procesos morfodinámicos. El rango alto se define a partir del porcentaje de área acumulada igual o

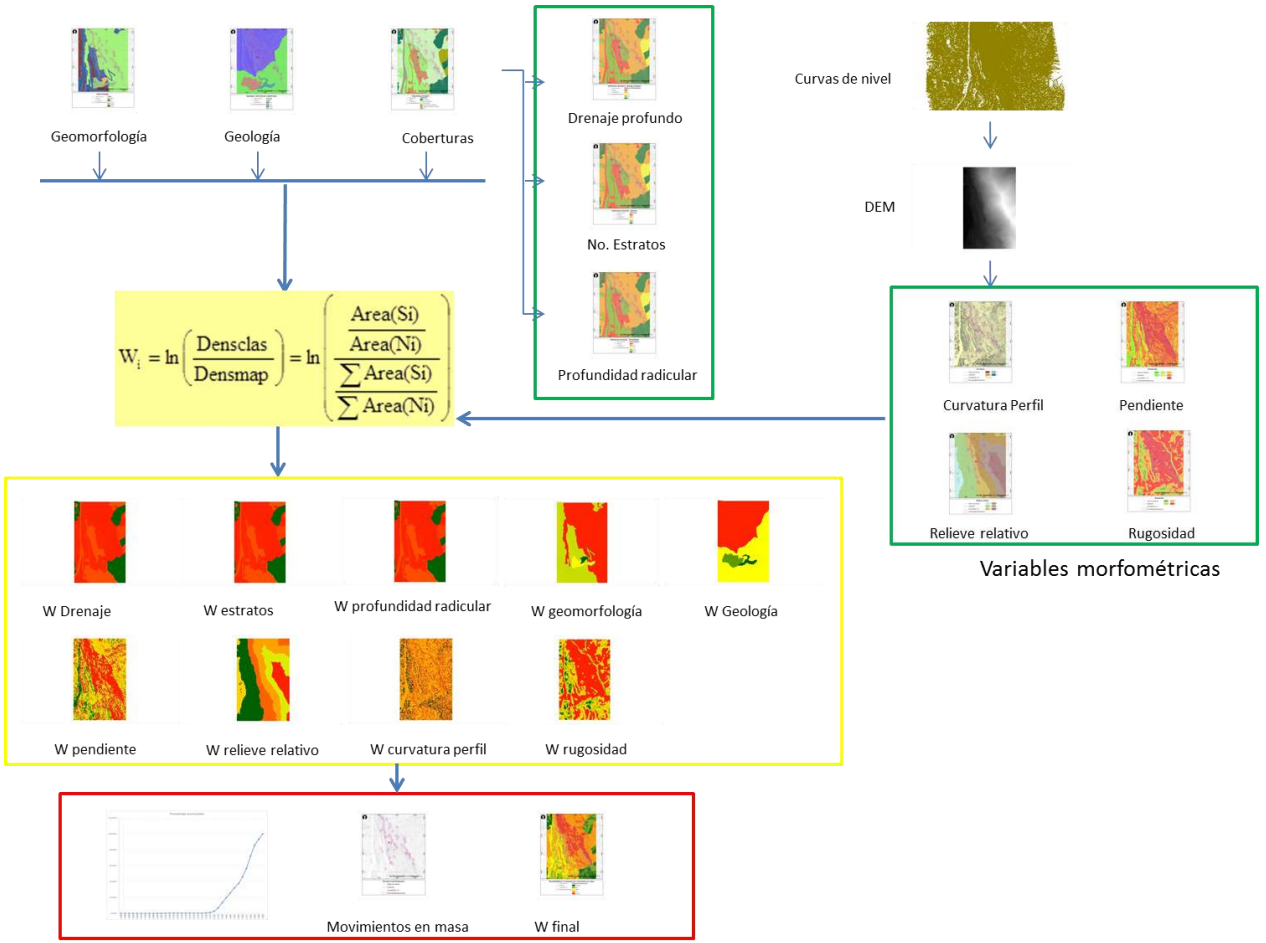
inferior al 85% en el cual se concentra hasta el 75% del área de los procesos morfodinámicos. El rango muy alto se define a partir del porcentaje de área acumulada superior al 85% en el cual se concentra hasta el 100% del área de los procesos morfodinámicos. En el anexo presentado en la carpeta InfoProducida\Calculos\ CalculoSusceptibilidad_Rangos.xlsx, se presenta el análisis realizado y su resultado.

Figura 5-13. Susceptibilidad a movimientos en masa.



En la Figura 5-14 se presenta esquemáticamente el procedimiento para obtener el mapa de susceptibilidad a la amenaza por movimientos en masa.

Figura 5-14. Procedimiento – Susceptibilidad.



6. ESTUDIO HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO E HIDROGEOLÓGICO

Este componente, contiene el estudio hidrológico, hidráulico e hidrogeológico en el área de influencia de la Cantera Las Nieves.

6.1 METODOLOGÍA

De forma general, la metodología seguida para la elaboración de los estudios consiste en los siguientes procesos:

- Recopilación de información básica para los estudios hidrológicos, hidráulicos e hidrogeológicos. Esta información la constituyen el levantamiento topográfico de campo, estudios anteriores y las visitas de campo realizadas al sitio.
- Consulta y adquisición de información hidrológica en EPM, con el fin de realizar una descripción general del régimen de lluvias en el sitio de interés.
- Delimitación del área de las cuencas para los cauces de interés, hasta el sitio de estudio.
- Estimación de caudales de crecientes mediante el método Racional y técnicas como las hidrógrafas unitarias del SCS, Snyder y William & Hann.
- Planteamiento preliminar de las obras requeridas para evacuar las aguas de escorrentía en la reconformación de los taludes y del replanteo para el alineamiento de la quebrada Suramérica, realizando su dimensionamiento hidráulico para la creciente de diseño.
- Elaboración de planos de construcción, con los detalles de las obras hidráulicas a implementar como resultado de los estudios hidrológicos e hidráulicos realizados.
- Reconocimiento hidrogeológico a partir de los puntos de agua.

6.2 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE, Y TRABAJO DE CAMPO

Se recopiló información primaria mediante visitas de campo, en las cuales se observaron las condiciones actuales del sitio del estudio una vez ocurrido el evento, las características de las cuencas y los cauces afectados. Adicionalmente, se realizó levantamiento topográfico y registros fotográficos del sitio de estudio.

Dentro de la información secundaria recopilada se obtuvieron los registros de lluvias de las estaciones más cercanas, en las Empresas Públicas de Medellín – EPM; la topografía general de la zona a partir de las planchas cartográficas en escalas 1:2000 y 1:5000, y las imágenes satelitales a través de *Google Earth* y *Google Maps*.

El trabajo de campo en la zona del estudio, tuvo la finalidad de identificar las condiciones actuales del sitio del estudio una vez ocurrido el evento, las características de las cuencas

y los cauces afectados, realización de aforos en las fuentes hídricas e instalación de equipos para monitoreo.

A continuación, se describen en orden cronológico, cada una de las visitas realizadas:

6.2.1 VISITA 16 DE NOVIEMBRE DEL 2016

El objetivo de esta visita fue el de identificar los afloramientos de agua en la zona de interés, y los cuerpos hídricos que resultaron afectados por el deslizamiento.

Se visitó el punto de donde se realizó el desvío de la quebrada Suramérica hacía la quebrada el Atajo o Justina, debido al taponamiento que ocasionó el derrumbe, en un tramo de la quebrada Suramérica. Como consecuencia de este desvío se produjo un aumento importante de los sedimentos sobre el cauce de la quebrada El Atajo, situación que afecta la calidad de las aguas, y que genera un detrimento en el servicio a los usuarios de un acueducto rural que se surte de dicha fuente.

La bocatoma para el acueducto rural de Cristo Rey es la que sufre la mayor afectación debido a que se encuentra situadas aguas abajo del cruce de la corriente con la autopista Medellín- Bogotá. En la corriente Atajo o Justina se tiene otra bocatoma identificada con el nombre Cabuyal, situada aguas arriba del cruce con la autopista y unos metros arriba del sitio donde en la actualidad está descargando sus aguas la quebrada Suramérica, por tal motivo no está siendo afectada.

Además, se hizo un reconocimiento de la zona exacta donde ocurrió el evento, esto con el fin de tener un panorama más amplio del sitio que se vio afectado por este movimiento en masa. Con esto, se lograron identificar algunos afloramientos que discurren formando algunos surcos o pequeños canales por la ladera descubierta luego de la remoción de tierra producto del evento. De acuerdo monitoreos de estos nacimientos realizados por personal de la Cantera Las Nieves, se ha presenciado un aumento de caudal después del suceso, inquietando con esto la inestabilidad en el futuro de la ladera, sino se hace un adecuado tratamiento de estas aguas.

- **Reconocimiento del desvió de la corriente Suramérica hacia la fuente el Atajo o Justina**

Se hizo un recorrido con el objetivo de identificar las condiciones actuales en las que se encuentra la quebrada Suramérica, después del taponamiento de un tramo de su cauce. Se identificó el sitio de descarga a la quebrada El Atajo, donde se evidenció el aumento en los sedimentos debido a esta situación. Se levantó un registro fotográfico de los puntos de interés en el sitio y de las medidas implementadas para disminuir los efectos del evento. De la Figura 6-1 a la Figura 6-8, se muestra un reporte de las condiciones en las que se encuentra el sitio después de ocurrido el movimiento de masa.

Se observó también que en el trayecto por donde se desvió la quebrada Suramérica para entregarla en la quebrada El Atajo, se ubicaron unas obras de conducción como tuberías y canales en PVC, con el fin de evitar el estancamiento del agua y facilitar su transporte. Esto se puede ver en las Figura 6-1 a Figura 6-8.

Figura 6-1. Quebrada El Atajo, justo antes de entrar al "Box Culvert" de la vía Medellín-Bogotá.

Figura 6-2. Sitio de entrega de la quebrada Suramérica a la quebrada El Atajo.

Figura 6-3: Conducción provisional de la quebrada Suramérica, donde se observa el aumento de turbiedad por el transporte de sedimentos.

Figura 6-4: Conducción provisional de la quebrada Suramérica, donde se observa el aumento de turbiedad por el transporte de sedimentos.

Figura 6-5. Sedimentador 6. En esta obra descarga la qda. Suramérica antes de entregar a la confluencia (requiere mantenimiento).

Figura 6-6. Qda. Suramérica al cruzar la vía de paso hacia la cantera, el agua pasa sobre la vía, no presenta obra.

Figura 6-7. Qda. Suramérica al cruzar la vía de paso que conduce a la zona de derrumbe en la parte alta.

Figura 6-8. Descarga de la qda. Suramérica al cruzar la vía Medellín-Bogotá, esto en su alineamiento natural antes del derrumbe.

- **Identificación de los afloramientos en la zona donde ocurrió el movimiento en masa**

Se hizo un recorrido con el objetivo de identificar los afloramientos que discurren por la ladera y observar el posible efecto que pueden generar, en caso de no realizarse un control adecuado a estos flujos. Esto, por la posible inestabilidad que pueden causar estos

drenajes por saturación o erosión del terreno, y más en un sitio con historial de movimiento de masa.

Para esto se hizo un registro fotográfico de las condiciones actuales de la zona de estudio (Figura 6-9 a Figura 6-14). En éstas se observan las medidas implementadas para la recolección de aguas de afloramientos y transporte hacia fuentes cercanas. Esto, con el fin de evitar que estas aguas continúen desplazándose por la zona del derrumbe, reduciendo la formación de charcos o estancamientos, que puedan inducir a la inestabilidad en la masa de suelo producto del derrumbe, debido a la saturación.

Figura 6-9. Zona de movimiento de masa, vista desde corona de inicio de movimiento.

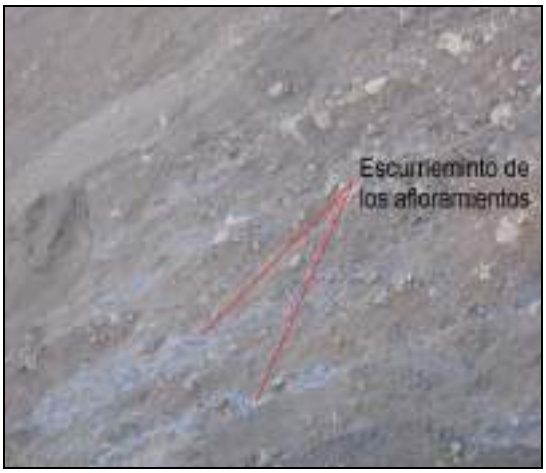


Figura 6-10. Escurrimiento de afloramientos por la zona del derrumbe.

Figura 6-11. Zona de movimiento de masa, vista desde la vía que conduce de la cantera hasta el sitio donde se obtiene la roca.

Figura 6-12. Zona de movimiento de masa, sitio donde se descargan las aguas captadas de los afloramientos.

Figura 6-13. Zona de movimiento de masa, conducción de aguas captadas de los afloramientos.

Figura 6-14. Zona de movimiento de masa, sitio de captación de aguas que escurren por la ladera y que son de afloramientos.

6.3 VISITA 23 DE NOVIEMBRE DEL 2016

Esta visita tuvo como principales objetivos, la instalación de una estación pluviométrica en la zona del proyecto (pluviómetro y tanque de colector de agua), realización de aforos muestreos de calidad de agua de los afloramientos identificados en la zona del proyecto y la medición del caudal de la quebrada Suramérica. En la Figura 6-15, se presenta una imagen satelital de *Google Earth*, con la localización de los puntos de aforo, muestreo y estación pluviométrica, en la zona del proyecto.

A continuación, se describen las actividades realizadas en la visita de campo.

- Instalación de estación de pluviométrica

Con el fin de medir la precipitación en el área de proyecto, fue instalada una estación pluviométrica. Esta consta de un pluviómetro, para la recogida y medición diaria de la precipitación, que será expresada en milímetro de agua. El diseño básico de un pluviómetro consiste en una abertura superior (de área conocida) de entrada de agua al recipiente, que luego es dirigida a través de un embudo hacia un colector donde se recoge y puede medirse.

Adicionalmente, se colocó un muestreador de agua lluvia, con el fin de monitorear la calidad de agua. Este consiste, de un tanque plástico con un embudo en la parte superior (Ver Figura 6-16 y Figura 6-17).

Figura 6-15. Localización de puntos de aforo y estación pluviométrica.

Figura 6-16. Pluviómetro.

Figura 6-17. Muestreador de agua lluvia.

Desde la fecha de instalación del pluviómetro (23 de noviembre de 2017), se realizaron mediciones diarias de precipitación por parte del personal operativo de la cantera. En el período comprendido entre 24 y 30 noviembre, la precipitación varió de 0 a 12.4 mm/día y en el período comprendido entre el 1 y 19 de diciembre, la precipitación varió de 0 a 19.5 mm/día (Figura 6-18).

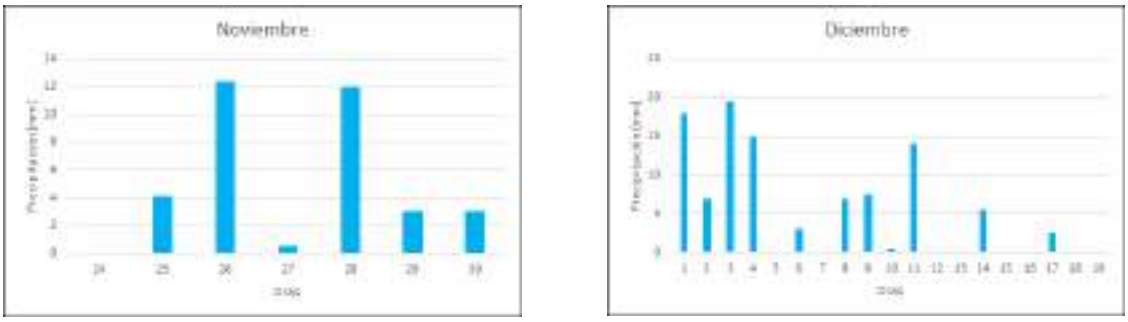


Figura 6-18. Datos de precipitación (mm) en meses de noviembre y diciembre de 2017.

- Aforos de manantiales

En esta visita de campo, fueron realizados aforos de caudal a tres afloramientos de agua identificados en el área de estudio. El tipo de aforo fue volumétrico, empleando un balde de 10 L, con mediciones por triplicado. En la Figura 6-19, se ilustra el procedimiento de los aforos. En la Tabla 6-1, se presenta la descripción de los aforos realizados en cada uno de los afloramientos definidos en el área del proyecto. Los afloramientos están referenciados con el punto GPS, cuya localización fue presentada en la Figura 6-15.

- Muestreos de calidad de agua de los afloramientos

Complementariamente a los aforos de caudal, fueron realizados muestreos de calidad de agua a los afloramientos estudiados. En la Figura 6-20, se ilustra el procedimiento de muestreo.

Figura 6-19. Aforos de afloramientos.

Afloramiento 1347 **Afloramiento 1351** **Afloramiento 1352**

Tabla 6-1. Aforos de los afloramientos en el área de estudio.

Aforo	Afloramiento Punto GPS	Caudal (L/s)	Observaciones
1	1347	2,08	Este punto es la confluencia de dos ramales que se forman en toda la ladera, entonces se puede decir que es el caudal de dos afloramientos.
2	1351	1,87	El punto donde se toma el agua para estimar su caudal se encuentra unos metros más abajo del punto del aforo 1. El objetivo es estimar el caudal, porque se observa que alguna parte del agua se infiltra, entra en la tierra removida.
3	1352	0,36	Este punto se encuentra unos metros aguas abajo del aforo 2, la idea era recoger el agua que se infiltra entre el agua removida.

Figura 6-20. Muestreo de calidad de agua de afloramientos.

- Aforo de caudal de la quebrada Suramérica

Fue realizado con el fin de evaluar el efecto provocado por el desvío realizado del cauce hacia la quebrada El Atajo, con el objetivo de tener un estimativo del caudal medio de la corriente que se vio afectada por el derrumbe. El sitio seleccionado para el aforo se ubicó antes de llegar a la zona donde se encuentra la trituradora, ya que la quebrada se desvió para ser entregada en la fuente El Atajo.

Este aforo fue realizado a través de una canaleta para encauzar el agua y un balde de 10 L. El caudal medio fue de 5.37 L/s. Se encuentra identificado con el punto 1353, cuya localización se presenta en la Figura 6-21.

Figura 6-21. Punto de aforo 4.

6.4 COMPONENTES HIDROLÓGICO

El estudio hidrológico busca estimar el caudal medio y los caudales de crecientes asociadas a diferentes períodos de retorno.

6.4.1 INFORMACIÓN HIDROLÓGICA BÁSICA ADQUIRIDA

Para el estudio hidrológico se adquirieron los datos de precipitación de la estación perteneciente a EPM, con el fin de realizar una descripción general del régimen de lluvias en el sitio de interés, la ubicación de la estación se presenta en la Figura 6-22 y en la Tabla 6-2, se presentan los datos básicos de la estación utilizada en este estudio.

6.4.2 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

La información cartográfica utilizada para la ejecución de este estudio es la correspondiente a las planchas E145, E146 y E167 en escala 1:2000 y la E147IB4Y y 147ID2W en escala 1:5000.

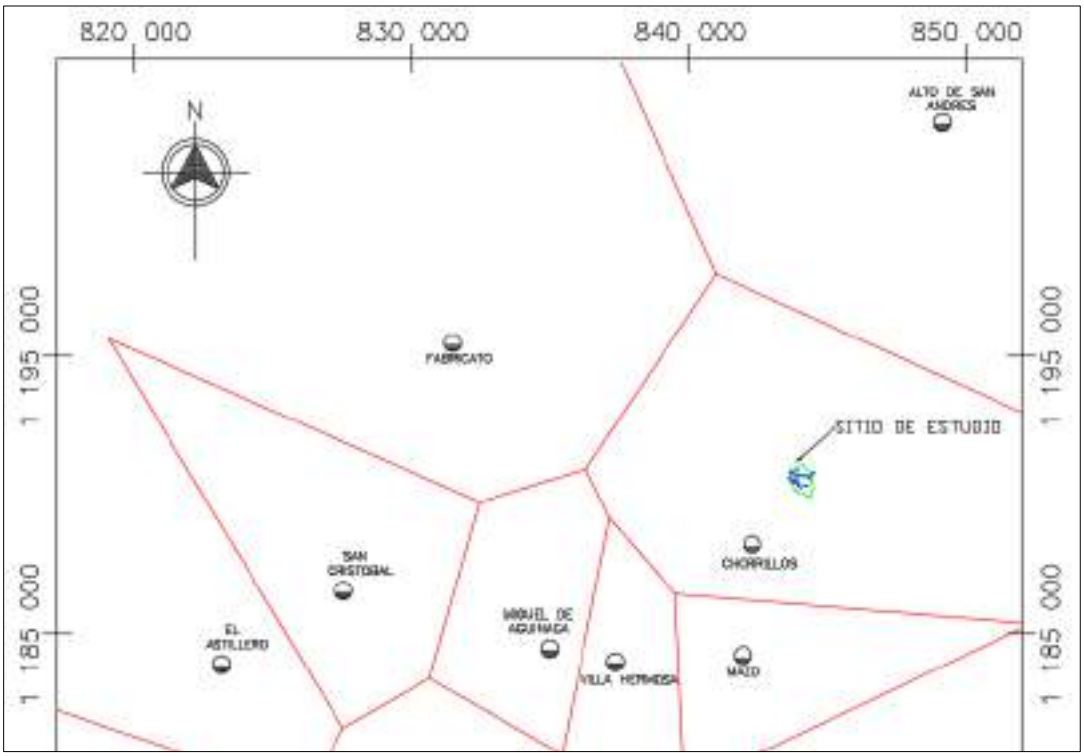
Tabla 6-2: Estaciones climatológicas utilizadas

Código	Nombre	Categoría[1]	Este[2]	Norte[2]	Municipio	Operada por	Fecha de operación
2701035	Chorrillos	PM	842 280	1 188 220	Medellín	EPM	27/03/1948

1 Tipo de estación: PM: Pluviométrica

2 Sistema de coordenadas planas con origen Bogotá

Figura 6-22. Ubicación de las estaciones pluviográficas cercanas al sitio de estudio.



6.4.3 RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES

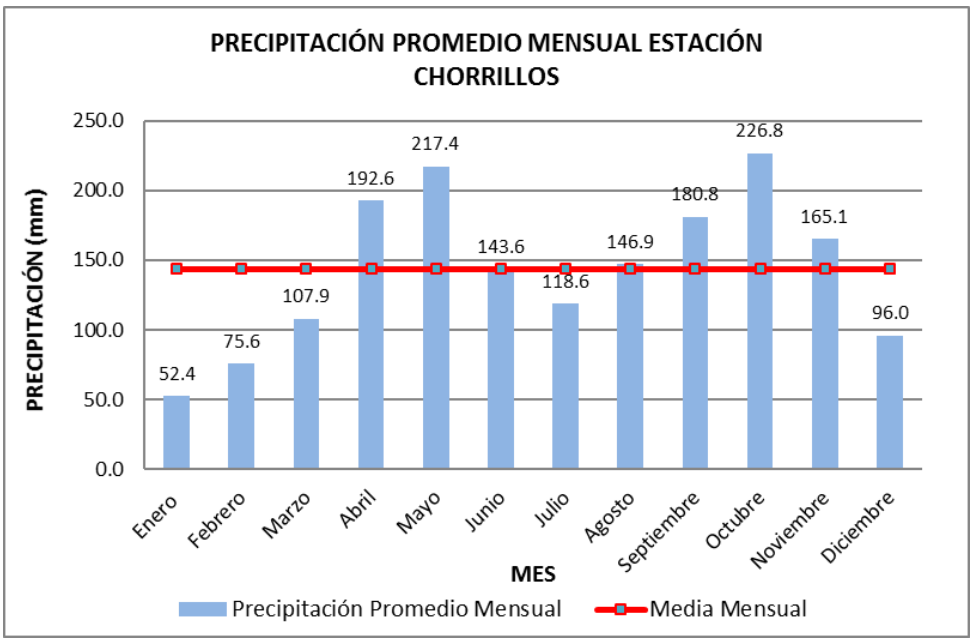
De acuerdo con los registros de la estación de precipitación, se observa que en general la distribución de lluvias tiene un comportamiento bimodal. El primer ciclo presenta un período de precipitaciones relativamente bajas en los meses de enero, febrero y marzo, y de precipitaciones altas entre los meses de abril y mayo. El segundo ciclo presenta un periodo de lluvias relativamente bajas entre los meses de junio, julio y agosto, a partir del mes de septiembre hasta noviembre se presenta un aumento de la precipitación, como se aprecia en la Tabla 6-3.

En la en la Figura 6-23 se ilustra la distribución de la precipitación mensual de la estación Chorrillos. Un método para determinar el régimen de precipitaciones en una zona, es conociendo las isoyetas. En la Figura 6-24, se muestra un mapa de isoyetas con la precipitación media anual obtenida de la revista meteorológica de EPM del 2005, en el cual se ubica el sitio de estudio y donde se puede observar que la zona se encuentra localizada entre las isoyetas de valores 1700 y 1800 mm/año.

Tabla 6-3. Precipitación media mensual para la estación analizada.

Mes	Chorrillos
	P(mm)
Enero	52.4
Febrero	75.6
Marzo	107.9
Abril	192.6
Mayo	217.4
Junio	143.6
Julio	118.6
Agosto	146.9
Septiembre	180.8
Octubre	226.8
Noviembre	165.1
Diciembre	96.0
Anual	1723.7

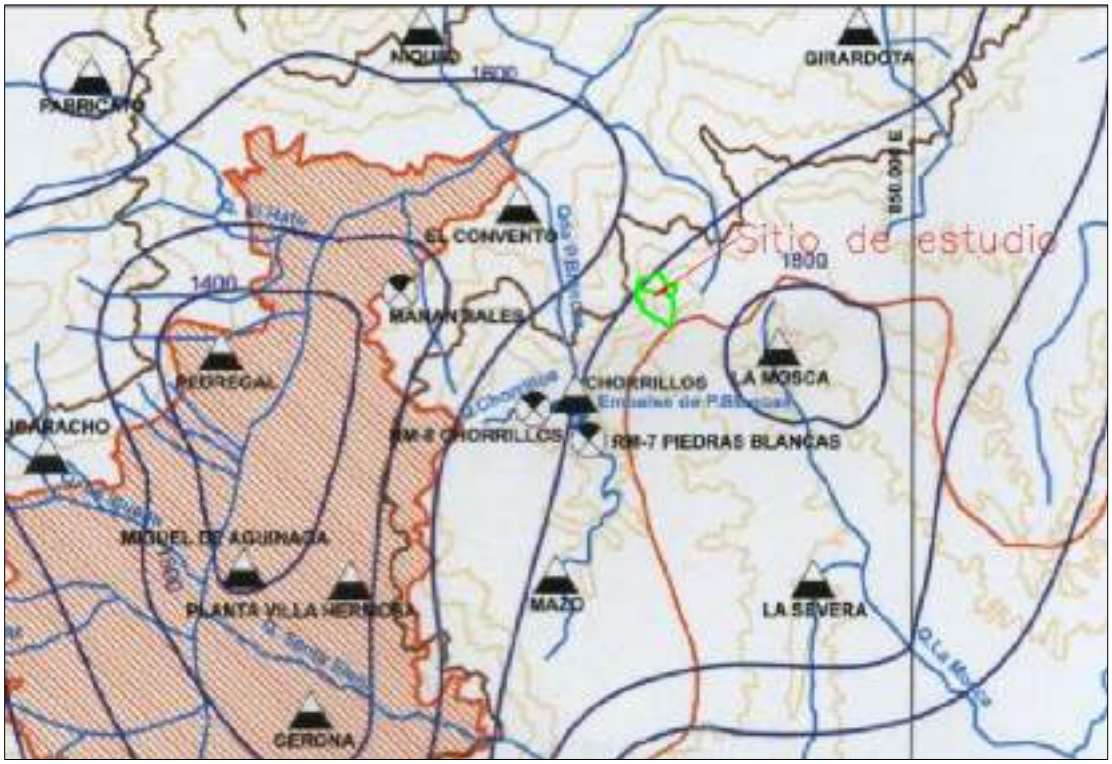
Figura 6-23. Distribución de la precipitación mensual para la estación Chorrillos (PM).



Vale la pena destacar que la estación Chorrillos tiene una precipitación anual promedio de 1723.7 mm/año, valor que se optó como precipitación media en las cuencas en estudio, dada la cercanía de las cuencas a la línea de isoyeta con valor de 1700 mm/año. El valor

de precipitación media anual es utilizado para tener una aproximación del caudal medio anual que se maneja en la zona de interés.

Figura 6-24. Isoyetas de la precipitación media anual con la ubicación de las cuencas en estudio.



En la Figura 6-24, mostrada anteriormente, se presenta el trazado de los polígonos de Thiessen y en la Tabla 6-4, se muestra el porcentaje de influencia de la estación en cada cuenca en estudio respectivamente.

Tabla 6-4. Porcentaje de influencia de las estaciones en las cuencas de la quebrada Suramérica y El Atajo.

Cuenca	Nombre de Estación	Porcentaje
Suramérica, hasta “box culvert” 1.5 m x 1.5 m	Chorrillos	100%
Suramérica, hasta “box culvert” 2.0 m x 1.5 m	Chorrillos	100%
El Atajo	Chorrillos	100%

Nota: El “box culvet” de 1.5 m x 1.5 m, es el que se encuentra en la vía que comunica la cantera con la zona donde se extrae el material, para el paso de las volquetad, y el “box culvert” de 2.0 m x 1.5 m, es el que se encuentra en la vía que da acceso a la cantera, con entrada en la autopista Medellín-Bogotá.

6.5 VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA TEMPERATURA.

La variabilidad espacial de la temperatura, puede ser obtenida a partir de estimaciones indirectas, mediante la ecuación propuesta por Cenicafé (Chávez y Jaramillo, 1996). En esta metodología se regionaliza esta variable a partir de registros de temperatura media mensual en superficie para diferentes regiones geográficas del país.

La ecuación utilizada, pertenece a la región Andina y es de la forma:

$$T_{media} = 29.42 - 0.0061 * H$$

Donde:

T_{media}: Temperatura media anual en (°C)

H: Altura sobre el nivel del mar en (msnm).

En la Figura 6-25, se presenta la distribución espacial de la temperatura en la zona de estudio, de la cual se concluye que en las cuencas en estudio, en el punto de interés se presenta una variación de la temperatura media anual de 16.96 °C en la parte baja, hasta alcanzar un valor cercano a los 13.75 °C en la parte alta, con un valor promedio de 15.32 °C, para la cuenca de la quebrada. Suramérica y para la cuenca de la quebrada El Atajo se presenta una variación de la temperatura media anual de 17.00 °C en la parte baja, hasta alcanzar un valor cercano a los 14.02 °C en la parte alta, con un valor promedio de 15.57 °C.

6.6 PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LAS CUENCAS

Las coordenadas planas con origen Magna Colombia Bogotá que determinan el punto final de estudio o llamado punto de salida de las cuencas, se muestran en la Tabla 6-5.

Para la cuencas delimitadas (Figura 6-26), se estimaron las características morfométricas básicas, como son: el área de la cuenca, la cota superior o máxima, la cota inferior o de control, la longitud y la pendiente media del cauce principal, entre otras.

En la Tabla 6-6 se presentan las características morfométricas de las cuencas de estudio.

De las características morfométricas de las dos cuencas estudiadas, se resaltan las pendientes altas. Estas influyen en los caudales máximos y aumentan la degradación, como consecuencia del aumento de la velocidad del agua. Con el aumento de la velocidad del agua, crece la capacidad de erosión y la cantidad y tamaño de los materiales arrastrados.

Figura 6-25. Mapa de Temperatura Media Anual en las cuencas en estudio.

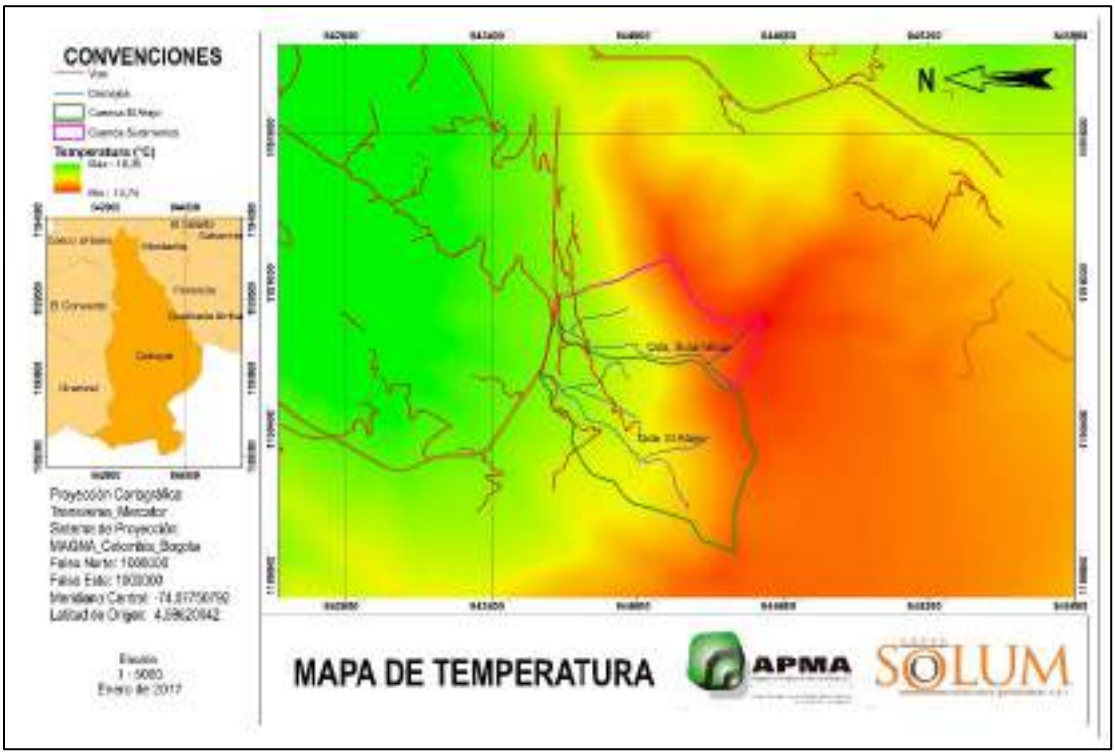


Tabla 6-5. Coordenadas de salida de la cuenca.

Cuenca	Este	Norte
Suramérica, hasta “box culvert” 1.5 m x 1.5 m	843 800.04	1 190 710.67
Suramérica, hasta “box culvert” 2.0 m x 1.5 m	843 655.35	1 190 835.35
El Atajo	843 605.25	1 190 626.68

Los bajos valores del índice de compacidad cercanos a 1,0, indican un grado peligrosidad por las crecidas, porque las distancias relativas de los puntos de la divisoria, con respecto a uno central, no presentan diferencias mayores, y el tiempo de concentración se hace menor.

En las Figura 6-27 y Figura 6-28, se presentan el modelo digital del terreno (MDT) y el mapa de pendiente de la zona en estudio, respectivamente.

Figura 6-26. Mapa de delimitación de las cuencas.

Tabla 6-6. Características morfométricas de las cuencas en estudio.

Característica	Cuenca Qda. Suramérica hasta box 1.5 x 1.5 m	Cuenca Qda. Suramérica hasta box 2.0 x 1.5 m	Cuenca Qda. El Atajo
Área (km²)	0.14	0,24	0,45
Cota superior de la cuenca (msnm)	2570	2570,00	2525,00
Cota superior del cauce (msnm)	2553	2553,00	2388,00
Cota inferior de la cuenca (msnm)	2105	2042,00	2033,00
Longitud del cauce principal hasta la divisoria (km)	0.83	1,01	1,11
Longitud del cauce principal (km)	0.78	0,96	0,89
Longitud de la cuenca (Km)	0.73	0,86	0,81
Perímetro (km)	1.83	2,31	2,99
Ancho de la cuenca (km)	0.17	0,24	0,41
Altura media de la cuenca (m.s.n.m)	2369	2312,00	2271,00
Pendiente promedio del cauce (%)	57.65	53,23	39,90
Pendiente promedio del cauce hasta la divisoria (%)	55.96	52,07	44,41
Pendiente promedio de la cuenca (%)	78.50(Muy escarpado)	81 (Muy escarpado)	58 (Escarpado)
Índice de compacidad (Kc)	1.37(Oval redonda a oval oblonga)	1,33 (Oval redonda a oval oblonga)	1,26 (Oval redonda a oval oblonga)
Factor de forma (Kf)	0.20 (Ligeramente larga)	0,23 (Ligeramente larga)	0,37 (Corta)

Característica	Cuenca Qda. Suramérica hasta box 1.5 x 1.5 m	Cuenca Qda. Suramérica hasta box 2.0 x 1.5 m	Cuenca Qda. El Atajo
Sinuosidad	1.15	1,18	1,37
Orden de la cuenca	2.00	2,00	3,00

Figura 6-27. Modelo digital del terreno (MDT).

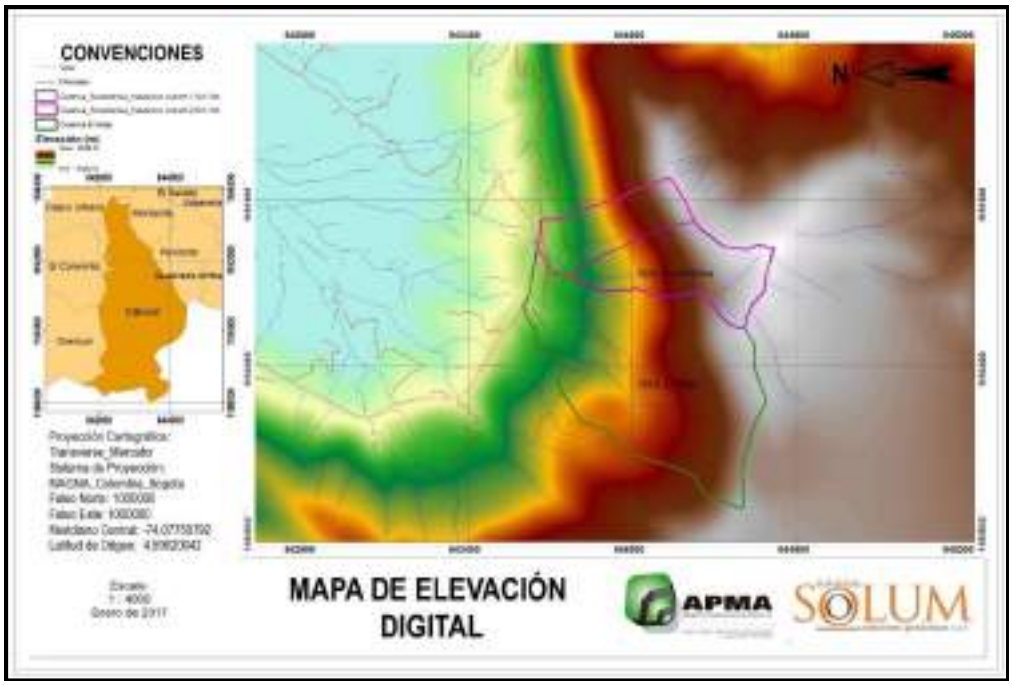
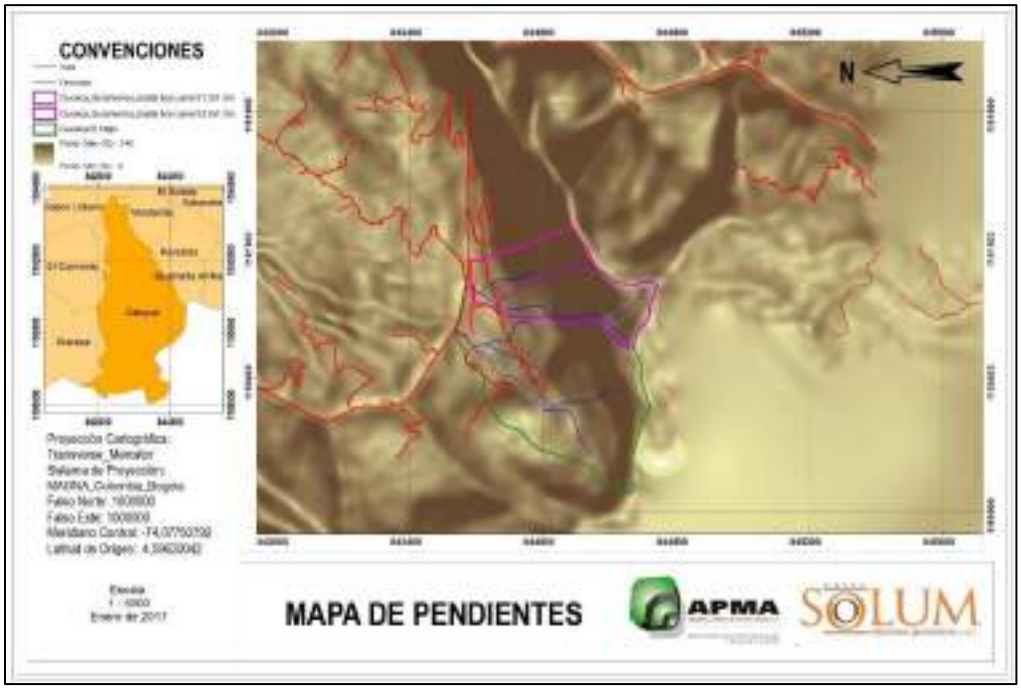


Figura 6-28. Mapa de pendientes.



6.7 CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN - FRECUENCIA

Las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) tienen utilidad en la determinación de caudales pico, cuando se utilizan métodos que relacionan las precipitaciones con la escorrentía teniendo en cuenta las características fisiográficas de las cuencas. Para la obtención de las curvas IDF se utilizan los parámetros reportados por EPM (2005), con los cuales es posible obtener la intensidad para diferentes períodos de retorno mediante la siguiente expresión:

$$I = C(D+H)^{M}$$

Donde:

I: Intensidad de precipitación (mm/h).
D: Duración de la lluvia (min).
C, H y M: Parámetros de ajuste de la regresión (Tabla 6-7).

Tabla 6-7. Parámetros de las hipérbolas de la estación de influencia en las cuencas

Tr (años)	Chorrillos		
	C	H	M
2.33	6256,7	35	-1,1469

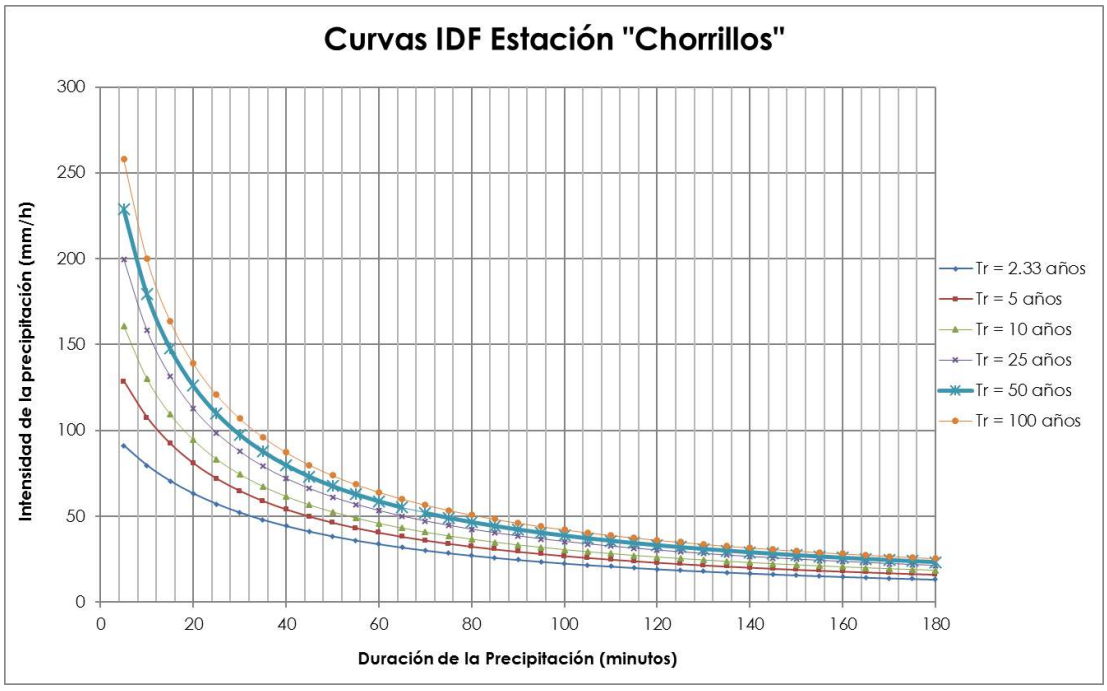
Tr (años)	Chorrillos		
	C	H	M
5	3527,6	21	-1,0166
10	2779,1	15	-0,9509
25	3063,3	13	-0,9447
50	3297,3	12	-0,9420
100	3448,0	11	-0,9352

En la información de EPM (2005) se dispone de curvas IDF para la estación Chorrillos, por lo tanto, para la estimación de caudales de crecientes solo se emplearon estas curvas. En la Figura 6-29, se muestra las curvas obtenidas para la estación Chorrillos. Para obtener las precipitaciones de diseño en los métodos sintéticos se aplicó el método de los polígonos Thiessen.

6.7.1 CÁLCULO DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El cálculo del tiempo de concentración de las áreas de aporte se realizó con base en fórmulas que son de frecuente aplicabilidad en el medio. Uno de los criterios para la selección del tiempo de concentración es el de la velocidad media del flujo en el terreno.

Figura 6-29. Curvas I-D-F de la estación Chorrillos.



El área de aporte de la quebrada y la longitud del cauce fueron medidas utilizando el programa Autocad y la cartografía reportada anteriormente. Para el cálculo del tiempo de concentración de las áreas de aporte se emplearon algunas de las fórmulas presentadas en el manual de drenaje del INVIAS y de otra literatura.

- Kirpich:

$$T_c = 0.06628 \times \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.77}$$

Donde:
Tc: Tiempo de concentración (h).
L: Longitud del cauce principal (km).
S: Pendiente del cauce principal (m/m).

- Témez:

$$T_c = 0.30 \times \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde:
Tc: Tiempo de concentración (h).
L: Longitud del cauce principal (km).
S: Diferencia de cotas entre puntos extremos de la corriente dividido L (%).

- Ven Te Chow

$$T_c = 0.273 \times \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.64}$$

Donde:
Tc: Tiempo de concentración (h).
L: Longitud del cauce principal (km).
S: Pendiente del cauce principal (m/m).

- Giandiotti (1990).

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.50L}{25.3\sqrt{LS}}$$

Donde:

Tc: Tiempo de concentración (h)
A: Área de drenaje (km2)
L: Longitud del cauce principal (km).
S: Pendiente promedio del canal (m/m).

- U.S. Corps of Engineers.

$$T_C = 0.28 \times \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde:
Tc: Tiempo de concentración (h)
L: Longitud del cauce principal (km)
S: Pendiente promedio del canal (m/m)

- SCS – Ranser.

$$T_c = 0.947 \times \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde:
Tc: Tiempo de concentración (h)
H: Diferencia de altura entre los puntos extremos de la cuenca (m)
L: Longitud de la cuenca siguiendo el cauce principal (km)

En las Tabla 6-8, Tabla 6-9 y Tabla 6-10, se presenta la evaluación del tiempo de concentración para las cuencas en estudio con algunas de las fórmulas empíricas.

Tabla 6-8. Cálculo del tiempo de concentración de la cuenca quebradada Suramérica, hasta el box culvert 1.5 x1.5 m.

Métodos	Minutos	horas
Kirpich (1990)	4.3	0.07
Témez	7.3	0.12
Giandiotti	9.6	0.16
U.S. Corps of Engineers	16.3	0.27
Williams	13.4	0.22
Ven Te Chow	17.5	0.29
Promedio	11.4	0.19
Desviación Estándar	5.2	0.09
Límite inferior	6.2	0.10
Límite Superior	16.6	0.28

Métodos	Minutos	horas
Selección (min)	**11.5**	**0.19**

Tabla 6-9. Cálculo del tiempo de concentración de la cuenca Qda. Suramérica, hasta el box culvert 2.0 x1.5 m.

Métodos	Minutos	horas
Kirpich (1990)	5,2	0,09
Témez	8,6	0,14
Giandiotti	11,4	0,19
U.S. Corps of Engineers	19,2	0,32
Williams	15,8	0,26
Ven Te Chow	20,4	0,34
Promedio	13,4	0,22
Desviación Estándar	6,1	0,10
Límite inferior	7,4	0,12
Límite Superior	19,5	0,32
Selección (min)	**13,5**	**0,23**

Tabla 6-10. Cálculo del tiempo de concentración de la cuenca El Atajo

Métodos	Minutos	horas
Kirpich (1990)	5,9	0,10
Témez	9,5	0,16
Giandiotti	14,7	0,25
U.S. Corps of Engineers	21,2	0,35
Williams	16,9	0,28
Ven Te Chow	22,7	0,38
Promedio	15,1	0,25
Desviación Estándar	6,5	0,11
Límite inferior	8,6	0,14
Límite Superior	21,7	0,36
Selección (min)	**16,0**	**0,27**

En la Figura 6-30 y Figura 6-31, se presentan gráficamente las evaluaciones de los tiempos de concentración para la quebrada Suramérica. En la Figura 6-32, se presenta gráficamente la evaluación de los tiempos de concentración para la quebrada El Atajo.

El valor del tiempo de concentración definitivo fue adoptado como un valor cercano al promedio de los valores calculados con las ecuaciones de Témez, Giandiotti, U.S. Corps of Engineers y William, que son los resultados que se encuentran dentro de los límites

superior e inferior establecidos para cada una de las cuencas. Se asume como tiempo de concentración para la cuenca de la qda. Suramérica hasta el "box culvert" de 1.5 x 1.5m un valor de 11.5 minutos, para cuenca de la qda. Suramérica hasta el "box culvert" de 2.0 x 1.5m un valor de 13.5 minutos y para la cuenca quebrada El Atajo de 16.0 minutos.

En la Tabla 6-11, tomada del Manual de drenaje para carreteras del INVIAS, se indica la velocidad promedio del agua en función de la pendiente del cauce. Se observa que hay zonas de flujo no concentrado donde la velocidad es muy baja y zonas de flujo concentrado con velocidades altas, lo cual da un orden de velocidad media para ayudar a definir el tiempo de concentración. Como se observa en la Tabla 6-12, las velocidades del flujo en las cuencas no superan los 1.5 m/s por lo tanto esto permitió validar los tiempos de concentración elegidos.

6.7.2 INTENSIDADES DE DISEÑO

Con el tiempo de concentración seleccionado en las cuencas se entra a las curvas Intensidad – Frecuencia – Duración, y se lee la intensidad de la lluvia asociada a diferentes períodos de retorno, y con los porcentajes de influencia reportados en la Tabla 6-4, se obtienen las intensidades en la cuencas en estudio para cada uno de los períodos de retorno, que se muestran en la Tabla 6-13.

Figura 6-30. Tiempos de concentración obtenidos, cuenca qda. Suramérica, hasta el box culvert 1.5 x1.5 m

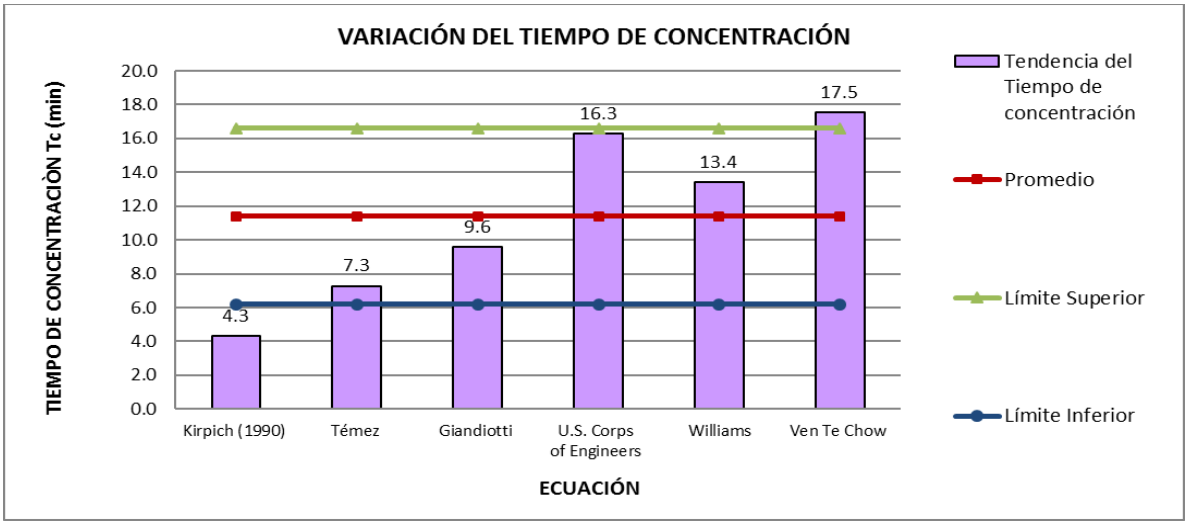


Figura 6-31. Tiempos de concentración obtenidos, cuenca qda. Suramérica, hasta el box culvert 2.0 x1.5 m

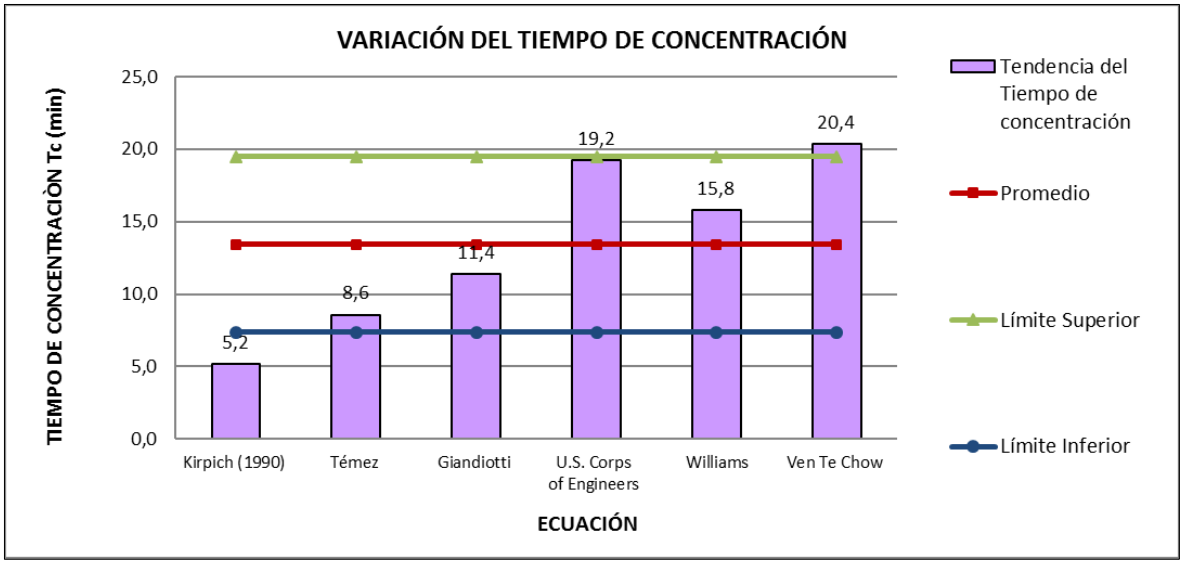


Figura 6-32. Tiempos de concentración obtenidos, cuenca El Atajo.

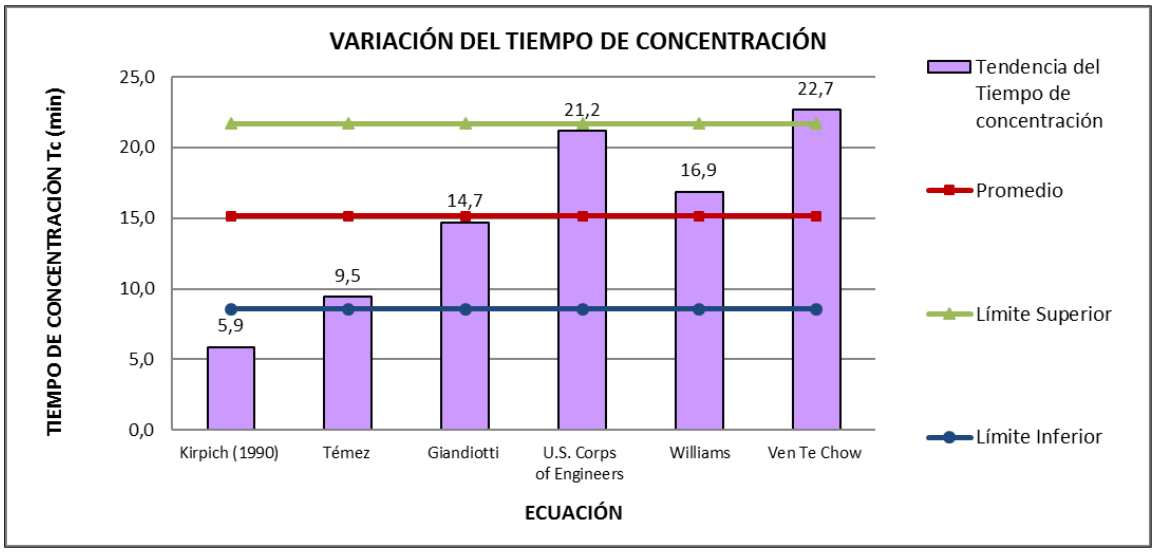


Tabla 6-11. Velocidad promedio del agua en función de la pendiente del cauce (Tomado de Manual de drenaje para carreteras del INVIAS).

DESCRIPCIÓN DEL CURSO DE AGUA	PENDIENTE EN PORCENTAJE			
	0 - 3	4 - 7	8 - 11	12 o más
	VELOCIDAD (m/s)			
Flujo no concentrado[1]				
Bosques	0 - 0.46	0.46 - 0.76	0.76 - 0.99	0.99 o más
Pastizales	0 - 0.76	0.76 - 1.07	1.07 - 1.30	1.30 o más
Cultivos	0 - 0.91	0.91 - 1.37	1.37 - 1.68	1.68 o más
Pavimentos	0 - 2.59	2.59 - 4.12	4.12 - 5.18	5.18 o más
Flujo concentrado[2]				
Canal de salida	La ecuación de Manning determina la velocidad			
Canal natural no bien definido	0 - 0.61	0.61 - 1.22	1.22 - 2.13	2.13 o más

[1] Esta condición usualmente ocurre en las partes superiores de la cuenca, antes de que el flujo superficial se acumule en un canal.

[2] Estos valores varían con el tamaño del canal y otras condiciones. Cuando sea posible, se deben hacer determinaciones más precisas para condiciones particulares mediante la ecuación de velocidad en canales de Manning.

Tabla 6-12. Tiempos de concentración y velocidad media para las cuencas en estudio.

Cuenca	Longitud del cauce hasta la divisoria (Km)	Tiempo de concentración (mtos)	V media (m/s)
Suramérica, hasta "box culvert" 1.5 m x 1.5 m	0.83	11.5	1.20
Suramérica, hasta "box culvert" 2.0 m x 1.5 m	1.01	13.5	1.25
Qda. El Atajo	1.11	16.0	1.15

Tabla 6-13. Intensidad (mm/h).

Cuenca	TR (años)					
	2.3	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0
Suramérica, hasta "box culvert" 1.5 m x 1.5 m	76.5	102.4	123.2	149.2	168.5	187.5
Suramérica, hasta "box culvert" 2.0 m x 1.5 m	72,9	96,4	114,9	138,6	156,0	173,1
Qda. El Atajo	68,9	89,8	106,1	127,3	142,9	158,1

6.8 DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

La duración de la tormenta de diseño en las cuencas de interés se consideró igual al tiempo de concentración, ya que se ha observado que esta duración tiende a ser más crítica para la generación de la creciente, debido a que toda la escorrentía producida en la cuenca alcanza a sumarse en el punto de interés, por lo que teóricamente, duraciones mayores no generarían un aumento del caudal pico de la hidrógrafa. En la Tabla 6-14, se presenta las precipitaciones de diseño correspondientes a los tiempos de concentración, para cada uno de los períodos de retorno analizados en las cuencas objeto de estudio.

Tabla 6-14. Precipitaciones (mm).

Cuenca	TR (años)					
	2.3	5.0	10.0	25.0	50.0	100.0
Suramérica, hasta "box culvert" 1.5 m x 1.5 m	14.7	19.6	23.6	28.6	32.3	35.9
Suramérica, hasta "box culvert" 2.0 m x 1.5 m	16,4	21,7	25,9	31,2	35,1	39,0
Qda. El Atajo	18,4	23,9	28,3	33,9	38,1	42,2

6.9 DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN EL ÁREA

Para cuencas con área de drenaje menor de 25 km^2, se considera que no es necesario aplicar un factor de reducción en el área, pues es posible que se presente una tormenta generalizada en toda la cuenca; por tal razón se utilizó el valor puntual de la precipitación para estimar el valor promedio sobre la cuenca estudiada.

6.10 CAUDAL MEDIO

Para estimar el caudal medio en las cuencas en estudio se considera un factor de escorrentía que al multiplicarse por la precipitación media multianual permite evaluar la escorrentía promedia. La escorrentía promedia multiplicada por el área de drenaje de la cuenca determina dicho caudal en el sitio de interés. En la Tabla 6-15 se presentan los resultados de esta metodología. El porcentaje de pérdidas se estimó en un 50%, es decir que el factor de escorrentía sería de 0.5, valor que se ha obtenido en Antioquia y en algunas regiones del país.

El caudal medio en su valor se puede considerar igual al caudal de base de la fuente en una condición media, teniendo claro que el primero es algo mayor que el segundo. Bajo esta consideración se puede tomar este caudal como un referente para comparar las mediciones o aforos que se hagan en campo en un momento en que no haya influencia directa de lluvias, es decir, que el caudal que se mida es un caudal de aporte subterráneo.

Tabla 6-15. Caudal medio con factor de escorrentía de 0.5

Cuenca	P (mm/año)	A (km^2)	Factor de escorrentía C	Q medio (l/s)
Suramérica, hasta “box culvert” 1.5 m x 1.5 m	1723.70	0.14	0.50	3.87
Suramérica, hasta “box culvert” 2.0 m x 1.5 m	1723,70	0,24	0,50	6,56
Qda. EL Atajo	1723,70	0,45	0,50	12,34

6.10.1 MEDICIONES EN CAMPO

El día 23 de noviembre de 2016, se realizó una visita al sitio del proyecto, con el objetivo de identificar los principales afluentes que se encuentran localizados en el área directa del proyecto. Para esto se definió un punto de interés sobre la quebrada Suramérica, que permitió realizar un aforo de caudales. En la Figura 6-33 se muestra el punto que se consideró para el aforo.

- **Punto de aforo**

Esta medición se hizo sobre un punto de la quebrada Suramérica que cruza por la vía que da acceso a la trituradora de la cantera el cual se seleccionó porque es el cauce que se vio afectado por el derrumbe, por este motivo el punto de aforo se encuentra desviado con respecto al eje de la quebrada (Figura 6-34).

Para el aforo en el sitio se empleó la metodología volumétrica, estimando el tiempo que se tarda en llenar un recipiente de capacidad conocida. El proceso se repitió 3 veces y el resultado se promedió. En las Figura 6-35 y Figura 6-36, se muestra el sitio donde se realizó el aforo.

El resultado de los aforos es presentado este resultado se muestra en Tabla 6-16.

Figura 6-33. Punto de ubicación para aforo sobre la quebrada Suramérica.

Figura 6-34. Cuenca hasta el sitio de aforo sobre la quebrada Suramérica.

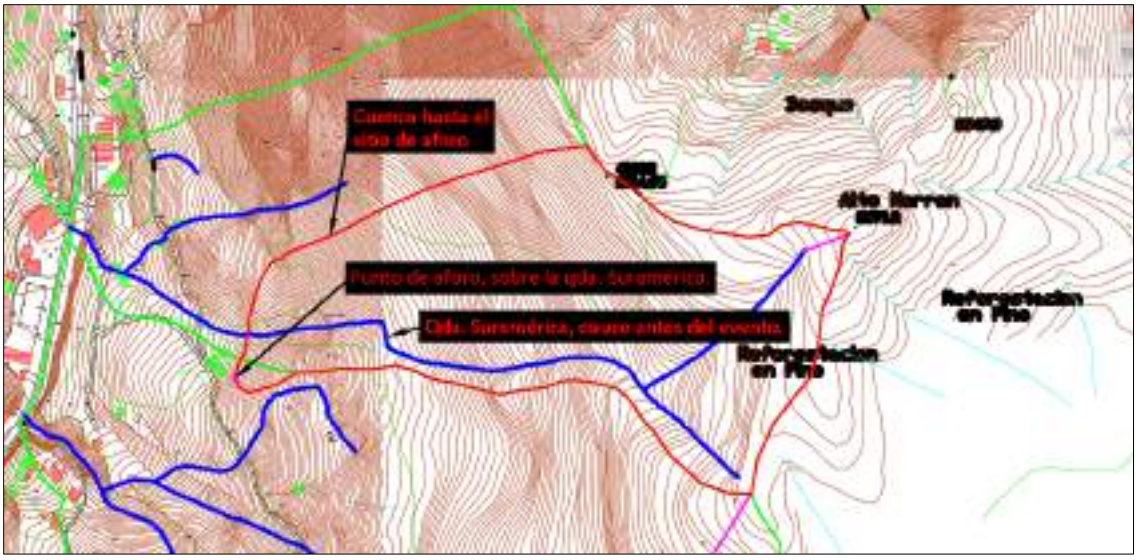


Figura 6-35. (a) Qda Suramérica. Punto de intersección con la vía, que atraviesa provisionalmente sobre esta. Sitio de aforo.(b) Qda Suramérica al cruzar la vía de paso hacia la cantera. El agua pasa sobre la vía, no presenta obra.

Figura 6-36. (a) Adecuación del sitio para realizar medición de caudal. (b) Instante del aforo volumétrico realizado en la quebrada Suramérica.

Tabla 6-16. Resultados del aforo en la quebrada Suramérica.

Medición	Tiempos (s)	Volumen recipiente (l)	Caudal (l/s)
1	1.95	10	5.13
2	1.84		5.43
3	1.80		5.56
Caudal promedio (l/s)			**5.37**

La cuenca trazada hasta el sitio donde se realizó el aforo tiene un área de 0.14 km^2, y si se aplica la metodología que utiliza el factor de escorrentía de 0.5 se llega a un resultado un poco menor con respecto al de registro de campo (Tabla 6-17).

El hecho de que el aforo presente un caudal mayor que el caudal medio estimado, podría explicarse considerando que la cuenca subterránea es mayor que la cuenca superficial; es decir, que el agua de la quebrada Suramérica proviene de otras zonas de recarga aledañas a la cuenca.

Tabla 6-17. Caudal medio con factor de escorrentía de 0.5, hasta sitio de aforo.

Cuenca	P (mm/año)	A (km^2)	Factor de escorrentía C	Q medio (l/s)
Qda. Suramérica	1723,70	0,14	0,50	3.83

6.10.2 CAUDALES MÁXIMOS POR MÉTODOS SINTÉTICOS

Para la determinación de los caudales máximos se utilizaron los siguientes métodos sintéticos.

- Método de Williams y Hann
- Método del Soil Conservation Service (SCS)
- Método de Snyder

El método del hidrograma unitario es el modelo de lluvia-escorrentía más utilizado en hidrología. Asume que el efecto de transformación de precipitación en escorrentía en una cuenca se puede representar por una función lineal de tipo convolutiva.

6.10.3 PARÁMETROS BÁSICOS PARA LOS MÉTODOS SINTÉTICOS

Además de las características morfométricas de la cuenca, para la obtención de crecientes se requiere determinar algunos parámetros básicos como son el tiempo de concentración, el número de curva que involucra el uso del suelo, las precipitaciones, y de éstas, la parte que se convierte en escorrentía directa o precipitaciones efectivas.

6.10.4 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CURVA

El intervalo del número de curva es desde 0 a 100 y es función de la textura, la cobertura y los antecedentes de humedad del suelo. Entre menor sea el número de curva, más bajo es el potencial de escorrentía. El suelo se clasifica en cuatro grupos hidrológicos con base en su textura y estructura tal como se presenta en la Tabla 6-18.

La humedad antecedente se clasifica en tres grupos así:

- AMC I para suelos secos
- AMC II para suelos intermedios
- AMC III para suelos húmedos

Para la determinación del número de curva se utiliza el método propuesto por el U.S. Soil Conservation Service, calculándose para siguientes dos condiciones:

Tabla 6-18. Descripción de los grupos Hidrológicos del suelo.

Grupo de suelo	Descripción
A	Suelos con bajo potencial de escurrimiento por su gran permeabilidad y con elevada capacidad de infiltración, aun cuando estén húmedos. Se trata principalmente de suelos profundos con texturas gruesas (arenosa o areno limosa).
B	Son suelos con moderada capacidad de infiltración cuando están saturados. Principalmente consisten en suelos de mediana a alta profundidad, con buen drenaje. Sus texturas van desde moderadamente finas a moderadamente gruesas (franca, franco-arenosa o arenosa).
C	Son suelos con escasa capacidad de infiltración una vez saturados. Su textura va de moderadamente fina a fina (franco arcillosa o arcillosa. También se incluye aquí suelos que presentan horizontes someros bastantes impermeables.
D	Suelos muy arcillosos con elevado potencial de escurrimiento y, por tanto, con muy baja capacidad de infiltración cuando están saturados. También se incluyen aquí los suelos que presentan una capa de arcilla somera y muy impermeable así como suelos jóvenes de escaso espesor sobre una roca impermeable, ciertos suelos salinos y suelos con nivel freático alto.

Para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá se tiene básicamente que los suelos están dentro de los grupos B y C, que son suelos limo-arenosos y limo-arcillosos derivados de rocas duníticas y depósitos de vertiente, además la topología de las cuencas es de predominancia de alta pendiente, lo que hace que la infiltración sea baja.

La condición de humedad antecedente se considera AMC III, condición que arroja valores de crecientes mayores por considerar que el suelo ya se encuentra húmedo reduciendo la capacidad de infiltración, cuando se presenta la avenida de diseño.

Con las condiciones anteriores se pretende tener un caudal mayor con el fin de tener un mayor margen de confianza ante los fuertes cambios que se vienen presentando en nuestro país como consecuencia del cambio climático global.

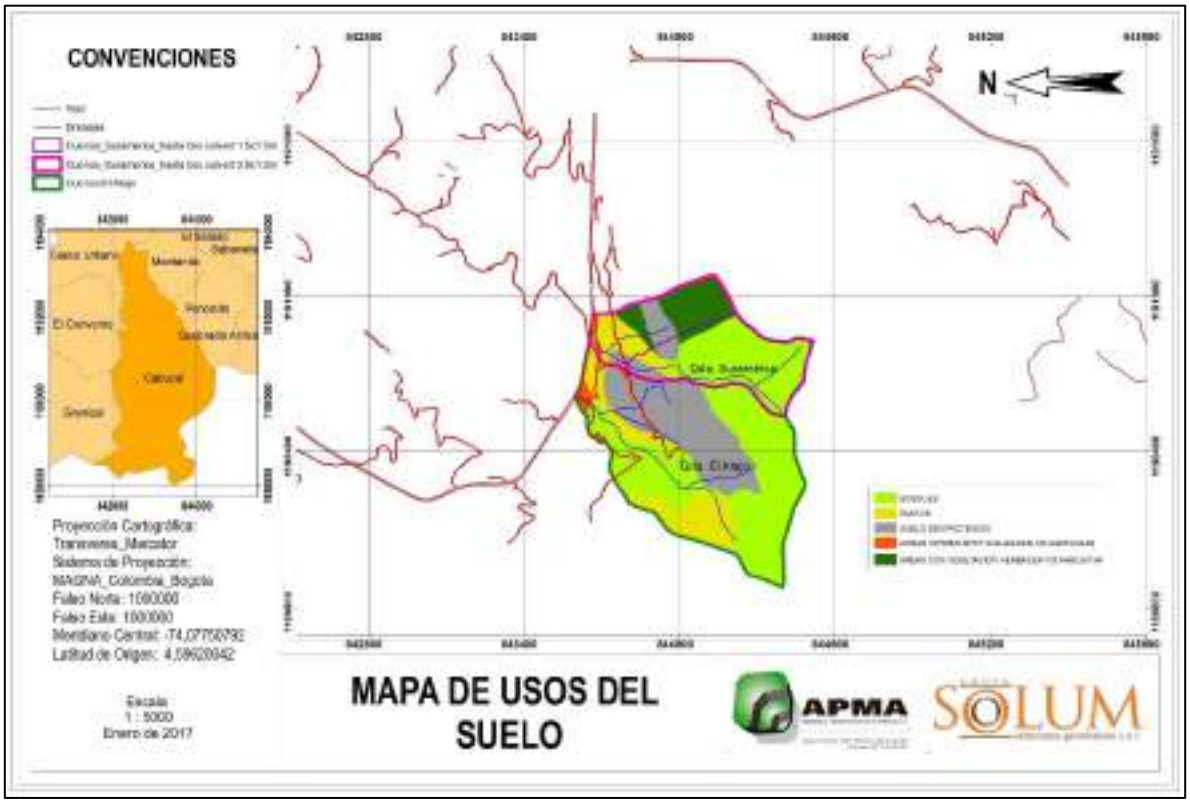
Con el objeto de tener un mejor conocimiento del tipo de suelo, se utilizó el mapa de modelo ocupacional actual del departamento de Antioquia y en este se delimitaron las áreas correspondientes a cada uso del suelo (Figura 6-37). Cabe resaltar que, para la determinación los porcentajes de cobertura, estos usos se agruparon en áreas de urbanizado, bosques, cultivos y pastizales.

De acuerdo con la descripción anterior, y el apoyo del ingeniero Geólogo Carlos Eduardo Parra, asesor del equipo de consultor, se establecieron los grupos de suelo hidrológicos para las cuencas en estudio. En la Tabla 6-19 se presentan los porcentajes de grupos de suelo en las cuencas mayores.

Tabla 6-19. Porcentaje de grupos de suelos en las cuencas en estudio.

Cuenca	Porcentajes grupos de suelo			
	A	B	C	D
Qda. Suramérica	0	60	40	0
Qda. El Atajo	0	60	40	0

Figura 6-37. Mapa de usos del suelo en las cuencas de estudio.



Tomado de cobertura de uso del suelo, 2010 elaborado por Corantioquia.

Sin embargo, para tener en cuenta la remoción de la capa vegetal en la zona de la cantera y debido a que este tipo de cobertura no se tiene clasificado en la tabla de Ven Te Chow, se utiliza un valor intermedio entre cultivo y residencial, con el fin de obtener un numero de curva (CN) más alto en el cual se vea reflejado la disminución de la infiltración y la retención de las lluvias.

En la Tabla 6-20, se presentan los porcentajes de usos del suelo para las cuencas en estudio y los números de curva correspondientes para un suelo tipo B y C, y una AMC III. El uso de suelo “Cantera” es el correspondiente a “Suelo desprotegido” en la Figura 6-37.

Tabla 6-20. Usos del suelo y números de curva de las cuencas en estudio.

Cuenca	Usos de suelo	% Área	Área km^2	Grupo A:	Grupo B	Grupo C	Grupo D	CN II	CN III
				CN	CN	CN	CN		
Suramérica, hasta "box culvert" 1.5 m x 1.5 m	Residencial	0	0	0	0	0	0	71.16	85.02
	Bosques	84.93	0.12	42	65	75	80		
	Cultivos	0	0	0	0	0	0		
	Cantera	9.93	0.014	75	84	89	91		
	Pastizales	5.14	0.007	65	75	83	85		
Suramérica, hasta "box culvert" 2.0 m x 1.5 m	Residencial	0	0	0	0	0	0	72.68	85.95
	Bosques	71.82	0.172	42	65	75	80		
	Cultivos	0	0	0	0	0	0		
	Cantera	13.98	0.034	75	84	89	91		
	Pastizales	14.20	0.034	65	75	83	85		
Qda. El Atajo	Residencial	0	0	0	0	0	0	75.66	87.73
	Bosques	52.98	0.239	42	65	75	80		
	Cultivos	0	0	0	0	0	0		
	Cantera	29.90	0.135	75	84	89	91		
	Pastizales	17.12	0.077	65	75	83	85		

6.10.5 DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN EL TIEMPO

Después de hallar la precipitación total para cada periodo de retorno, se prosigue a encontrar la distribución de la lluvia en el tiempo; para dicho procedimiento se emplearon las curvas de la estación Chorrillos del primer cuartil con una probabilidad de ocurrencia del 50% (Figura 6-38), que es una consideración de precipitación conservadora. La decisión de adoptar el primer cuartil obedece a que en este cuartil representa la situación más desfavorable porque es el que tiene más eventos de lluvia (Cárdenas, 1995)

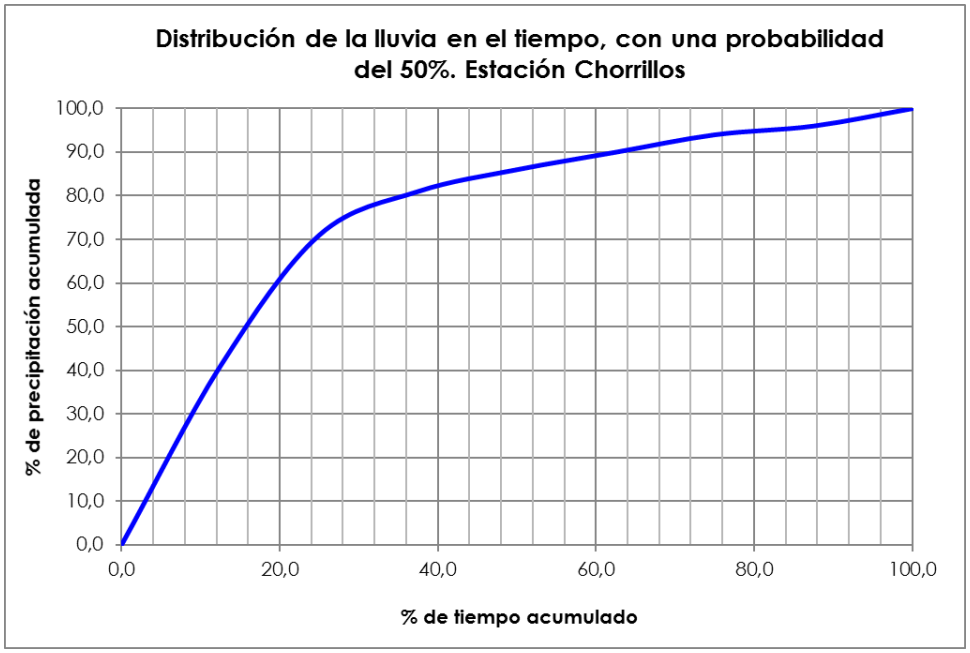
6.10.6 PRECIPITACIONES EFECTIVAS

El método más ampliamente usado en los Estados Unidos fue desarrollado en los años 70 por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS) para determinar la escorrentía superficial para diferentes combinaciones de suelo y cobertura. El método relaciona la precipitación efectiva (Pe) con la precipitación total (P) y con la capacidad de almacenamiento (Smáx) mediante la siguiente ecuación empírica:

$$Pe = \frac{(P - 0.2S_{\max})^2}{(P + 0.8S_{\max})}$$

Para P > 0.2 $S_{máx}$

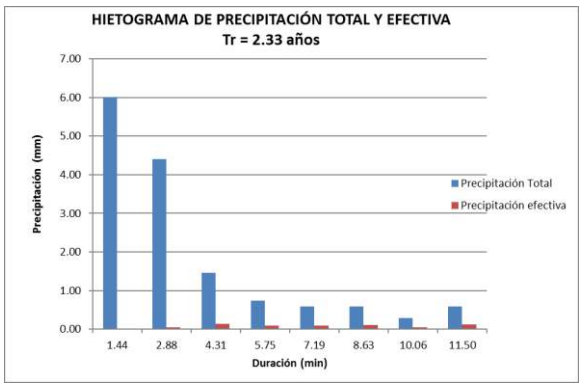
Figura 6-38. Distribución de la lluvia en tormentas fuertes estación Chorrillos, primer cuartil.

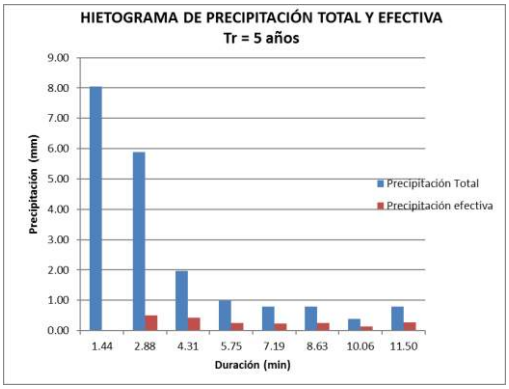


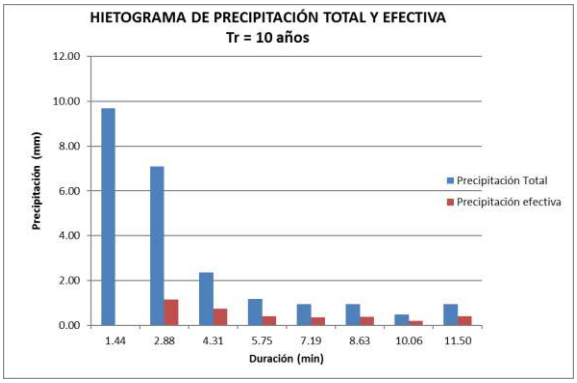
Dónde: La precipitación (en pulgadas) es medida y $S_{máx}$ es calculada como una función del número de curva (CN).

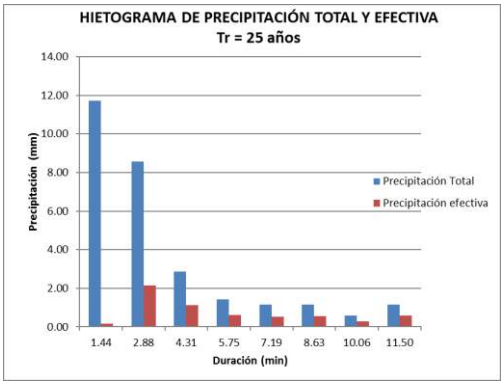
$$S_{\max} = \frac{1000}{CN} - 10$$

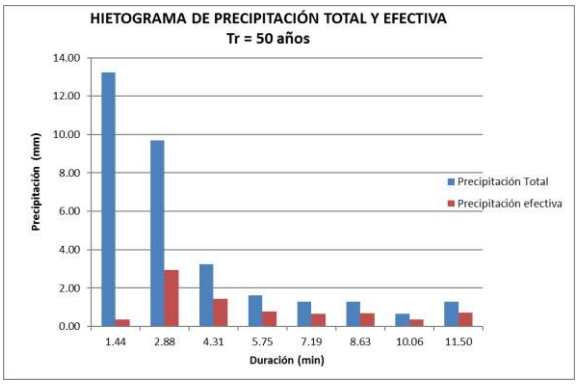
En las Figura 6-39, Figura 6-40 y Figura 6-41, se muestran los hietogramas de precipitación total y efectiva, para las cuencas en estudio.











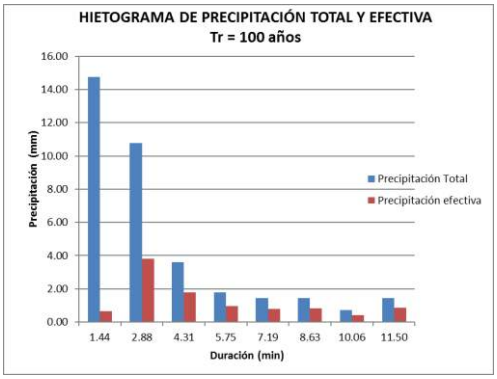
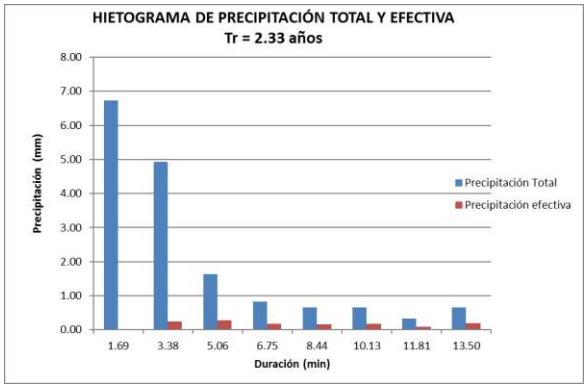
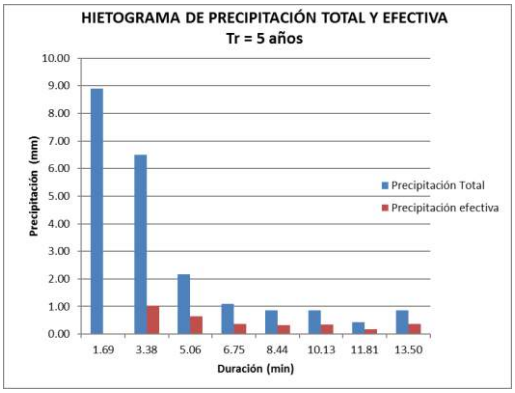


Figura 6-39. Hietogramas de precipitación efectiva y total para la cuenca qda. Suramérica, hasta "box culvert" de 1.5 x 1.5 m, para un suelo Tipo B y C.





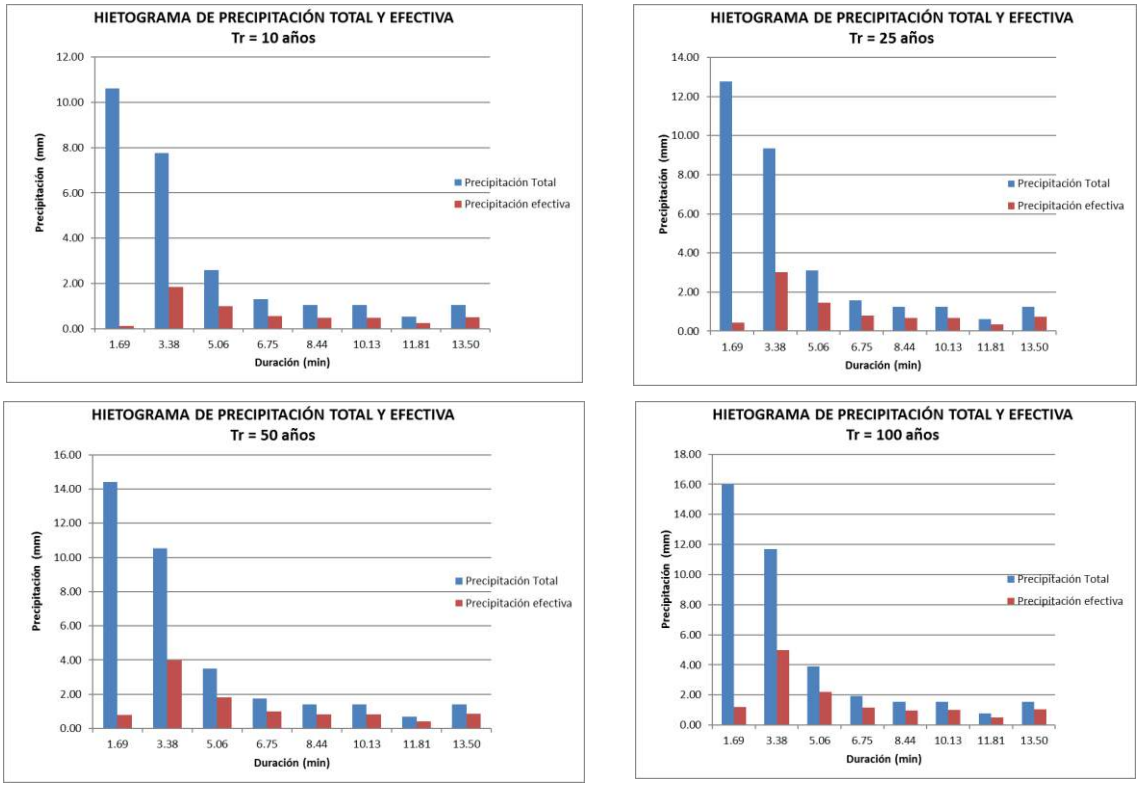
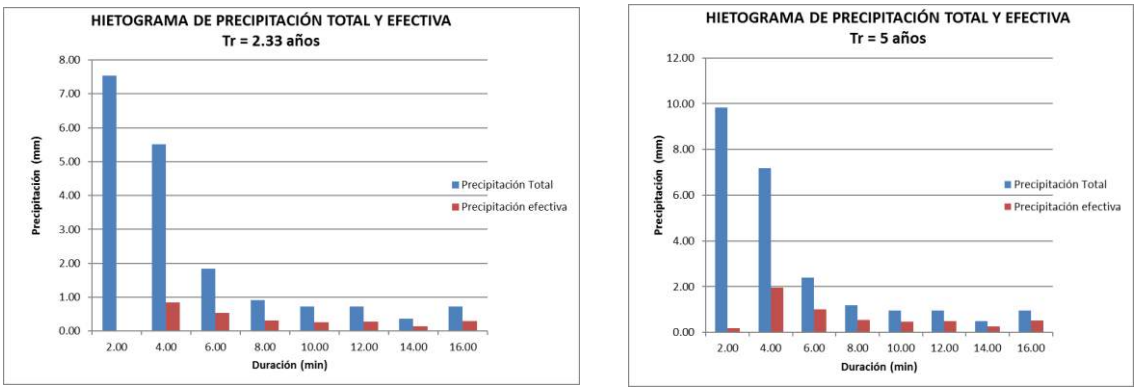


Figura 6-40. Hietogramas de precipitación efectiva y total para la cuenca qda. Suramérica, hasta "box culvert" de 2.0 x 1.5 m, para un suelo Tipo B y C.



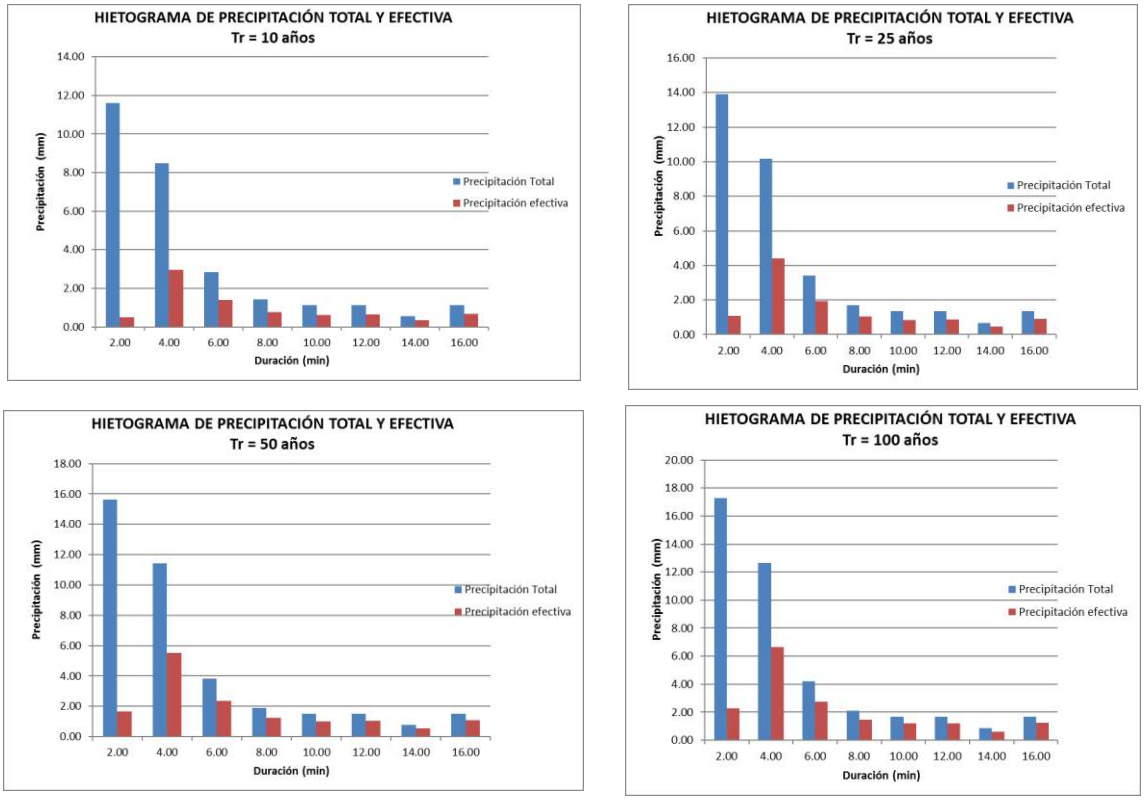


Figura 6-41. Hietogramas de precipitación efectiva y total para la cuenca qda. El Atajo para un suelo Tipo B y C.

6.10.7 MODELO HIDROGRAMA UNITARIO DE WILLIAMS & HANN

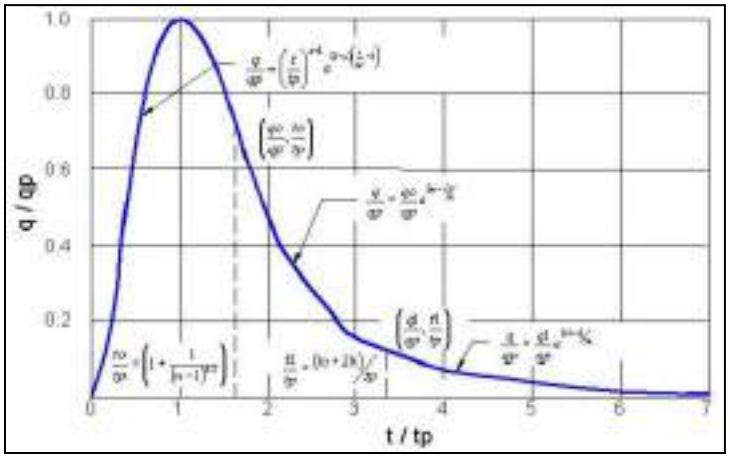
A principios de la década del setenta, Jimmy R. Williams y Roy W. Hann propusieron un modelo para calcular el hidrograma unitario sintético (Figura 6-42), producido por una lluvia instantánea en una cuenca, a partir de sus principales características geomorfológicas, como son el área de drenaje, la pendiente del canal principal y la relación largo - ancho. Estas características están representadas en el modelo mediante los coeficientes K (Constante de recesión) y Tp (Tiempo al pico).

Los parámetros K y tp fueron determinados mediante análisis de regresión realizados sobre una muestra de 34 cuencas, localizadas en diversos lugares de los Estados Unidos y cuyas áreas oscilaban entre 0,50 y 25 mi^2. (Millas cuadradas). Dichos análisis permitieron la obtención de las ecuaciones:

$$t_p = 4.63A^{0.422}SLP^{-0.46}\left(L/W\right)^{0.133}$$

$$K = 27A^{0.231}SLP^{-0.777}\left(L/W\right)^{0.124}$$

Figura 6-42. Hidrograma Unitario Adimensional Propuesto por Williams - Hann.



$$Q_P = \frac{BAQ}{896.99 t_p}$$

Donde:

tp : Tiempo al pico (h)
A: Área de la cuenca (km^2)
SLP: Relación entre la diferencia de cotas en la cuenca y la longitud del cauce principal, (ft/mi).
L/W: Relación longitud - ancho de la cuenca, equivalente a la relación entre la longitud al cuadrado y el área (L^2/A)
Qp: Caudal máximo del hidrograma unitario (m^3/s)
R: Profundidad unitaria efectiva asociada con la hidrógrafa, igual a 1 mm.

El parámetro B empleado para el cálculo del caudal máximo es función de una constante n, que es conocida en la literatura como el parámetro de forma del Hidrograma Unitario Sintético de Williams y Hann (Figura 6-43 y Figura 6-44), esta constante depende de la relación entre la constante de recesión (K) y el tiempo al pico (tp) y se puede calcular con la siguiente expresión:

$$n = 1 + \left\{ \frac{1}{2(K/t_p)} + \left[\frac{1}{4(K/t_p)^2} + \frac{1}{(K/t_p)} \right]^{1/2} \right\}^2$$

El coeficiente B actúa más como un parámetro de conversión de unidades que como un parámetro de significado físico. La magnitud de esta variable se puede encontrar resolviendo numéricamente una ecuación integral derivada por Williams y Hann. Sin embargo, el valor de B se puede encontrar en función de K y Tp utilizando las Figura 6-43 y Figura 6-44 y desarrolladas por Williams y Hann.

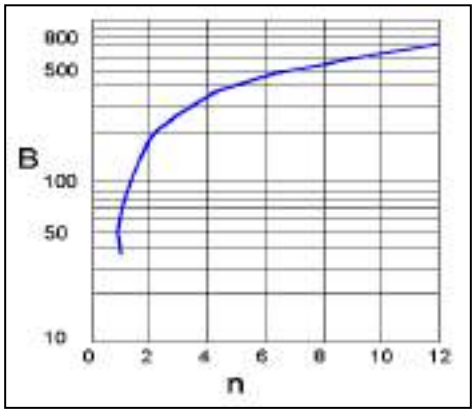


Figura 6-43. Parámetros de la cuenca, B vs. n

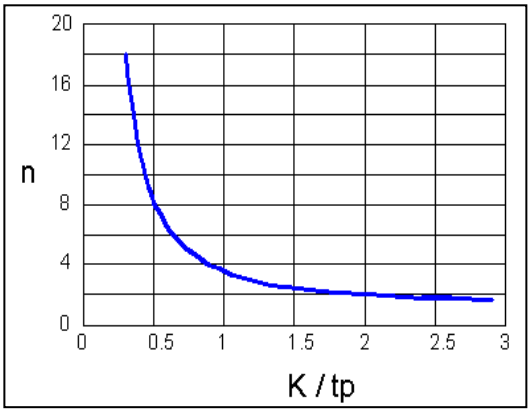


Figura 6-44. n vs k/tp.

6.10.8 MÉTODO DEL SOIL CONSERVATION SERVICE (S.C.S)

El SCS de los Estados Unidos desarrolló un hidrograma unitario adimensional a partir de una serie de hidrógrafas observadas, correspondientes a cuencas de muy diversos tamaños y ubicadas en diferentes sitios del país. Las expresiones matemáticas con las que se puede construir el hidrograma unitario de T horas de duración, a partir del hidrograma unitario adimensional del SCS, fueron deducidas definiendo sus tiempos característicos y representándolo como un hidrograma unitario triangular.

En el hidrograma unitario adimensional del SCS (Figura 6-45) se considera que el volumen de escorrentía debajo de la rama creciente del hidrograma, comprende el 37,5% del volumen total (unitario). Este volumen está representado por una unidad de tiempo en las abscisas y por una unidad de volumen en las ordenadas.

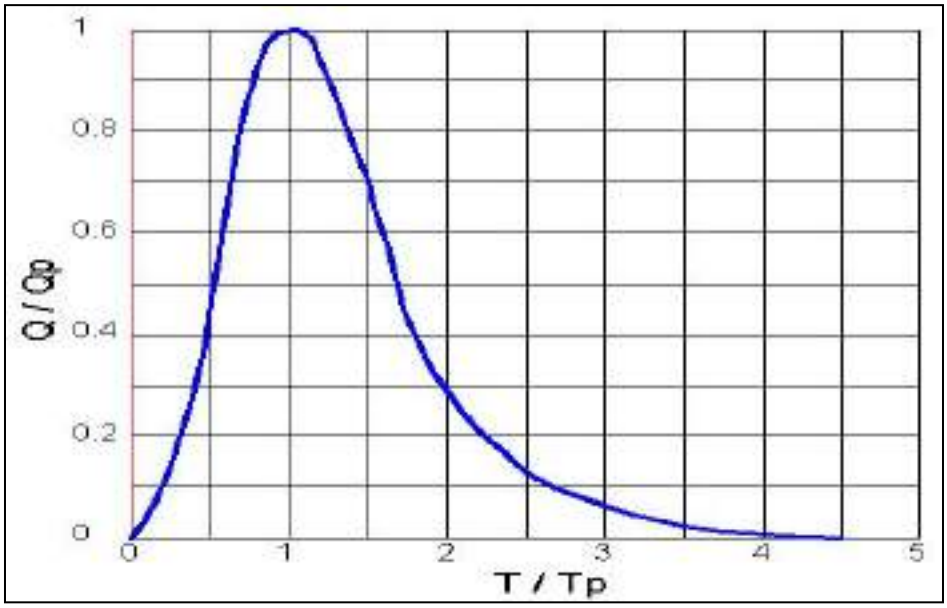
El hidrograma unitario adimensional curvilíneo del SCS puede ser representado por un hidrograma unitario triangular equivalente, con las mismas unidades de tiempo y caudal, teniendo por consiguiente el mismo porcentaje del volumen en el lado creciente del hidrograma.

Cualquier modificación en el hidrograma unitario adimensional que conlleve a cambios en el porcentaje del volumen de escorrentía bajo su rama creciente, produce variaciones en el factor de forma asociado al hidrograma unitario triangular y por lo tanto, se espera una variación en la magnitud de la constante.

Para las cuencas consideradas por el SCS, el factor del caudal pico varió desde 300 en terrenos llanos, hasta 600 en zonas de pendientes empinadas. De lo anterior, se deduce que, si se utiliza un hidrograma unitario adimensional diferente al derivado por el SCS, el factor de caudal pico cambia de valor.

El hidrograma unitario de la cuenca en estudio se calculó multiplicando las ordenadas y abscisas del hidrograma adimensional por el caudal pico y el tiempo al pico de cada cuenca, empleando las siguientes expresiones:

Figura 6-45. Hidrograma unitario Adimensional Propuesto por el SCS



$$tp = \frac{D}{2} + L_{ag} \qquad Q_p = 0.208\frac{A}{T_p}$$

Donde:

tp: Tiempo al pico (h)
D: Duración unitaria de la lluvia (h)
Lag: Tiempo de retraso de la cuenca (h)
A: Área de la cuenca (km^2)
Qp: Caudal pico ($m^3/s/mm$)

Las crecientes de diseño se obtuvieron mediante la convolución entre las tormentas de diseño y el hidrograma unitario obtenido para la cuenca.

6.10.9 MODELO HIDROGRAMA UNITARIO DE SNYDER

El modelo deriva un hidrograma unitario a partir de algunas características físicas, entre las que se cuentan el tiempo de rezago, el caudal pico y el tiempo al pico.

- Tiempo de Rezago.

Se define el tiempo de rezago (TR), como el tiempo entre el centroide del hietograma de precipitación efectiva y el pico del hidrograma de escorrentía directa correspondiente. Snyder asume que el rezago es constante para una cuenca; que depende de alguna de sus características físicas y no está determinado por el tipo de lluvia y sus variaciones.

$$\mathbf{TR} = \frac{Lc^{0.8}\,(S+1)^{0.7}}{1900 * Sc^{0.5}}$$

Donde,
Lc: Es la longitud del canal principal.
S: Factor de retención o almacenamiento, calculado en términos del número de curva.
Sc: Es la pendiente de la cuenca en porcentaje.

Para cuencas en que obtienen tiempos de rezagos (TR) mayores que el tiempo de concentración (Tc) se recomienda utilizar la siguiente expresión:

$$\mathbf{TR} = 0.6Tc$$

- Duración de la lluvia.

El autor consideró lluvias que estuvieran de acuerdo con el tamaño de la cuenca, definiendo para ellas una duración de la lluvia efectiva en horas, ts, de 1/5.5 veces el tiempo de rezago de la cuenca, es decir:

$$\mathbf{t_s} = TR/5.5$$

- Caudal pico.

El modelo propone calcular el caudal pico por milla cuadrada, up, como

$$\mathbf{u_p} = Cp\,\frac{640}{TR}$$

Donde,
Up: Es el caudal pico del Hidrograma Unitario por unidad de área.

Cp: Es un coeficiente que depende de la topografía de la cuenca; varía entre 0.5 y 0.8, por ejemplo, para cuencas de alta pendiente se recomienda emplear valores cercanos a 0.8 (menor atenuación del hidrograma de respuesta). Este coeficiente puede ser obtenido si se tiene información simultánea de precipitación y caudal de la cuenca, lo cual sólo es posible en cuencas instrumentadas.

TR: Tiempo de rezago.

Cuando la duración de la precipitación efectiva es diferente, el caudal pico debe calcularse como:

$$\mathbf{u_p} = \frac{Cp\ 640}{(TR + (T - ts)/4)}$$

Donde T es la duración en horas de la precipitación efectiva, a la cual se le va a calcular el hidrograma unitario sintético.

Finalmente se calcula el caudal pico total, como:

$$\mathbf{Up} = u_p A_c$$

En donde Ac es el área de la cuenca y Up es el caudal pico del hidrograma unitario sintético.

- Tiempo al pico.

El tiempo en que presenta la máxima concentración de escorrentía directa puede calcularse como:

$$\mathbf{T_p} = T/2 + TR$$

Donde TP es el tiempo al pico en horas, T es la duración de la lluvia en horas y TR es el tiempo de rezago en horas.

- Duración de la escorrentía superficial.

Se propone la siguiente ecuación:

$$\mathbf{t_b} = 3 + 3\frac{TR}{24}$$

Tb es el tiempo base en días y TR en horas. Esta ecuación da una estimación razonable del tiempo base para cuencas grandes. Para cuencas pequeñas el tiempo base puede calculase de manera aproximada como 3 a 5 veces el tiempo al pico. En este el tiempo base se calculó como una cuenca pequeña.

Para la esquematización de la hidrógrafa se puede obtener, además:

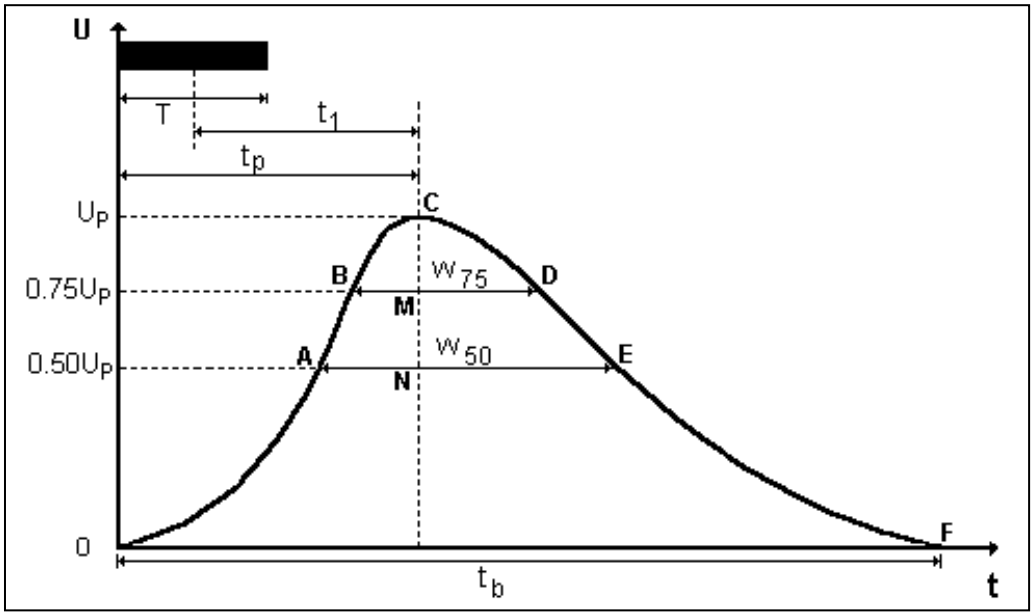
$$\mathbf{W_{50}} = 770/Up^{1.08} \qquad \mathbf{W_{75}} = 440/Up^{1.08}$$

Donde:

Up: Caudal pico por unidad de área.
W_{50}: Intervalo de tiempo en horas correspondiente al 50% del caudal pico
W_{75}**:** Intervalo de tiempo en horas correspondiente al 75% del caudal pico.

Como se puede ver en la Figura 6-46, cada intervalo de tiempo se ubica en la curva de tal forma que su tercera parte quede a la izquierda de la vertical que pasa por el pico del Hidrograma Unitario, y las otras dos terceras partes a la derecha de dicha línea (Snyder, 1938).

Figura 6-46. Hidrograma Unitario Adimensional de Snyder.



6.10.10 RESULTADOS DE CAUDALES OBTENIDOS POR LOS MÉTODOS SINTÉTICOS

En la Tabla 6-21 se presentan los resultados de caudales obtenidos para las cuencas en estudio con las condiciones antecedentes AMC III.

Tabla 6-21. Caudales de crecientes para la cuenca en estudio, determinados por Métodos sintéticos.

Cuencas	Métodos	Tr (años)					
		2.33	5	10	25	50	100
		$Q_{2.33}$ (m^3/s)	Q_5 (m^3/s)	Q_{10} (m^3/s)	Q_{25} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{100} (m^3/s)
Suramérica, hasta "box culvert" 1.5 m x 1.5 m	SCS	0.14	0.44	0.77	1.27	1.70	2.15
	William & Hann	0.15	0.51	0.96	1.71	2.37	3.09
	Snyder	0.14	0.43	0.76	1.27	1.70	2.16
Suramérica, hasta "box culvert" 2.0 m x 1.5 m	SCS	0.41	1.00	1.60	2.50	3.23	3.99
	William & Hann	0.45	1.27	2.09	3.44	4.59	5.81
	Snyder	0.40	0.99	1.60	2.50	3.25	4.03
Qda. El Atajo	SCS	1.32	2.63	3.83	5.61	7.02	8.47
	William & Hann	1.64	3.50	5.20	7.67	9.65	11.88

Cuencas	Métodos	Tr (años)					
		2.33	5	10	25	50	100
		$Q_{2.33}$ (m^3/s)	Q_5 (m^3/s)	Q_{10} (m^3/s)	Q_{25} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{100} (m^3/s)
	Snyder	1.30	2.64	3.88	5.68	7.11	8.62

6.11 MÉTODO RACIONAL

Este método, ampliamente reconocido por su sencillez y validez en cuencas pequeñas, permite estimar el caudal máximo generado por una lluvia de intensidad constante distribuida homogéneamente en toda el área de la cuenca y con una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca. Esta metodología se atribuye generalmente a Kuicling (1888) y a Lloyd Davis (1906), pero ya Mulvaney (1851) había explicado claramente las bases de su fundamentación en un artículo.

La expresión más conocida es de la forma:

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3.60}$$

Donde:

Q: Caudal máximo en m^3/s
C: Coeficiente de escorrentía
i: Intensidad de la lluvia en mm/h
A: Área de la cuenca en km^2

El coeficiente de escorrentía, C, define la relación entre la tasa pico de escorrentía directa y la intensidad promedio de precipitación en una tormenta. La proporción de la lluvia total que alcanzará los drenajes de tormenta, depende del porcentaje de permeabilidad, de la pendiente y de las características de encharcamiento de la superficie.

El coeficiente de escorrentía depende de las características y condiciones del suelo. La tasa de infiltración disminuye a medida que la lluvia continúa y también es influida por las condiciones de humedad antecedentes en el suelo.

Otros factores que influyen en el coeficiente de escorrentía son la intensidad de la lluvia, la proximidad del nivel freático, el grado de compactación del suelo, la porosidad del subsuelo, la vegetación, la pendiente del suelo y el almacenamiento por depresión.

Los efectos de la lluvia y del tamaño de la cuenca son considerados en la expresión de manera explícita, mientras los demás procesos de transformación lluvia-escorrentía son considerados implícitamente en el tiempo de concentración y el coeficiente de escorrentía.

La intensidad de precipitación se obtiene de las curvas Intensidad-Frecuencia-Duración de estaciones cercanas, para una duración igual al tiempo de concentración, como se indicó en un aparte anterior.

Como limitaciones más importantes de la metodología, se señalan las siguientes:

- El método no proporciona el hidrograma de creciente.
- El método asume que la escorrentía es directamente proporcional a la precipitación. En la realidad, esta suposición no se cumple, pues la escorrentía depende también de muchos otros factores tales como la humedad antecedente y las condiciones de humedad del suelo, entre otros.
- El método asume que el período de retorno de la precipitación y el de la escorrentía son equivalentes, lo cual no es cierto. La precipitación es filtrada por la cuenca para producir escorrentía y ese tipo de filtro no es lineal. La transformación de precipitación en escorrentía se ve afectada por las características de la cuenca, el estado de la misma al momento de la lluvia y otros factores. Por ejemplo, precipitaciones con períodos de retorno pequeños pueden producir caudales con períodos de retorno mayores, debido a las condiciones de humedad de la cuenca en el momento en que ocurra la tormenta.

Las tablas habituales para estimar el coeficiente de escorrentía hacen depender su valor únicamente del tipo de terreno y de su cobertura. En algunos casos también lo hacen depender de la pendiente y del periodo de retorno, pero casi todas se olvidan de la humedad antecedente del suelo. Una forma de tener en cuenta este factor es estableciendo una relación entre el número de curva y el coeficiente de escorrentía, por definición el coeficiente de escorrentía es:

$$C = \frac{P_e}{P}$$

Donde:

C: Coeficiente de escorrentía
Pe: Precipitación efectiva (mm)
P: Precipitación total (mm)

La precipitación efectiva (Pe) que genera cualquier aguacero (P) se puede cuantificar mediante el método del número de curva. Admitiendo la relación habitual Ia = 0.2 x S (Infiltración inicial). Se tiene que:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P + 4 \cdot I_a} \rightarrow C = \frac{P_e}{P} = \frac{(P - I_a)^2}{P^2 + 4 \cdot P \cdot I_a}$$

Así, determinando un valor adecuado para el número de curva, se obtienen valores del coeficiente de escorrentía para cada periodo de retorno y para la precipitación correspondiente al tiempo de concentración.

En las Tabla 6-22, Tabla 6-23 y Tabla 6-24, se presentan los coeficientes de escorrentía para cada período de retorno utilizando la metodología del número de curva, esto para las cuencas en estudio.

Tabla 6-22. Coeficientes de escorrentía para los diferentes períodos de retorno obtenidos mediante la metodología del número de curva, cuenca qda. Suramérica, hasta "box culvert" de 1.5 x 1.5 m.

Tr (años)	P (mm)	Pe (mm)	C
2.33	14.7	0.6	0.04
5.0	19.6	2.1	0.10
10.0	23.6	3.6	0.15
25.0	28.6	6.0	0.21
50.0	32.3	8.0	0.25
100.0	35.9	10.2	0.28

Tabla 6-23. Coeficientes de escorrentía para los diferentes períodos de retorno obtenidos mediante la metodología del número de curva, cuenca qda. Suramérica, hasta "box culvert" de 2.0 x 1.5 m.

Tr (años)	P (mm)	Pe (mm)	C
2.33	16.4	1.3	0.08
5.0	21.7	3.3	0.15
10.0	25.9	5.2	0.20
25.0	31.2	8.1	0.26
50.0	35.1	10.5	0.30
100.0	39.0	13.0	0.33

Tabla 6-24. Coeficientes de escorrentía para los diferentes períodos de retorno obtenidos mediante la metodología del número de curva, cuenca qda. El Atajo.

Tr (años)	P (mm)	Pe (mm)	C
2.3	18.4	2.7	0.15
5.0	23.9	5.4	0.23
10.0	28.3	7.9	0.28
25.0	33.9	11.5	0.34

50.0	38.1	14.4	0.38
100.0	42.2	17.4	0.41

Se empleó también la Ecuación Racional según la expresó *Ven Te Chow* en el sistema de unidades propuesto originalmente por el mismo, (*Austin, Texas, USA*). Utilizando los porcentajes de usos del suelo presentados en la Tabla 6-20 y con los valores propuestos por *Ven Te Chow* para los usos del suelo se tienen, los coeficientes de escorrentía ponderados para las cuencas en estudio que se presentan en las Tabla 6-25, Tabla 6-26 y Tabla 6-27.

Tabla 6-25. Cálculo del coeficiente de escorrentía, cuenca qda. Suramérica, hasta "box culvert" de 1.5 x 1.5 m.

Área desarrollada.	% Área	Periodo de retorno (años)					
		Tr 2.33	Tr 5	Tr 10	Tr 25	Tr 50	Tr 100
Cantera	9.93	0.57	0.61	0.64	0.68	0.72	0.76
Pastizales	5.14	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53
Bosques.	84.93	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52
Coeficiente de escorrentía ponderado		0.37	0.41	0.43	0.47	0.50	0.54

Tabla 6-26. Cálculo del coeficiente de escorrentía, cuenca qda. Suramérica, hasta "box culvert" de 2.0 x 1.5 m.

Área desarrollada.	% Área	Periodo de retorno (años)					
		Tr 2.33	Tr 5	Tr 10	Tr 25	Tr 50	Tr 100
Cantera	13.98	0.57	0.61	0.64	0.68	0.72	0.76
Pastizales	14.20	0.37	0.40	0.42	0.45	0.46	0.49
Bosques.	71.82	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52
Coeficiente de escorrentía ponderado		0.38	0.42	0.44	0.48	0.51	0.55

Tabla 6-27. Cálculo del coeficiente de escorrentía, cuenca qda. El Atajo.

Área desarrollada.	% Área	Periodo de retorno (años)					
		Tr 2.33	Tr 5	Tr 10	Tr 25	Tr 50	Tr 100
Cantera	29.90	0.57	0.61	0.64	0.68	0.72	0.76
Pastizales	17.12	0.37	0.40	0.42	0.45	0.46	0.49
Bosques.	52.98	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52
Coeficiente de escorrentía ponderado		0.42	0.46	0.48	0.52	0.55	0.59

6.11.1 RESULTADOS DE CAUDALES OBTENIDOS POR EL MÉTODO RACIONAL

En la Tabla 6-28 se presentan los resultados de caudales obtenidos al aplicar la metodología del método Racional.

6.12 CAUDALES SELECCIONADOS

Para la selección de los caudales de diseño se considera tomar los caudales estimados mediante el método racional de Ven Te Chow, ya que el área de la cuenca en estudio es menor a 2.5 km^2 y el coeficiente de escorrentía por la metodología de Ven Te Chow se ajustan más a las características de la zona en estudio. Dado que la zona se encuentra en una zona de alta pendiente que favorece la generación de escorrentía superficial y disminuye la infiltración.

Tabla 6-28. Caudales de crecientes en m^3/s para las cuencas en estudio, determinados por el método Racional.

Tr (años)	Cuenca qda. Suramérica		Cuenca qda. El Atajo	
	Ven Te Chow	*CN*	*Ven Te Chow*	*CN*
2.33	1.87	0.39	3.62	1.27
5	2.72	0.97	5.15	2.55
10	3.40	1.55	6.38	3.72
25	4.47	2.41	8.31	5.43
50	5.35	3.12	9.89	6.79
100	6.40	3.86	11.74	8.19

Otro aspecto a tener presente es que al retirarse la cobertura vegetal se disminuye la retención e infiltración de la escorrentía, lo que se ve reflejado en un aumento de los caudales picos ante la ocurrencia de crecientes.

En la Tabla 6-29, Tabla 6-30 y Tabla 6-31, se muestran los resultados de caudales obtenidos por todas las metodología analizadas y para cuenca en estudio.

Tabla 6-29. Resumen de caudales obtenidos por las metodologías utilizadas (m^3/s), cuenca qda. Suramérica hasta "box culvert" de 1.5 x 1.5 m.

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
Métodos	$Q_{2.33}$ (m^3/s)	Q_5 (m^3/s)	Q_{10} (m^3/s)	Q_{25} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{100} (m^3/s)
SCS	0.14	0.44	0.77	1.27	1.70	2.15
William & Hann	0.15	0.51	0.96	1.71	2.37	3.09
Snyder	0.14	0.43	0.76	1.27	1.70	2.16
Racional Ven Te Chow	1.12	1.66	2.10	2.78	3.34	4.01
Racional CN	0.13	0.42	0.74	1.23	1.64	2.08
Promedio	0.34	0.69	1.06	1.65	2.15	2.70

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
Métodos	$Q_{2.33}$ (m^3/s)	Q_5 (m^3/s)	Q_{10} (m^3/s)	Q_{25} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{100} (m^3/s)
Desviación	0.44	0.54	0.58	0.66	0.73	0.84
Límite Inferior	-0.10	0.15	0.48	0.99	1.42	1.86
Límite Superior	0.78	1.23	1.65	2.31	2.88	3.54

Tabla 6-30. Resumen de caudales obtenidos por las metodologías utilizadas (m^3/s), cuenca qda. Suramérica hasta "box culvert" de 2.0 x 1.5 m.

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
Métodos	$Q_{2.33}$ (m^3/s)	Q_5 (m^3/s)	Q_{10} (m^3/s)	Q_{25} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{100} (m^3/s)
SCS	0.41	1.00	1.60	2.50	3.23	3.99
William & Hann	0.45	1.27	2.09	3.44	4.59	5.81
Snyder	0.40	0.99	1.60	2.50	3.25	4.03
Racional Ven Te Chow	1.87	2.72	3.40	4.47	5.35	6.40
Racional CN	0.39	0.97	1.55	2.41	3.12	3.86
Promedio	0.70	1.39	2.05	3.06	3.91	4.82
Desviación	0.65	0.75	0.79	0.89	1.01	1.19
Límite Inferior	0.05	0.64	1.26	2.17	2.90	3.62
Límite Superior	1.35	2.14	2.83	3.95	4.92	6.01

Tabla 6-31. Resumen de caudales obtenidos por las metodologías utilizadas (m^3/s), cuenca qda. El Atajo.

Tr (años)	2.33	5	10	25	50	100
Métodos	$Q_{2.33}$ (m^3/s)	Q_5 (m^3/s)	Q_{10} (m^3/s)	Q_{25} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{100} (m^3/s)
SCS	1.32	2.63	3.83	5.61	7.02	8.47
William & Hann	1.64	3.50	5.20	7.67	9.65	11.88
Snyder	1.30	2.64	3.88	5.68	7.11	8.62
Racional Ven Te Chow	3.62	5.15	6.38	8.31	9.89	11.74
Racional CN	1.27	2.55	3.72	5.43	6.79	8.19
Promedio	1.83	3.29	4.60	6.54	8.09	9.78
Desviación	1.01	1.11	1.16	1.35	1.54	1.86
Límite Inferior	0.82	2.18	3.44	5.19	6.55	7.92
Límite Superior	2.84	4.40	5.76	7.88	9.63	11.64

En la Tabla 6-32 se presentan los caudales seleccionados para la evaluación hidráulica en las cuencas en estudio para cada período de retorno.

Tabla 6-32. Caudales seleccionados en las cuencas en estudio.

Cuenca	$Q_{2.33}$ (m^3/s)	Q_5 (m^3/s)	Q_{10} (m^3/s)	Q_{25} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{100} (m^3/s)
Suramérica, hasta "box culvert" 1.5 m x 1.5 m	1.12	1.66	2.10	2.78	3.34	4.01
Suramérica, hasta "box culvert" 2.0 m x 1.5 m	1.87	2.72	3.40	4.47	5.35	6.40
Qda.El Atajo	3.62	5.15	6.38	8.31	9.89	11.74

En la Figura 6-47, Figura 6-48 y Figura 6-49, se presentan los gráficos con los caudales obtenidos por las diferentes metodologías en la cuencas en estudio.

Figura 6-47. Caudales de creciente, qda. Suramérica, hasta "box culvert" 1.5 m x 1.5 m.

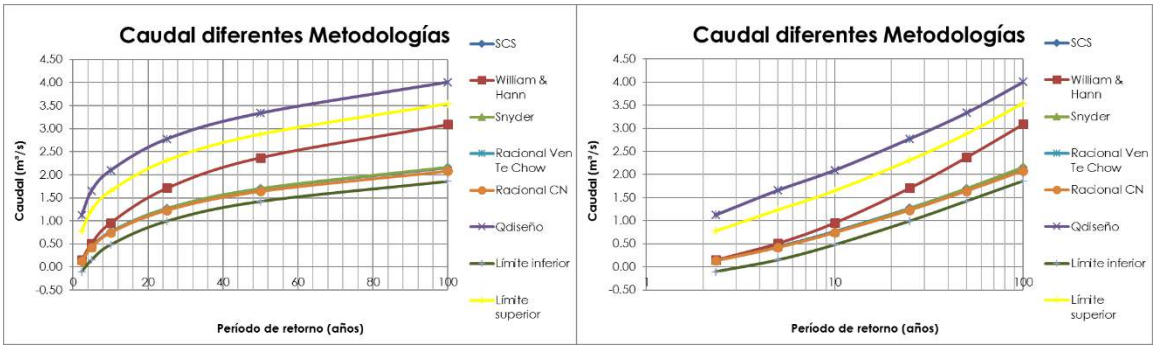


Figura 6-48. Caudales de creciente, qda. Suramérica, hasta box culvert de 2.0 x 1.5 m.

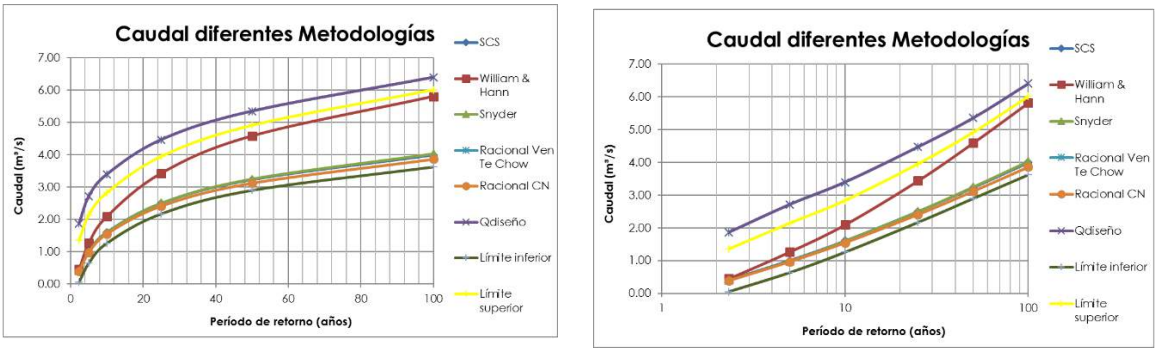
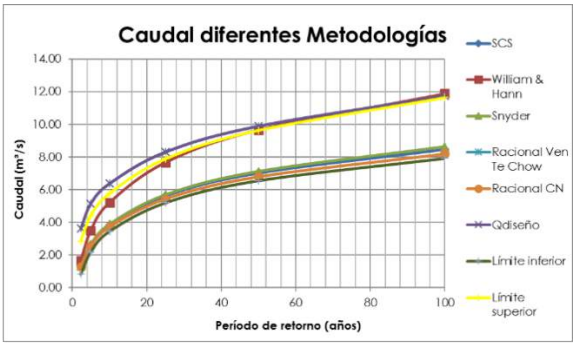
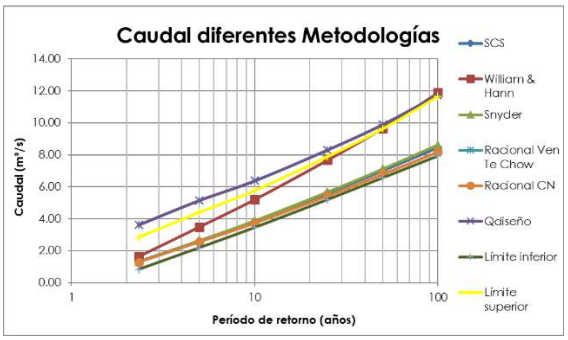


Figura 6-49. Caudales de creciente, qda. El Atajo.





6.13 HIDROGEOLOGÍA

6.13.1 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Las unidades hidrogeológicas se definen con base en la geología y sus parámetros bases de conductividad hidráulica (permeabilidad), transmisividad y coeficiente de almacenamiento, este último para acuíferos libres, se define como una porosidad eficaz, es decir, los poros o grietas conectados que permiten el paso de agua.

Las unidades estratigráficas se definen en forma resumida con fines hidrogeológicos, dado que la definición completa se encuentra en el capítulo de Geología de este informe.

6.13.1.1 Grupo El Retiro

Para el área de estudio se presentan dos miembros de esta unidad geológica, el Gneis de la Ceja, y la Anfibolita de Medellín las cuales serán descritas a continuación:

- **Gneis de La Ceja (TRgLC)**

Consiste de Gneises y granofels bandeados, compuestos esencialmente por cuarzo, feldespato y biotita, localmente plegados y con estructura migmatítica e intercalaciones de gneis miloníticos, cuarcitas y anfibolitas, y asociado especialmente a granulitas y migmatitas. El gneis exhibe importantes variaciones en las características texturales debido a los efectos dinámicos, hecho que explica la íntima asociación entre éstos y algunos paquetes de esquistos. Este gneis, se encuentra en afloramientos rocosos y es poco frecuente el desarrollo de saprolítos y suelos residuales. Sin embargo, los pocos suelos que pueden encontrarse presentan características de un suelo homogéneo, limo arenoso, con tonalidades rojas pálidas y es fácilmente disgregable, además es común observar delgadas bandas y lentes de cuarzo.

- **Anfibolitas de Medellín (TRaM)**

Aparecen como varios cuerpos de anfibolitas, paragneises, migmatitas y esquistos grafíticos y moscovíticos en el Valle de Aburrá. Son rocas constituidas esencialmente por

hornblenda y plagioclasa, de textura por lo general isotrópica a bandeada, en ocasiones difícil de diferenciar de un gabro o una diorita, estas rocas han sufrido un metamorfismo de medio a alto grado. A nivel de afloramiento, esta roca se encuentra profundamente meteorizada, con desarrollo de suelos residuales con espesores superiores a los 20 m, de carácter limoso, color amarillento a amarillo rojizo predominantemente y están cubiertos frecuentemente por los depósitos de vertiente derivados de estas mismas rocas.

6.13.1.2 Depósitos de Vertiente

Bajo esta denominación de depósitos no litificados se incluyen los de deslizamiento y los flujos de escombros y/o lodos que por su extensión permitan ser cartografiados. Por sus espesores y grado de madurez es conveniente cartografiarlos como unidades geológicas independientes y no como formaciones superficiales.

- **Depósitos de Deslizamiento (Qd)**

Son el producto de fenómenos de inestabilidad o movimientos de masa ocurridos en los terrenos inclinados o vertientes, que fueron generados por una combinación de factores como la gravedad, el agua y la intervención humana, entre otras.

- **Flujos de escombros y lodos (QFa, QFIV, QFIII, NQFII, NFI, NFpreI)**

Estos depósitos están constituidos por flujos de varias generaciones, cuyos clastos presentan diferentes grados de meteorización. Son generados al producirse hacia las partes altas de las vertientes una saturación y pérdida de resistencia, lo que hace más vulnerables a fenómenos tales como las altas precipitaciones o los movimientos sísmicos.

- **Depósitos Antrópicos – Llenos (Qll)**

Derivados de la actividad urbanística y constructiva propia de una región en crecimiento, que genera una gran cantidad de escombros y materiales de rezaga, los cuales deben ser dispuestos. La composición de estos depósitos es en extremo heterogénea, desde materiales homogéneos conformados con algunas normas técnicas hasta basura, materia orgánica y escombros simplemente vertidos, con propiedades geotécnicas pobres para cortes y capacidad portante.

6.13.2 NIVELES FREÁTICOS

Tomando la topografía levantada para el proyecto, en escala de dibujo 1:3500, se trazó una sección (Corte AA) que partiera desde La Autopista Medellín – Bogotá, exactamente por el encole de la obra que recibe la quebrada Suramérica, cruzara por el deslizamiento tocando los puntos de afloramiento identificados, y se extendiera aproximadamente hasta el otro lado de la divisoria de aguas, de tal manera que mostrara la cima de la montaña. El corte AA se muestra en la Figura 6-50. Al perfil así obtenido se le trazó aproximadamente un perfil de aguas freáticas teniendo en cuenta que éste en la zona montañosa tiene forma convexa y que conecta con los afloramientos identificados en la visita de campo.

Sobre el perfil AA se proyectó el cauce de la quebrada Suramérica aguas arriba de la afectación del derrumbe. Si el agua de la quebrada está conectada con el agua freática de la montaña, resulta lógico que el perfil del cauce esté por debajo del perfil AA. Esta comparación contribuye a tener confianza en el trazado del perfil freático estimado.

El perfil muestra que el nivel freático en la zona donde se registró el afloramiento en el deslizamiento se alcanza a una cota aproximada de 2194 m.s.n.m (Figura 6-51).

6.14 ESTUDIOS HIDRÁULICOS

En este capítulo se presenta un análisis hidráulico del flujo, con la finalidad de obtener una visión del régimen de flujo y del comportamiento de la obra propuesta en la quebrada Suramérica, ante la ocurrencia de la creciente de diseño.

Por tratarse de una quebrada de flujo permanente, se diseñará para un período de retorno de 25 años, de igual forma el dimensionamiento del canal se hizo garantizando el transporte de la creciente asociada a un periodo de retorno de 100 años.

Figura 6-50. Ubicación en planta de la sección de corte AA.

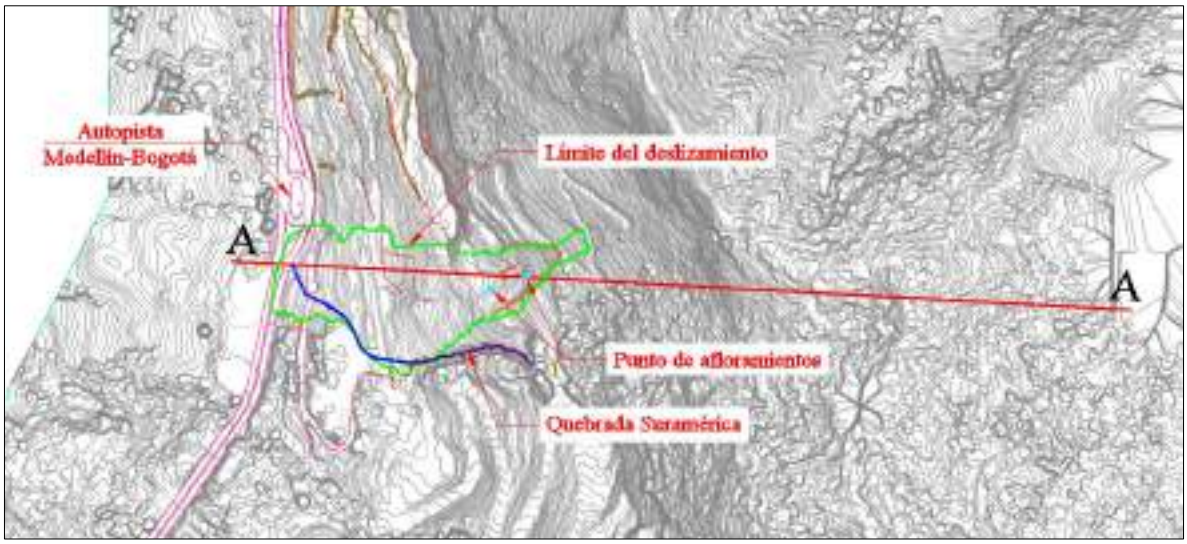
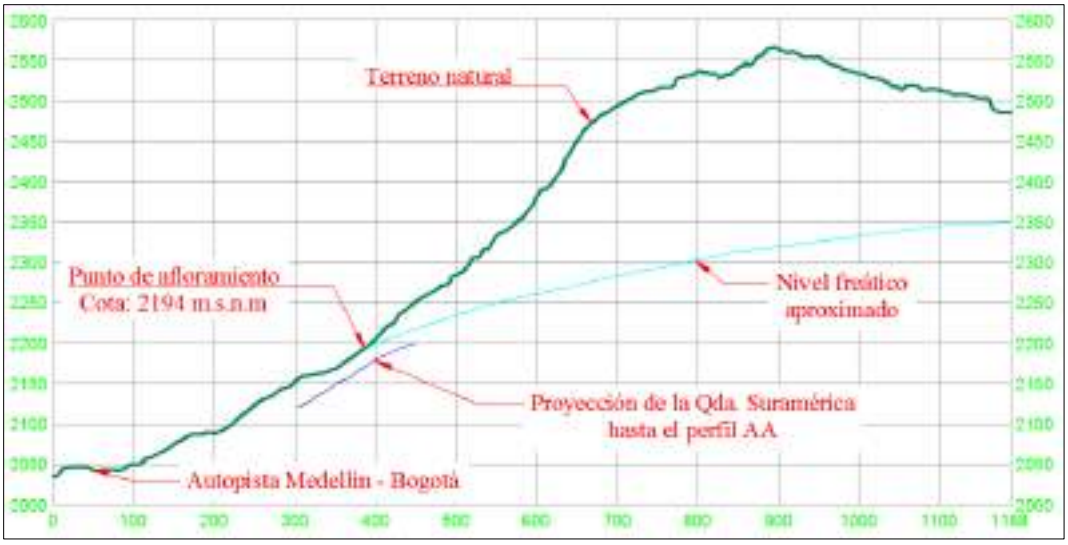


Figura 6-51. Perfil longitudinal de la sección de corte AA.



6.14.1 OBRAS PROYECTADAS

Teniendo en cuenta las nuevas condiciones del terreno en el sitio objeto de estudio se plantean las obras hidráulicas, que están encaminadas en manejar y recuperar el alineamiento natural de la quebrada Suramérica, garantizando su estabilidad en el tiempo.

6.14.2 SOLUCIONES PROPUESTAS

- Los alineamientos en planta y perfil están condicionados a la topografía de la zona aledaña, al alineamiento natural de la quebrada Suramérica y las pendientes de la zona, en la cual se proyecta la construcción de las obras.

- Para recuperar el alineamiento existente de la quebrada Suramérica, se propone una estructura inicial conformada por un sistema escalonado de 19 tramos (Tabla 6-33), manteniendo una contrahuella constante de 0.30 m y una huella variable, con una pendiente longitudinal del 1.0 %. La sección transversal propuesta es de 1.50 m en la base y 1.00 m de altura.

- La estructura escalonada que se mencionó anteriormente entrega a un primer "*box culvert"* con una sección de 1.5 m de base y 1.50 m de altura, el cual permite dar paso a la quebrada Suramérica por debajo de una vía que comunica la cantera con el sitio donde se extrae el material, luego continua en el canal y llega a otro "box culvert" con una sección de 2.0 m de base y 1.50 m de altura, para dar paso a la vía de acceso a la cantera Las Nieves.

- En el encole del *"box culvert"* de 1.5 x 1.5 m se ubicó una caja, con caída que permite dar entrada del flujo a la obra, y el descole de esta obra entrega directamente a la estructura escalonada que va hasta el *"box culvert"* de 2.0 x 1.5 m, y la cual se mantiene una contrahuella fija y una huella variable, con una pendiente longitudinal del 1.0 %.

- En el descole del *"box culvert"* de 2.0 x 1.5 m se ubicó una caja, con caída que permite cambiar la dirección del flujo y conducirla por una estructura escalonada con 3 tramos. Se mantiene una contrahuella fija y una huella variable, con una pendiente longitudinal del 1.0 %. Esta estructura descarga en una alcantarilla que pertenece a la autopista Medellín – Bogotá la cual se encuentra a cargo de la Concesión Devimed.

6.14.3 EVALUACIÓN HIDRÁULICA DEL CANAL PROYECTADO EN LA QUEBRADA SURAMÉRICA

Para realizar la evaluación hidráulica del canal propuesto para recuperar el alineamiento existente de la quebrada Suramérica, se configuro el canal de acuerdo a la topografía del

terreno por donde se trazó la estructura. De acuerdo a lo anterior, el canal cuenta con un sector inicial divido por 8 tramos, de los cuales 7 son escalonados y uno liso el cual cuenta con pendiente del 2%; el segundo sector cuenta con 5 tramos escalonados y dos lisos con pendientes menores al 5% y el tercer tramo cuenta con cuatro tramos escalonados. En la Tabla 6-33, se muestran los tramos definidos para el canal de la quebrada Suramérica.

Tabla 6-33. Tramos del canal en la quebrada Suramérica.

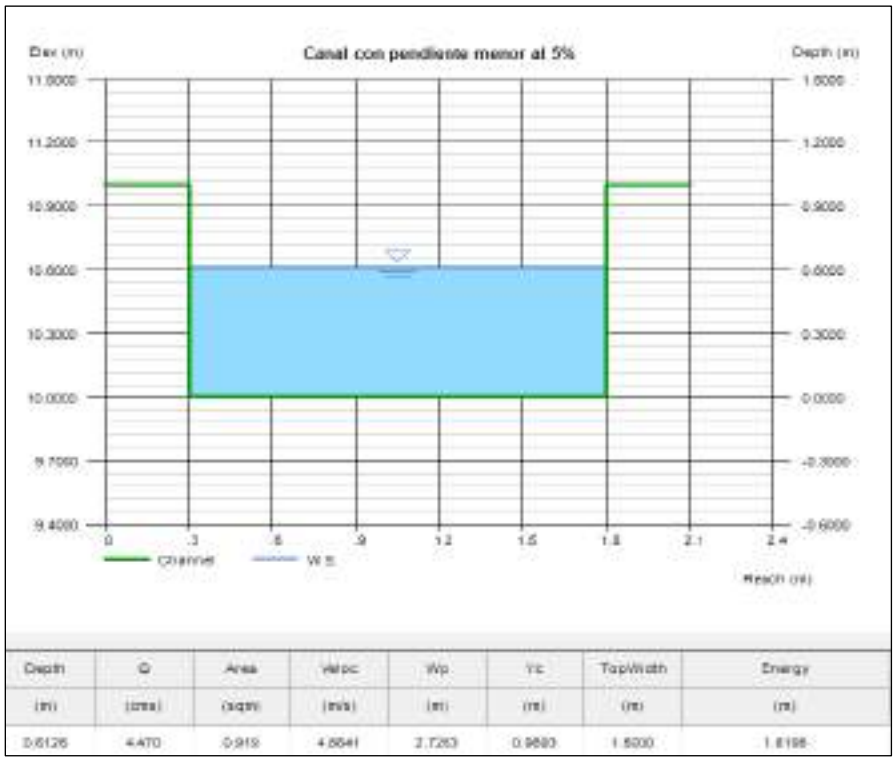
Sector	Tramo	Base (m)	Altura (m)	Pendiente (%)	Huella (m)	Contrahuella (m)
1	1	1.50	1.00	2.0	N/A	N/A
	2			54.5	0.55	0.30
	3			8.6	3.50	0.30
	4			54.5	0.55	0.30
	5			24.0	1.25	0.30
	6			100.0	0.30	0.30
	7			50.0	0.60	0.30
	8			75.0	1.00	0.75
“Box culvert” de 1.5 m x 1.5 m						
2	1	1.5	1.00	15.00	2.00	0.30
	2			2.79	N/A	N/A
	3			50.00	0.60	0.30
	4			20.69	1.45	0.30
	5			54.55	0.55	0.30
	6			4.6	N/A	N/A
	7			35.00	1.00	0.35
“Box culvert” de 2.0 m x 1.5 m						
3	1	1.50	1.00	60.00	1.00	0.60
	2			24.00	1.25	0.30
	3			31.58	0.95	0.30
	4			15.38	1.95	0.30

Para hacer la evaluación hidráulica de los canales con pendientes menores al 5%, se utilizó un software que calcula la capacidad hidráulica utilizando la ecuación de Manning, como es el caso del Hidraflow Express, extensión que presenta el AutoCAD Civil 3D. En la Tabla 6-34 y Figura 6-52, se muestra el resultado obtenido para el tramo con menor pendiente el cual se considera el caso más crítico.

Tabla 6-34. Valores utilizados en la evaluación hidráulica de canales con pendiente menor al 5 %.

Section	Item	Input
Channel	Section Type =	Rectangular
	Bot Width (m)	1.6000
	Side Slope, z:1 =	-0-
	Tot Depth (m) =	1.0000
	Inv Elev(m) =	10.0000
	Slope (%) =	2.0000
	n-value =	0.014
Calcs	Compute by =	Known Q
	Q (cms) =	4.4700

Figura 6-52. Resultado del canal en la quebrada Suramérica (Hidraflow Express).



Depth	Q	Area	Velpc	Wp	Yc	TopWidth	Energy
(m)	(cms)	(sqm)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	(m)
0.6126	4.470	0.919	4.8641	2.7253	0.9693	1.5000	1.6198

De la figura anterior se puede concluir lo siguiente:

- El flujo se encuentra en un régimen supercrítico, debido a que la pendiente longitudinal del canal es superior a la pendiente crítica.

- El nivel del flujo alcanzado en la sección proyectada, es menor a la altura del muro del canal, teniéndose un borde libre de 0.39m.

De igual forma en la Tabla 6-35, se muestran los resultados obtenidos para los demás tramos con pendiente menor al 5%.

Tabla 6-35. Resultado de la evaluación hidráulica de los tramos del canal con pendiente menor al 5%

Canal con pendiente menor al 5% (Quebrada Suramérica)												
CASO	n	b (m)	y (m)	B (m)	Área (m2)	Perímetro mojado (m)	Radio hidráulico (m)	Pendiente So (m/m)	Velocidad (m/s)	Caudal (l/s)	Nro. De Froude	Caudal (m3/s)
S1-T1	0.014	1.5	1	1.5	1.50	3.50	0.43	0.020	5.74	8613.1	1.83	8.61
S1-T3	0.014	1.5	1	1.5	1.50	3.50	0.43	0.028	6.78	10173.0	2.17	10.17
S1-T8	0.014	1.5	1	1.5	1.50	3.50	0.43	0.046	8.71	13062.4	2.78	13.06

6.14.4 DISEÑO DE LOS SISTEMAS ESCALONADOS

Las obras hidráulicas propuestas se dimensionaron para un caudal de diseño de 25 años.

El cálculo de los sistemas escalonados se hizo con base en lo propuesto por Llano (2003) en su tesis de grado en el Institute for Water Education, UNESCO-IHE.

El canal escalonado es el mecanismo más recomendado para disipación de energía en forma regulada y para su diseño se dispone de criterios y metodologías de investigaciones recientes (Llano, 2003).

En un canal escalonado, el incremento significativo del porcentaje de disipación de energía hace que los canales no necesiten estructuras de disipación tan grandes en la entrega del canal o al final de dicha estructura. Estas estructuras son recomendadas en terrenos o superficies con pendientes fuertes como es el caso de la zona donde se requiere la implementación.

Para el diseño del canal escalonado se recomienda utilizar contrahuellas fijas entre 0,30 y 0,40 m y huellas variables.

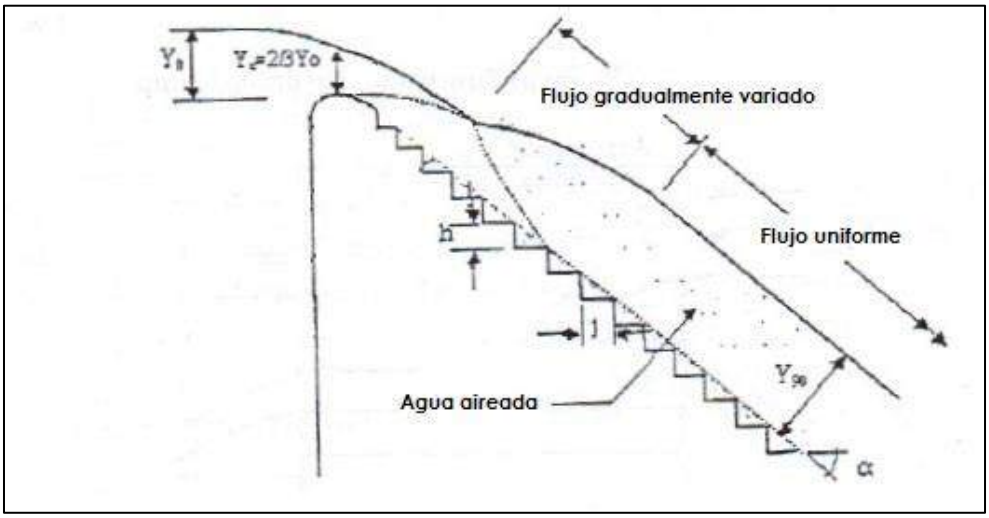
Lo que se busca primordialmente en los diseños de canales escalonados es que el régimen de flujo asociado a la creciente de diseño sea el denominado flujo rasante; este flujo se presenta generalmente cuando las pendientes del canal son altas y el agua pasa “rosando” el borde de cada escalón; debajo de dichos escalones se forma un vórtice de recirculación que mantiene el esfuerzo cortante y logra una mejor disipación de energía del flujo.

Cuando se presenta esta condición y se logran condiciones de flujo uniforme, la profundidad de flujo se ve afectada por el aireamiento del agua, con lo cual se genera un incremento en la lámina de agua.

La profundidad total del flujo se designa como Y_{90}; teniendo en cuenta este valor y un borde libre amplio requerido para flujo supercrítico con salpiques se verifica la altura del canal.

En la Figura 6-53, se muestra un esquema ilustrativo del comportamiento del régimen de flujo rasante en un canal escalonado y cómo se produce el incremento de la lámina de agua debido a la aireación de la misma.

Figura 6-53. Comportamiento del régimen de flujo rasante en un canal escalonado.



Como un ejercicio complementario para determinar el perfil de flujo de todo el canal escalonado, con base en el Y_{90}, se hace un estimativo de la rugosidad equivalente; esto se calcula para cada tramo con pendiente definida, una rugosidad equivalente que produzca el mismo régimen de flujo en un canal de plantilla plana, sin escalones, y con la misma pendiente. La modelación hidráulica se realiza entonces considerando una losa lisa, pero con la rugosidad equivalente del canal escalonado.

Podrá observarse que los valores de rugosidad obtenidos son altos, lo cual valida la bondad de los canales escalonados como elementos para disipar la energía del agua en forma constante y regulada. Un canal escalonado con pendiente cercana a 45º puede tener una rugosidad equivalente de 0.06.

De igual forma considerando el alineamiento en planta del canal, el cual se trazó considerando el recorrido natural de la quebrada Suramérica, fue necesario realizar curvas, las cuales fueron diseñadas de manera gradual y con radios de curvatura de 20 m,

asimismo se realizó el cálculo de la sobreelevación en curva para el dimensionamiento del canal.

- Estimación de la sobreelevación por curva.

Para el cálculo de la sobreelevación del nivel del agua que generan las curvas en canales el cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos propone la siguiente expresión aproximada:

$$\Delta Y = C \frac{V^2 B}{g R_o}$$

En dónde:

$\Delta Y =$ Es la sobreelevación con respecto a la superficie libre horizontal (m).

$C =$ Es un coeficiente que depende del tipo de régimen de flujo en el canal. Para el cual se tienen los siguientes valores:

Régimen	C
Supercrítico	1.0
Subcrítico	0.5

$V =$ Velocidad media en el canal (m/s)

$R_o =$ Radio de giro del canal (m).

$B =$ Ancho del canal (m).

Si la sección que se estudia corresponde a un tramo rectilíneo de canal, se considera que la superficie libre en la sección transversal es horizontal. Pero si la sección corresponde a una curva horizontal del canal, la superficie libre se inclinará de manera que se deprime en la margen interna y se produzca sobreelevación en la margen exterior. Se considera que la altura del agua en el eje corresponde a la altura que tendría el agua si la sección estuviera localizada a un tramo en tangente, y respecto a esta altura se estima la sobreelevación que ocurre por la margen externa (Figura 6-54).

A continuación, se presenta un ejemplo del cálculo de los canales escalonados propuestos (Figura 6-55, Tabla 6-36, Tabla 6-37, Tabla 6-38) y en la Tabla 6-39 se presenta el resumen de la evaluación hidráulica de todos los tramos del canal escalonado.

Figura 6-54. Esquema ilustrativo de la sobreelevación en curva.

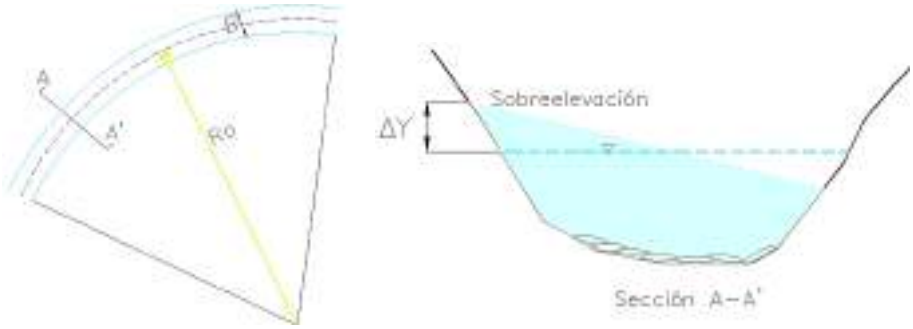


Tabla 6-36. Cálculo del canal escalonado del Sector 1 y Tramo 2.

Tr	Altura escalón (h)	Huella escalón (l)	Ancho del canal	h/l	Caudal	Yc	Yc/h	Y90	Régimen de Flujo
años	m	m	m		m3/s	m		m	
2.33	0.3	0.55	1.5	0.55	1.12	0.38	1.28	0.20	Flujo Rasante
5	0.3	0.55	1.5	0.55	1.66	0.50	1.67	0.26	Flujo Rasante
10	0.3	0.55	1.5	0.55	2.10	0.58	1.95	0.31	Flujo Rasante
25	0.3	0.55	1.5	0.55	2.78	0.70	2.35	0.37	Flujo Rasante
50	0.3	0.55	1.5	0.55	3.34	0.80	2.65	0.42	Flujo Rasante
100	0.3	0.55	1.5	0.55	4.01	0.90	3.00	0.47	Flujo Rasante

Figura 6-55. Clasificación de las condiciones de flujo para el canal escalonado. Sector 1 y Tramo 2.

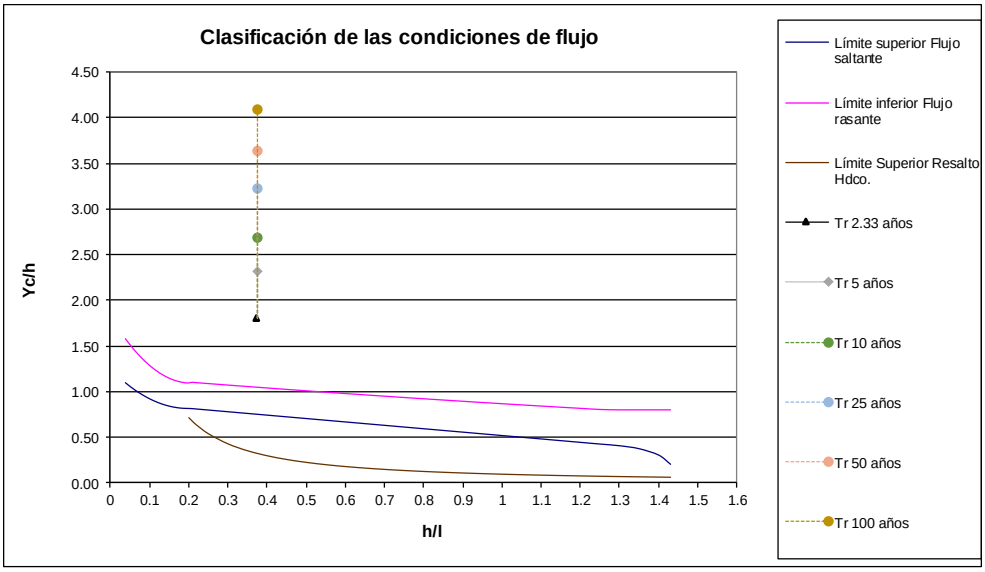


Tabla 6-37. Cálculo de la rugosidad equivalente en el canal escalonado.

Sector 1 y Tramo 2.

Tr	n	b	y	B	Área	Perímetro mojado	Radio hidráulico	Ancho superficial	Pendiente	Velocidad	Caudal	Nro. De Froude
Años		m	m	m	m2	m	m	m		m/s	m3/s	
25	0.058	1.5	0.37	1.5	0.55	2.24	0.25	1.5	0.545	5.01	2.78	2.63

Tabla 6-38. Resultados de sobreelevación en curva en el sector 1 y tramo 2.

Obra	Contra huella (m)	Huella (m)	Tr (año)	Caudal (m3/s)	Y 90 (m)	T (m)	V (m/s)	Rc (m)	SE (m)	H nominal (m)
Tramo 2	0.3	0.55	25	2.78	0.37	1.5	5.01	20	0.19	0.56

Tabla 6-39. Resumen de la evaluación hidráulica de los canales escalonados.

Tramo	Dimensiones de la obra		Dimensiones del escalón		Tr (años)	Caudal de diseño (m3/s)	Régimen de flujo	Y90 (m)	Sobre elevación en curva (m)	Rugosidad equivalente
	Ancho	Altura	Contra huella	Huella						
S1-T2	1.50	1.00	0.30	0.55	25.00	2.78	Flujo Rasante	0.369	0.192	0.058
S1-T3	1.50	1.00	0.30	3.50	25.00	2.78	Flujo Rasante	0.399	0.165	0.026
S1-T4	1.50	1.00	0.30	0.55	25.00	2.78	Flujo Rasante	0.369	0.192	0.058
S1-T5	1.50	1.00	0.30	1.25	25.00	2.78	Flujo Rasante	0.336	0.232	0.034

Tramo	Dimensiones de la obra		Dimensiones del escalón		Tr (años)	Caudal de diseño (m3/s)	Régimen de flujo	Y90 (m)	Sobre elevación en curva (m)	Rugosidad equivalente
	Ancho	Altura	Contra huella	Huella						
S1-T6	1.50	1.00	0.30	0.30	25.00	2.78	Flujo Rasante	0.509	0.101	0.124
S1-T7	1.50	1.00	0.30	0.60	25.00	2.78	Flujo Rasante	0.360	0.202	0.054
S1-T8	1.50	1.00	0.75	1.00	25.00	2.78	Flujo Rasante	0.434	0.139	0.086
S2-T1	1.50	1.00	0.30	2.00	25.00	2.78	Flujo Rasante	0.355	0.208	0.029
S2-T3	1.50	1.00	0.30	0.60	25.00	4.47	Flujo Rasante	0.490	0.283	0.052
S2-T4	1.50	1.00	0.30	1.45	25.00	4.47	Flujo Rasante	0.463	0.316	0.031
S2-T5	1.50	1.00	0.30	0.55	25.00	4.47	Flujo Rasante	0.503	0.268	0.056
S2-T7	1.50	1.00	0.35	1.00	25.00	4.47	Flujo Rasante	0.462	0.319	0.040
S3-T1	1.50	1.00	0.60	1.00	25.00	4.47	Flujo Rasante	0.530	0.241	0.063
S3-T2	1.50	1.00	0.30	1.25	25.00	4.47	Flujo Rasante	0.458	0.324	0.033
S3-T3	1.50	1.00	0.30	0.95	25.00	4.47	Flujo Rasante	0.457	0.325	0.037
S3-T4	1.50	1.00	0.30	1.95	25.00	4.47	Flujo Rasante	0.482	0.292	0.028

6.14.5 MODELAMIENTO DEL CANAL PROYECTADO.

Para la evaluación hidráulica del canal en la quebrada Suramérica se realizó el cálculo de los perfiles de flujo en el programa HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center- River Analysis System) Versión 4.0.1, del U. S. Army Corps of Engineers, considerando los caudales máximos asociados a períodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años. El "software" es un modelo de tránsito gradualmente variado basado en el método estándar por pasos. El procedimiento básico de cálculo se fundamenta en la solución de la ecuación de energía, en la cual las pérdidas de energía por fricción se calculan mediante la ecuación de Manning, y las pérdidas locales por contracción y expansión del flujo se calculan como una fracción del cambio en la cabeza de velocidad entre dos secciones.

El programa HEC-RAS requiere como datos básicos de entrada la geometría del cauce, los caudales, los coeficientes de rugosidad y las condiciones de frontera, de acuerdo con el régimen de flujo y los controles existentes en el tramo. El perfil longitudinal resultante, para el fondo del cauce, está asociado a los puntos más bajos en cada una de las secciones.

La geometría del canal se define por las secciones transversales del cauce, tomadas en forma perpendicular a la dirección de las líneas del flujo, y por la separación longitudinal entre cada par de secciones adyacentes. El abscisado se realiza de aguas arriba hacia aguas abajo y la numeración en el sentido contrario por requerimientos del programa.

El "software" considera como hipótesis flujo unidimensional y cauce de lecho fijo, lo cual genera gran incertidumbre. El programa tiene la capacidad de calcular las condiciones de flujo para regímenes de flujo subcrítico y supercrítico o cuando se presente una mezcla de ambos (flujo mixto). Igualmente, el programa presenta también opciones de cálculo para la simulación de diferentes estructuras hidráulicas como puentes, "box-culverts" y vertederos.

El coeficiente de rugosidad de Manning, n, se consideró con base en la comparación directa de las condiciones del lecho y las laderas del canal, con los valores de rugosidad consignados en la literatura (Chow, 1994) y una serie de fotografías del sitio. Igualmente, para el canal se tomaron la rugosidad equivalente al material a utilizar en el canal, y la rugosidad equivalente para los tramos escalonados.

En la Figura 6-56 se puede ver el alineamiento de la quebrada Suramérica con el canal propuesto y las secciones utilizadas en la modelación.

En la Figura 6-57, se presenta el perfil longitudinal del flujo en el canal para la creciente de 25 años, de acuerdo a las condiciones de coeficiente de rugosidad, pendiente y caudales estipuladas anteriormente donde se puede apreciar el comportamiento del flujo en el canal proyectado.

De la Figura 6-58 a la Figura 6-63, se concluye que para la creciente de diseño el canal proyectado presentaría un régimen supercrítico con una velocidad promedio en el canal de 5.45 m/s y una profundidad promedio del flujo de 0.44m, donde se tiene una altura mayor de 0.96 m y una altura menor de 0.23 m, el número de Froude obtenido fue de 2.72.

Para el box culvert de 1.5 x 1.5 m propuesto para permitir el paso de la quebrada Suramérica en la vía de comunicación entre la cantera y el sitio de donde se extrae el material, se obtuvo un Hw = 0.51, donde se obtiene una relación HW/D=0.34, donde la estructura cumple hidráulicamente ya que esta relación debe ser menor o igual a 1.2.

Figura 6-56. Esquema base en planta bajo condiciones proyectadas de la quebrada Suramérica.

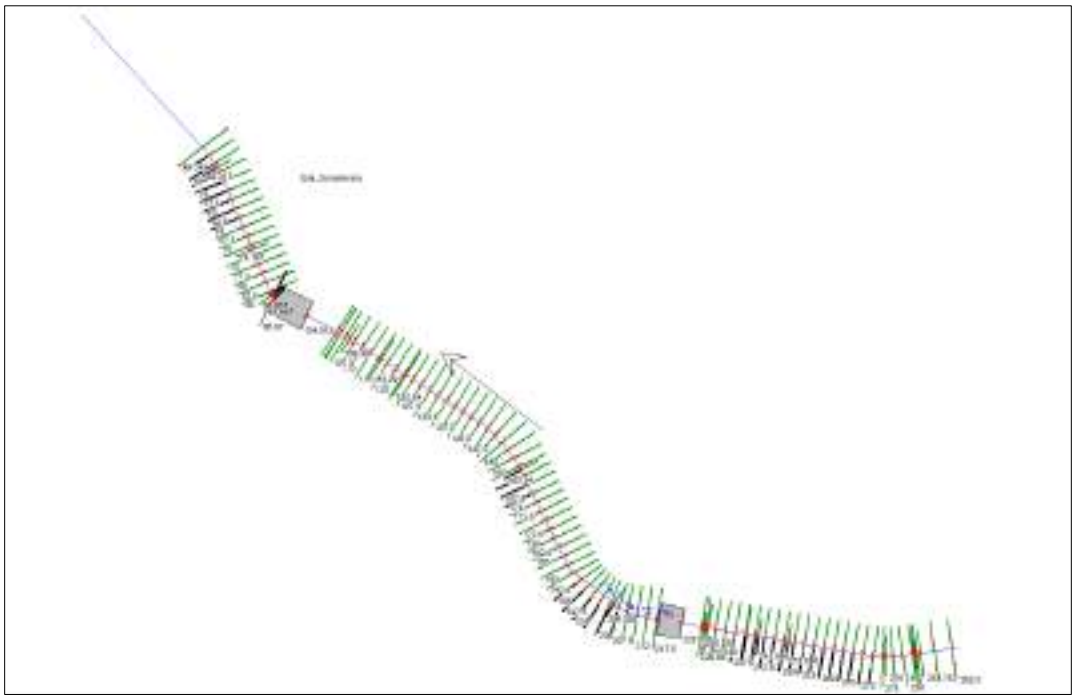


Figura 6-57. Perfil de flujo Tr = 25 años para las condiciones proyectadas en la quebrada Suramérica.

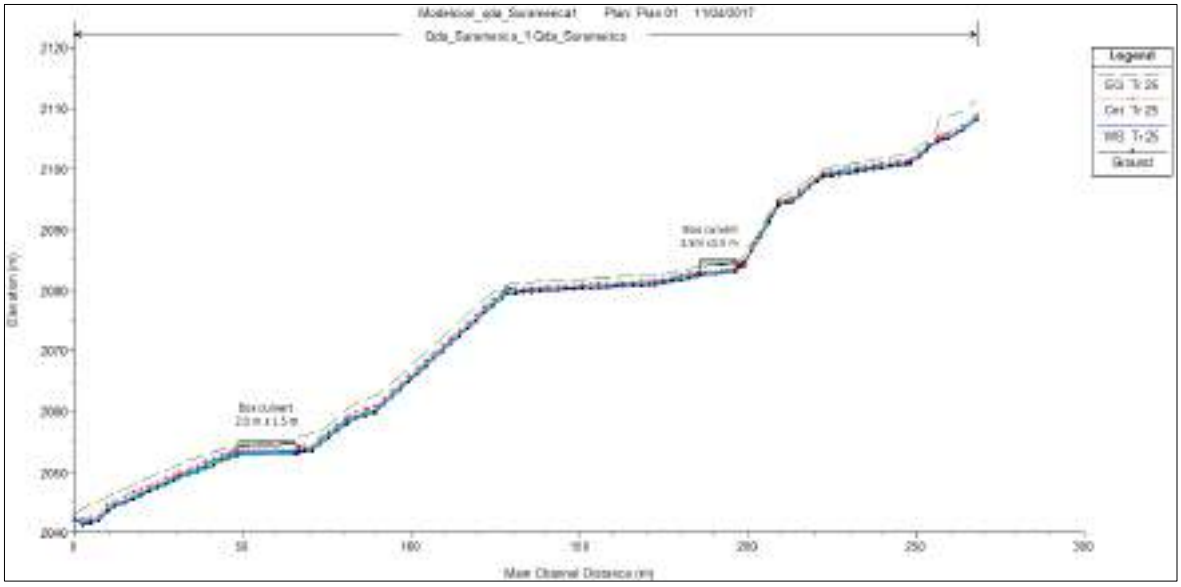


Figura 6-58. Quebrada Suramérica. Sección 0+283.338 inicio del canal del sector 1 y tramo 2, canal de sección rectangular. Tr = 25 años.

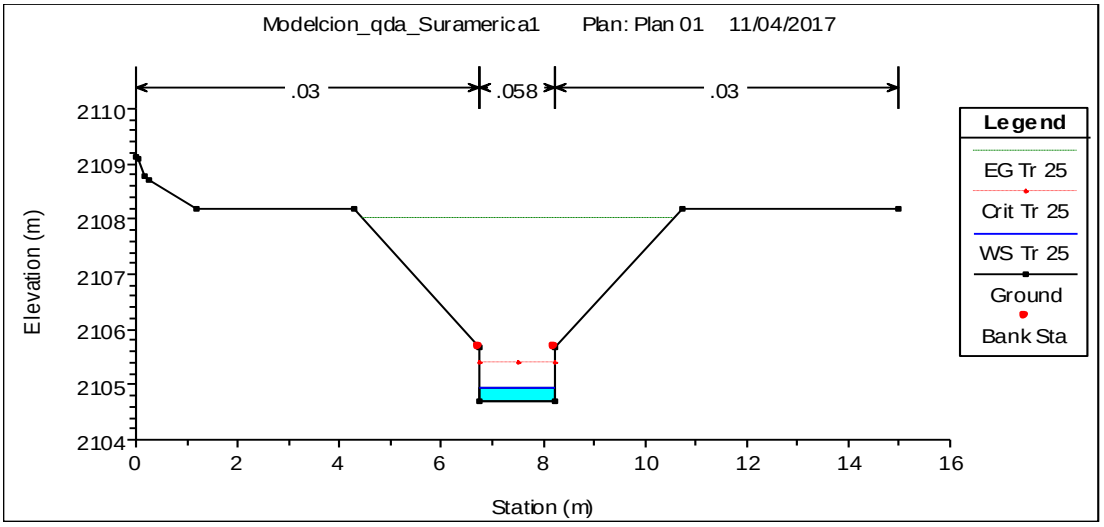


Figura 6-59. Quebrada Suramérica. Sección aguas arriba del "*box culvert*" de 1.5 x 1.5 m, Tr = 25 años.

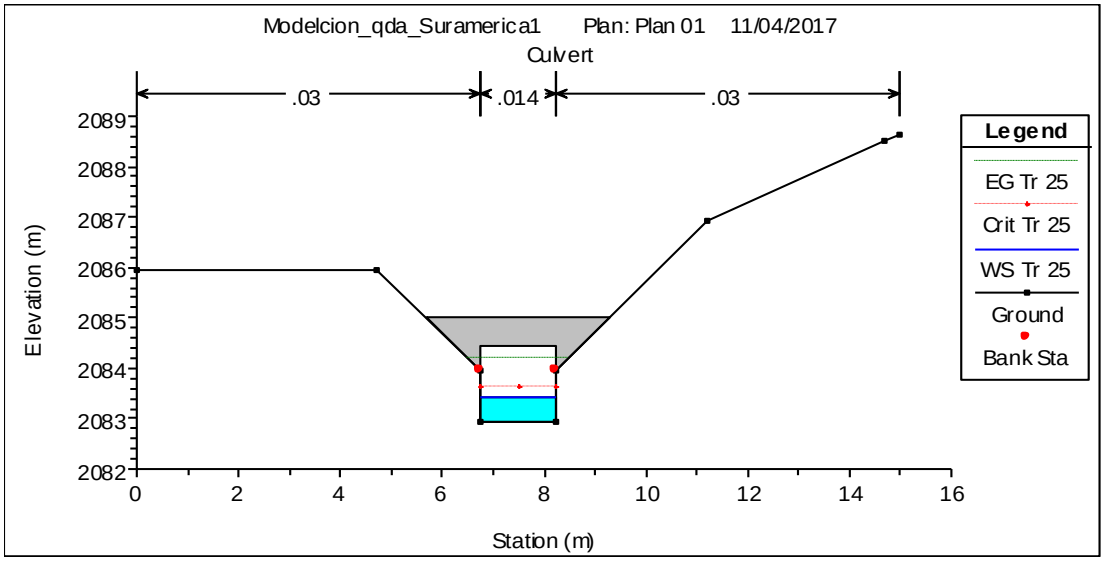


Figura 6-60. Quebrada Suramérica. Sección aguas abajo del "box culvert" de 1.5 x 1.5 m, Tr = 25 años.

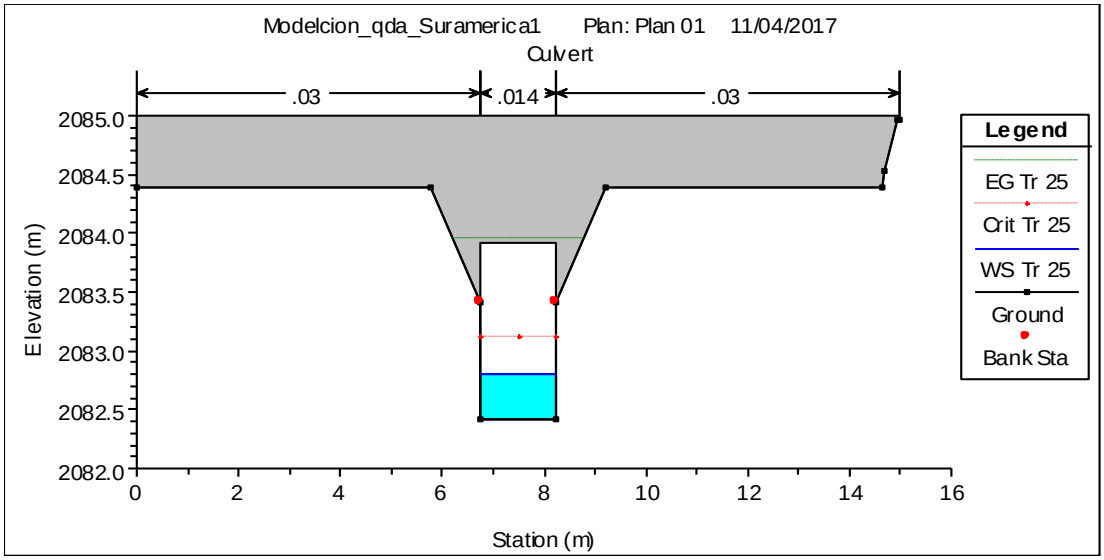


Figura 6-61. Quebrada Suramérica. Sección aguas arriba del "*box culvert*" de 2.0 x 1.5 m, Tr = 25 años.

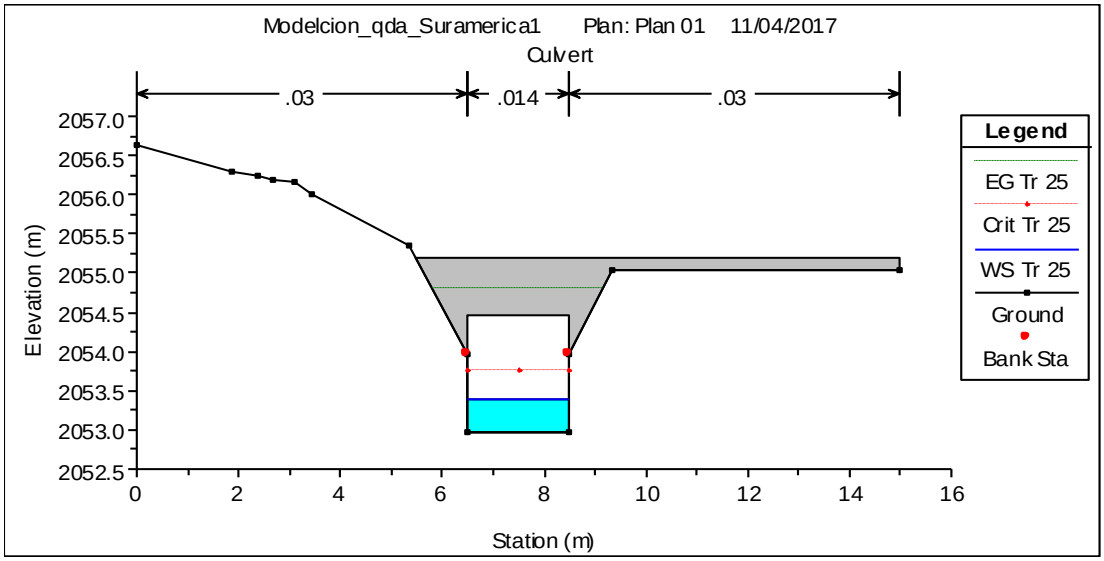


Figura 6-62. Quebrada Suramérica. Sección aguas abajo del "box culvert" de 2.0 x 1.5 m, Tr = 25 años.

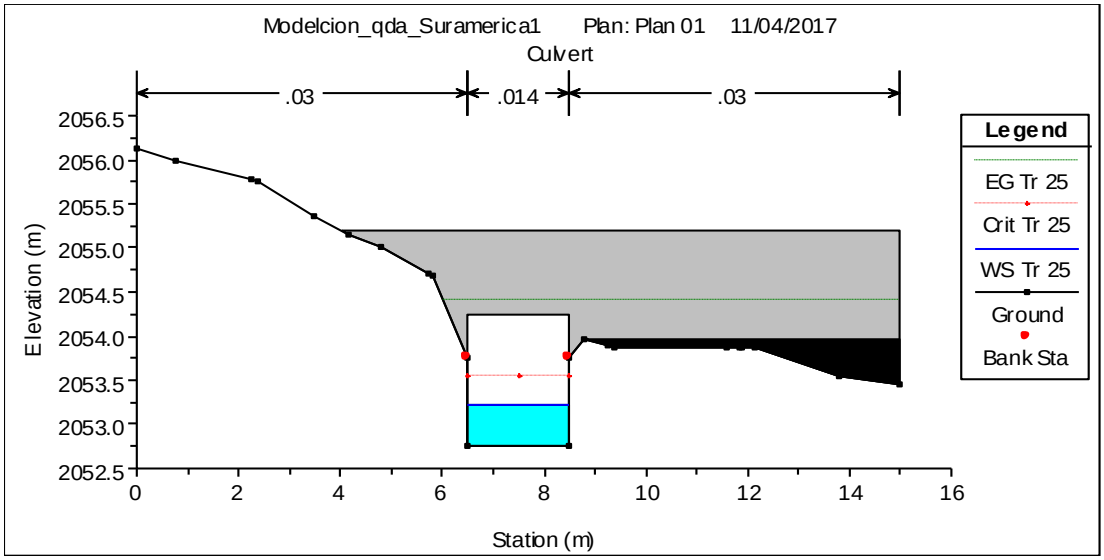
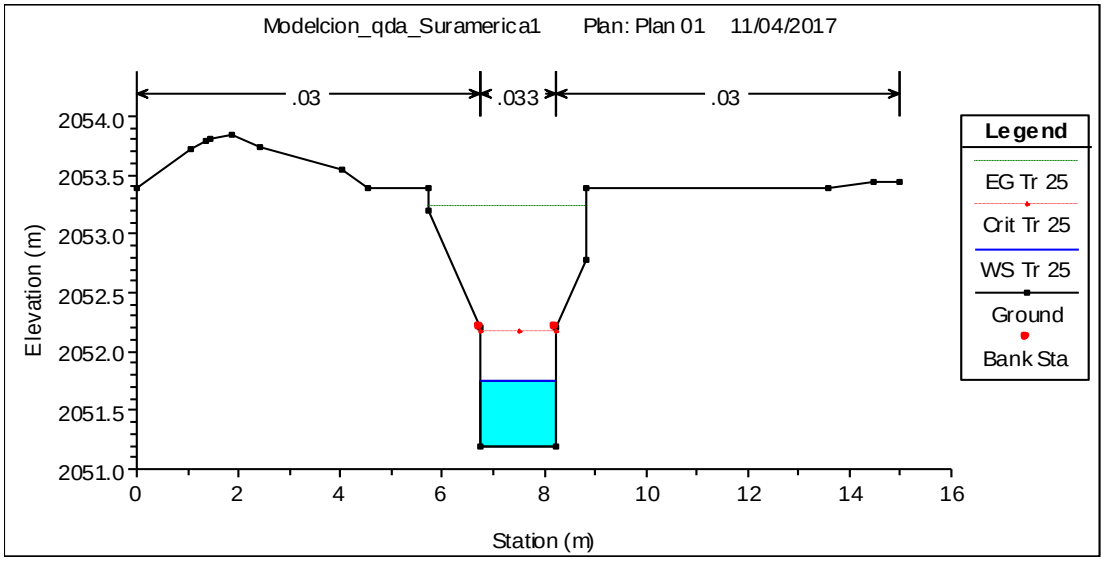


Figura 6-63. Quebrada Suramérica. Sección 0+82.5 final del canal del sector 3 y tramo 2, canal de sección rectangular. Tr = 25 años.



Para el box culvert de 2.0 x 1.5 m propuesto para permitir el paso de la quebrada Suramérica en la vía de servicio de la cantera, se obtuvo un Hw = 0.34, donde se obtiene una relación HW/D=0.23, donde la estructura cumple hidráulicamente ya que esta relación debe ser menor o igual a 1.2. Cabe resaltar que el canal propuesto tiene la capacidad para transportar la creciente asociada a un periodo de retorno de 100 años. En la Tabla 6-40 se presentan los resultados de la evaluación de la quebrada Suramérica en la condición proyectada para la creciente de 25 años de período de retorno.

Tabla 6-40. Resultados de la evaluación de la quebrada Suramérica en la condición proyectada para la creciente de 25 años de período de retorno.

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Qda. Suramérica	292.5	Tr 25	2.78	2108.03	2108.55	2108.96	2111.19	0.350319	7.2	0.39	1.35	4.29
Qda. Suramérica	288.06	Tr 25	2.78	2106.29	2106.78	2107.2	2109.52	0.39756	7.34	0.38	1.55	4.74
Qda. Suramérica	284.752	Tr 25	2.78	2105.02	2105.25	2105.72	2108.53	0.12713	8.02	0.35	1.5	5.32
Qda. Suramérica	283.52	Tr 25	2.78	2104.84	2105.07	2105.54	2108.37	0.128374	8.04	0.35	1.5	5.35
Qda. Suramérica	283.34	Tr 25	2.78	2104.81	2105.04	2105.51	2108.34	0.128625	8.05	0.35	1.5	5.36
Qda. Suramérica	283.338	Tr 25	2.78	2104.69	2104.93	2105.39	2108	1.979404	7.76	0.36	1.5	5.07
Qda. Suramérica	282.5	Tr 25	2.78	2104.3	2104.6	2105	2106.52	0.980739	6.13	0.45	1.5	3.56
Qda. Suramérica	280	Tr 25	2.78	2103.13	2103.52	2103.83	2104.67	0.462181	4.74	0.59	1.5	2.42
Qda. Suramérica	277.5	Tr 25	2.78	2101.96	2102.35	2102.66	2103.5	0.467277	4.76	0.58	1.5	2.43
Qda. Suramérica	276.188	Tr 25	2.78	2100.79	2101.11	2101.49	2102.8	0.163519	5.76	0.48	1.5	3.24
Qda. Suramérica	275	Tr 25	2.78	2100.69	2101.03	2101.39	2102.58	0.144376	5.52	0.5	1.5	3.04
Qda. Suramérica	272.5	Tr 25	2.78	2100.49	2100.85	2101.19	2102.19	0.116314	5.12	0.54	1.5	2.72
Qda. Suramérica	270	Tr 25	2.78	2100.29	2100.67	2100.99	2101.88	0.100613	4.87	0.57	1.5	2.52
Qda. Suramérica	267.5	Tr 25	2.78	2100.09	2100.48	2100.79	2101.62	0.092168	4.73	0.59	1.5	2.41
Qda. Suramérica	265	Tr 25	2.78	2099.89	2100.29	2100.59	2101.39	0.08723	4.64	0.6	1.5	2.34
Qda. Suramérica	262.5	Tr 25	2.78	2099.69	2100.1	2100.4	2101.16	0.083643	4.57	0.61	1.49	2.29
Qda. Suramérica	260	Tr 25	2.78	2099.49	2099.9	2100.19	2100.95	0.082305	4.54	0.61	1.5	2.27
Qda. Suramérica	257.5	Tr 25	2.78	2099.29	2099.7	2099.99	2100.74	0.081367	4.53	0.61	1.5	2.26
Qda. Suramérica	255	Tr 25	2.78	2099.09	2099.5	2099.79	2100.54	0.080862	4.52	0.62	1.5	2.25
Qda. Suramérica	252.5	Tr 25	2.78	2098.89	2099.3	2099.59	2100.34	0.080862	4.52	0.62	1.5	2.25
Qda. Suramérica	251.688	Tr 25	2.78	2098.69	2099.17	2099.39	2099.92	0.253487	3.84	0.72	1.5	1.76
Qda. Suramérica	250	Tr 25	2.78	2097.92	2098.33	2098.62	2099.36	0.399073	4.5	0.62	1.5	2.24

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Qda. Suramérica	247.5	Tr 25	2.78	2096.78	2097.18	2097.48	2098.3	0.449283	4.69	0.59	1.5	2.38
Qda. Suramérica	245	Tr 25	2.78	2095.63	2096.02	2096.33	2097.16	0.458158	4.72	0.59	1.5	2.41
Qda. Suramérica	243.988	Tr 25	2.78	2094.49	2094.83	2095.19	2096.33	0.233958	5.42	0.51	1.5	2.96
Qda. Suramérica	242.5	Tr 25	2.78	2094.3	2094.67	2095	2095.95	0.187513	5.02	0.55	1.5	2.64
Qda. Suramérica	240.238	Tr 25	2.78	2093.99	2094.69	2094.69	2095.05	0.414027	2.64	1.05	1.5	1.01
Qda. Suramérica	240	Tr 25	2.78	2093.76	2094.31	2094.46	2094.89	0.808962	3.37	0.82	1.5	1.45
Qda. Suramérica	237.5	Tr 25	2.78	2091.31	2091.8	2092.01	2092.53	1.104289	3.77	0.74	1.5	1.72
Qda. Suramérica	235	Tr 25	2.78	2088.85	2089.38	2089.55	2090.01	0.903424	3.51	0.79	1.5	1.54
Qda. Suramérica	232.5	Tr 25	2.78	2086.4	2086.9	2087.1	2087.59	1.027546	3.68	0.76	1.5	1.65
Qda. Suramérica	230.638	Tr 25	2.78	2083.99	2084.34	2084.69	2085.74	0.536192	5.24	0.53	1.5	2.81
Qda. Suramérica	230.04	Tr 25	2.78	2083.88	2084.28	2084.58	2085.39	0.384022	4.67	0.6	1.5	2.37
Qda. Suramérica	230.038	Tr 25	2.78	2083.69	2084.23	2084.39	2084.84	0.419916	3.47	0.8	1.5	1.51
Qda. Suramérica	229.04	Tr 25	2.78	2083.62	2084.32	2084.32	2084.68	0.199151	2.64	1.05	1.5	1.01
Qda. Suramérica	229.038	Tr 25	2.78	2082.94	2083.32	2083.64	2084.56	0.030322	4.94	0.56	1.5	2.57
Qda. Suramérica	220		Culvert									
Qda. Suramérica	218.588	Tr 25	2.78	2082.42	2082.81	2083.12	2083.96	0.027076	4.75	0.59	1.5	2.43
Qda. Suramérica	217.5	Tr 25	2.78	2082.3	2082.68	2083	2083.9	0.126451	4.89	0.57	1.5	2.53
Qda. Suramérica	215	Tr 25	2.78	2082.02	2082.41	2082.72	2083.57	0.118768	4.78	0.58	1.5	2.45
Qda. Suramérica	212.5	Tr 25	2.78	2081.75	2082.14	2082.45	2083.27	0.113054	4.7	0.59	1.5	2.39
Qda. Suramérica	210	Tr 25	2.78	2081.47	2081.86	2082.17	2082.99	0.113054	4.7	0.59	1.5	2.39
Qda. Suramérica	207.5	Tr 25	2.78	2081.2	2081.6	2081.9	2082.71	0.110875	4.67	0.6	1.5	2.37
Qda. Suramérica	206.588	Tr 25	2.78	2080.92	2081.29	2081.62	2082.56	0.031316	4.99	0.56	1.5	2.62
Qda. Suramérica	205	Tr 25	2.78	2080.87	2081.24	2081.57	2082.51	0.031316	4.99	0.56	1.5	2.62
Qda. Suramérica	202.5	Tr 25	2.78	2080.78	2081.15	2081.48	2082.43	0.031719	5.02	0.55	1.5	2.63

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Qda. Suramérica	200	Tr 25	2.78	2080.7	2081.07	2081.41	2082.35	0.031672	5.02	0.55	1.49	2.63
Qda. Suramérica	197.5	Tr 25	2.78	2080.61	2080.98	2081.31	2082.27	0.032242	5.04	0.55	1.5	2.66
Qda. Suramérica	195	Tr 25	2.78	2080.53	2080.9	2081.23	2082.19	0.032242	5.04	0.55	1.5	2.66
Qda. Suramérica	192.5	Tr 25	2.78	2080.44	2080.81	2081.28	2082.11	0.032662	5.07	0.55	1.5	2.67
Qda. Suramérica	190	Tr 25	2.78	2080.36	2080.73	2081.2	2082.03	0.032662	5.07	0.55	1.5	2.67
Qda. Suramérica	187.5	Tr 25	2.78	2080.27	2080.64	2080.97	2081.95	0.032894	5.08	0.55	1.5	2.68
Qda. Suramérica	185	Tr 25	2.78	2080.19	2080.56	2080.89	2081.87	0.032894	5.08	0.55	1.5	2.68
Qda. Suramérica	182.5	Tr 25	2.78	2080.11	2080.48	2080.81	2081.79	0.032894	5.08	0.55	1.5	2.68
Qda. Suramérica	180	Tr 25	2.78	2080.02	2080.38	2080.72	2081.7	0.033089	5.09	0.55	1.5	2.69
Qda. Suramérica	177.5	Tr 25	2.78	2079.94	2080.3	2080.64	2081.62	0.033089	5.09	0.55	1.5	2.69
Qda. Suramérica	175	Tr 25	2.78	2079.85	2080.21	2080.55	2081.54	0.033286	5.1	0.55	1.5	2.7
Qda. Suramérica	172.5	Tr 25	2.78	2079.77	2080.14	2080.47	2081.45	0.033089	5.09	0.55	1.5	2.69
Qda. Suramérica	170	Tr 25	2.78	2079.68	2080.04	2080.38	2081.37	0.033286	5.1	0.55	1.5	2.7
Qda. Suramérica	167.5	Tr 25	2.78	2079.6	2079.96	2080.3	2081.29	0.033128	5.09	0.55	1.5	2.69
Qda. Suramérica	165	Tr 25	2.78	2079.51	2079.87	2080.21	2081.2	0.033325	5.1	0.54	1.5	2.7
Qda. Suramérica	163.94	Tr 25	4.47	2079.43	2080.39	2080.39	2080.88	0.081896	3.09	1.44	1.5	1.01
Qda. Suramérica	162.5	Tr 25	4.47	2078.69	2079.28	2079.65	2080.59	0.306129	5.07	0.88	1.5	2.11
Qda. Suramérica	160	Tr 25	4.47	2077.44	2077.96	2078.4	2079.65	0.434198	5.76	0.78	1.5	2.55
Qda. Suramérica	157.5	Tr 25	4.47	2076.18	2076.68	2077.14	2078.49	0.479362	5.96	0.75	1.5	2.69
Qda. Suramérica	155	Tr 25	4.47	2074.92	2075.41	2075.88	2077.27	0.495318	6.04	0.74	1.5	2.74
Qda. Suramérica	152.5	Tr 25	4.47	2073.67	2074.16	2074.63	2076.03	0.49826	6.05	0.74	1.5	2.75
Qda. Suramérica	150	Tr 25	4.47	2072.41	2072.9	2073.37	2074.78	0.502506	6.07	0.74	1.5	2.76
Qda. Suramérica	147.5	Tr 25	4.47	2071.15	2071.64	2072.11	2073.52	0.504218	6.07	0.74	1.5	2.77
Qda. Suramérica	145	Tr 25	4.47	2069.9	2070.39	2070.86	2072.26	0.500801	6.06	0.74	1.5	2.76

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Qda. Suramérica	142.5	Tr 25	4.47	2068.64	2069.13	2069.6	2071.01	0.502933	6.07	0.74	1.5	2.76
Qda. Suramérica	140	Tr 25	4.47	2067.39	2067.88	2068.35	2069.75	0.500376	6.06	0.74	1.5	2.76
Qda. Suramérica	137.5	Tr 25	4.47	2066.13	2066.62	2067.09	2068.5	0.503361	6.07	0.74	1.5	2.77
Qda. Suramérica	135	Tr 25	4.47	2064.87	2065.36	2065.83	2067.24	0.503789	6.07	0.74	1.5	2.77
Qda. Suramérica	132.5	Tr 25	4.47	2063.62	2064.11	2064.58	2065.98	0.500801	6.06	0.74	1.5	2.76
Qda. Suramérica	130	Tr 25	4.47	2062.36	2062.85	2063.32	2064.73	0.502933	6.07	0.74	1.5	2.76
Qda. Suramérica	127.5	Tr 25	4.47	2061.11	2061.6	2062.07	2063.47	0.500376	6.06	0.74	1.5	2.76
Qda. Suramérica	125.54	Tr 25	4.47	2059.85	2060.29	2060.81	2062.59	0.238357	6.72	0.67	1.5	3.22
Qda. Suramérica	125	Tr 25	4.47	2059.74	2060.19	2060.7	2062.46	0.234098	6.68	0.67	1.5	3.19
Qda. Suramérica	122.5	Tr 25	4.47	2059.26	2059.72	2060.22	2061.85	0.214316	6.47	0.69	1.5	3.04
Qda. Suramérica	120	Tr 25	4.47	2058.77	2059.24	2059.73	2061.31	0.205384	6.38	0.7	1.5	2.98
Qda. Suramérica	118.29	Tr 25	4.47	2058.28	2058.81	2059.24	2060.43	0.473772	5.63	0.79	1.5	2.47
Qda. Suramérica	117.5	Tr 25	4.47	2057.93	2058.47	2058.89	2060.05	0.459617	5.57	0.8	1.5	2.43
Qda. Suramérica	115	Tr 25	4.47	2056.82	2057.36	2057.78	2058.91	0.444349	5.5	0.81	1.5	2.39
Qda. Suramérica	112.5	Tr 25	4.47	2055.7	2056.24	2056.66	2057.79	0.447071	5.52	0.81	1.5	2.4
Qda. Suramérica	110	Tr 25	4.47	2054.59	2055.13	2055.55	2056.67	0.44401	5.5	0.81	1.5	2.39
Qda. Suramérica	109.49	Tr 25	4.47	2053.48	2053.92	2054.45	2056.3	0.051306	6.85	0.65	1.5	3.31
Qda. Suramérica	107.5	Tr 25	4.47	2053.39	2053.83	2054.35	2056.2	0.050712	6.82	0.66	1.5	3.29
Qda. Suramérica	105.913	Tr 25	4.47	2053.31	2053.64	2054.11	2056.01	0.481887	6.83	0.65	2	3.81
Qda. Suramérica	105.91	Tr 25	4.47	2053.31	2053.65	2054.11	2055.88	0.43866	6.62	0.68	2	3.63
Qda. Suramérica	104.92	Tr 25	4.47	2053.29	2053.65	2054.09	2055.59	0.356135	6.17	0.72	2	3.27
Qda. Suramérica	104.913	Tr 25	4.47	2052.96	2053.3	2053.76	2055.51	0.053103	6.59	0.68	2	3.61
Qda. Suramérica	101		Culvert									
Qda. Suramérica	87.867	Tr 25	4.47	2052.75	2053.22	2053.55	2054.39	0.020841	4.8	0.93	2	2.25

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Qda. Suramérica	86.87	Tr 25	4.47	2052.54	2053.16	2053.5	2054.34	0.386538	4.8	0.93	1.5	1.95
Qda. Suramérica	86.867	Tr 25	4.47	2052.15	2052.76	2053.11	2053.98	0.111377	4.89	0.91	1.5	2
Qda. Suramérica	85	Tr 25	4.47	2051.74	2052.3	2052.7	2053.73	0.137777	5.28	0.85	1.5	2.25
Qda. Suramérica	82.5	Tr 25	4.47	2051.2	2051.73	2052.16	2053.33	0.162605	5.61	0.8	1.5	2.46
Qda. Suramérica	80	Tr 25	4.47	2050.66	2051.17	2051.62	2052.9	0.179728	5.81	0.77	1.5	2.59
Qda. Suramérica	77.5	Tr 25	4.47	2050.12	2050.62	2051.08	2052.42	0.191456	5.95	0.75	1.5	2.68
Qda. Suramérica	75	Tr 25	4.47	2049.57	2050.06	2050.53	2051.93	0.200838	6.05	0.74	1.5	2.75
Qda. Suramérica	74.167	Tr 25	4.47	2049.03	2049.53	2049.99	2051.36	0.247414	6.01	0.74	1.5	2.72
Qda. Suramérica	72.5	Tr 25	4.47	2048.6	2049.09	2049.56	2050.95	0.25035	6.03	0.74	1.5	2.74
Qda. Suramérica	70	Tr 25	4.47	2047.96	2048.45	2048.92	2050.32	0.25269	6.05	0.74	1.5	2.75
Qda. Suramérica	67.5	Tr 25	4.47	2047.32	2047.81	2048.28	2049.68	0.25398	6.06	0.74	1.5	2.76
Qda. Suramérica	65	Tr 25	4.47	2046.68	2047.17	2047.65	2049.05	0.254845	6.07	0.74	1.5	2.77
Qda. Suramérica	62.5	Tr 25	4.47	2046.04	2046.53	2047.2	2048.41	0.255279	6.07	0.74	1.5	2.77
Qda. Suramérica	60	Tr 25	4.47	2045.39	2045.88	2046.56	2047.77	0.256806	6.09	0.73	1.5	2.78
Qda. Suramérica	57.5	Tr 25	4.47	2044.75	2045.24	2045.91	2047.13	0.256806	6.09	0.73	1.5	2.78
Qda. Suramérica	55	Tr 25	4.47	2044.11	2044.6	2045.07	2046.49	0.256806	6.09	0.73	1.5	2.78
Qda. Suramérica	52.5	Tr 25	4.47	2043.47	2043.96	2044.63	2045.85	0.256806	6.09	0.73	1.5	2.78
Qda. Suramérica	52.317	Tr 25	4.47	2041.91	2042.31	2042.87	2045.11	0.257407	7.41	0.6	1.5	3.73
Qda. Suramérica	50	Tr 25	4.47	2041.61	2042.04	2042.57	2044.46	0.20886	6.89	0.65	1.5	3.34
Qda. Suramérica	47.5	Tr 25	4.47	2041.28	2041.74	2042.24	2043.9	0.17857	6.52	0.69	1.5	3.08
Qda. Suramérica	46.349	Tr 25	4.47	2042.05	2042.44	2042.64	2043.15	0.094344	3.73	1.2	5.05	2.44

6.14.6 CÁLCULO DEL BORDE LIBRE (B.L) TEÓRICO EN EL CANAL PROYECTADO

Se calculó a lo largo del canal proyectado el borde libre teórico y se comparó con el borde libre obtenido para un periodo de retorno de 25 años. Para este cálculo se emplean los siguientes criterios:

- **Ecuación de United States Bureau of Reclamation (USBR)**

De acuerdo a este criterio el borde libre de un canal se calcula como (Chow, 1994)

$$B.L. = 2 + 0.025 \times V \times Y^{1/3}$$

Donde:

BL: Borde Libre en pies.
V: Velocidad media de flujo en pie/s.
Y: Profundidad media de flujo en pies.

- **Ecuación de Central Board of Irrigation and Power (India)**

De acuerdo con el Central Board of Irrigation and Power (CBIP) de la India, sugiere para los canales los siguientes valores para el borde libre (Tabla 6-41).

Tabla 6-41. Bordes Libres Propuestos – *Central Board of Irrigation and Power.*

Caudal (m³/s)	<1,5	1,5 a 85	>85
Borde Libre (m)	0,50	0,75	0,90

- **Criterio de borde Libre según Ven Te Chow**

De acuerdo a este criterio la altura libre más utilizada para el diseño oscila entre el 5% y el 30% de la profundidad de flujo.

A continuación en la Tabla 6-42, se muestran los resultados una vez empleadas las metodologías descritas anteriormente, adicionalmente se muestra el borde libre real obtenido:

Tabla 6-42. Borde Libre Teórico (B. L).

Tramo	Caudal	Velocidad	Altura de flujo	Borde libre teórico (m)			
				Borde libre Ven Te Chow		Borde libre Bureau of Reclamation	Borde libre Central Board of Irrigation and Power
	(m³/s)	(m/s)	(m)	Desde	Hasta		
S1-T2	2.78	5.01	0.56	0.03	0.17	0.76	0.75
S1-T3	2.78	4.64	0.56	0.03	0.17	0.75	0.75
S1-T4	2.78	5.01	0.56	0.03	0.17	0.76	0.75
S1-T5	2.78	5.51	0.57	0.03	0.17	0.78	0.75
S1-T6	2.78	3.63	0.61	0.03	0.18	0.72	0.75

Tramo	Caudal	Velocidad	Altura de flujo	Borde libre teórico (m)			
				Borde libre Ven Te Chow		Borde libre Bureau of Reclamation	Borde libre Central Board of Irrigation and Power
	(m^3/s)	(m/s)	(m)	Desde	Hasta		
S1-T7	2.78	5.15	0.56	0.03	0.17	0.77	0.75
S1-T8	2.78	4.26	0.57	0.03	0.17	0.74	0.75
S2-T1	2.78	5.21	0.56	0.03	0.17	0.77	0.75
S2-T3	4.47	6.08	0.77	0.04	0.23	0.82	0.75
S2-T4	4.47	6.43	0.78	0.04	0.23	0.83	0.75
S2-T5	4.47	5.92	0.77	0.04	0.23	0.81	0.75
S2-T7	4.47	6.45	0.78	0.04	0.23	0.83	0.75
S3-T1	4.47	5.62	0.77	0.04	0.23	0.80	0.75
S3-T2	4.47	6.51	0.78	0.04	0.23	0.83	0.75
S3-T3	4.47	6.52	0.78	0.04	0.23	0.83	0.75
S3-T4	4.47	6.19	0.77	0.04	0.23	0.82	0.75

Para la obra proyectada se tiene un borde libre de 0.23 m que, corresponde al obtenido por Ven Te Chow, el cual se considera adecuado para la magnitud de la creciente analizada y para los criterios que se establecieron en la obtención de los caudales de diseño.

7. COMPONENTE GEOTÉCNICO

En el siguiente capítulo se muestran los análisis geotécnicos realizados para la zona donde ocurrió el deslizamiento del miércoles 26 de octubre de 2016 realizando una evaluación de las condiciones geotécnicas previas al evento, posterior al mismo, junto con una propuesta de estabilización con los tratamientos y recomendaciones necesarias para garantizar la estabilidad de la zona de afectación. Se definieron los parámetros geotécnicos de los materiales del subsuelo a partir de ensayos de laboratorio, retro análisis, descripción geológica y bibliografía técnica disponible para materiales similares. Paralelo al análisis geotécnico realizado para la zona del deslizamiento se realizó un estudio de estabilidad para la zona de explotación de la mina donde se recrean las condiciones geomecánica de este macizo mediante la realización de análisis cinemáticos y análisis de estabilidad.

7.1 ANÁLISIS GEOTÉCNICO ZONA DEL DESLIZAMIENTO.

7.1.1 METODOLOGÍA ESTABILIDAD DE TALUDES

Los análisis de estabilidad se ejecutan sobre las secciones transversales más críticas, donde se buscaron diferentes tipos de falla, tales como:

- Falla asociada al mínimo factor de seguridad.

- Los valores mínimos del Factor de Seguridad para condiciones estáticas deberán estar entre 1.25 y 1.5 y para condiciones seudo-estáticas entre 1.0 y 1.25, según se indica en la Tabla 7-1, donde un factor de seguridad aceptable es adecuado para este tipo de estructuras. Dada la complejidad del estudio realizado se buscarán factores de seguridad ideales o muy cercanos al 1,5.
- Variación del nivel de aguas freáticas, en condiciones bajas y condiciones de abatimiento de las mismas.

Tabla 7-1. Factores de seguridad para el caso estático y dinámico (US Army Corps of Engineers, octubre 2003).

CLASIFICACIÓN	F.S. ESTÁTICO	F.S. SEUDO ESTÁTICO
Inadmisible	<0.75	<0.5
Muy bajo	0.75 - 1.0	0.50 - 0.75
Bajo	1.0 – 1.25	0.75 – 1.0
Aceptable	1.25 – 1.50	1.0 - 1.25
Ideal	>1.50	>1.25

En los análisis y modelamientos se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- **Condición de variación N.A.F:** se realizaron las modelaciones incluyendo las condiciones tales como la presencia de nivel freático alto considerando una situación de saturación del talud y un nivel freático bajo hacía la base del mismo.
- **Condiciones de sismicidad:** Para el análisis de estabilidad seudoestático, se tuvo en cuenta un coeficiente de aceleración horizontal de 0,12g, que corresponde al 65% de la aceleración máxima (A máx); y vertical de 0,06 g, para un sismo con un periodo de retorno de 475 años.

7.1.2 LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA

La exploración geofísica consistió en la ejecución de diez (10) líneas de refracción sísmica en las cuales se obtiene una estratigrafía sísmica que sirve de base en la interpretación geológica para ingeniería, en lo que respecta a los diseños geotécnicos para estabilización de taludes. Adicionalmente, se aprovecha la información geofísica obtenida para determinar el perfil de suelo según la NSR-10.

7.1.2.1 Localización de sondeos

Las coordenadas de localización del inicio y fin de las líneas se realizó mediante un GPS marca Garmin Etrex- Ventura HC, con coordenadas en el sistema MAGNA–SIRGAS y origen con proyección MAGNA-COLOMBIA-BOGOTÁ (Tabla 7-2). Estas se ubicaron de forma estratégica en el área de interés.

Tabla 7-2. Coordenadas de las líneas de refracción sísmica.

Línea Sísmica	Longitud (m)	Coordenada Geófono 12/24		Coordenada Geófono 1	
		E	N	E	N
LRS 1	110	843720	1190761	843736	1190871
LRS 2	110	843797	1190721	843781	1190840
LRS 3	110	843764	1190754	843748	1190873
LRS 4	110	843835	1190975	843832	1191096
LRS 5	110	843831	1190954	843801	1191070
LRS 6	110	843834	1190947	843880	1190836
LRS 7	55	843854	1190811	843860	1190750
LRS 8	55	843903	1190806	843958	1190831
LRS 9	55	843909	1190829	843952	1190787
LRS 10	110	844082	1190811	844046	1190921

Fotografía 7-1. Panorámica ejecución LRS1.

Fotografía 7-2. Panorámica ejecución LRS8

7.1.2.2 Resultados de la interpretación

Entre la Figura 7-1 y la Figura 7-10 se muestran los modelos de capas simplificado para cada línea sísmica realizada, la cual arroja los valores de Vp (m/s).

Figura 7-1. Modelo de capas para LRS1.

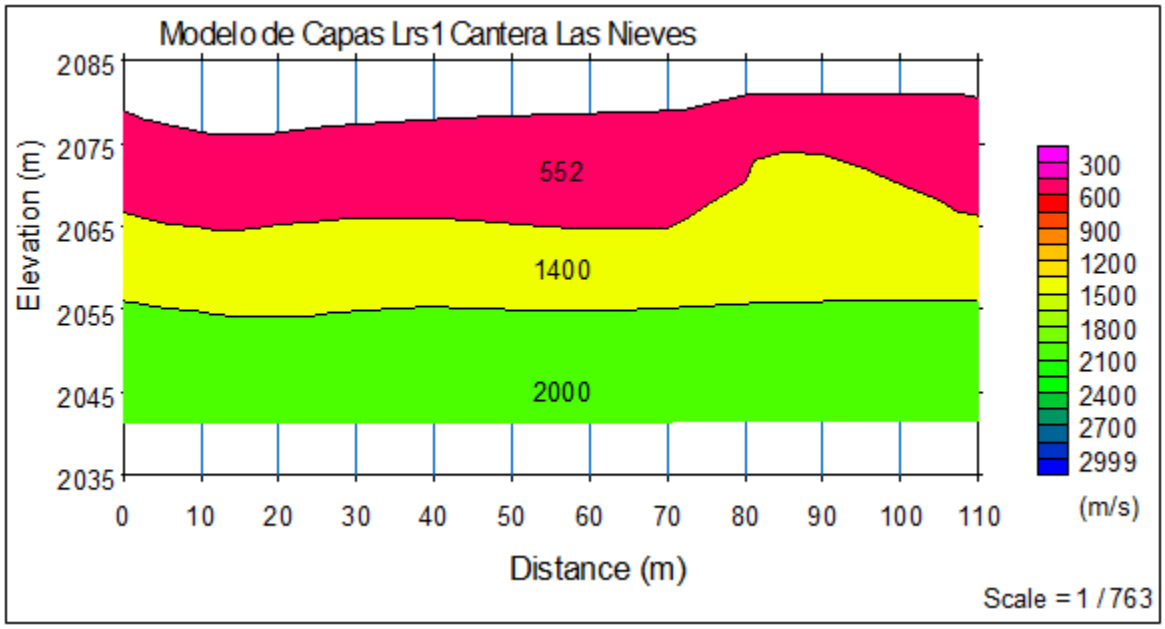


Figura 7-2. Modelo de capas para LRS2.

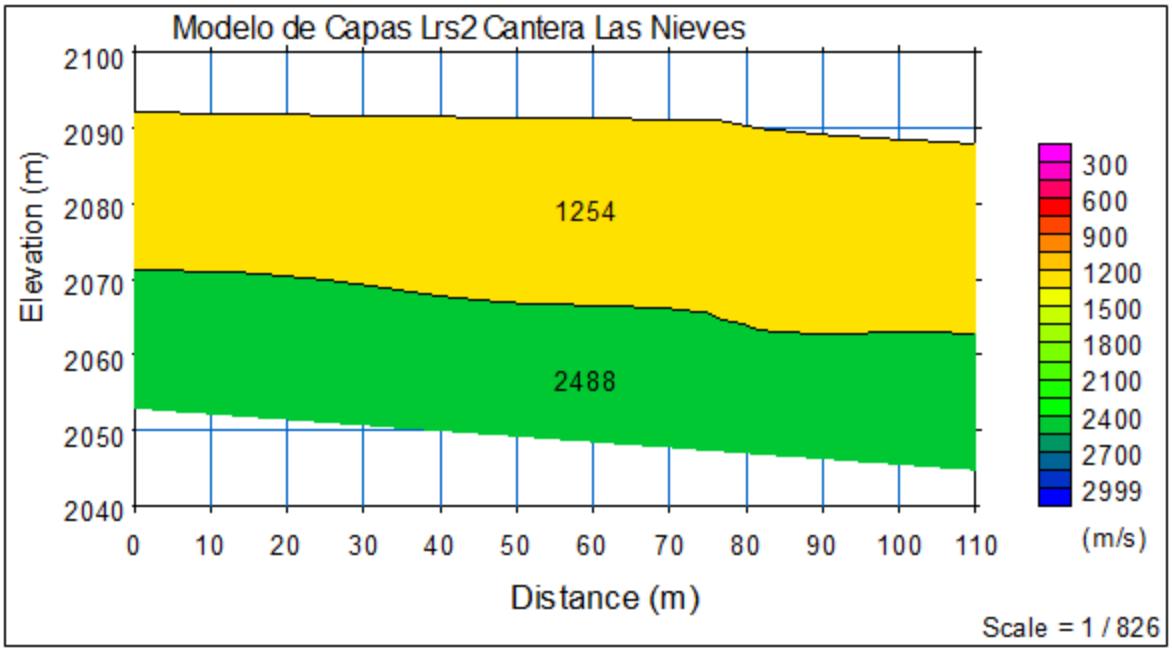


Figura 7-3. Modelo de capas para LRS3.

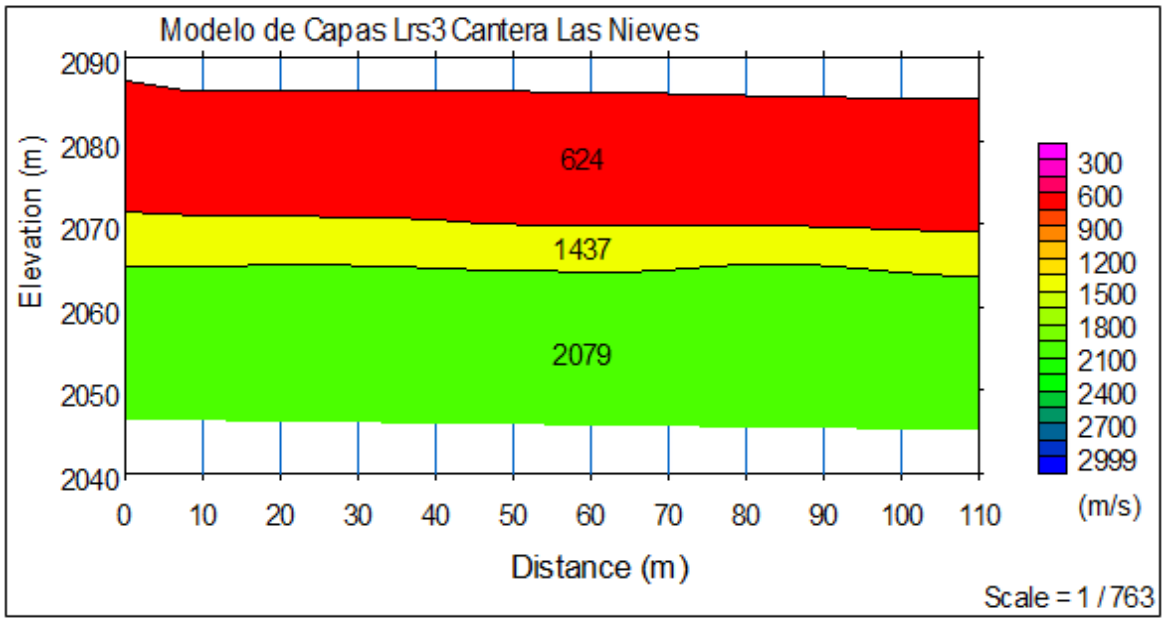


Figura 7-4. Modelo de capas para LRS4.

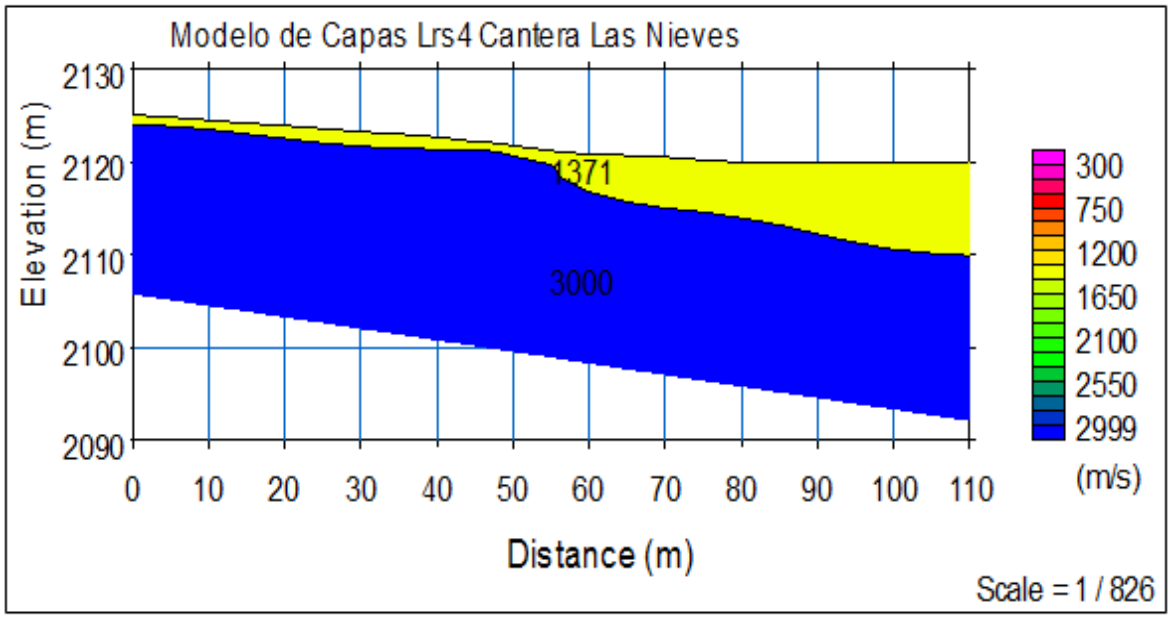


Figura 7-5. Modelo de capas para LRS5.

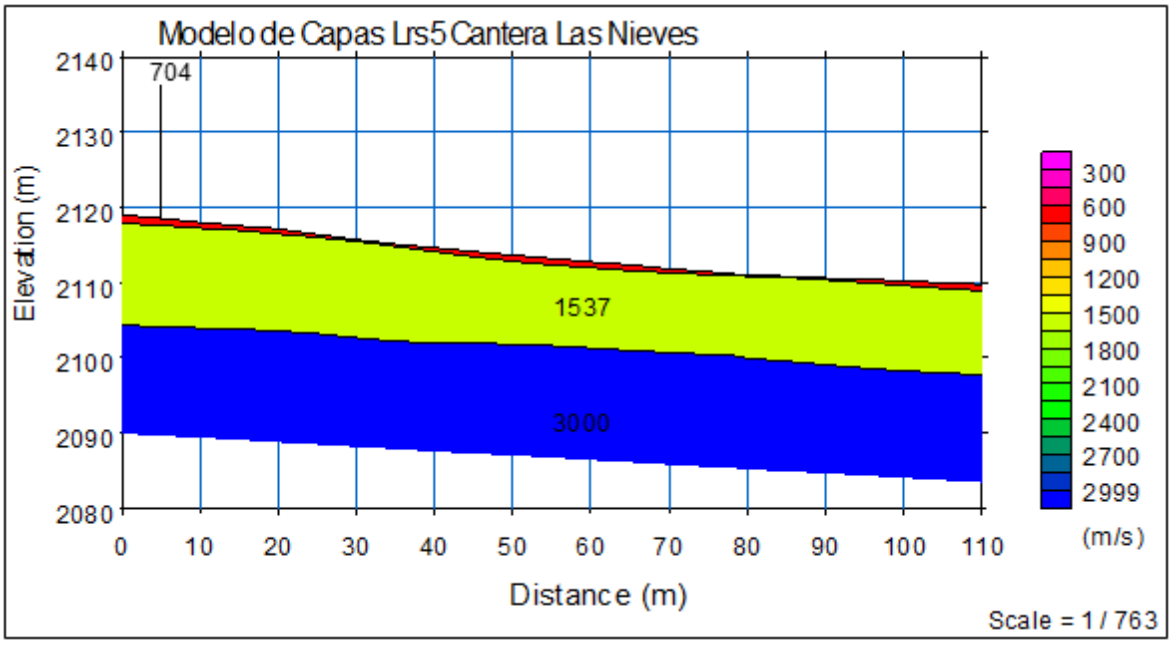


Figura 7-6. Modelo de capas para LRS6.

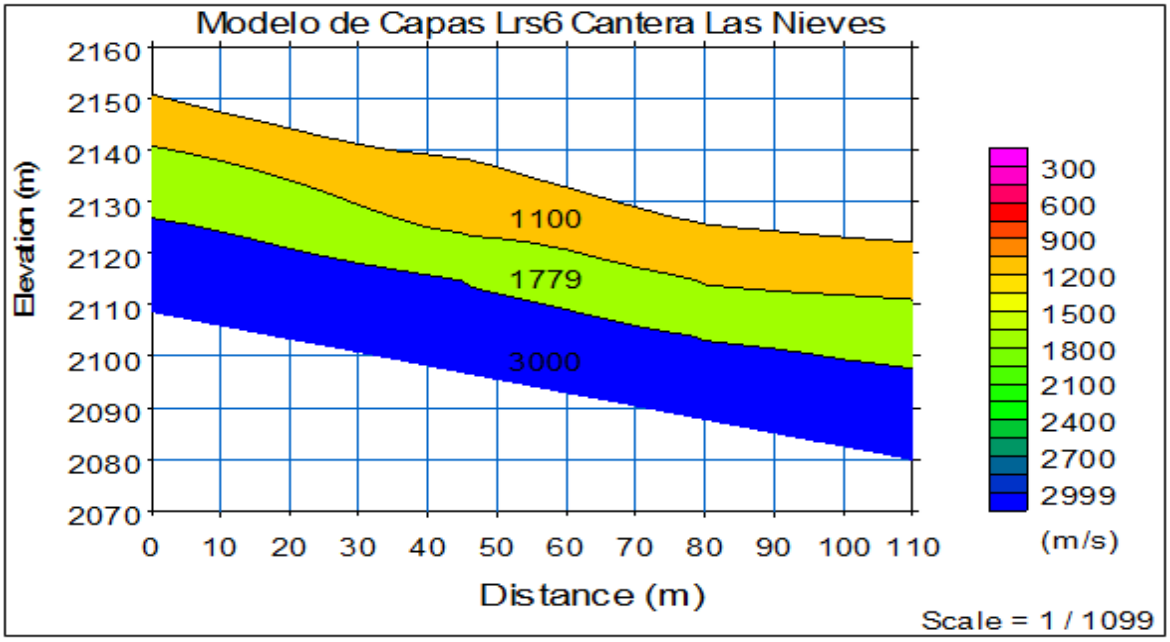


Figura 7-7. Modelo de capas para LRS7.

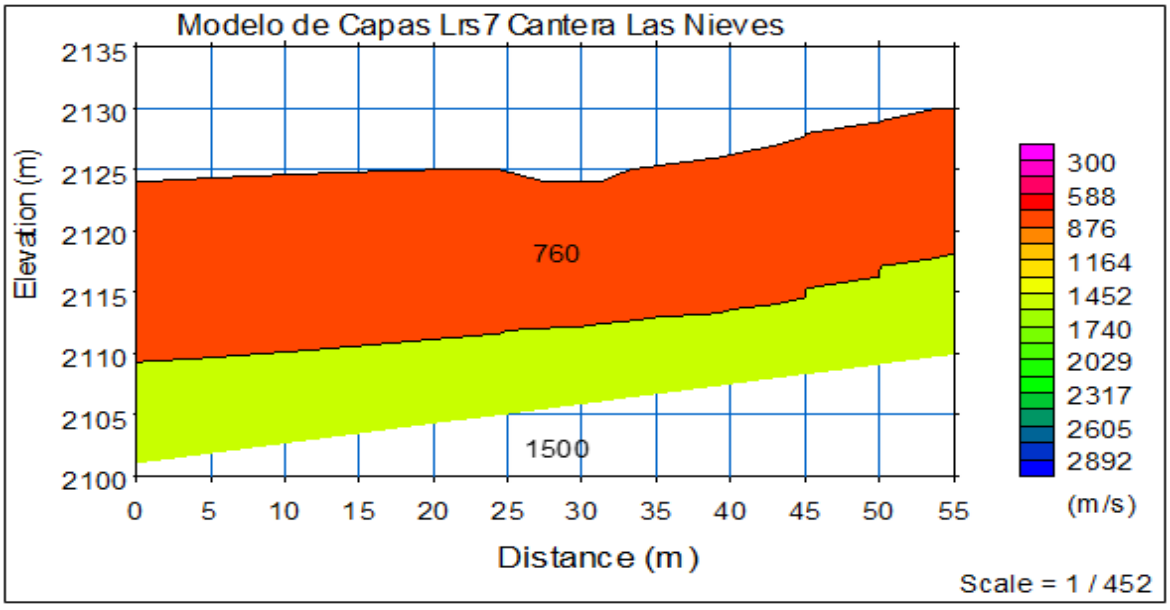


Figura 7-8. Modelo de capas para LRS8.

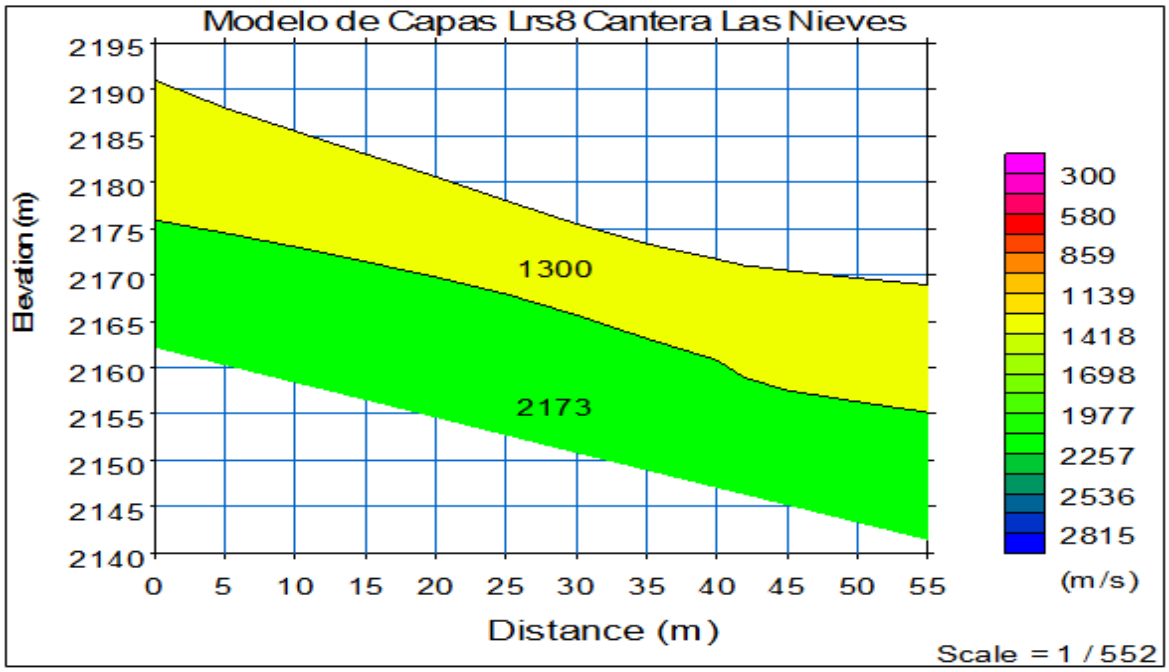


Figura 7-9. Modelo de capas para LRS9.

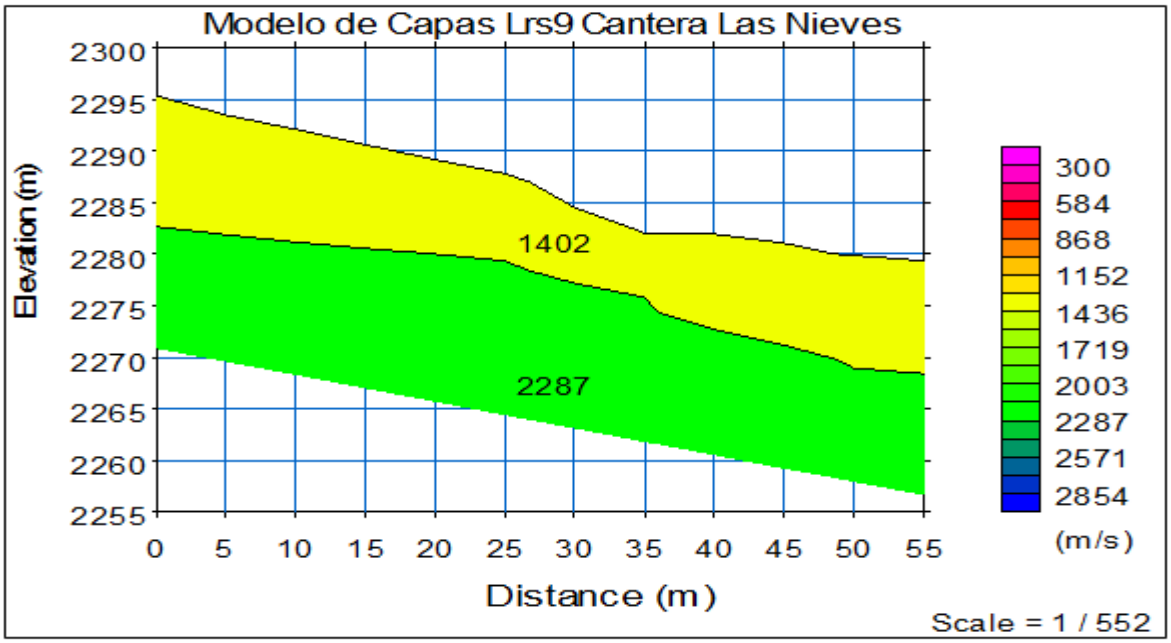
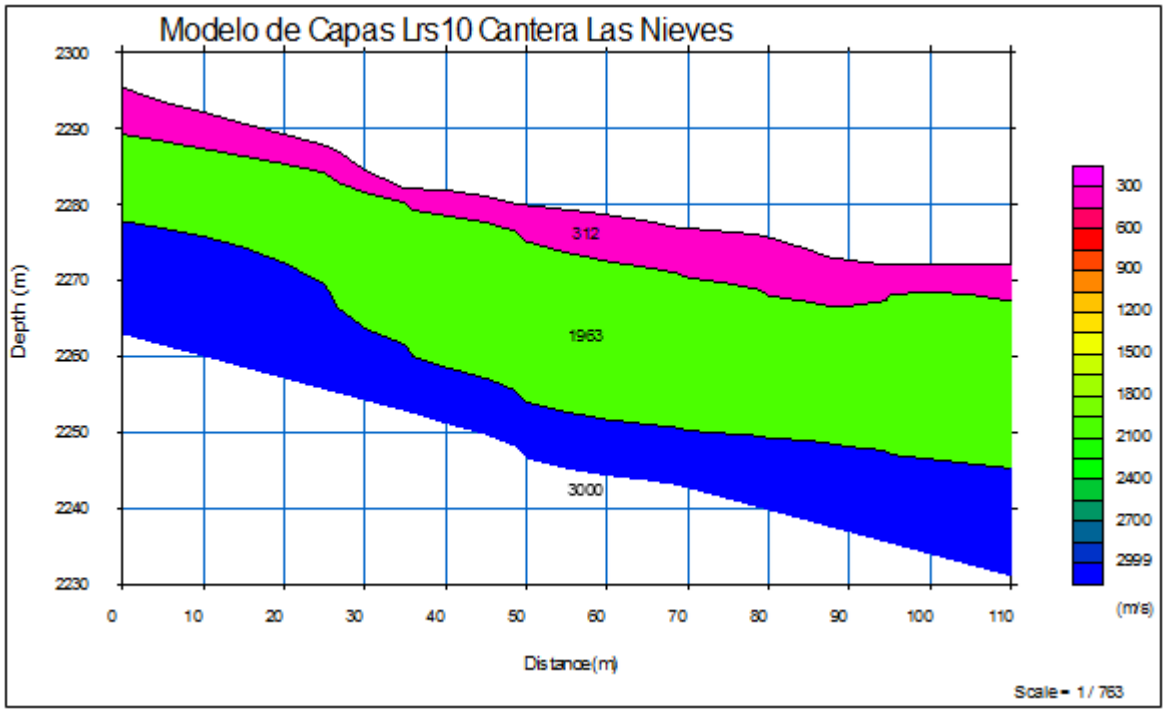


Figura 7-10. Modelo de capas para LRS10.



7.1.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

Las muestras obtenidas del subsuelo fueron llevadas al laboratorio, donde se determinaron sus propiedades índices y de resistencia. Se les practicaron ensayos de humedad natural, granulometría con lavado por el tamiz 200 y límites de consistencia (Anexo 1). Para determinar los parámetros resistentes se practicó una prueba cortes directos tipo CU. En la Tabla 7-3 se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 7-3. Resumen de ensayos de laboratorio

Muestra	Clasificación USCS	%Grava	%Arena	N°200	W%	LL	LP	IP	Corte directo tipo CU		
									Φ (º)	C (kPa)	Densidad húmeda (kN/m3)
1,00	SM	32,3	38,0	29,7	17,6	30,0	26,0	4,0	-	-	-
2,00	SM	26,4	44,8	28,8	15,4	30,0	24,0	6,0	-	-	-
3,00	ML	13,1	35,3	51,6	38,5	50,0	42,0	8,0	23,3	17,0	14,0
4,00	SM	38,1	41,9	20,0	16,7	30,0	23,0	7,0	-	-	-

7.1.4 PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

Los perfiles estratigráficos fueron trazados con base en la interpretación geológica de la zona, realizada en las visitas de campo a la zona del proyecto, además de los resultados de las líneas de refracción sísmica distribuidas por toda el área de estudio obteniendo espesores de los estratos del subsuelo a partir de las velocidades de onda en cada material. También se utilizó el histórico de planos topográficos de la cantera para observar la variación de la misma previo al evento y posterior al mismo, identificando las zonas de material depositado y los espesores de los estratos de material *in situ*. Adicionalmente se utilizó información secundaria disponible en la bibliografía técnica. En la Figura 7-11 se ilustra en planta las direcciones de los perfiles de análisis y entre la Figura 7-12 y la Figura 7-13 se observa la estratigrafía antes y después del evento.

7.1.5 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Para definir los parámetros geotécnicos utilizados en el análisis de estabilidad, se realizó un análisis regresivo sobre los materiales encontrados en la zona, los cuales de acuerdo a la exploración se extiende en profundidad. Adicionalmente se utilizaron diferentes correlaciones y bibliografía técnica disponible. Se eligieron parámetros conservadores dada la variabilidad de los materiales, de su génesis y la incertidumbre en la exploración realizada.

Los análisis regresivos se hicieron buscando los parámetros de resistencia que mostraran que, para las condiciones de topografía previa al deslizamiento, utilizando una sección por el centro del deslizamiento, la cual representa las condiciones más críticas de la zona. Para la modelación se busca obtener un factor de seguridad mínimo de 1,0 estando el talud en estabilidad límite, ya que posteriormente se presenta el deslizamiento.

En el análisis se buscaron las superficies de falla que recrearan el deslizamiento de acuerdo con las observaciones de campo y la interpretación geológica. El nivel freático se supuso alto para la situación más crítica en la cuales ocurrió el deslizamiento. Obteniéndose los parámetros mostrados en la Figura 7-14.

Se precisa que para la complementación y determinación de los parámetros geotécnicos se utilizaron correlaciones válidas en la ingeniería geotécnica, que se resumen en la Tabla 7-4 y la Tabla 7-10, cuyo resumen de valores adoptados se presentan en la Tabla 7-11.

7.1.6 RESULTADOS DE ESTABILIDAD

Para este capítulo se consideró la topografía posterior al deslizamiento para la cual se realizó el análisis de estabilidad con diferentes profundidades del nivel freático, evaluando la probabilidad de falla del talud e identificando la susceptibilidad del mismo. Posteriormente se evalúa la estabilidad con las recomendaciones geotécnicas tales como pendientes y alturas de bancos. Para el diseño se utilizó la sección 22’ pues se localiza en todo el eje del deslizamiento.

Figura 7-11 Localización de secciones de analisis zona del deslizamiento

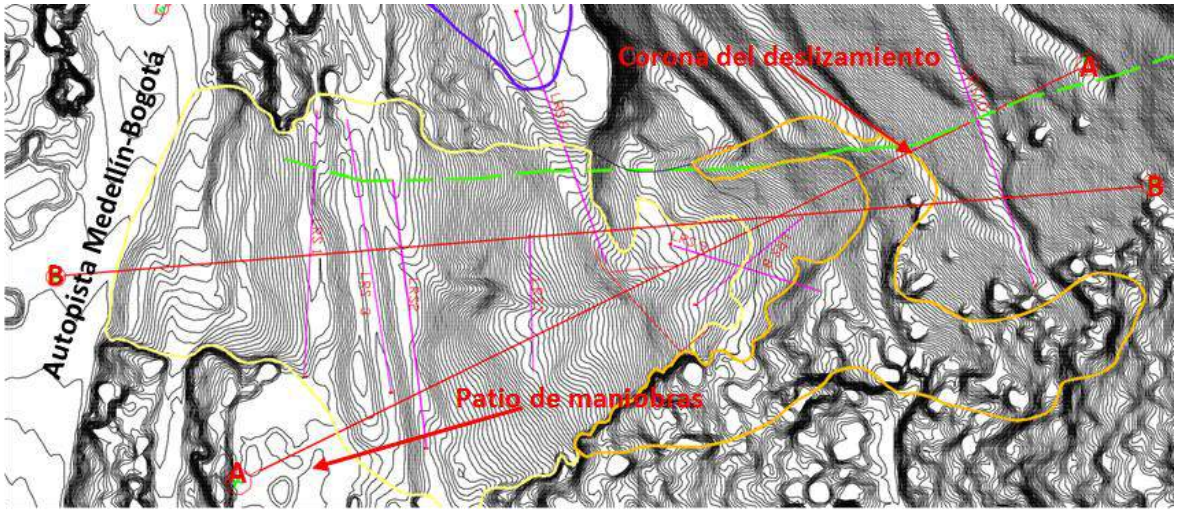


Figura 7-12 Perfiles estratigráficos Sección A- Antes del deslizamiento (A) Condición Actual (B)

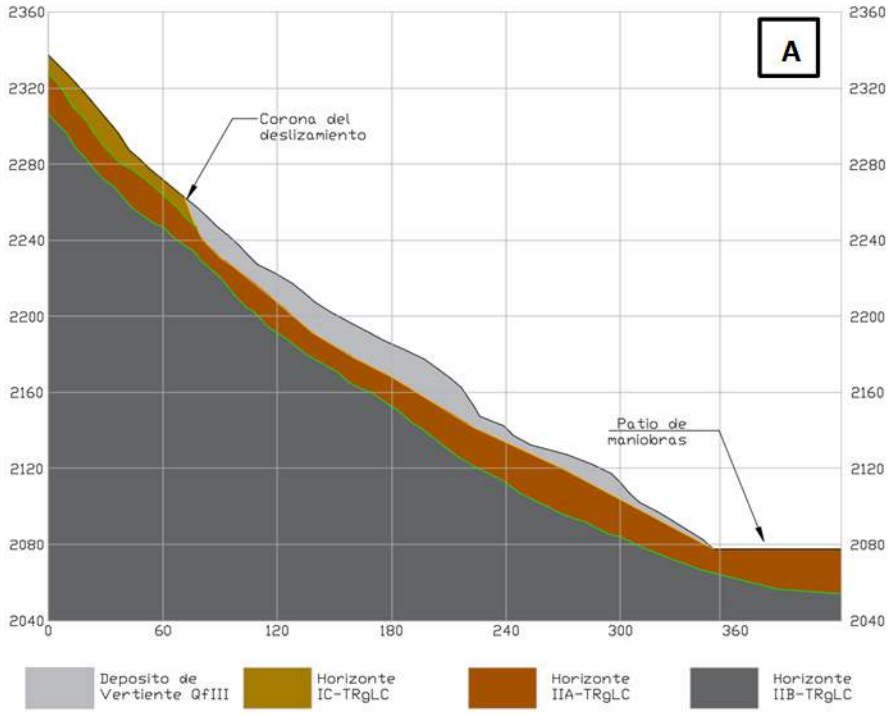


Figura 7-13 Análisis de sensibilidad parámetros del depósito de vertiente - condición Estática - NF Alto

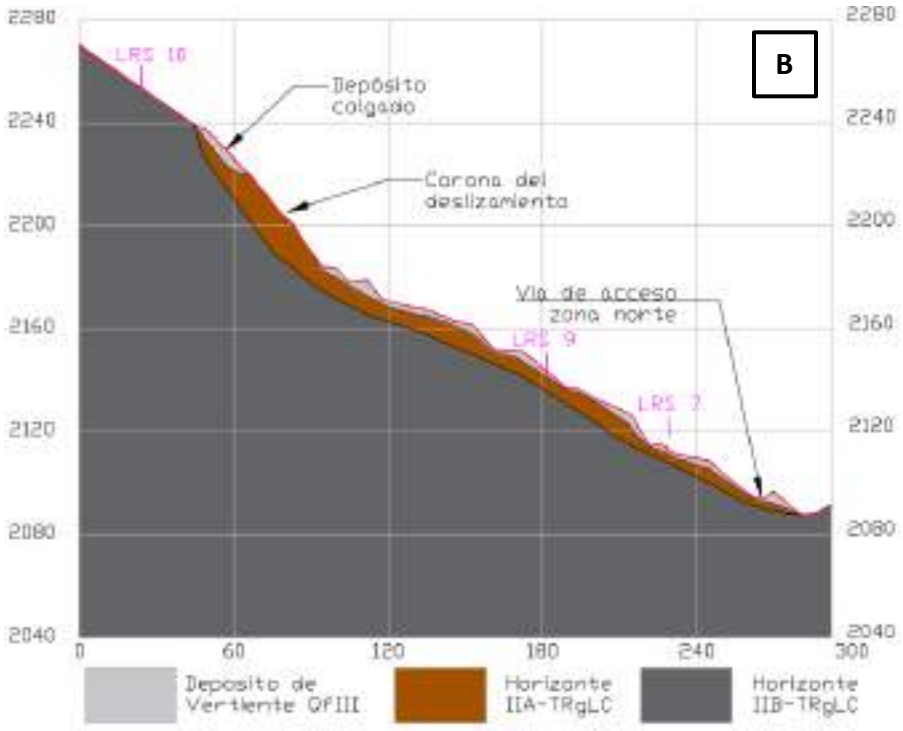


Figura 7-14 Retro análisis deslizamiento en condiciones Estáticas - NF Alto

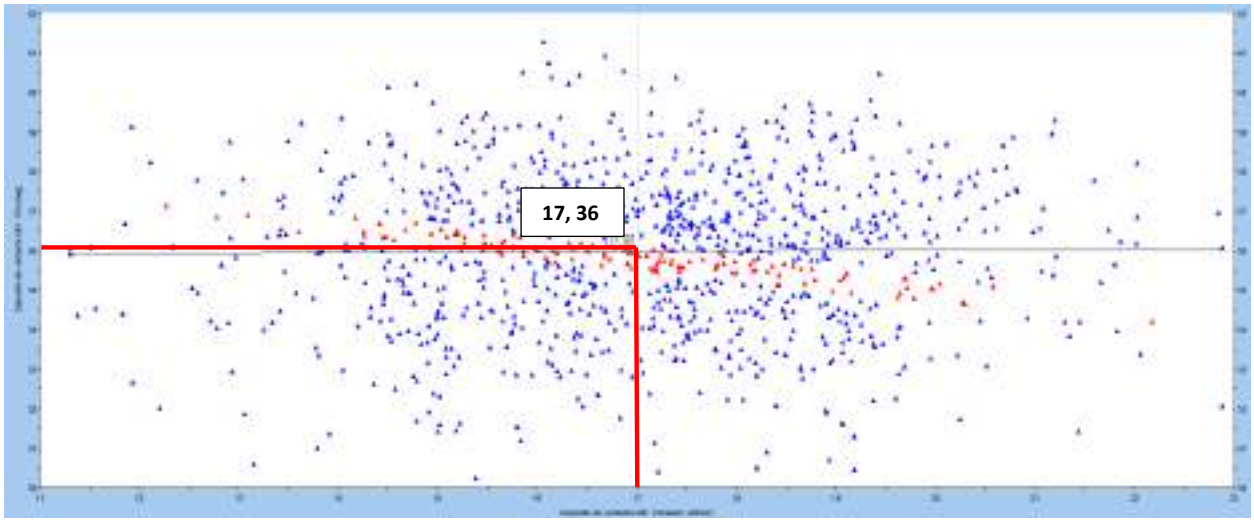


Figura 7-15 Retro análisis deslizamiento en condiciones seudo-estáticas - NF Alto

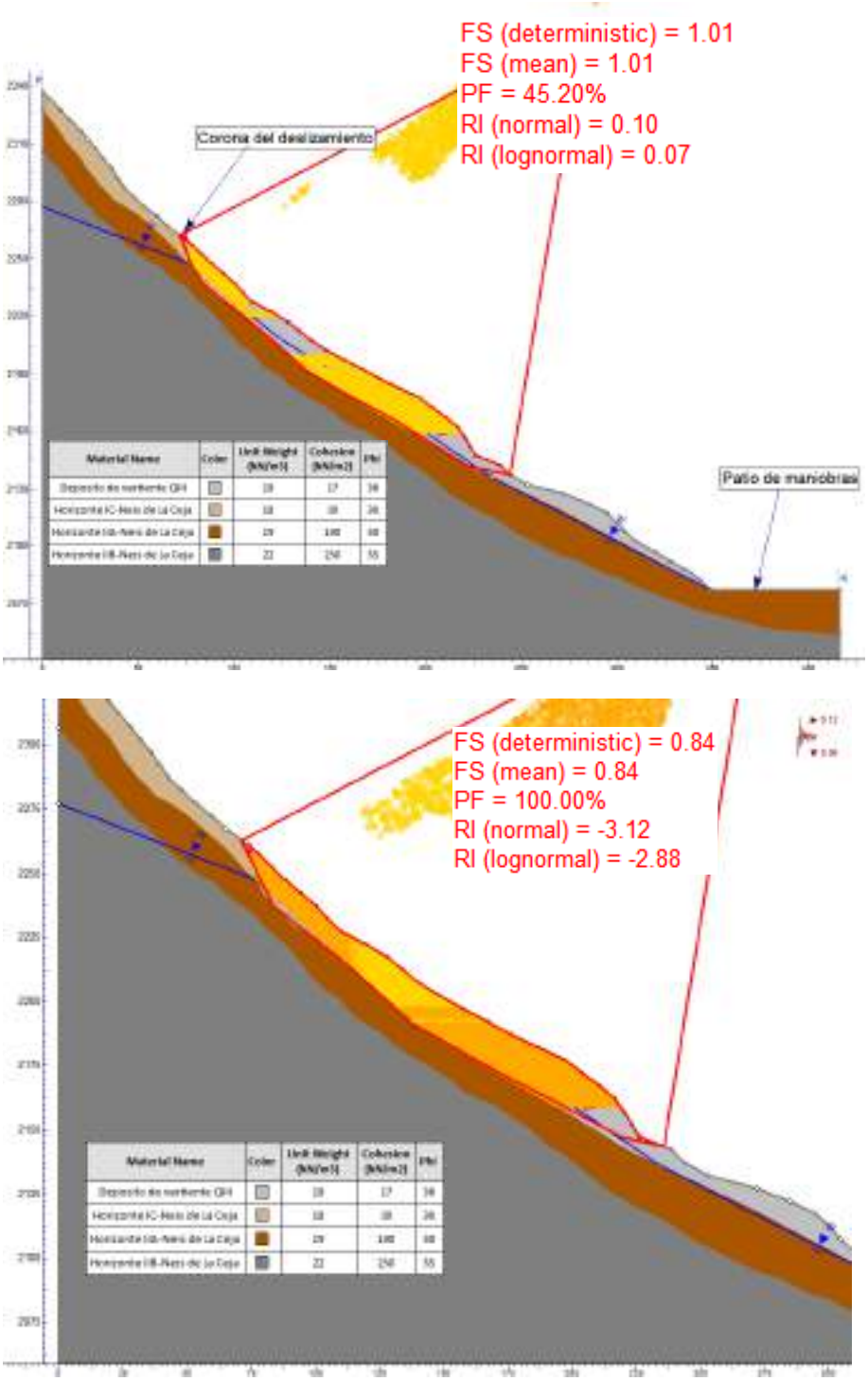


Figura 7-16 Correlación ángulo de fricción interna y el SPT

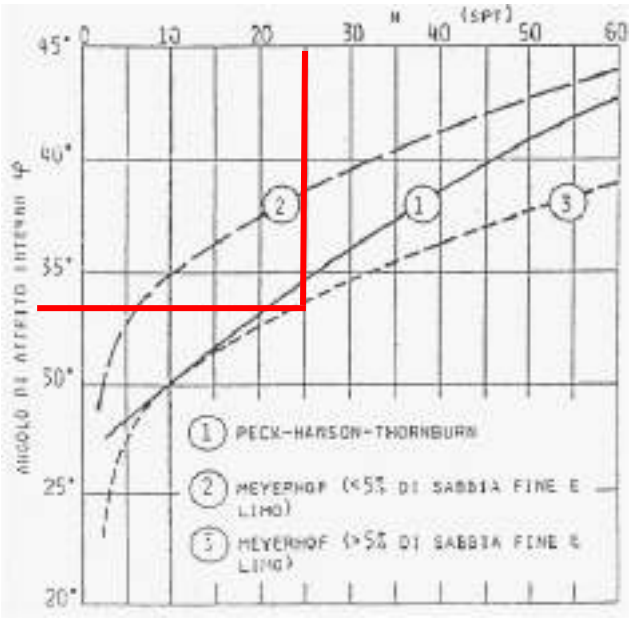


Tabla 7-4 Ángulo de fricción para diferentes tipos de materiales

Tipo de suelo	ϕ´(°)	
	Suelto	Denso
Limo	27 - 30	30 - 34
Arena limosa	27 - 33	30 - 35
Arena uniforme	28	34
Arena bien gradada	33	45
Grava arenosa	35	50

Fuente: Terzaghi y Peck, 1967.

Tabla 7-5 Relación de valores para parámetros de resistencia materiales friccionantes

COMPACIDAD (Suelo Granular)	Grado de Compacidad	N (S.P.T.)	Resistencia a la Penetración Estática	φ
Muy suelta	< 0,2	< 4	< 20	< 30
Suelta	0,2 - 0,4	4 – 10	20 - 40	30 - 35
Compacta	0,4 - 0,6	10 - 30	40 - 120	35 - 40
Densa	0,6 - 0,8	30 – 50	120 - 200	40 - 45
Muy Densa	> 0,8	> 50	> 200	> 45

Fuente: ASTM INTERNATIONAL. Estándard Test Method for Standard Penetration Tests (SPT) and Split-Barrel Sampling Soils: ASTM D1586. ASTM 1996.P3

Tabla 7-6 Valores propuestos por Grundbau Taschenbuch(1980)

TIPO DE SUELO	GRANULOMETRIA <0,06	GRANULOMETRIA <2,0	LIMITES DE ATTERBERG (Fracción <0,04 mm)			PESO ESPECIFICO		HUMED. NATURAL	PROCTOR NORMAL		DEFORMABILIDAD (2)		RESISTENCIA AL CORTE			PERM.
	mm %	mm %	w_L %	w_p %	I_p %	γ t/m³	γ_{sat} t/m³	w %	D. seca t/m³	w_{pN} %	$E_s = E_o \frac{kp}{cm^2}$	$\left(\frac{\sigma}{\sigma_{ref}}\right)^n$ n	φ' (°)	c' t/m²	φ'_r	K m/s
Grava	<5	<60	—	—	—	1,60 1,90	0,95 1,05	5 2	1,70 1,90	8 5	400 900	0,60 0,40	34 42	— —	32 35	2.10^{-1} 1.10^{-2}
Grava arenosa con pocos finos	<5	<60	—	—	—	2,10 2,30	1,15 1,35	7 3	2,00 2,25	7 4	400 1100	0,70 0,50	35 45	— —	32 35	1.10^{-1} 1.10^{-4}
Grava arenosa con finos limosos o arcillosos que no alteran la estructura granular	8 15	<60	20 45	16 25	4 25	2,10 2,40	1,15 1,45	9 3	2,10 2,35	7 3	400 1200	0,70 0,50	35 43	1 0	32 35	1.10^{-5} 1.10^{-8}
Mezcla de gravas y arenas envueltas por finos	20 40	<60	20 50	16 25	4 30	2,00 2,25	1,05 1,30	13 5	1,90 2,20	10 5	150 400	0,90 0,70	28 35	3 0,5	22 30	1.10^{-4} 1.10^{-11}

Fuente: Tomado de Oteo (1989)

Tabla 7-7 Parámetros geotécnicos para materiales grueso- granulares

USCS	Descripción	Ángulo de fricción (°)	Cohesión (kPa)
GW	Gravas bien gradadas, gravas arenosas con pocas o nada de finos	40±5	0 ± 0
GP	Gravas pobremente gradadas, gravas arenosas con poco o nada de finos	38±6	0 ± 0
GM	Gravas limosas, gravas areno limosas	36±4	0 ± 0
GC	Gravas arcillosas, gravas areno arcillosas	34±4	0 ± 0

Tabla 7-8 Valores de resistencia a la compresión simple a partir del Nspt para suelos cohesivos, Department of Navy

Soil Type and SPT Blow Counts		Undisturbed Soil	
Cohesive soil		Cohesion (kPa)	Friccion Angle (°)
Very soft	(<2)	12	0
Soft	(2-4)	12-24	0
Firm	(4-8)	24-48	0
Stiff	(8-15)	48-96	0
Very Stiff	(15-30)	96-192	0
Hard	(>30)	192	0
Cohesionless soil			
Loose	(<10)	0	28
Medium	(10-30)	0	28-30
Dense	(>30)	0	32
Intermediate soil			
Loose	(<10)	4,8	8
Medium	(10-30)	4,8-48	8-12
Dense	(>30)	48	12

Tabla 7-9 Valores típicos para el módulo de elasticidad E para suelos seleccionados

Soil	E_s, MPa
Clay	
Very soft	2–15
Soft	5–25
Medium	15–50
Hard	50–100
Sandy	25–250
Glacial till	
Loose	10–150
Dense	150–720
Very dense	500–1440
Loess	15–60
Sand	
Silty	5–20
Loose	10–25
Dense	50–81
Sand and gravel	
Loose	50–150
Dense	100–200
Shale	150–5000
Silt	2–20

*Value range is too large to use an "average" value for design.

Tomado de: Bowles Joseph E. "Foundation Analysis and Design", Tabla 2-8

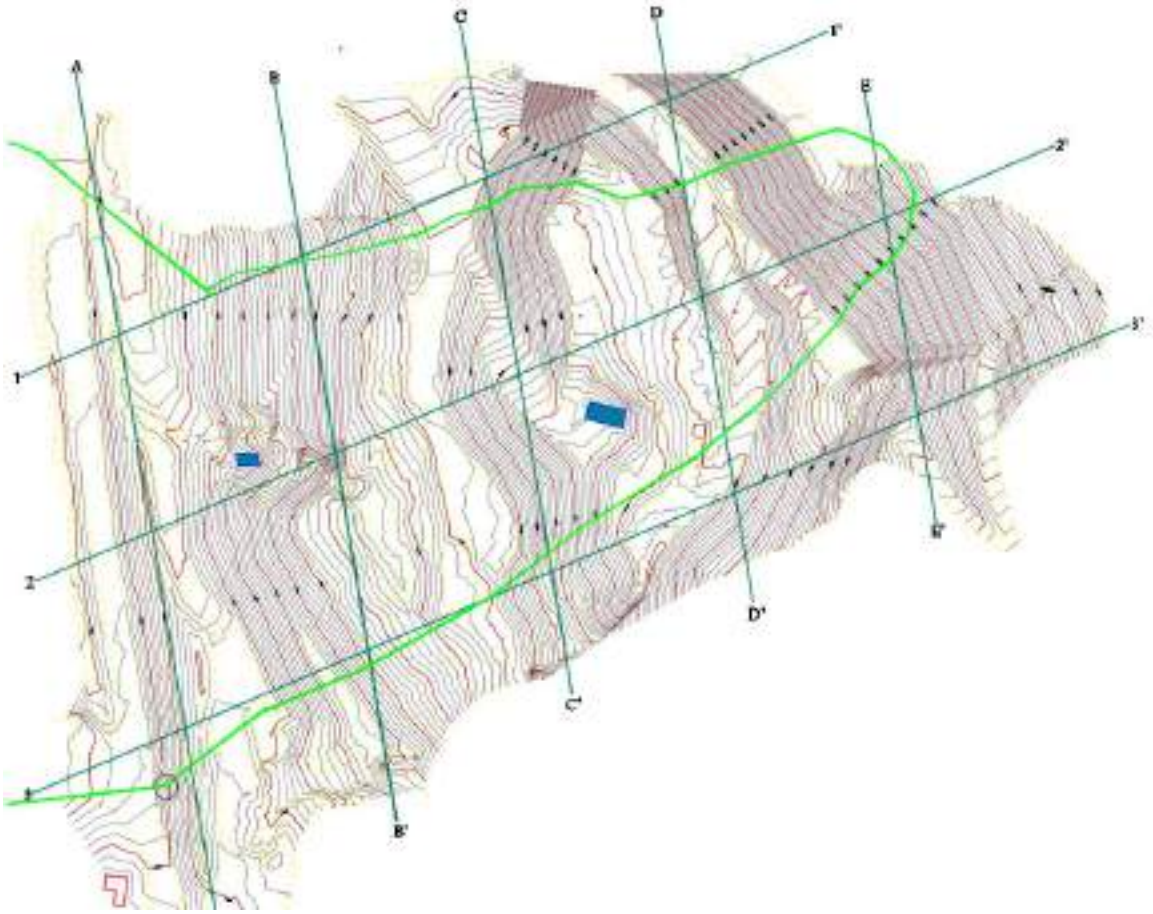
Tabla 7-10 Parámetros geotécnicos por diferentes metodologías para depósito de vertiente

Depósito de vertiente Granular arenoso		
Metodología	**Φ (º)**	**C (kPa)**
Meyerhof	34	-
Terzaghi y Peck, 1967	35	-
Bibliografía (ASTM D1586)	33	-
Grundbau-Taschenbuch	35	10
-	35	15
Department of Navy	28	-
Máximo	35,0	15,0
Mínimo	28,0	10,0
Promedio	33,3	12,5
Mediana	34,5	12,5
Varianza	6,2	6,3
Percentil 33	33,7	11,7

Tabla 7-11 Parámetros geotécnicos Zona del Deslizamiento

ESTRATO	PESO UNITARIO γ (kN/m^3)	Φ' (°)	C' (KPa)
Depósito de Vertiente QfIII	17	36	17
Horizonte IC-Neis de La Ceja	18	30	30
Horizonte IIA-Neis de La Ceja	19	30	100
Horizonte IIB-Neis de La Ceja	22	35	250

Figura 7-17 Topografía cantera Las Nieves actualizada a abril de 2017



Utilizando los parámetros mostrados en la Tabla 7-11, se evalúa la ladera para las profundidades de nivel freático alto y medio. Se menciona que posterior al evento se realizaron trabajos de limpieza y adecuación en toda el área afectada por lo que en la parte superior los espesores del material desplazado disminuyo considerablemente. En las bermas superiores cercanas a la corona del deslizamiento se buscó retirar el deposito

desplazado, están los bancos y bermas perfilados sobre el horizonte IIA de mejores características geotécnicas que el depósito de vertiente. Este mismo proceso se realiza hacia la parte baja, hasta llegar a la zona del patio de maniobras.

En la Tabla 7-12 se observa que la condición más crítica es con el nivel freático alto donde el factor de seguridad tiene un valor de 1,16 el cual se encuentra por debajo del mínimo requerido (1,25). Las zonas con menores factores de seguridad son, el talud localizado entre las cotas 2113 m.s.n.m y la 2126 m.s.n.m. y en la corona del deslizamiento (Ver Figura 7-18).

El primero de los puntos mencionados presenta un espesor de depósito de vertiente de aproximadamente 5,0 m el cual deberá ser retirado buscando el horizonte IIA rocoso, ya que este talud con la geometría actual (altura de 12 m, pendiente 0.55H:1,0V) no cumple con los factores de seguridad requeridos. En caso de no encontrarse la roca al momento de perfilar el talud, este requiere disminuir la pendiente utilizando una inclinación máxima de 1,0H:1,0V. (ver Figura 7-21)

Para el segundo punto (Corona del deslizamiento), se observa que los factores de seguridad para condiciones estáticas son cercanos a 1,5 siendo este factor de seguridad óptimo para la estabilidad. Sin embargo, se deberá realzar un monitoreo permanente a dicha zona, para evitar desprendimientos del depósito de vertiente remanente en la zona.

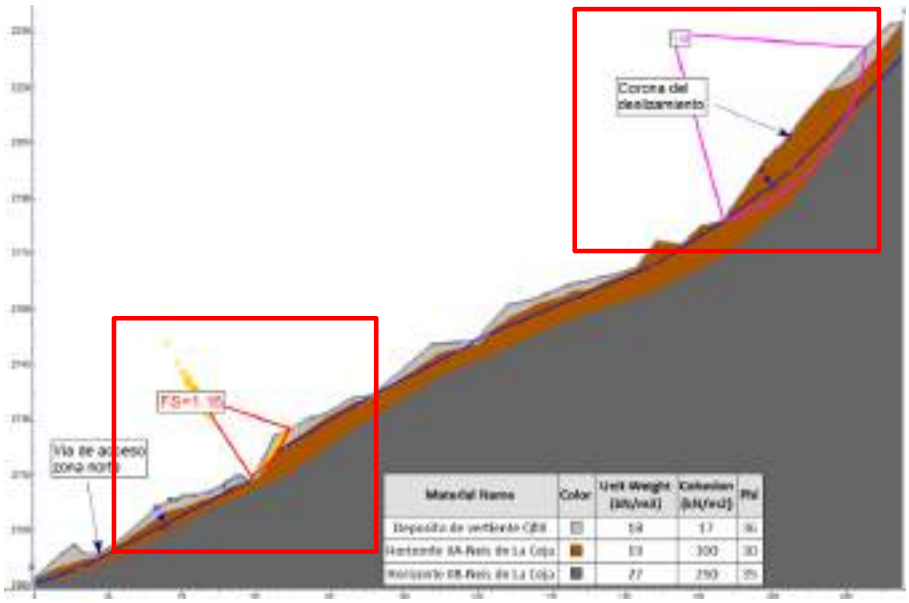
Es importante mencionar que la estabilidad de los taludes depende en gran medida de la variación del nivel freático ya que los factores de seguridad muestran una gran susceptibilidad a los cambios en el mismo. Por lo tanto, se requiere realizar obras de drenaje tales como drenes horizontales en pata de los bancos para la disipación de presiones de poros y cuentas que evacuen adecuadamente las aguas de infiltración y de nivel freático.

Tabla 7-12 Factores de seguridad condición actual del deslizamiento

Condición de análisis	F.S Estático	F.S Seudoestático
NF Alto	1.16	1.11
NF Medio	1.30	1.15
NF Alto-talud entre cotas 2113 m.s.n.m y la 2126 m.s.n.m. pendiente 1,0H:1,0V.	2.74	-

Fotografía 7-3 Corona del deslizamiento actual-se muestra afloramiento del horizonte IIA (Roca meteorizada)

Figura 7-18 Estado actual del deslizamiento - condición estática - NF Alto



Nota: en los recuadros rojos se resaltan las zonas con susceptibilidad a deslizamiento

Figura 7-19 Estado actual del deslizamiento - condición estática - NF Medio

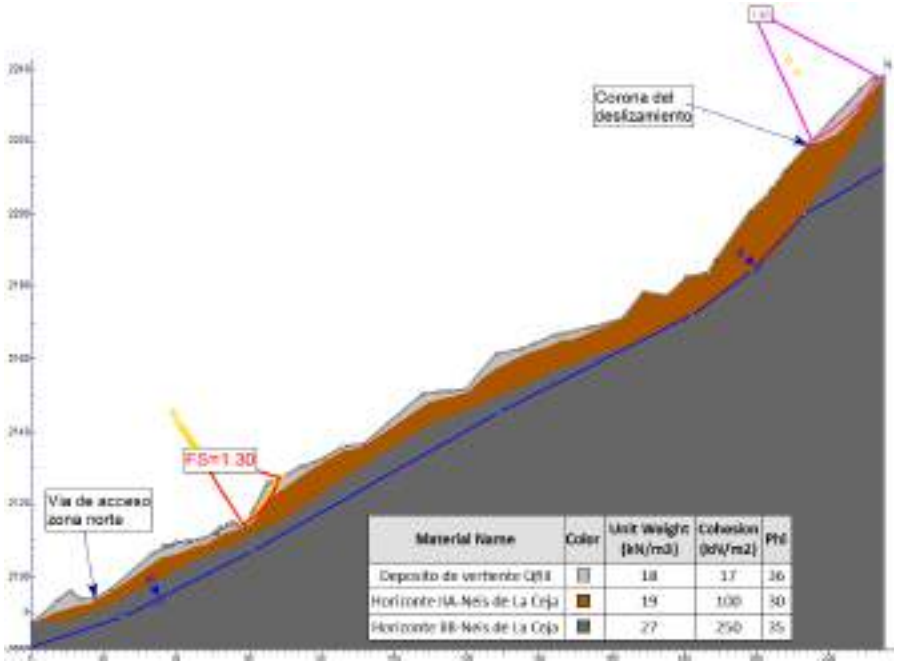


Figura 7-20 Estado actual del deslizamiento - condición seudo-estática - NF Alto

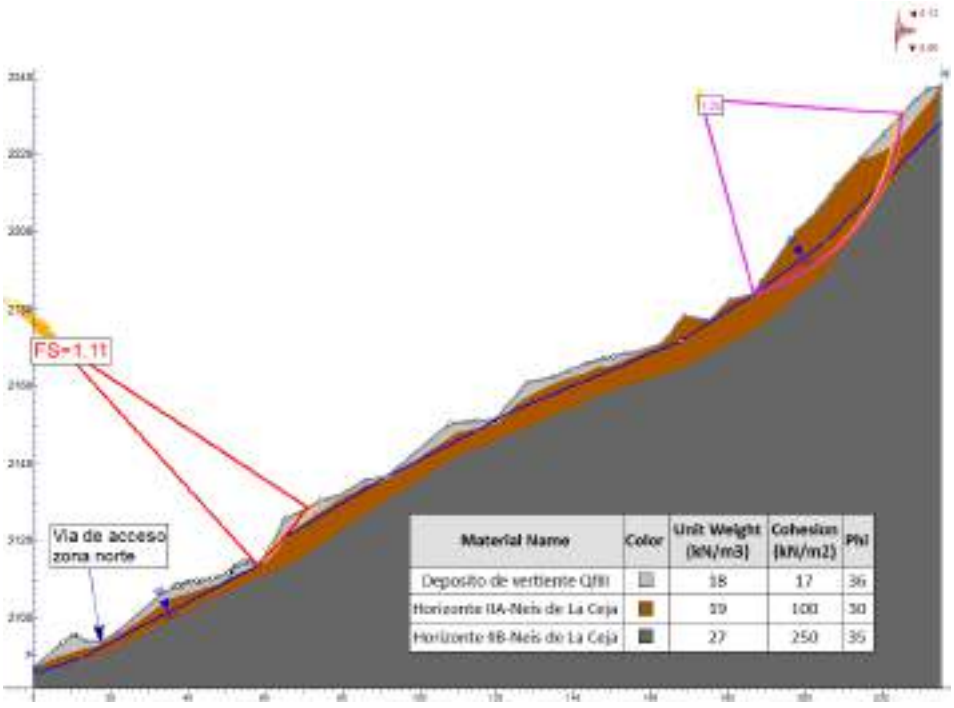
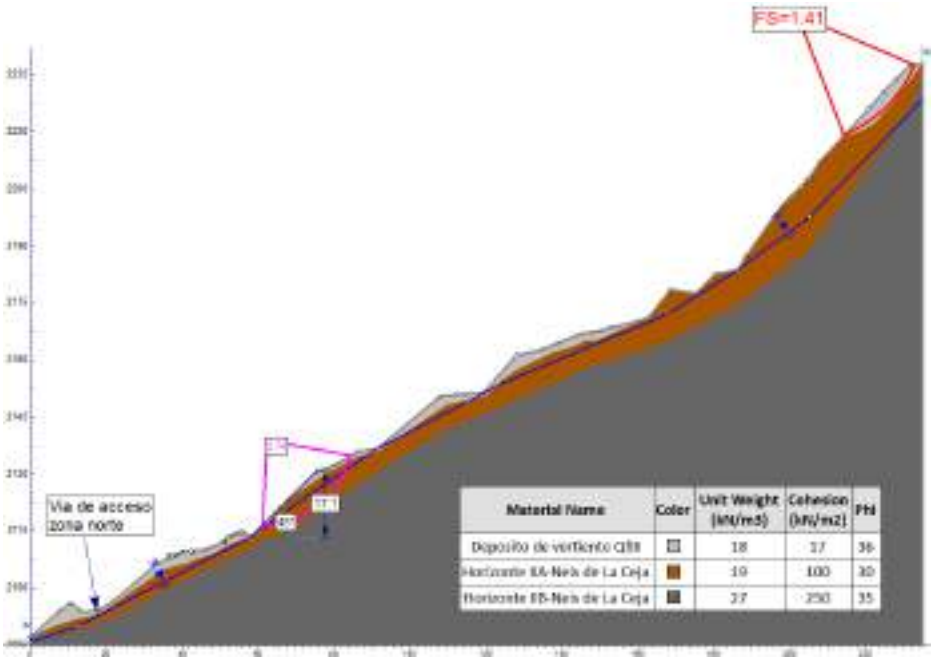


Figura 7-21 Estado actual del deslizamiento - condición estática - NF Alto-talud entre cotas 2113 m.s.n.m y la 2126 m.s.n.m. pendiente 1,0H:1,0V.



7.2 ANÁLISIS GEOTÉCNICO FRENTE DE EXPLOTACIÓN.

7.2.1 METODOLOGÍA ANÁLISIS CINEMÁTICO

Se realizaron análisis cinemáticos empleando estereogramas que representen los datos estructurales tomados en campo y con los tipos de falla anteriormente mencionados. Los programas utilizados para la evaluación cinemática son los de la compañía Rocscience: Dips 7.0, RocData 5.0, Rocplane 3.0, RocTopple 1.0 y Swedge 6.0. Los tipos de falla posibles por control estructural se describen a continuación.

7.2.1.1 Falla planar (Planar Sliding):

Ocurre cuando una discontinuidad buza en una dirección cercana a aquella de la cara del talud y la magnitud del buzamiento es mayor al del ángulo de fricción de la discontinuidad, tal como se aprecia en la Figura 7-22.

7.2.1.2 Falla de cuña (Wedge Sliding):

Ocurre cuando la orientación de discontinuidades resulta en una línea que buza en una dirección cercana a la de la cara del talud, y que el buzamiento de esta línea es significativamente mayor que el ángulo de fricción de las dos paredes de las discontinuidades (Figura 7-23).

7.2.1.3 Falla Esférica (Espherical Sliding)

Cuando el material es débil o cuando el macizo rocoso está altamente fracturado por una serie de planos de discontinuidad orientados de forma aleatoria, se puede asemejar la falla a una superficie esférica (Figura 7-24).

Figura 7-22: Falla Planar. Esquema del proceso del movimiento en masa.

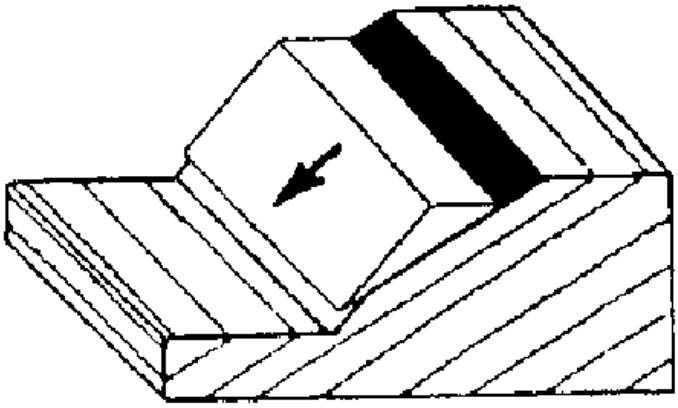


Figura 7-23: Falla de cuña. Esquema del proceso del movimiento en masa.

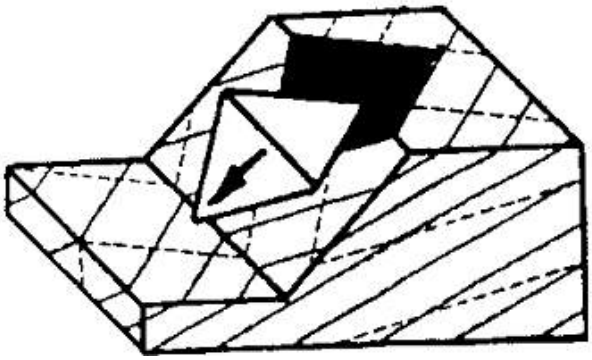
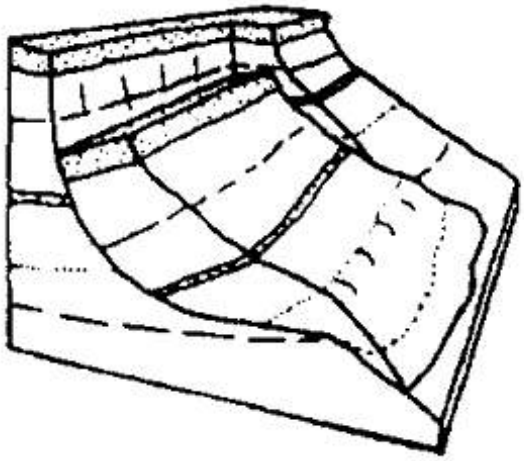


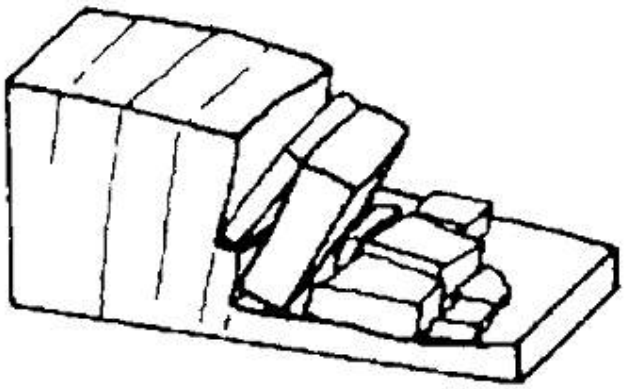
Figura 7-24: Falla Esférica. Esquema del proceso del movimiento en masa.



- Volteo flexión (Flexural Toppling)

Ocurre cuando existe una familia de discontinuidades espaciadas de forma estrecha y que buza con un ángulo fuerte en contra de la cara del talud (Figura 7-25).

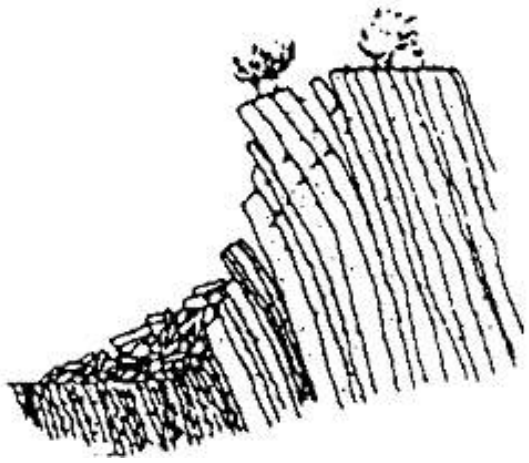
Figura 7-25: Falla por volteo simple. Esquema del proceso del movimiento en masa.



7.2.1.4 Volteo flexión (Flexural Toppling)

Ocurre cuando existe una familia de discontinuidades espaciadas de forma estrecha y que buza con un ángulo fuerte en contra de la cara del talud (Figura 7-26).

Figura 7-26: Falla por volteo flexión. Esquema del proceso del movimiento en masa.



7.2.2 Clasificaciones geomecánicas

Con base en el levantamiento geológico de campo y a las observaciones de las diferentes características que están involucradas en el macizo rocoso de estudio, se procede con realizar una clasificación geomecánica del macizo rocoso con el fin de estimar los parámetros geotécnicos que definen el comportamiento mecánico de dicho macizo.

Las metodologías empleadas para clasificar el macizo rocoso fueron el *Rock Mass Rating, RMR (Bieniawski, 1989)* y el índice Q (Barton et al, 1974). Para hallar los parámetros geotécnicos que servirán para los análisis de estabilidad se empleó el método de Hoek-Brown (2002).

7.2.2.1 Rock Mass Rating, RMR (Bieniawski, 1989)

En la Tabla 7-13 se presentan los criterios evaluados y el resultado de la clasificación por esta metodología

Tabla 7-13: Clasificación geomecánica, RMR (Bienlawski, 1989)

RMR (Bienlawski, 1989)		INICIAL	
Ítem	**Parámetros de clasificación**	**Valor**	**Puntuación**
1	Resistencia de la matriz rocosa (Anfibolita)	280 MPa	15
2	RQD	70	13
3	Separación entre diaclasas	0,06 - 0,20 m	8
4	Estado de las discontinuidades		
4.1	Longitud de la discontinuidad	3 - 10 m	2
4.2	Abertura	0,1 - 1,0 mm	3
4.3	Rugosidad	Lig. Rugosa	3
4.4	Relleno	Ninguno	6

RMR (Bienlawski, 1989)		INICIAL	
Ítem	**Parámetros de clasificación**	**Valor**	**Puntuación**
4.5	Alteración	Lig. Alterada	5
5	Agua freática	Goteando	4
6	Corrección orientación discontinuidades	Favorables	-5
		RMR	**54**
		Clase	**III**
		Calidad	**Media**
		GSI	**49**

7.2.2.2 Índice Q (Barton et al, 1974)

En la Tabla 7-14 se presentan los criterios evaluados y el resultado de la clasificación por esta metodología.

$$Q = \frac{RQD}{Jn} \cdot \frac{Jr}{Ja} \cdot \frac{Jw}{SRF}$$

Tabla 7-14: Clasificación geomecánica. Índice Q

Tipo de terreno	Macizo rocoso
Parámetros	**Puntaje**
RQD	70
Jn	9
Jr	1.5
Ja	1
Jw	0.66
SRF	1
Índice Q	**8**
Clasificación	**Roca media**

7.2.2.3 Metodología Hoek-Brown (2002)

Basado en las observaciones de campo y en las anteriores clasificaciones presentadas, se determina un valor de GSI y se procede con la estimación de los parámetros geotécnicos que definen el comportamiento del macizo en estudio. Los resultados se presentan en la Tabla 7-15.

Tabla 7-15. Metodología Hoek-Brown (2002)

Parameters		Units	Values
	sigci	MPa	280
	GSI		50
	mi		26
	D		1.0

Parameters		Units	Values
Hoek-Brown Criterion			
	mb		0.73
	s		2.40E-04
	a		0.51
Failure Envelope Range			
	Application		Slopes
	sig3max	MPa	1.33
	Unit Weight	MN/m3	0.028
	Height	m	50
Mohr-Coulomb Fit			
	c	MPa	0.81
	phi	degrees	55.44
Rock Mass Parameters			
	sigt	MPa	-0.09
	sigc	MPa	4.14
	sigcm	MPa	31.20
	Em	MPa	5000.00

7.2.3 Análisis de estabilidad

Con el fin de verificar los factores de seguridad de la ladera y de asignar una aptitud geológica a la zona de explotación de la cantera Las Nieves, se proceden a realizar los análisis de estabilidad de taludes en el programa *Slide v6.0*.

Los parámetros geotécnicos empleados corresponden a los hallados en el capítulo 7.2.2, específicamente en la Tabla 7-15.

Se evaluó la estabilidad del talud en el frente de explotación bajo condiciones estáticas (Figura 7-27) y seudo estáticas (Aa = 0.15g) (Figura 7-28).

Se puede observar que los factores de seguridad son satisfactorios con valores de 1,67 para la condición estática y de 1,29 para la condición seudo estática.

Figura 7-27: Análisis de estabilidad. Condición estática

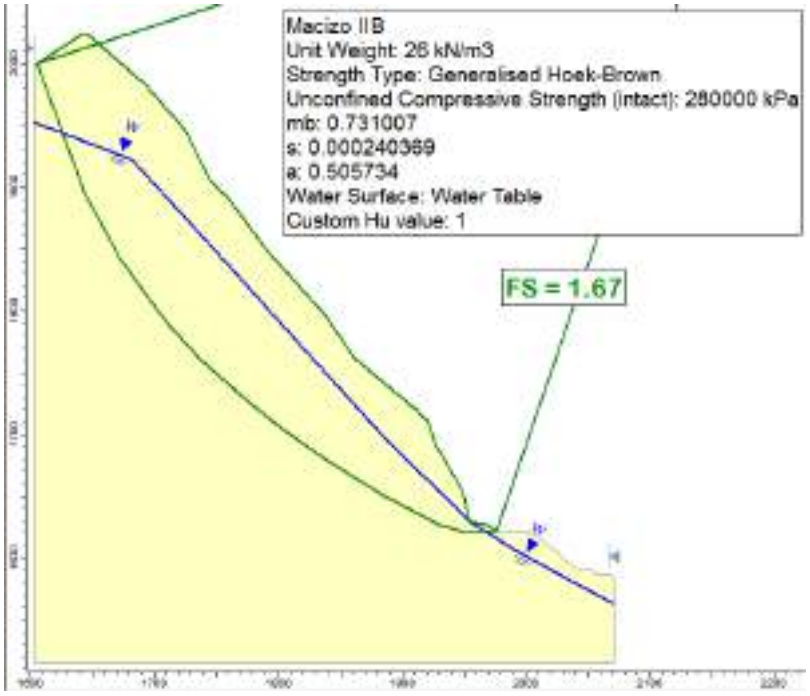
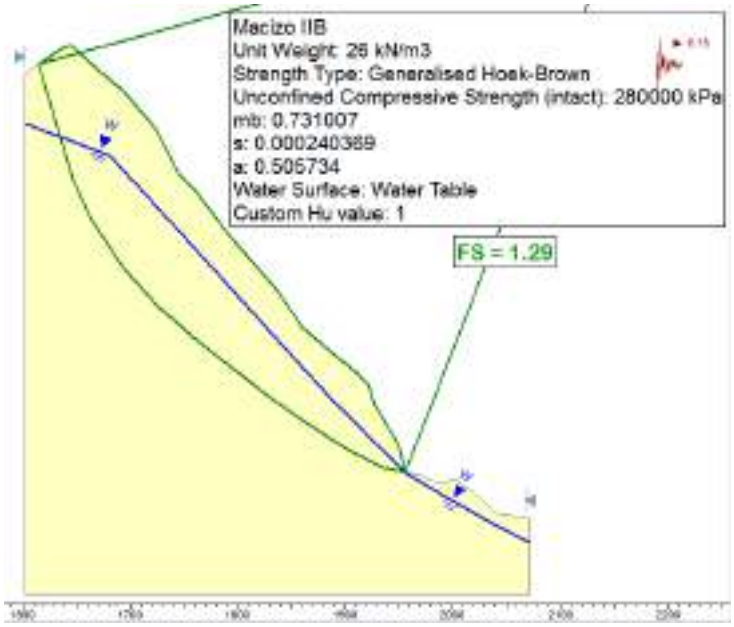


Figura 7-28. Análisis de estabilidad. Condición seudo estática



7.2.4 Análisis cinemático

Se realiza el análisis cinemático del macizo rocoso en estudio, con el fin de verificar los posibles mecanismos de falla. El software empleado es el *Dips v7.0* de la compañía *Rocscience.*

La información base de este análisis fueron los levantamientos de estructuras geológicas en campo y las clasificaciones geomecánicas. Se presenta a continuación los datos empleados para los análisis cinemáticos.

Tabla 7-16. Datos estructurales

ID	Dip	Dip Dir.	Tipo	ID	Dip	Dip Dir.	Tipo	ID	Dip	Dip Dir.	Tipo
1	85	270	Talud	18	75	290	Diaclasa	35	83	285	Diaclasa
2	80	270	Talud	19	85	300	Diaclasa	36	85	295	Diaclasa
3	70	280	Talud	20	75	200	Diaclasa	37	85	285	Diaclasa
4	83	220	Diaclasa	21	60	205	Diaclasa	38	80	290	Diaclasa
5	75	290	Diaclasa	22	75	210	Diaclasa	39	81	289	Diaclasa
6	78	280	Diaclasa	23	40	80	Diaclasa	40	82	107	Diaclasa
7	85	20	Diaclasa	24	78	285	Diaclasa	41	84	291	Diaclasa
8	80	270	Diaclasa	25	70	250	Diaclasa	42	84	114	Diaclasa
9	75	275	Diaclasa	26	66	295	Diaclasa	43	71	46	Diaclasa
10	75	175	Diaclasa	27	65	222	Diaclasa	44	66	43	Diaclasa
11	75	290	Diaclasa	28	75	230	Diaclasa	45	73	225	Diaclasa
12	35	95	Diaclasa	29	65	225	Diaclasa	46	71	42	Diaclasa
13	78	235	Diaclasa	30	75	5	Diaclasa	47	69	42	Diaclasa
14	65	330	Diaclasa	31	70	220	Diaclasa	48	85	290	Diaclasa
15	60	220	Diaclasa	32	85	225	Diaclasa	49	70	225	Diaclasa
16	80	280	Diaclasa	33	85	195	Diaclasa	50	80	295	Diaclasa
17	70	200	Diaclasa	34	52	135	Diaclasa				

Se procedió a realizar la proyección estereográfica de las diaclasas de la Tabla 7-16 representada en la Figura 7-29. Se observan tres puntos de concentración de estructuras, los cuales se representaron por medio de los polos y planos D1, D2 y D3 (Figura 7-30), siendo D1 el polo de mayor concentración de estructuras y D3 el de menor concentración.

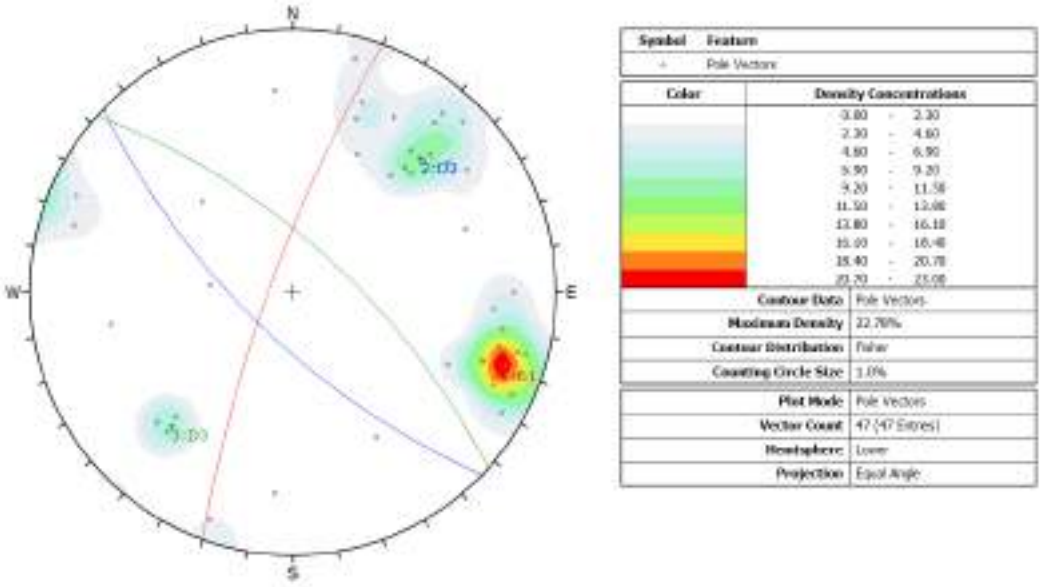


Figura 7-29. Proyección estereográfica de los datos estructurales

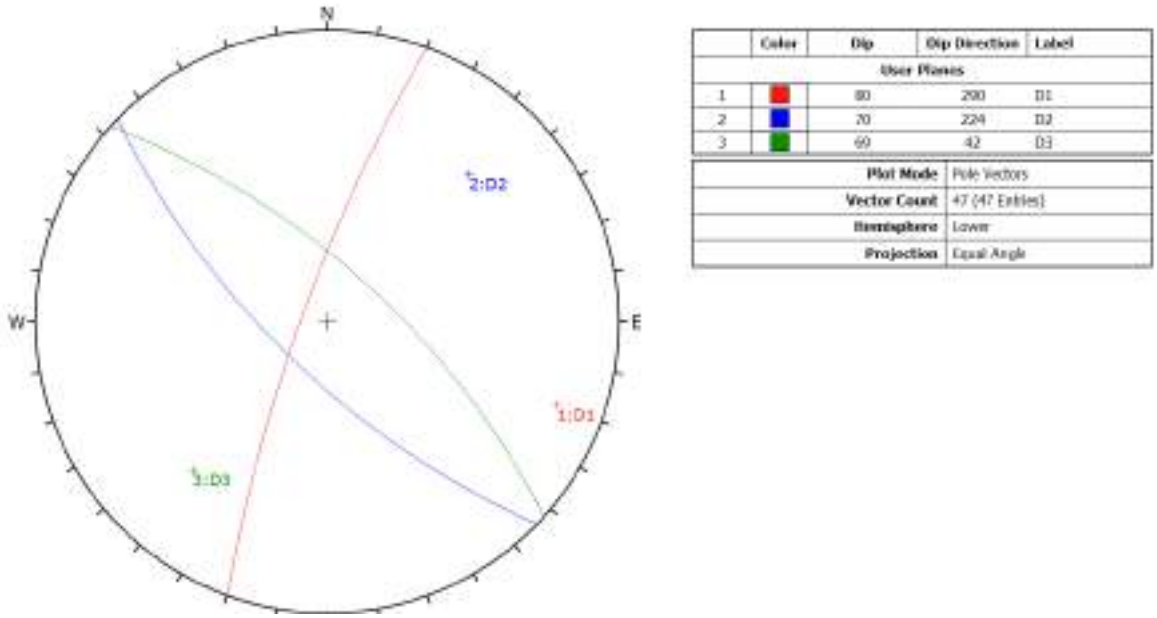


Figura 7-30. Tendencias estructurales

Se procede a realizar los análisis cinemáticos por talud para los siguientes mecanismos de falla:

- Falla planar
- Falla por cuña
- Falla por volteo flexional

- Falla por volteo directo

7.2.4.1 Talud 1 (85/270).

7.2.4.1.1 Falla planar

Se observa de la

Figura 7-31 que un 27.55% de las estructuras levantadas caen dentro del área roja. Estas estructuras están relacionadas con el punto definido como D1, por lo que existe un potencial de falla planar con las diaclasas que tienen la tendencia 80/290.

En la Figura 7-33 se realiza la modelación de la falla planar, empleando los parámetros geotécnicos hallados con la metodología de Hoek-Brown (numeral 0), obteniéndose como resultado un factor de seguridad igual a 100, indicando que es poco probable que se presenten fallas de este tipo por causas naturales y las que ocurran serán inducidas por los trabajos de minería.

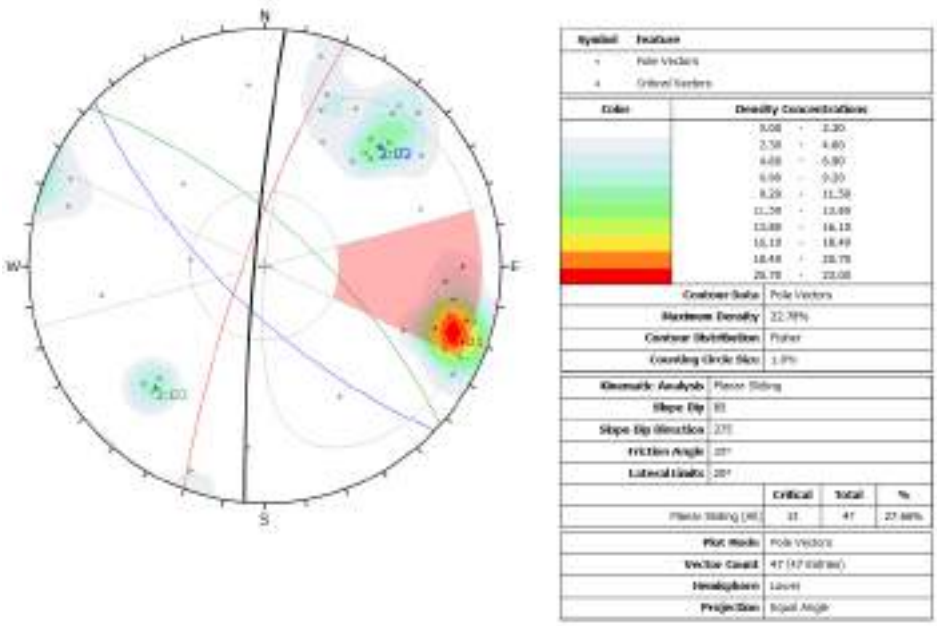


Figura 7-31. Talud 1. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla planar

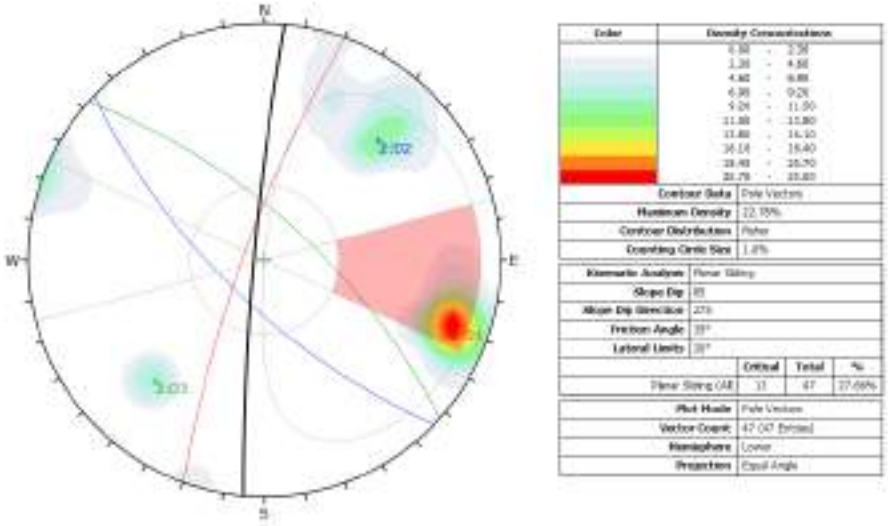


Figura 7-32. Talud 1. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla planar

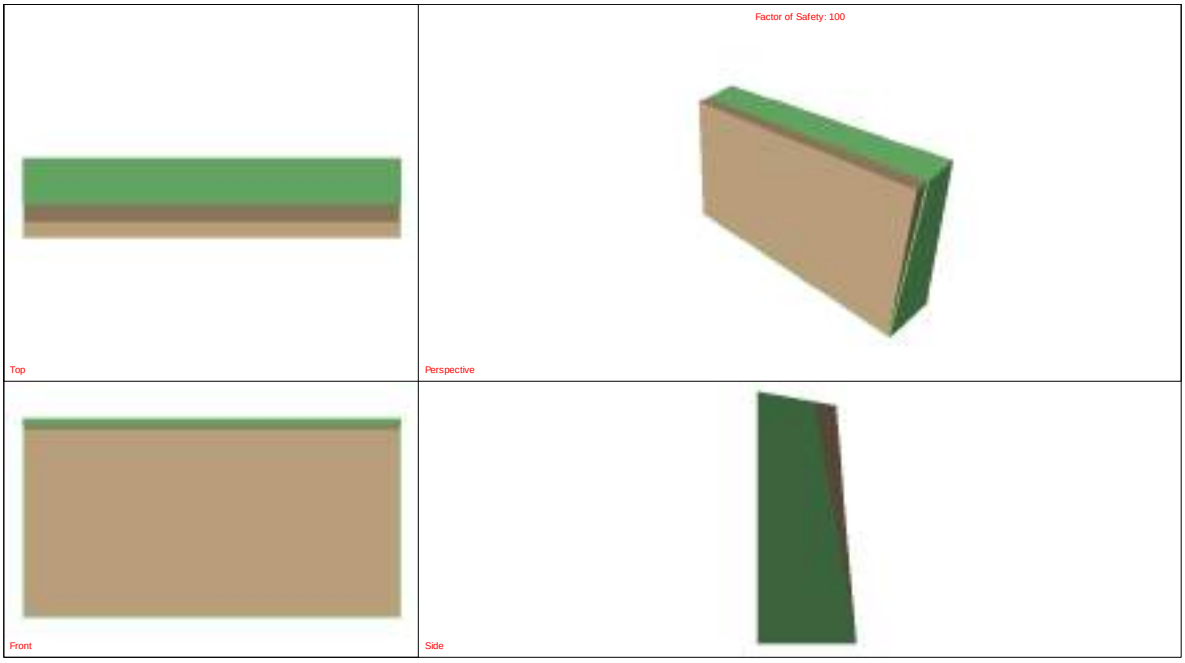


Figura 7-33. Talud 1. Análisis de falla planar

7.2.4.2 Falla por cuña.

Se observa de la Figura 7-34 que un 55,10% de las intersecciones entre estructuras caen dentro del área roja. Estas estructuras se relacionan con las intersecciones de los planos D1-D2 y D2-D3, por lo que existe un potencial de falla por cuña con las diaclasas que formen esta combinación.

En la Figura 7-36 se realiza la modelación de la falla por cuña, empleando los parámetros geotécnicos hallados con la metodología de Hoek-Brown (numeral 0), obteniéndose como resultado un factor de seguridad igual a 100, indicando que es poco probable que se presenten fallas de este tipo por causas naturales y las que ocurran serán inducidas por los trabajos de minería.

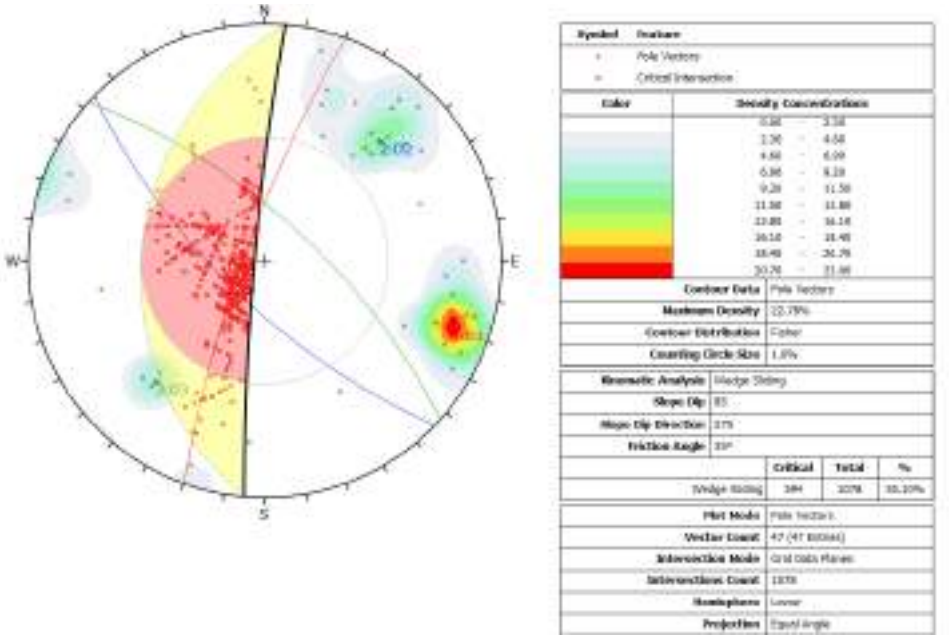


Figura 7-34. Talud 1. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por cuña

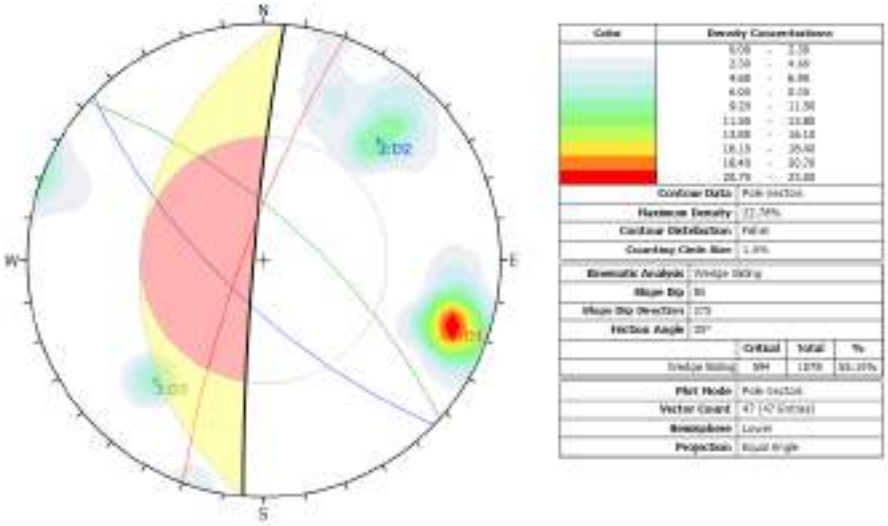


Figura 7-35. Talud 1. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por cuña

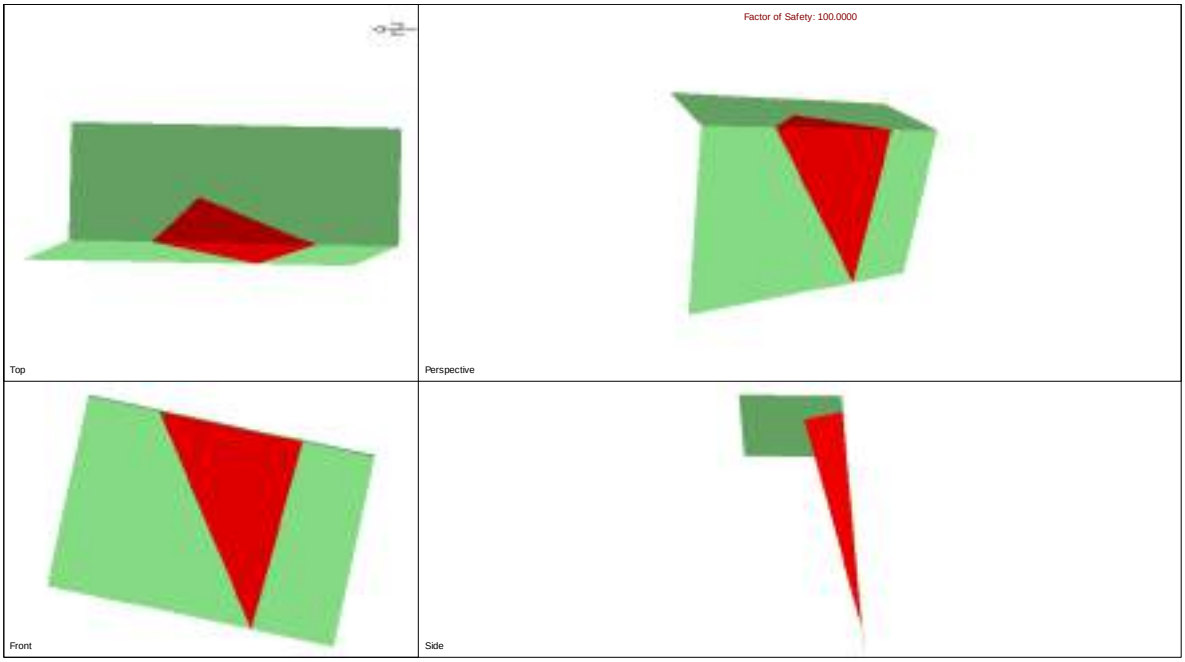


Figura 7-36. Talud 1. Análisis de falla por cuña

7.2.4.2.1 Falla por volteo flexional.

Se observa de la Figura 7-34 que solo tres polos, equivalentes a un 6,38% de las estructuras, caen dentro del área roja. Por lo que es poco probable que se presente una falla de este tipo.

En la Figura 7-39 se realiza la modelación de la falla por volteo flexional, empleando los parámetros geotécnicos hallados con la metodología de Hoek-Brown (numeral 0), obteniéndose como resultado un factor de seguridad igual a 3, indicando que los bloques de roca propensos a este tipo de falla son estables en estado natural pero que pueden ser fácilmente inducidos a la falla por los trabajos de minería.

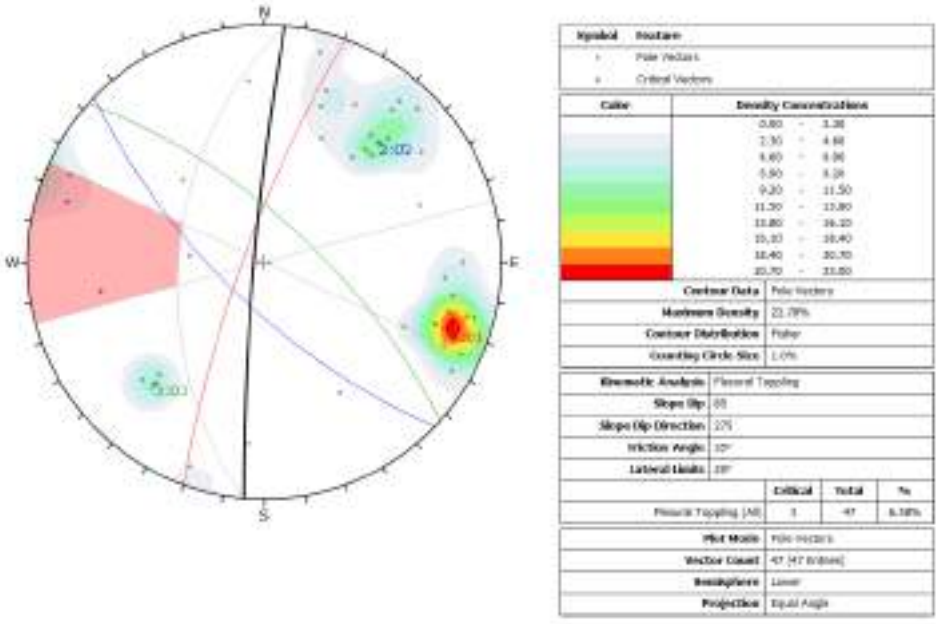


Figura 7-37. Talud 1. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por volteo flexional

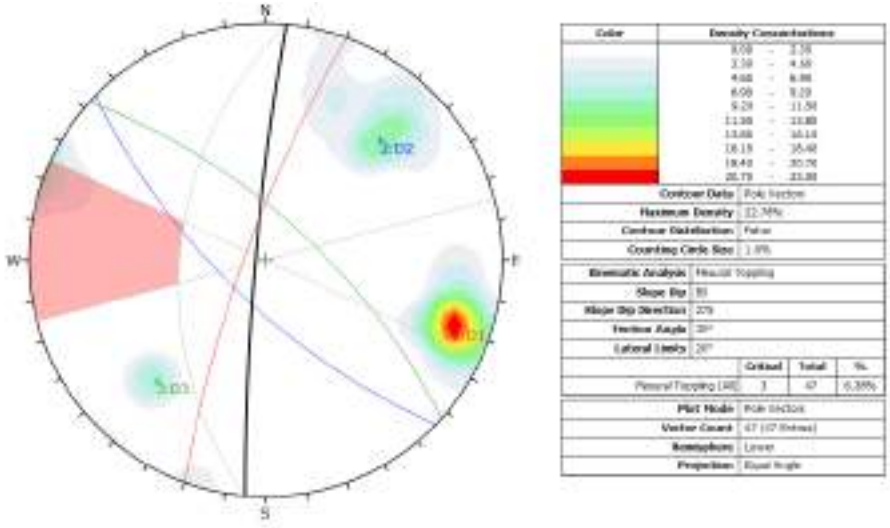


Figura 7-38. Talud 1. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por volteo flexional

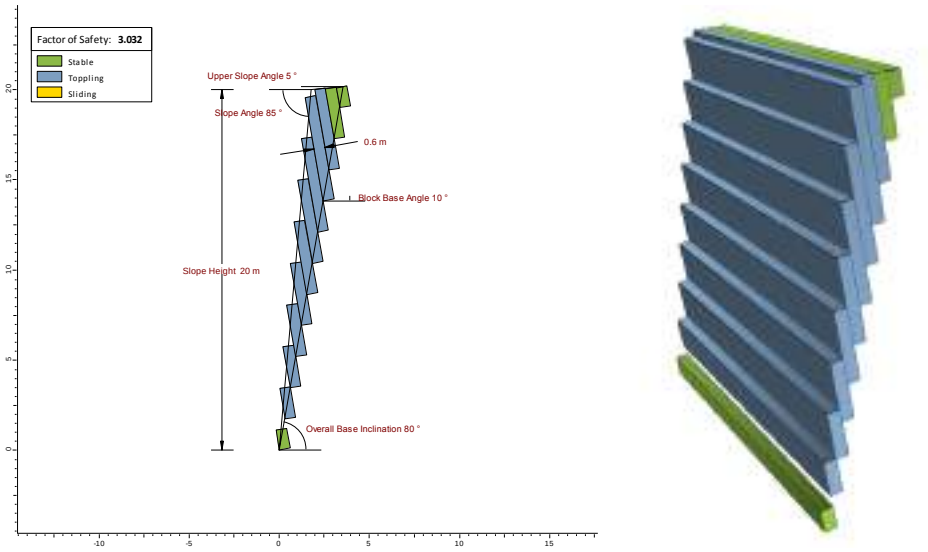


Figura 7-39. Talud 1. Análisis de falla por volteo flexional y volteo directo.

7.2.4.2.2 Falla por volteo directo

Se observa de la Figura 7-40 que para el volteo directo el 2,88% de las intersecciones caen dentro del área roja; para el volteo oblicuo el 8,91% cae dentro del área amarilla y para la formación de la base del bloque propenso al volteo el 34% de los polos caen dentro del área roja.

En la Figura 7-39 se presenta la modelación por volteo directo, obteniéndose un factor de seguridad de 3.

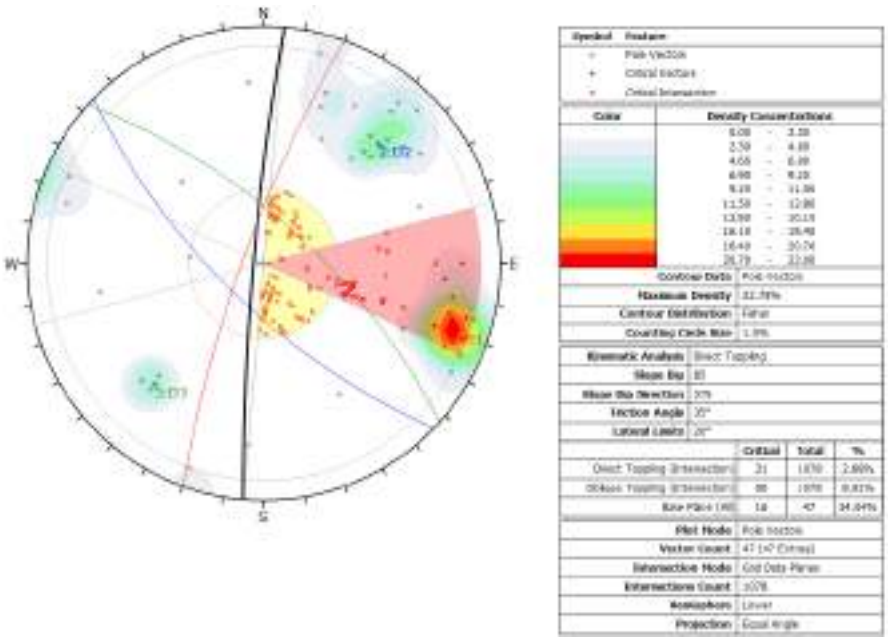


Figura 7-40. Talud 1. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por volteo directo.

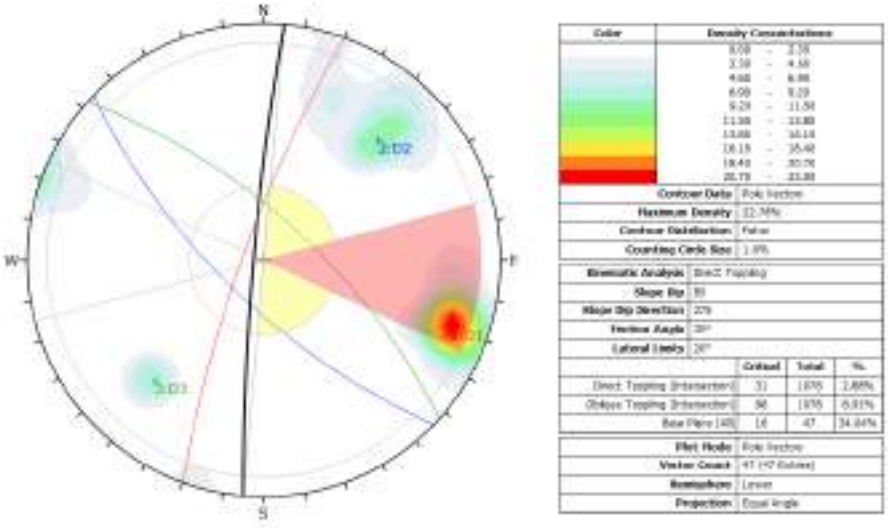


Figura 7-41. Talud 1. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por volteo directo

7.2.4.3 Talud 2 (80/270)

7.2.4.3.1 Falla planar

Se observa de la Figura 7-42 que un 17.55% de las estructuras levantadas caen dentro del área roja. Estas estructuras están relacionadas con el punto definido como D1, por lo que existe un potencial de falla planar con las diaclasas que tienen la tendencia 80/290.

En la Figura 7-44 se realiza la modelación de la falla planar, empleando los parámetros geotécnicos hallados con la metodología de Hoek-Brown (numeral 0), obteniéndose como resultado un factor de seguridad igual a 100, indicando que es poco probable que se presenten fallas de este tipo por causas naturales y las que ocurran serán inducidas por los trabajos de minería.

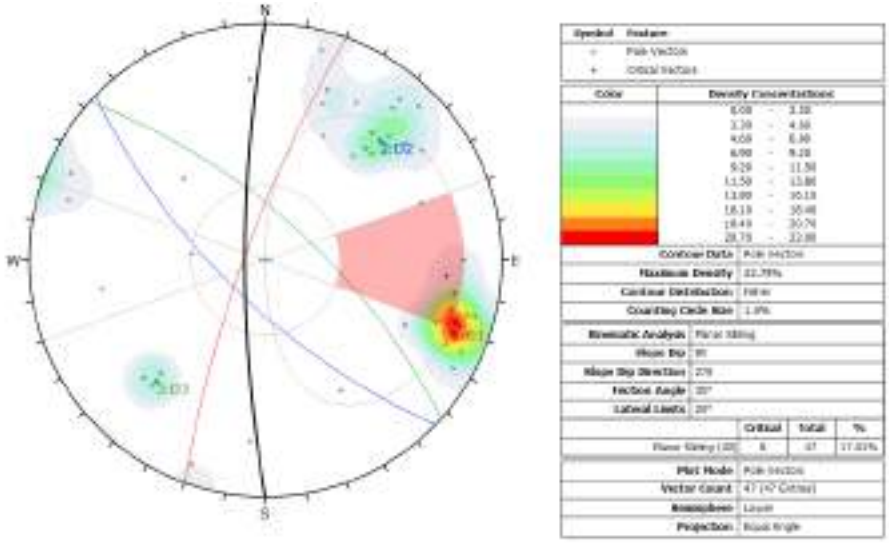


Figura 7-42. Talud 2. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla planar

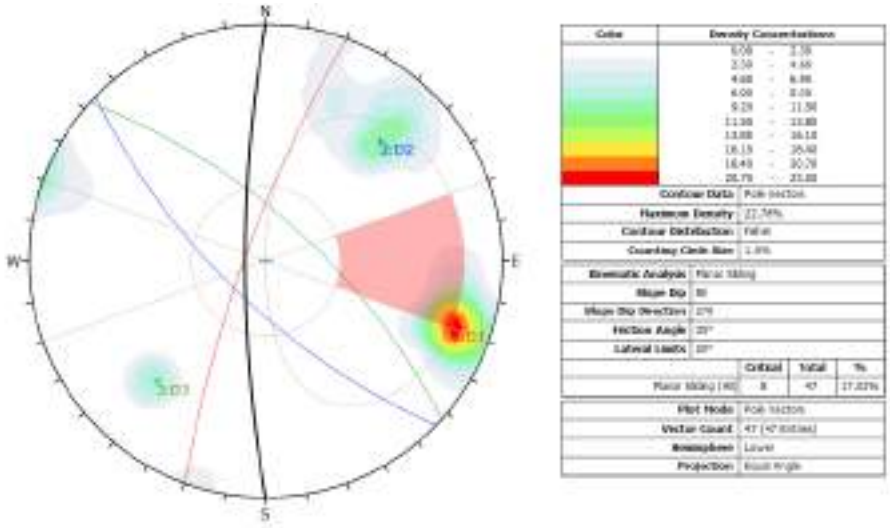


Figura 7-43. Talud 2. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla planar

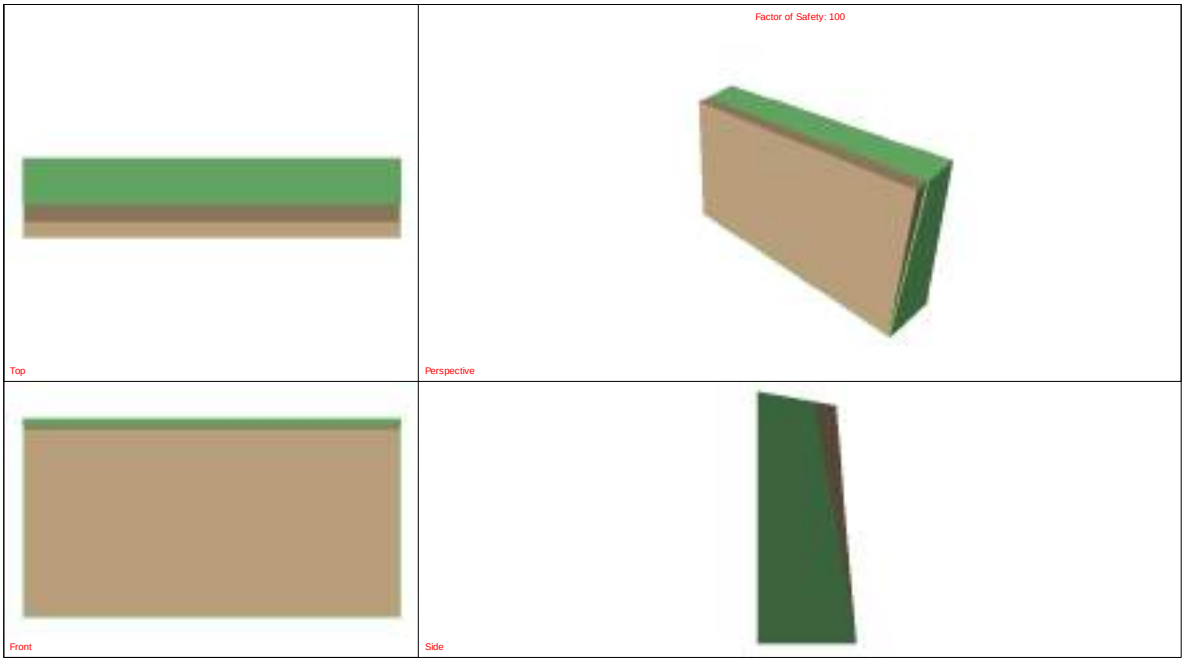


Figura 7-44. Talud 2. Análisis de falla planar

Figura 7-45

7.2.4.3.2 Falla por cuña

Se observa de la Figura 7-46 que un 43,88% de las intersecciones entre estructuras caen dentro del área roja. Estas estructuras se relacionan con las intersecciones de los planos D1-D2, por lo que existe un potencial de falla por cuña con las diaclasas que formen esta combinación.

En la Figura 7-48 se realiza la modelación de la falla por cuña, empleando los parámetros geotécnicos hallados con la metodología de Hoek-Brown (numeral 0), obteniéndose como resultado un factor de seguridad igual a 100, indicando que es poco probable que se presenten fallas de este tipo por causas naturales y las que ocurran serán inducidas por los trabajos de minería.

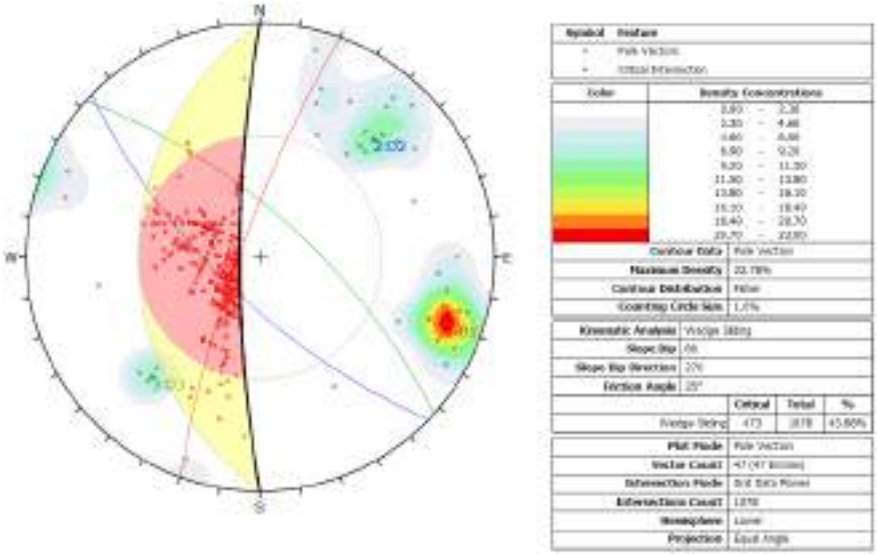


Figura 7-46. Talud 2. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por cuña

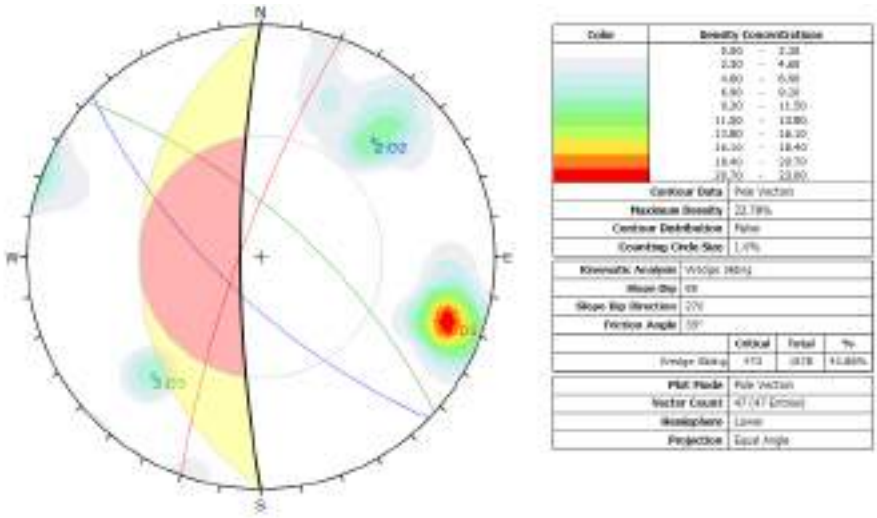


Figura 7-47. Talud 2. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por cuña

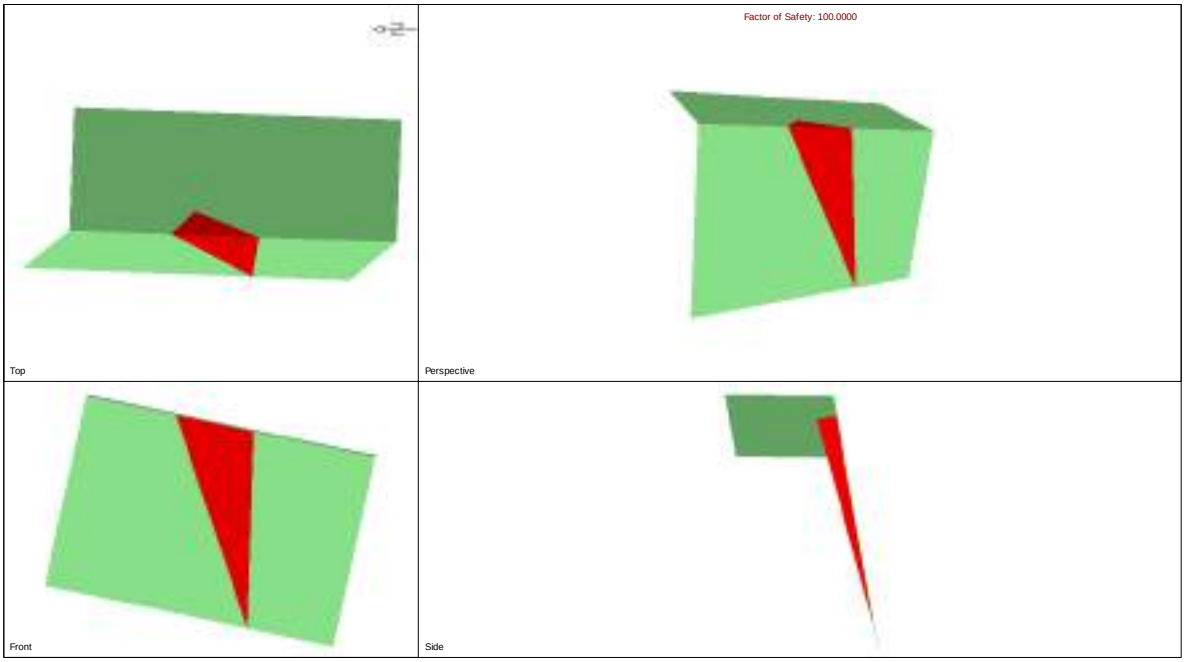


Figura 7-48. Talud 2. Análisis de falla por cuña

7.2.4.3.3 Falla por volteo flexional

Se observa de la Figura 7-49 que solo dos polos, equivalentes a un 4,26% de las estructuras, caen dentro del área roja. Por lo que es poco probable que se presente una falla de este tipo.

En la Figura 7-39 se realiza la modelación de la falla por volteo flexional, empleando los parámetros geotécnicos hallados con la metodología de Hoek-Brown (numeral 0), obteniéndose como resultado un factor de seguridad igual a 1,82, indicando que los bloques de roca propensos a este tipo de falla son estables en estado natural pero que pueden ser fácilmente inducidos a la falla por los trabajos de minería.

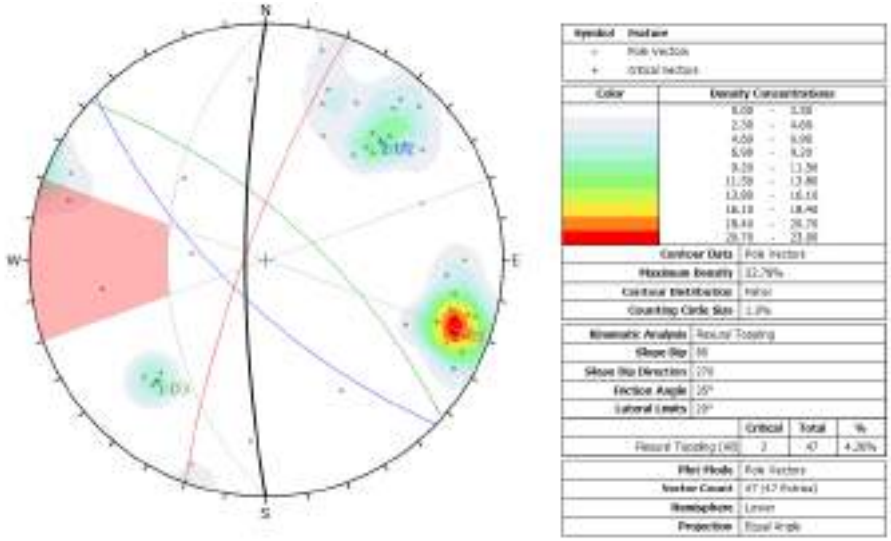


Figura 7-49. Talud 2. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por volteo flexional

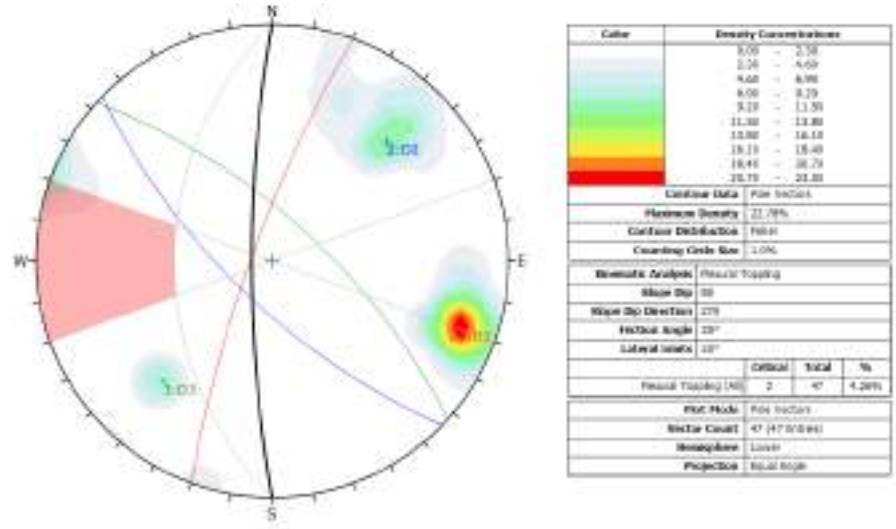


Figura 7-50. Talud 2. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por volteo flexional

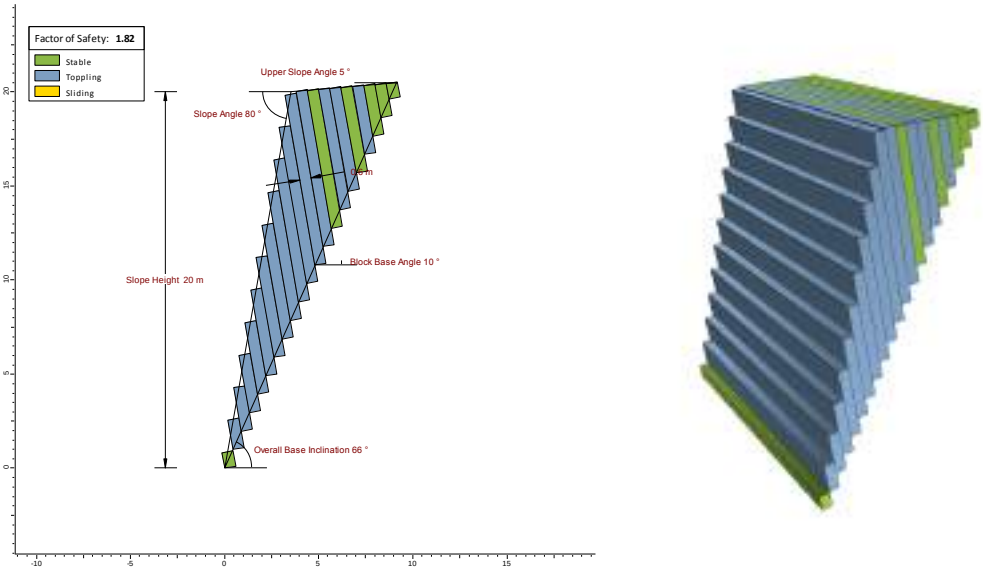


Figura 7-51. Talud 2. Análisis de falla por volteo flexional y volteo directo.

7.2.4.3.4 Falla por volteo directo

Se observa de la Figura 7-52 que para el volteo directo el 2,50% de las intersecciones caen dentro del área roja; para el volteo oblicuo el 10,11% cae dentro del área amarilla y para la formación de la base del bloque propenso al volteo el 19,15% de los polos caen dentro del área roja. En la Figura 7-51 se presenta la modelación por volteo directo, obteniéndose un factor de seguridad de 1.82.

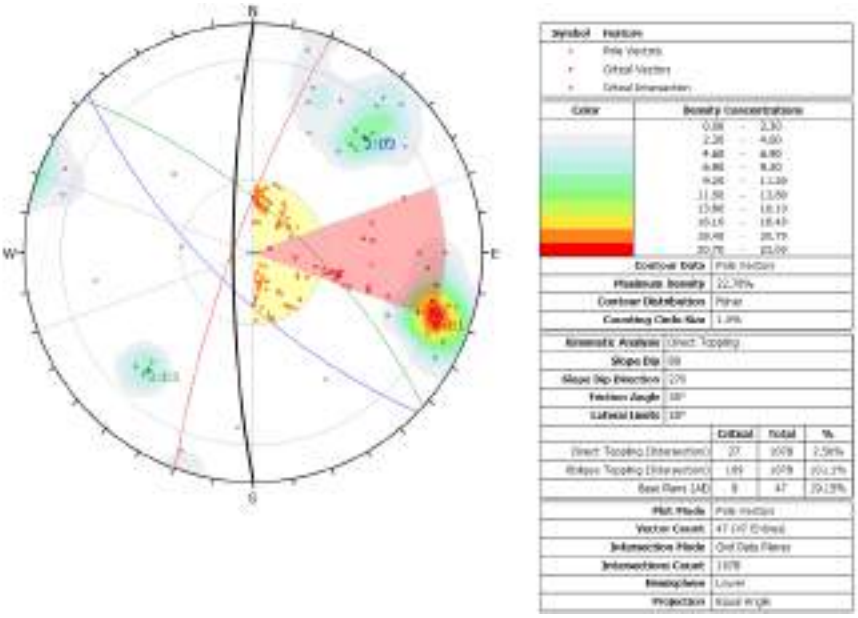


Figura 7-52 Talud 2. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por volteo directo

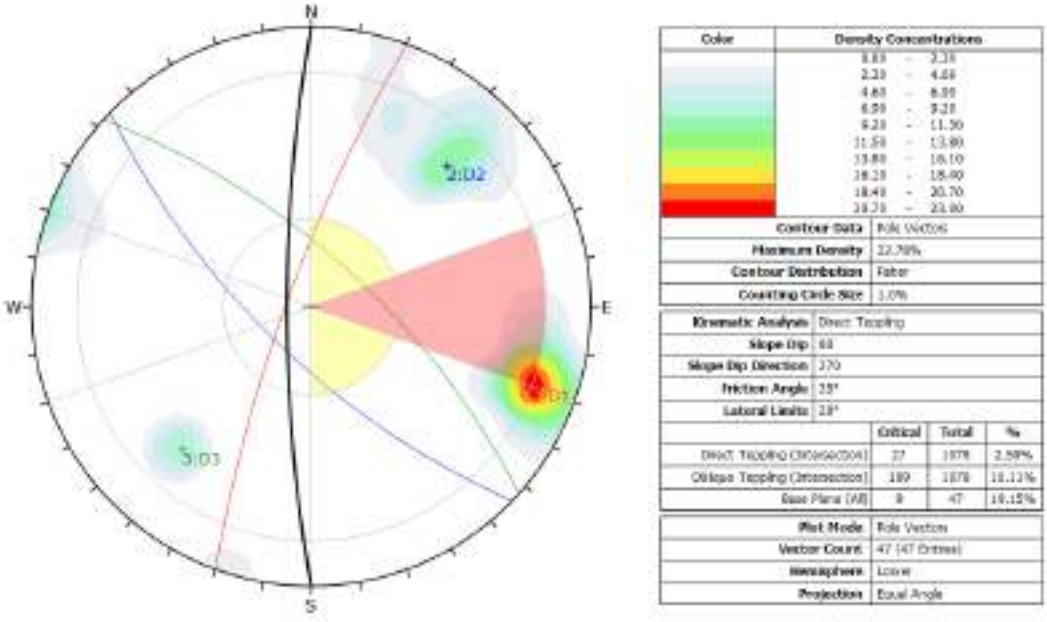


Figura 7-53. Talud 2. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por volteo directo

7.2.4.4 Talud 3 (70/280)

7.2.4.4.1 Falla planar

Se observa de la Figura 7-54 que solo un polo (equivalente al 2,13%) cae dentro de la zona crítica, por lo que se infiere que la probabilidad de falla planar en este talud es muy baja.

En la Figura 7-56 se realiza la modelación de la falla planar, empleando los parámetros geotécnicos hallados con la metodología de Hoek-Brown (numeral 0), obteniéndose como resultado un factor de seguridad igual a 100, indicando que es poco probable que se presenten fallas de este tipo por causas naturales y las que ocurran serán inducidas por los trabajos de minería.

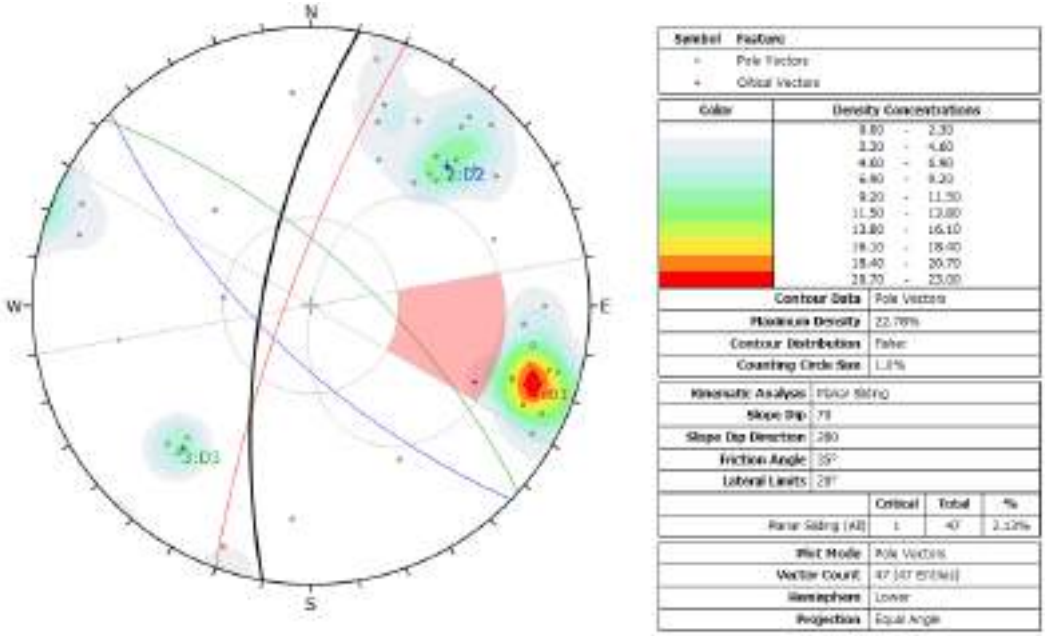


Figura 7-54. Talud 3. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla planar

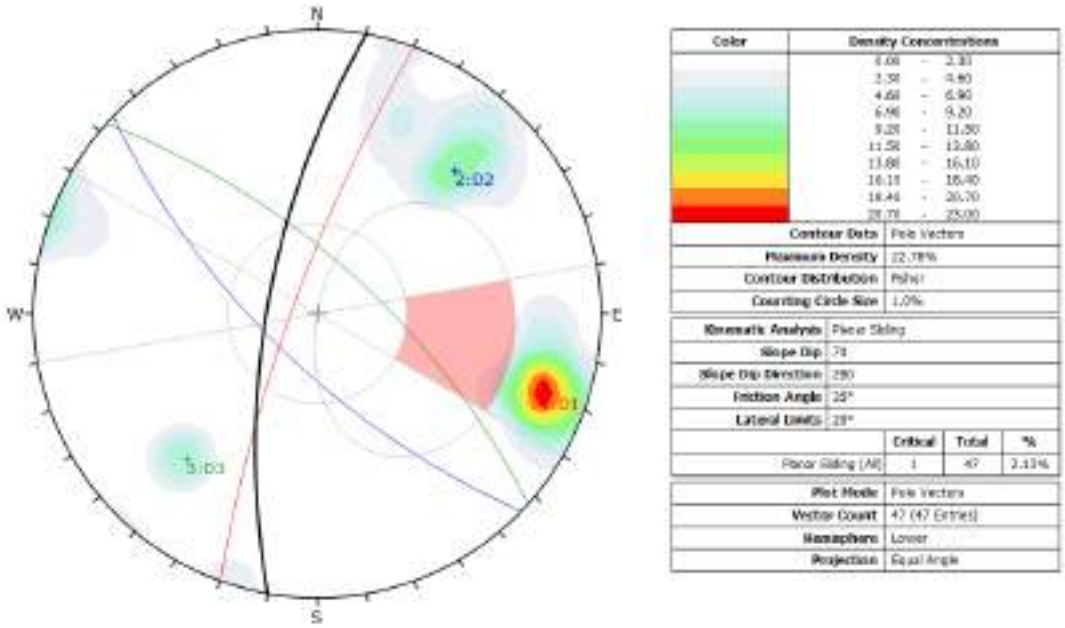


Figura 7-55. Talud 3. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla planar

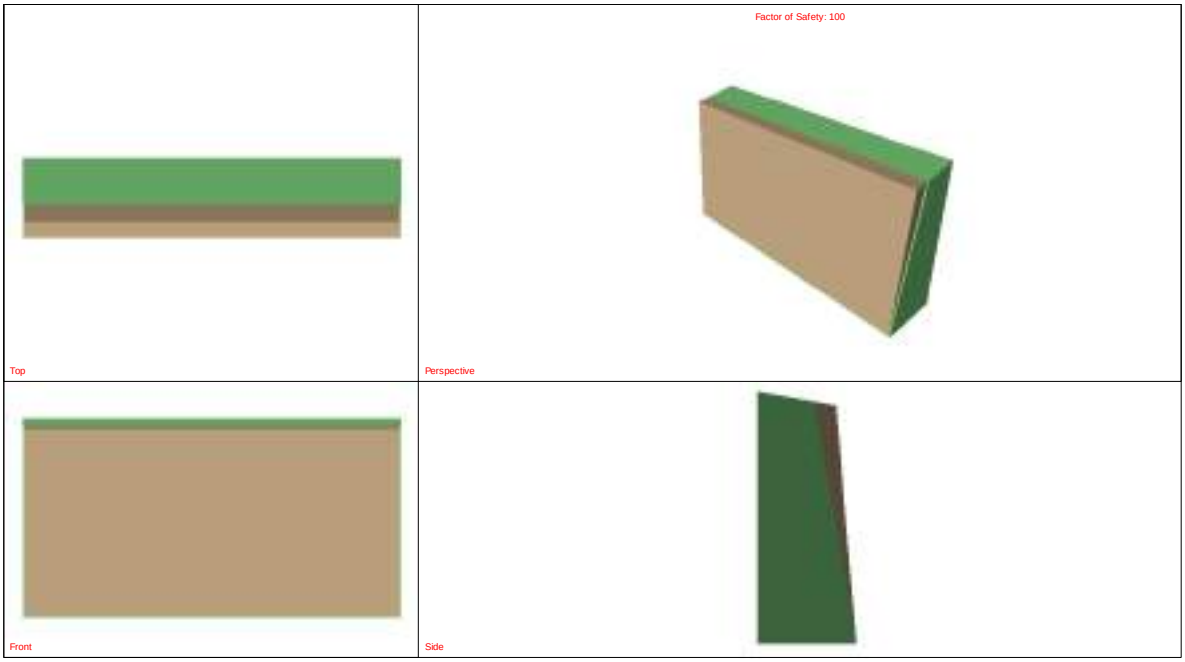


Figura 7-56. Talud 3. Análisis de falla planar

7.2.4.4.2 Falla por cuña

Se observa de la Figura 7-57 que un 9,55% de las intersecciones entre estructuras caen dentro del área roja. Estas estructuras se relacionan con las intersecciones de los planos D1-D2 y D2-D3, por lo que existe un potencial de falla por cuña con las diaclasas que formen esta combinación.

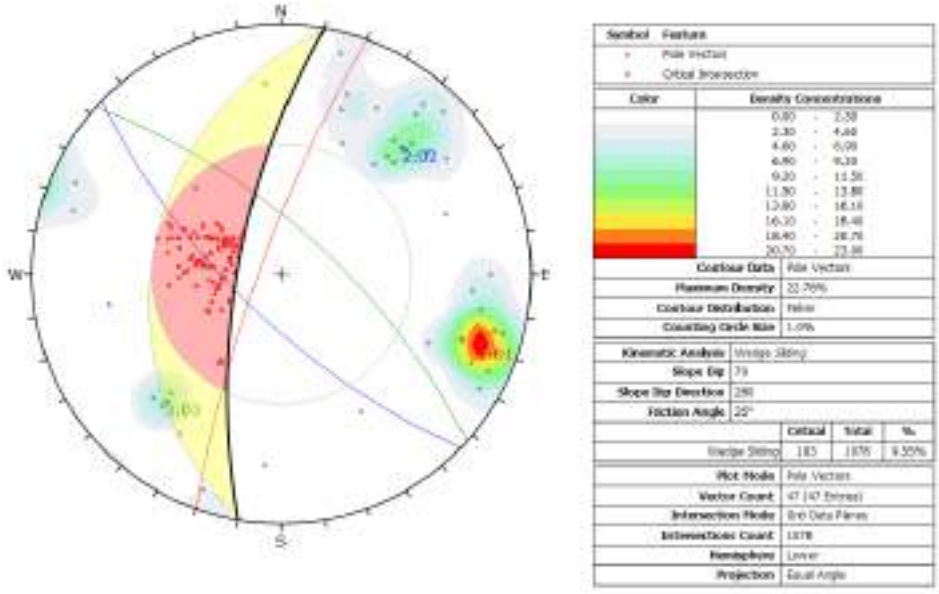


Figura 7-57. Talud 3. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por cuña

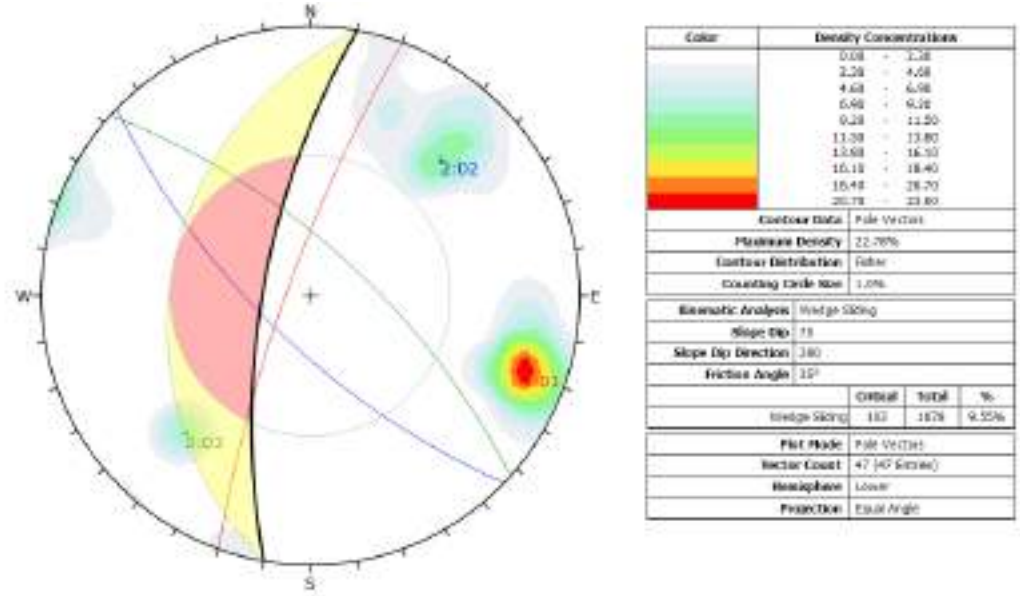


Figura 7-58. Talud 3. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por cuña

Para este talud no se realizó análisis de equilibrio límite pora cuña debido a que las intersecciones de las tendencias principales (D1-D2 y D2-D3) no caen dentro de la zona de generación de cuñas, por lo que la probabilidad de formación de cuñas es muy baja (9.55%). Se aclara que formación de cuñas no quiere decir que haya probabilidad de falla, esto no es más que una intercepción de diaclasas además la cuña puede ser estable, así como ha sido el caso de los taludes 1 y 2.

7.2.4.4.3 Falla por volteo flexional

Se observa de la Figura 7-59 que solo tres polos, equivalentes a un 6,38% de las estructuras, caen dentro del área roja. Por lo que es poco probable que se presente una falla de este tipo.

En la Figura 7-61 se realiza la modelación de la falla por volteo flexional, empleando los parámetros geotécnicos hallados con la metodología de Hoek-Brown (numeral 0), obteniéndose como resultado un factor de seguridad igual a 7,1, indicando que los bloques de roca propensos a este tipo de falla son estables en estado natural pero que pueden ser fácilmente inducidos a la falla por los trabajos de minería.

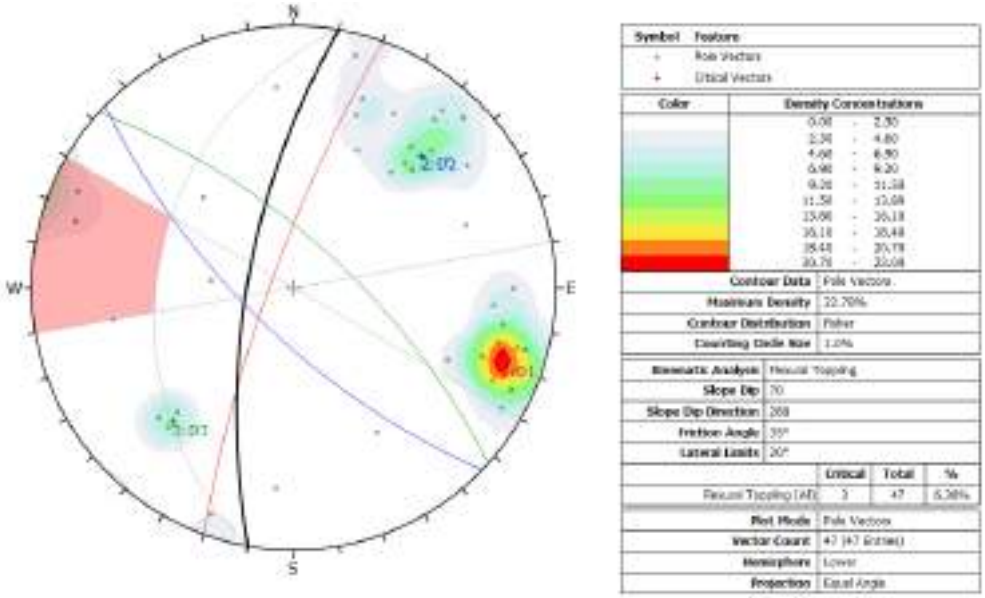


Figura 7-59. Talud 3. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por volteo flexional

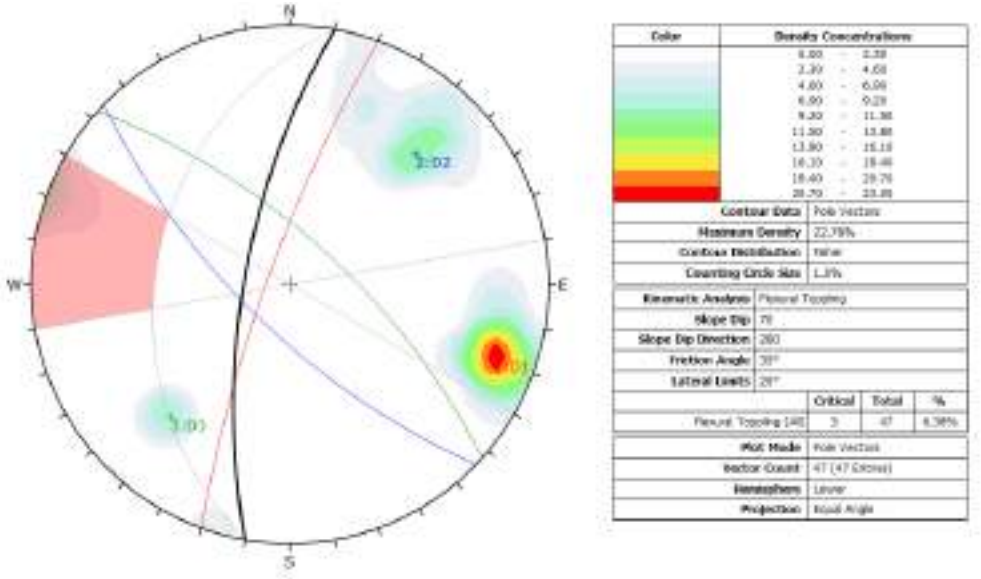


Figura 7-60. Talud 3. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por volteo flexional

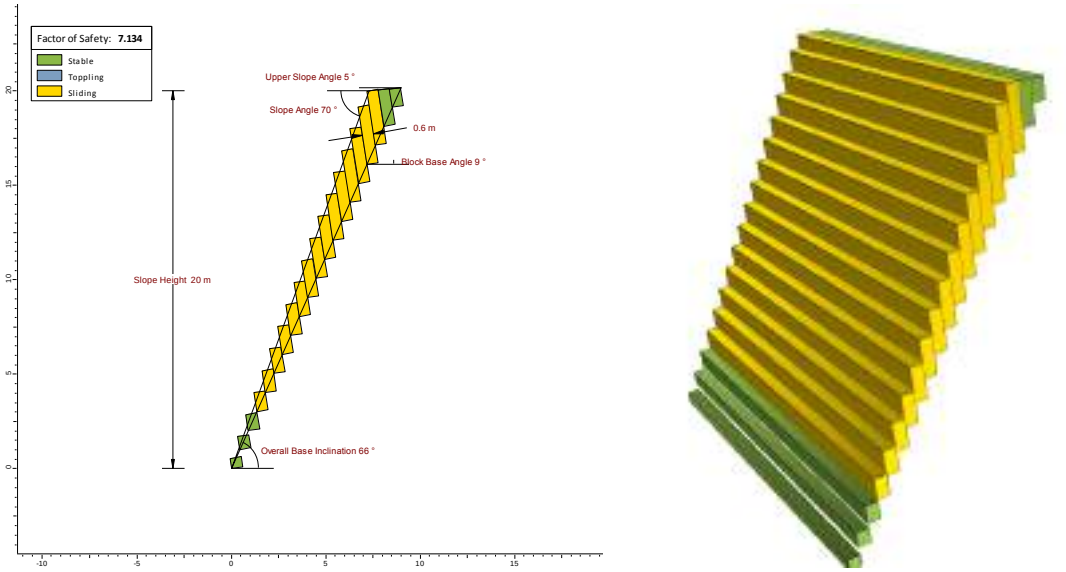


Figura 7-61. Talud 3. Análisis de falla por volteo flexional y volteo directo.

7.2.4.4.4 Falla por volteo directo

Se observa de la Figura 7-62 que para el volteo directo el 3,43% de las intersecciones caen dentro del área roja; para el volteo oblicuo el 8,26% cae dentro del área amarilla y para la formación de la base del bloque propenso al volteo el 2,13% de los polos caen dentro del

área roja. En la Figura 7-61 se presenta la modelación por volteo directo, obteniéndose un factor de seguridad de 3.

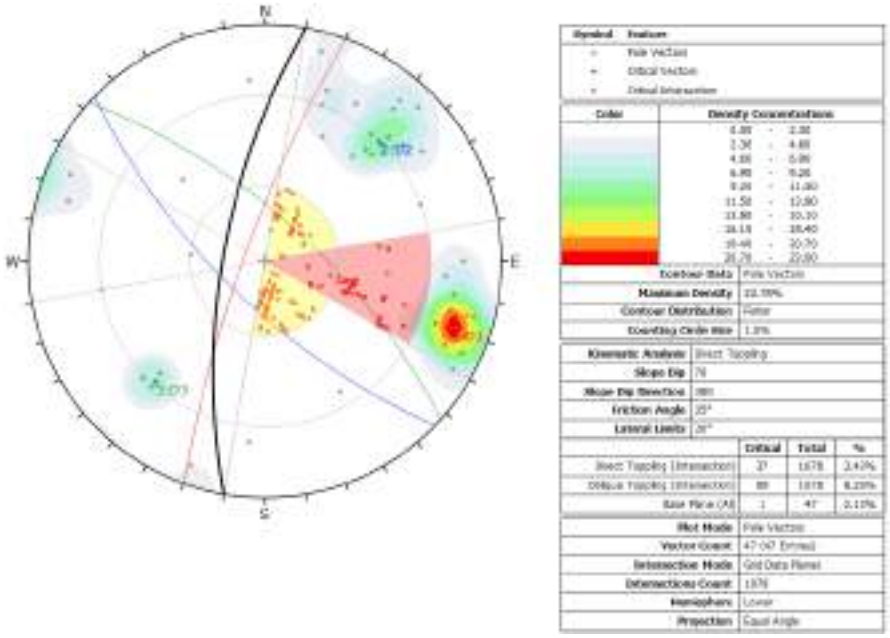


Figura 7-62. Talud 3. Análisis cinemático. Todos los planos. Falla por volteo directo

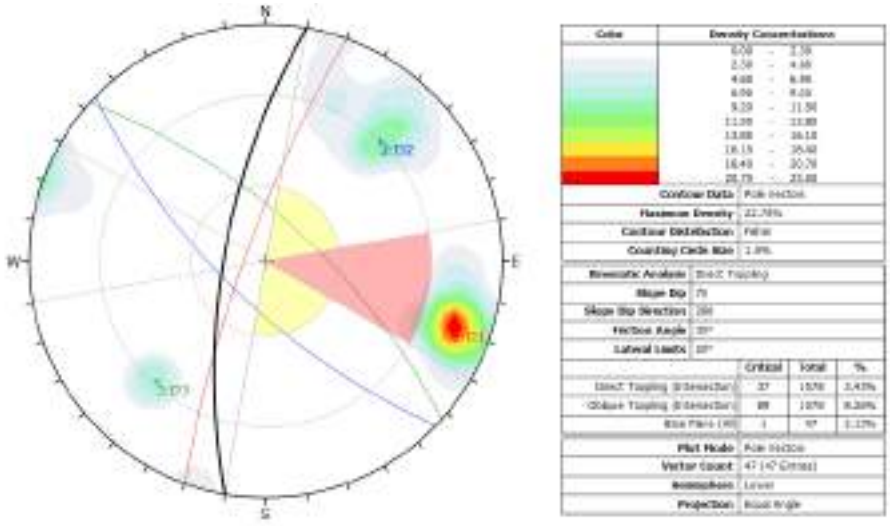


Figura 7-63. Talud 3. Análisis cinemático. Planos tendencia. Falla por volteo directo

8. SISMICIDAD

La amenaza sísmica es la posibilidad de que ocurran movimientos telúricos con potencialidad de generar daños. Los terremotos son movimientos del terreno producidos por fenómenos tectónicos o volcánicos.

En el Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia (SGC, 2017a), basados en la sismicidad histórica con intensidades registradas y con el mapa de iso-aceleración se dividió a Colombia en zonas de amenaza sísmica baja, intermedia y alta; de acuerdo a esta división, y a los parámetros sísmicos establecidos por las normas, las áreas de influencia directa de la zona de la Cantera se ubican dentro de una zona de amenaza sísmica intermedia, como se observa en la Tabla 8-1 y en la Figura 8-1.

Tabla 8-1. Clasificación de zonas de amenaza sísmica para el Municipio de influencia de la zona de la Cantera.

Municipio	Aa	Av	Ae	Ad	Zona de amenaza sísmica
Copacabana	0,17	0,20	0,12	0,06	Intermedia

Aa: Aceleración pico efectiva.

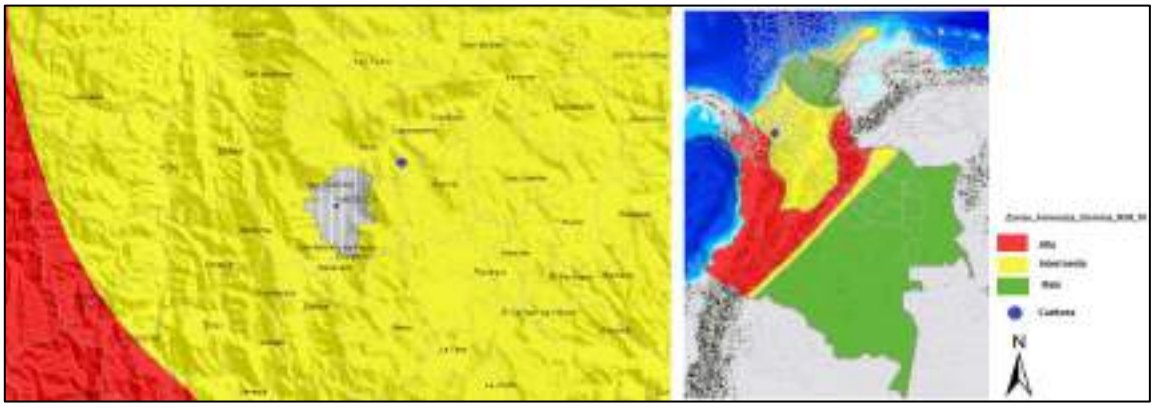
Av: Velocidad horizontal pico efectiva.

Ae: Aceleración pico efectiva reducida para diseño con seguridad limitada.

Ad: Aceleración pico efectiva para el umbral de daño.

Tomado del SGC (2017a).

Figura 8-1. Mapa de Amenaza sísmica Municipio de Copacabana. Tomado y modificado de SGC (2017b).



En la Tabla 8-2 se relacionan los registros sísmicos para el Municipio de Copacabana ocurridos desde Junio 01 de 1993 hasta Mayo de 2017, rango de fechas registrado en la

base de datos del Servicio Geológico Colombiano y su catálogo de sismología. En términos generales la zona está dominada por sismos superficiales de baja magnitud que no exceden los 3 grados en la escala de Richter.

Tabla 8-2. Registro histórico de sismos en el Municipio de influencia de la zona de interés.

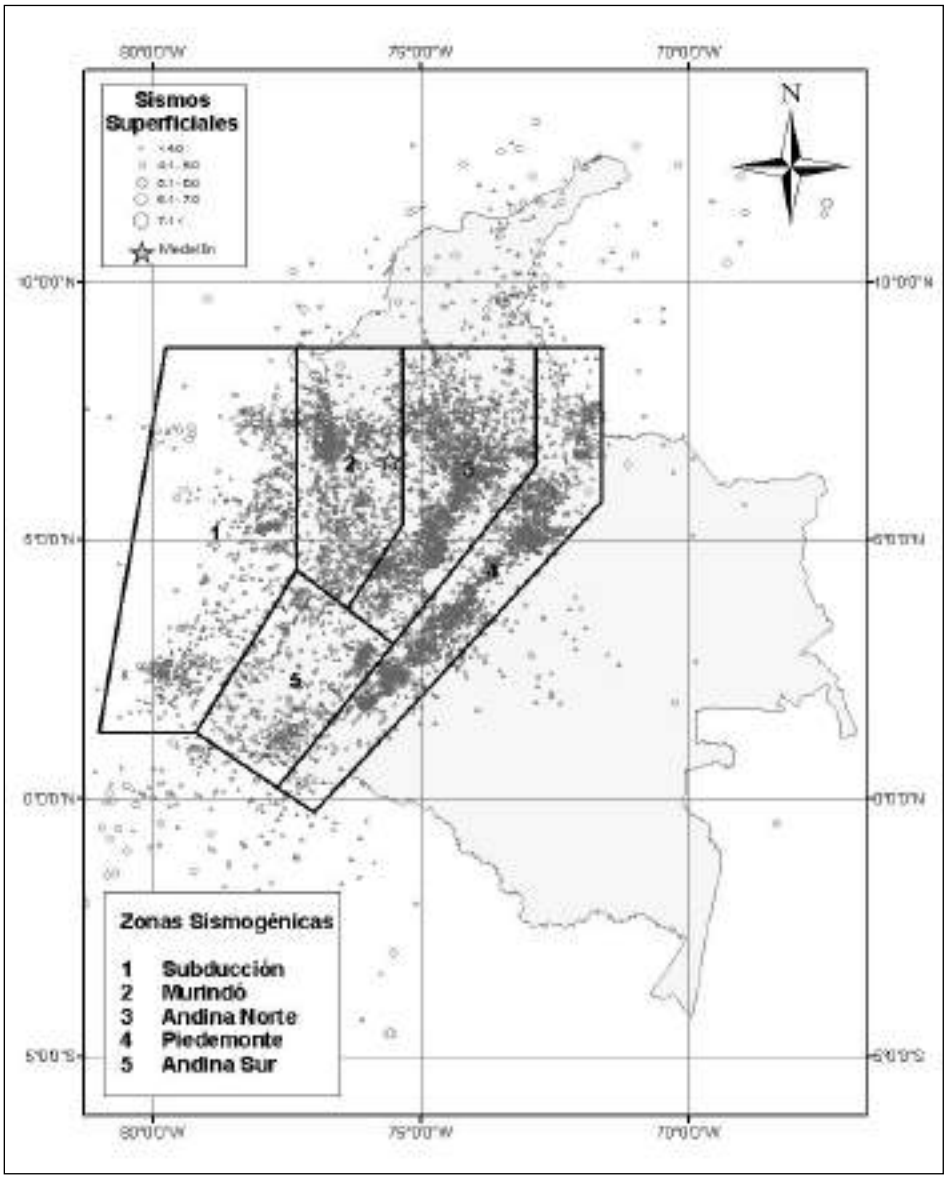
Municipio	Departamento	Fecha dd/mm/aaaa	Hora UTC hh:mm:ss	Magnitud Ml	Longitud Grados	Latitud Grados
Copacabana	Antioquia	18/11/2011	07:47:10	2.1	-75.566	6.371
Copacabana	Antioquia	18/11/2011	07:47:21	2.6	-75.535	6.379

Tomado de la Red Sismológica Nacional de Colombia SGC (2016c).

A partir de estudios más locales (AMVA, 2006) el análisis de la geología sísmica permite definir la presencia de fallas activas o potencialmente activas. La actividad de una falla se clasifica con base en el desplazamiento reciente ocurrido en ella. La geología sísmica estudia la expresión superficial, el tipo de falla, el desplazamiento causado por un evento sísmico, la tasa de desplazamiento y la longitud de ruptura de la falla en un evento.

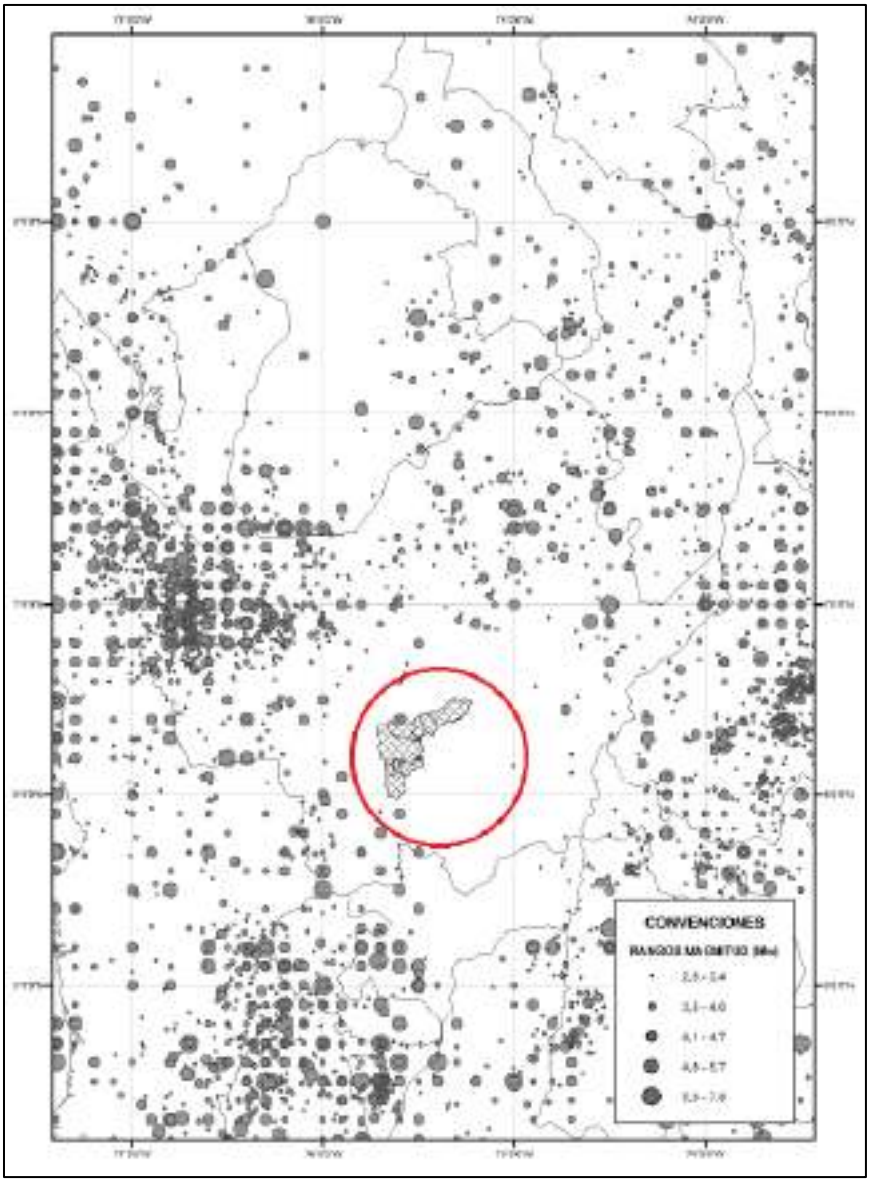
A partir de las fuentes sísmicas, Colombia se ha dividido en zonas sismogénicas (Figura 8-2), localizándose el Municipio de Copacabana dentro de la Zona 2 – Murindó, donde se presenta un número importante de sismos registrados como superficiales. En general se puede decir que la sismicidad histórica muestra al Valle de Aburra y sus zonas cercanas como un área exenta de sismos de gran magnitud en la historia reciente (últimos 500 años aproximadamente).

Figura 8-2. Sismicidad y zonas sismogénicas superficiales (Tomado de AMVA, 2006).



El catálogo sísmico operado por la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC) cuenta con registros desde 1993 y del catálogo histórico de Colombia, se cuenta con registros desde 1566 – 1993. A partir de los anteriores catálogos, en la Figura 8-3 se presenta la localización de epicentros en la zona del Departamento de Antioquia y su relación con los municipios del Valle de Aburrá (incluido Copacabana). Se observa en forma general una tendencia de pocos registros históricos, así como poca presencia de sismos de altas magnitudes.

Figura 8-3. Sismicidad histórica en la zona del Departamento de Antioquia (Tomado y modificado de AMVA, 2006).



Para la evaluación de la amenaza sísmica los registros de los catálogos se homogenizaron a magnitudes Mw equivalentes a partir de correlaciones con otras magnitudes. En la Tabla 8-3 se presenta el listado de las fallas consideradas dentro de la zona 2 – Murindó (zona en la que se ubica el área de influencia y estudio de la Cantera Las Nieves), junto con los parámetros de actividad de cada una. La tasa de actividad para sismos se presenta para magnitudes Mw iguales o superiores a 4,0; el parámetro λ caracteriza la tasa de actividad de una sismofuente dada en función del número de eventos por año iguales o

superiores a una magnitud dada (en este caso 4,0) y el parámetro β indica la proporción entre magnitudes grandes y pequeñas que puede producir la falla.

Tabla 8-3. Fallas ubicadas en la zona 2 – Murindó (Tomado de AMVA, 2006).

Nombre	Tipo de falla	$M_{mín}$	$M_{máx}$	Modelo de recurrencia	Rate	Unidad del rate	β
Anza Tonusco	Rumbo	4.0	6.5	Característico	0.0011	Sismos / Año	1.336
Aurra	Inversa	4.0	6.3	Característico	0.00082	Sismos / Año	1.336
Bahía Solano	Rumbo	4.0	7.6	Característico	0.02168	Sismos / Año	1.336
Cascajosa	Inversa	4.0	6.5	Característico	0.00122	Sismos / Año	1.336
Cauca	Rumbo	4.0	6.7	Característico	0.00161	Sismos / Año	1.336
Cauca 1-1	Rumbo	4.0	6.6	Característico	0.00146	Sismos / Año	1.336
Cauca 8	Rumbo	4.0	7.9	Característico	0.03042	Sismos / Año	1.336
Cauca Cañafisto	Rumbo	4.0	6.7	Característico	0.00151	Sismos / Año	1.336
Cauca Medio	Rumbo	4.0	7.3	Característico	0.00834	Sismos / Año	1.336
Cauca SantaFe 1	Inversa	4.0	6.4	Característico	0.00103	Sismos / Año	1.336
Cordoba	Rumbo	4.0	6.7	Característico	0.00176	Sismos / Año	1.336
Ebejico	Inversa	4.0	6.3	Característico	0.00077	Sismos / Año	1.336
El Carmen	Inversa	4.0	6.7	Característico	0.00169	Sismos / Año	1.336
Espíritu Santo 1	Normal	4.0	7.0	Característico	0.4	mm / Año	1.336
Espíritu Santo 2	Normal	4.0	7.0	Característico	0.4	mm / Año	1.336
Espíritu Santo 3	Normal	4.0	7.0	Característico	0.4	mm / Año	1.336
Espíritu Santo 4	Normal	4.0	7.0	Característico	0.4	mm / Año	1.336
F. Atrato Sur 7	Inversa	4.0	7.8	Característico	0.29578	Sismos / Año	1.336
Garrapatas	Rumbo	4.0	7.3	Característico	0.01393	Sismos / Año	1.336
Iguana Boqueron	Inversa	4.0	6.2	Característico	0.00065	Sismos / Año	1.336
Ituango 23	Inversa	4.0	7.0	Característico	0.0041	Sismos / Año	1.336
Ituango centro	Inversa	4.0	6.7	Característico	0.00155	Sismos / Año	1.336
Ituango norte	Inversa	4.0	6.6	Característico	0.00137	Sismos / Año	1.336
Ituango sur	Inversa	4.0	6.5	Característico	0.00118	Sismos / Año	1.336
La Batea	Rumbo	4.0	6.5	Característico	0.00116	Sismos / Año	1.336
La Cajetilla	Rumbo	4.0	5.8	Característico	0.00027	Sismos / Año	1.336
La Chillona 1	Rumbo	4.0	6.4	Característico	0.00081	Sismos / Año	1.336
La Chillona 1-2	Rumbo	4.0	6.1	Característico	0.00047	Sismos / Año	1.336

Nombre	Tipo de falla	$M_{mín}$	$M_{máx}$	Modelo de recurrencia	Rate	Unidad del rate	β
La Sucia 1-1	Rumbo	4.0	6.4	Característico	0.00097	Sismos / Año	1.336
La Sucia 1-2	Rumbo	4.0	6.4	Característico	0.00097	Sismos / Año	1.336
Mistrato	Inversa	4.0	6.8	Característico	0.00323	Sismos / Año	1.336
Murindo	Rumbo	4.0	7.6	Característico	0.13163	Sismos / Año	1.336
Murri Mutata	Rumbo	4.0	7.4	Característico	0.0449	Sismos / Año	1.336
Naranjo	Inversa	4.0	6.9	Característico	0.0025	Sismos / Año	1.336
Peque E nor - cen	Inversa	4.0	6.3	Característico	0.00075	Sismos / Año	1.336
Peque E norte	Inversa	4.0	6.0	Característico	0.00046	Sismos / Año	1.336
Peque E sur	Inversa	4.0	6.2	Característico	0.00066	Sismos / Año	1.336
Peque E sur - cen	Inversa	4.0	6.2	Característico	0.00067	Sismos / Año	1.336
Peque nor - cen	Inversa	4.0	6.2	Característico	0.00061	Sismos / Año	1.336
Peque norte	Inversa	4.0	6.2	Característico	0.00063	Sismos / Año	1.336
Peque sur	Inversa	4.0	6.8	Característico	0.00194	Sismos / Año	1.336
Peque sur - cen	Inversa	4.0	6.5	Característico	0.00121	Sismos / Año	1.336
Pintada Sur	Inversa	4.0	6.9	Característico	0.00231	Sismos / Año	1.336
Quirimara	Inversa	4.0	6.3	Característico	0.00077	Sismos / Año	1.336
Romeral Amaga	Inversa	4.0	6.0	Característico	0.00046	Sismos / Año	1.336
Romeral Norte 1	Rumbo	4.0	7.0	Característico	0.00419	Sismos / Año	1.336
Romeral Norte 2	Rumbo	4.0	6.8	Característico	0.00192	Sismos / Año	1.336
Romeral Norte 3	Rumbo	4.0	6.9	Característico	0.0027	Sismos / Año	1.336
Romeral Piedecuesta 1	Inversa	4.0	6.7	Característico	0.00162	Sismos / Año	1.336
Romeral Piedecuesta 2	Inversa	4.0	6.7	Característico	0.00162	Sismos / Año	1.336
Romeral Piedecuesta 3	Inversa	4.0	6.9	Característico	0.00271	Sismos / Año	1.336
Romeral Piedecuesta 4	Inversa	4.0	6.7	Característico	0.00156	Sismos / Año	1.336
Romeral Piedecuesta 5	Inversa	4.0	6.9	Característico	0.00464	Sismos / Año	1.336
Romeral Sin Nombre 1	Inversa	4.0	6.8	Característico	0.00195	Sismos / Año	1.336
Romeral Sin Nombre 2	Inversa	4.0	6.9	Característico	0.00246	Sismos / Año	1.336
Romeral Sin Nombre 3	Inversa	4.0	7.2	Característico	0.02013	Sismos / Año	1.336
Sabanalarga E	Inversa	4.0	7.0	Característico	0.0029	Sismos / Año	1.336
Sabanalarga W	Inversa	4.0	7.0	Característico	0.00438	Sismos / Año	1.336
Sajonia	Inversa	4.0	6.0	Característico	0.00042	Sismos / Año	1.336
San Jeronimo 1	Inversa	4.0	6.3	Característico	0.00075	Sismos / Año	1.336
San Jeronimo 2	Inversa	4.0	6.3	Característico	0.00075	Sismos / Año	1.336
San Jeronimo 3	Inversa	4.0	6.6	Característico	0.0015	Sismos / Año	1.336
San Jeronimo 4	Inversa	4.0	6.9	Característico	0.00236	Sismos / Año	1.336
Santa Rita E	Rumbo	4.0	6.6	Característico	0.00125	Sismos / Año	1.336
Santa Rita W 1	Normal	4.0	6.5	Característico	0.05	mm / Año	1.336
Santa Rita W 2	Rumbo	4.0	6.5	Característico	0.05	mm / Año	1.336
Santa Rita W 3	Rumbo	4.0	6.5	Característico	0.05	mm / Año	1.336
Santa Rita W 4	Rumbo	4.0	6.5	Característico	0.05	mm / Año	1.336
Santa Rita W 5	Rumbo	4.0	6.5	Característico	0.05	mm / Año	1.336
Sardinas nor - cen	Inversa	4.0	6.0	Característico	0.00049	Sismos / Año	1.336
Sardinas norte	Inversa	4.0	6.1	Característico	0.00055	Sismos / Año	1.336
Sardinas sur	Inversa	4.0	6.4	Característico	0.00105	Sismos / Año	1.336
Sardinas sur - cen	Inversa	4.0	6.3	Característico	0.00074	Sismos / Año	1.336
Tonusco	Normal	4.0	6.9	Característico	0.0033	Sismos / Año	1.336

La representación general de la amenaza sísmica en la región se muestra en las Figura 8-4, Figura 8-5 para períodos de retorno de 9,3 años y de 475 años, respectivamente. No obstante, es fundamental aclarar que para todos los efectos relacionados con el diseño estructural de acuerdo con la NSR-98, todo el Valle de Aburrá y los municipios cercanos (Copacabana incluido) se sigue considerando como de amenaza sísmica Intermedia.

Figura 8-4. Amenaza sísmica a nivel Municipal para PGA y para un período de retorno de 9,3 años (Tomado y modificado de AMVA, 2006).

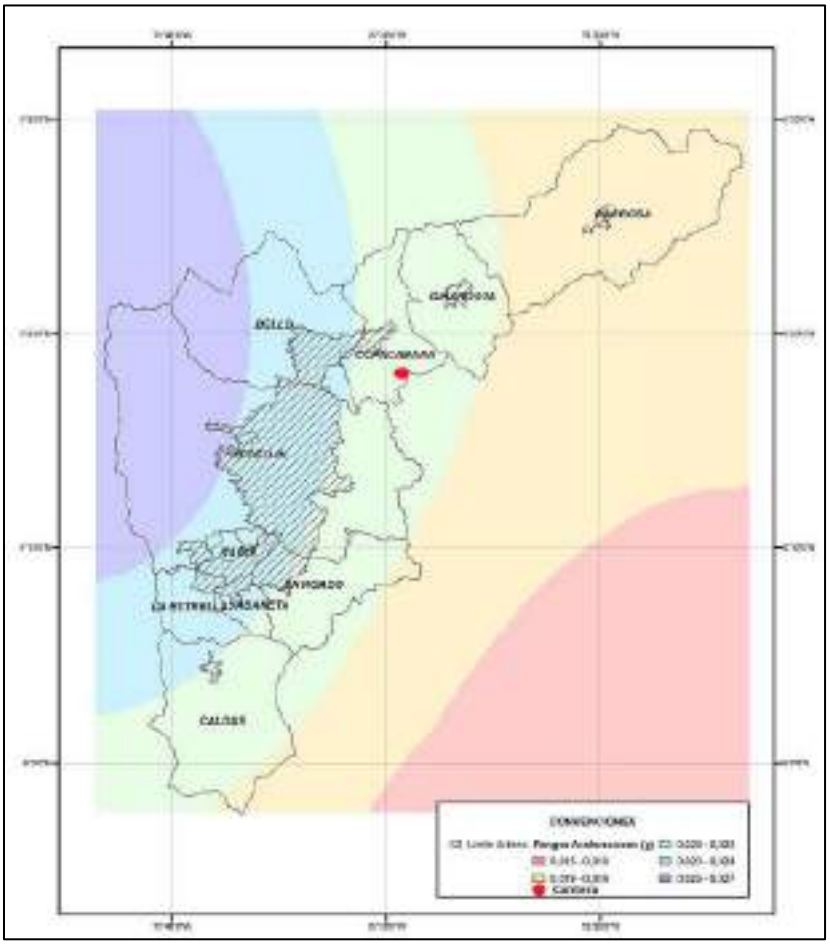
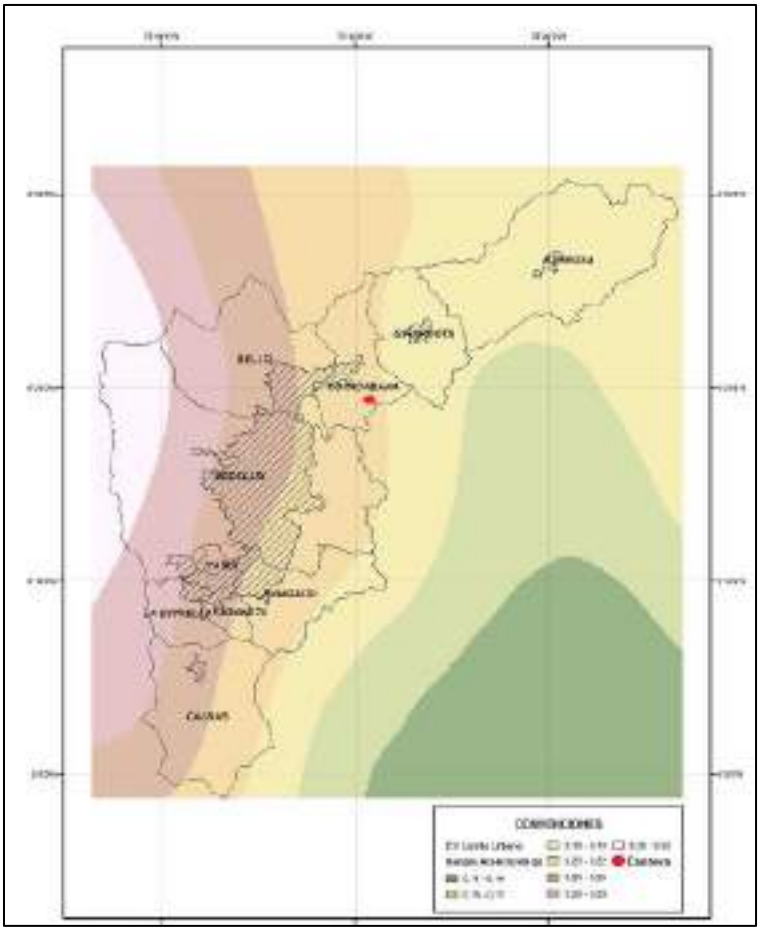
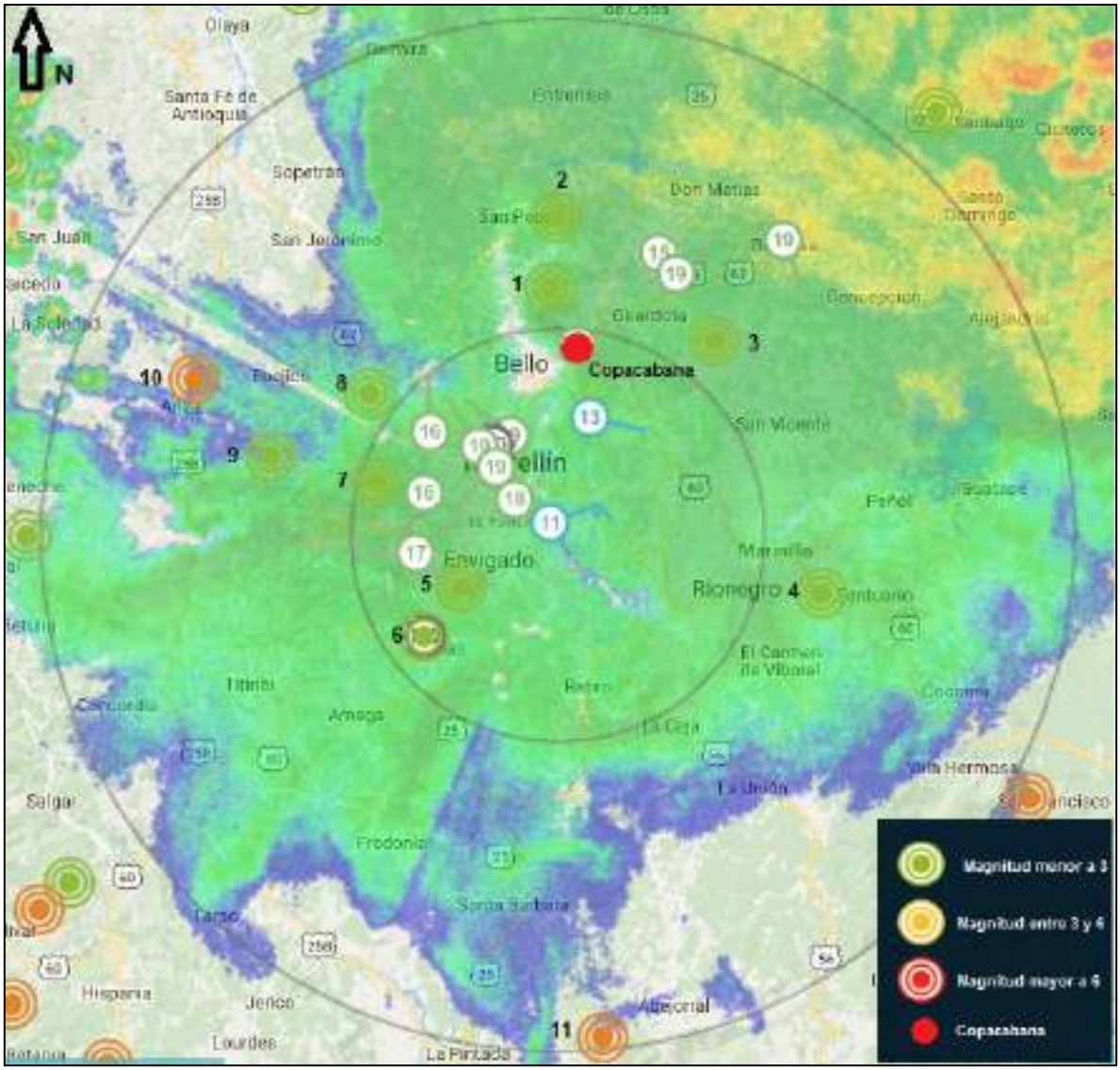


Figura 8-5. Amenaza sísmica a nivel Municipal para PGA y para un período de retorno de 475 años (Tomado y modificado de AMVA, 2006).



Otra fuente de información consultada (Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá – SIATA) dan cuenta de sismos de bajas magnitudes alrededor del Municipio de Copacabana (Figura 8-6, Tabla 4). Estos registros son capturados por la red acelerográfica de Medellín y municipios cercanos.

Figura 8-6. Perímetro de 25 y 75 km aprox. con sismos cercanos al Municipio de Copacabana. Tomado y modificado de SIATA (2017).

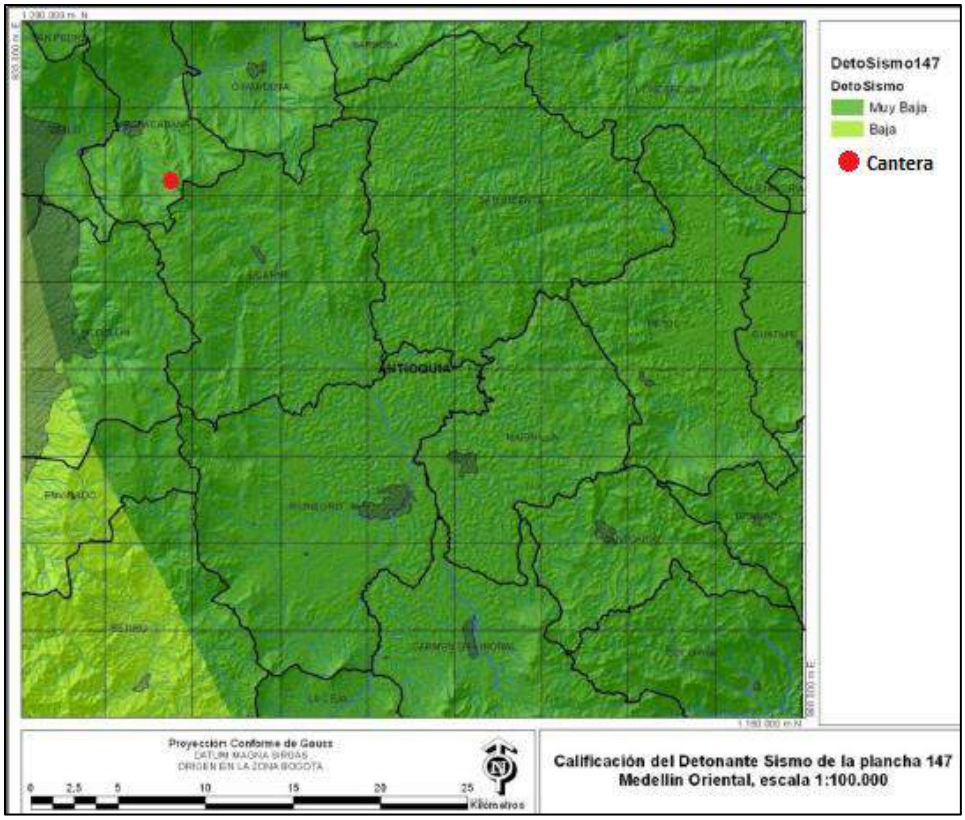

N
Olaya
Santa Fé de Antioquia
Sopetrán
San Juan
San Jerónimo
Don Matías
San Pedro
Guarne
Bello
Copacabana
Medellín
Envigado
Rionegro
Itagüí
Amagá
Fredonia
Jericó
Hispania
Tarso
Salgar
Titiribí
Concordia
Pueblorrico
Heliconia
Angelópolis
Montebello
Fredonia
Santa Bárbara
Jardín
Andes
Jericó
Pueblorrico
Tarso
Hispania
Salgar
Concordia
Titiribí
Amagá
Caldas
Sabaneta
La Estrella
Itagüí
Envigado
Medellín
Bello
Copacabana
Girardota
Barbosa
Donmatías
Santa Rosa de Osos
Entrerríos
Don Matías
San Pedro
Guarne
Marinilla
El Carmen de Viboral
Rionegro
Santuario
Cocorná
Sonsón
Abejorral
La Unión
La Ceja
Retiro
Carmen de Viboral
Marinilla
Envigado
Medellín
Bello
Copacabana
Girardota
Barbosa
Donmatías
Entrerríos
Don Matías
San Pedro
Guarne
Rionegro
Santuario
El Carmen de Viboral
Marinilla
Cocorná
Sonsón
Abejorral
La Unión
La Ceja
Retiro
Amagá
Titiribí
Concordia
Salgar
Fredonia
Santa Bárbara
Tarso
Hispania
Jericó
Andes
Pueblorrico
Heliconia
Angelópolis
Montebello
Caldas
Sabaneta
La Estrella
Itagüí
Envigado
Medellín
Bello
Copacabana
Girardota
Barbosa
Donmatías
Santa Rosa de Osos

Item	Fecha	Magnitud	Profundidad (km)	Epicentro
4	2013-03-18	3,0	1,4	Santuario
5	2015-02-02	1,3	0,0	Sabaneta
6	2014-08-02	1,4	10,1	Caldas
7	2016-01-20	2,4	0,0	Heliconia
8	2012-02-10	2,0	4,0	Heliconia
9	2013-10-14	2,4	11,6	Heliconia
10	2016-11-30	3,5	20,5	Anzá
11	2016-12-05	3,4	1,8	Abejorral

En los sismos ocurridos entre el 2010 y 2016 se observa poca profundidad y un promedio de magnitudes de 2,5 grados, sin superar los 3,5 grados, corroborando la calificación de amenaza sísmica intermedia para la zona, dada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y la Red Sismográfica Colombiana.

También se consultaron los estudios sobre el área de la Plancha 147 (Medellín Oriental), el detonante sismo suministrado por el SGC (2014c) y tomado del Mapa Nacional de Amenaza Sísmica (INGEOMINAS & Universidad Nacional, 2010), el cual arroja los valores de aceleración máxima horizontal (PGA) a nivel de terreno firme, correspondiente a un período de retorno de 475 años, permitiendo calificar de forma cualitativa el grado de contribución del detonante sismo a la ocurrencia de movimientos en masa, arrojan valores de la aceleración máxima horizontal menores a 150 PGA. A partir de esta calificación la zona de la plancha 147 – Medellín Oriental (Figura 8-7) se caracteriza por presentar dos sectores referentes a los valores de PGA, uno hacia el extremo sur occidental, con calificación baja con valores entre 100 – 150 cm/seg^2, y otro que ocupa la mayor parte de la plancha, con calificación muy baja y valores de PGA entre 10 – 100 cm/seg^2.

Figura 8-7. Mapa del detonante sismo para la plancha 147 – Medellín Oriental (Tomado y modificado de SGC (2014c).



9. ANÁLISIS VOLADURAS EN LA CANTERA LAS NIEVES

Se desarrolla en este capítulo los análisis de los efectos producidos por las vibraciones generadas por la explotación de la cantera Las Nieves en el municipio de Copacabana.

Los análisis que se realizarán en esta sección están apoyados en el informe realizado por la empresa ORICA sobre el monitoreo de vibraciones en la cantera Las Nieves. El informe realizado por ORICA tenía como objetivo determinar la generación de daños en las estructuras y vías aledañas a la explotación de la Cantera Las Nieves, producto de la detonación de explosivos en el proceso de extracción de la Cantera. En dicho estudio se compara la magnitud de las vibraciones generadas por las voladuras hechas en la cantera, con las magnitudes máximas permitidas en la norma Alemana DIN 4150 y que son consideradas como niveles de vibración seguras (que no ocasionan daños).

Los valores de referencia para la norma Alemana DIN 4150 son los siguientes:

Tabla 9-1 DIN 4150 Daño estructural-Límites seguros para vibración percibida por construcciones. Tomado de ORICA (2015).

DIN 4150 – Daño Estructural – Límites seguros para la vibración percibida por construcciones

Linea	Tipo de Estructura	Velocidad de Vibración			
		En los cimientos en una frecuencia de			A nivel de plano del piso más alto
		< 10Hz	10Hz - 50Hz	50Hz - 100Hz	Todas las frecuencias
1	Edificios comerciales o industriales	20	20 a 40	40 a 50	40
2	Viviendas o edificaciones de construcción similar	5	5 a 15	15 a 20	15
3	Estructuras que debido a su sensibilidad particular a la vibración, no corresponden a los listados en la línea 1 y 2 y tienen valores intrínsecos. (construcciones que se encuentran bajo una orden de preservación)	3	3 a 8	8 a 10	8

Nota: Para frecuencias mayores a 100Hz, los valores más altos en la columna entre 50 a 100 Hz deben ser utilizados

Según la Tabla 9-1, el valor pico mínimo de seguridad para vibraciones, a bajas frecuencias para construcciones industriales o comerciales es de 20 mm/s, para viviendas y construcciones similares de uso o diseño, es 5 mm/s y para estructuras que pueden ser particularmente sensibles a la vibración de terreno, como edificios históricos con órdenes de preservación es 3 mm/s. Debe asimismo concluirse de la Tabla 9-1, que niveles menores que estos mínimos para bajas frecuencias, pueden ser razonablemente seguros, dependiendo de la frecuencia contenida en la vibración. Estos niveles son límites seguros a los cuales no se ha observado daño alguno a causa de los efectos de vibración para el caso particular de edificación (ORICA, 2015).

Figura 9-1 Puntos de monitoreo aledaños a la cantera Las Nieves. Tomado de Orica (2015).

A continuación se muestran los registros obtenidos en el estudio de monitoreo realizado por ORICA.

9.1 MONITOREO DE VOLADURAS

Para la voladura del 26 de febrero de 2015 se tiene los siguientes registros velocidades de ondas sísmicas.

Tabla 9-2 Registros sismográficos puntos de monitoreo 1 y 2. Tomado de Orica (2015).

Estación	Transversal (mm/s)	Vertical (mm/s)	Longitudinal (mm/s)	Pico del vector suma (mm/s)
Punto de Monitoreo 1	0.841	0.810	0.587	**0.938**
Punto de Monitoreo 2	0.159	0.079	0.063	**0.169**

Esta voladura tuvo un registro de vibración asociado, lo cual indica que los niveles de vibración percibidos activaron el *trigger* del sismógrafo ubicado en el punto de monitoreo 1, dando como resultado un PPV de 0,938 mm/s. Así mismo la voladura activó el sismógrafo que se ubicó en el punto de monitoreo 2, dando como resultado un PPV de 0,169 mm/s (ORICA, 2015).

A continuación se muestran los registros para el punto 1 que fue el lugar donde se presentaron las mayores velocidades.

Figura 9-2 Registro sismográfico voladura 26-02-2015. Punto de monitoreo 1. Tomado de Orica (2015).

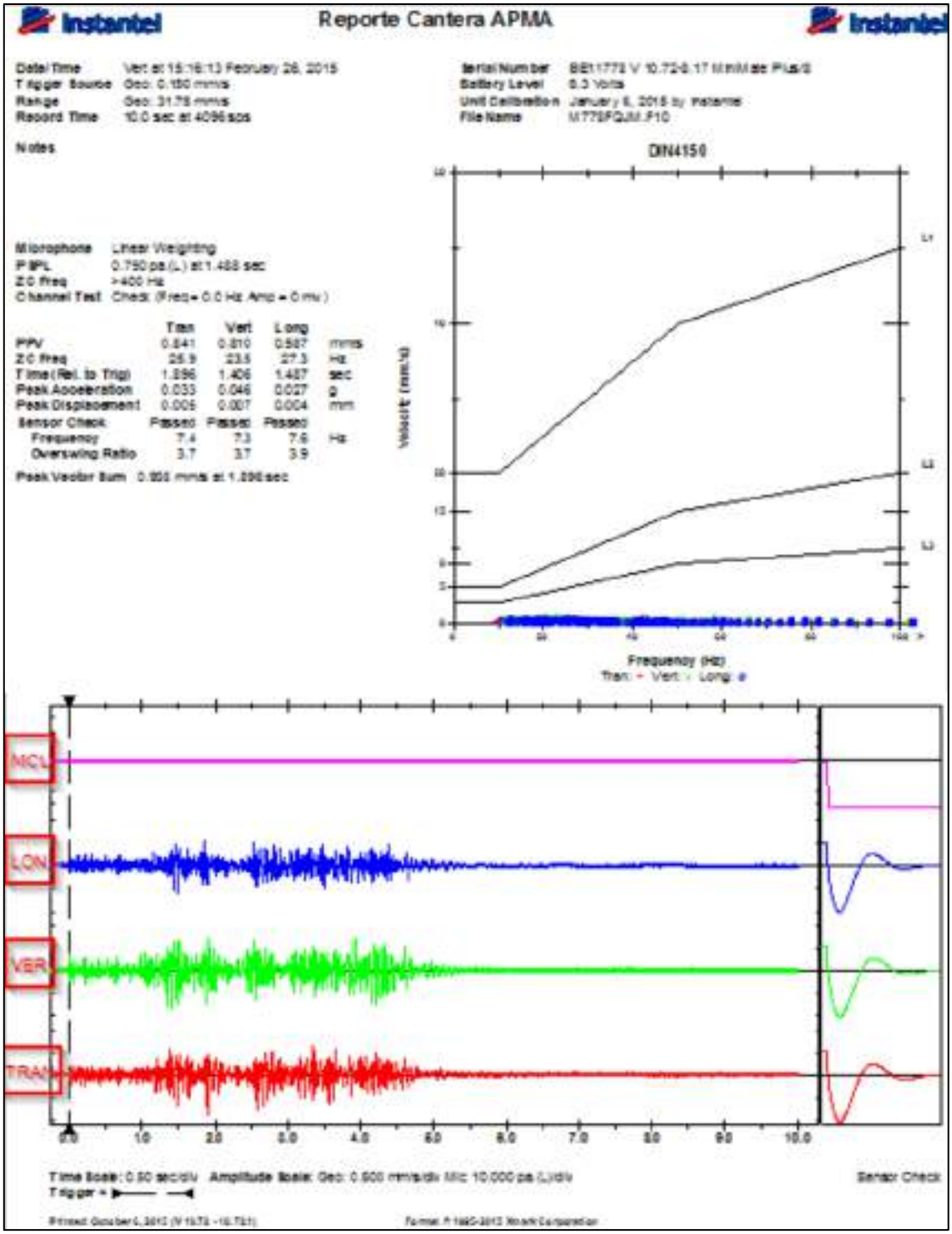
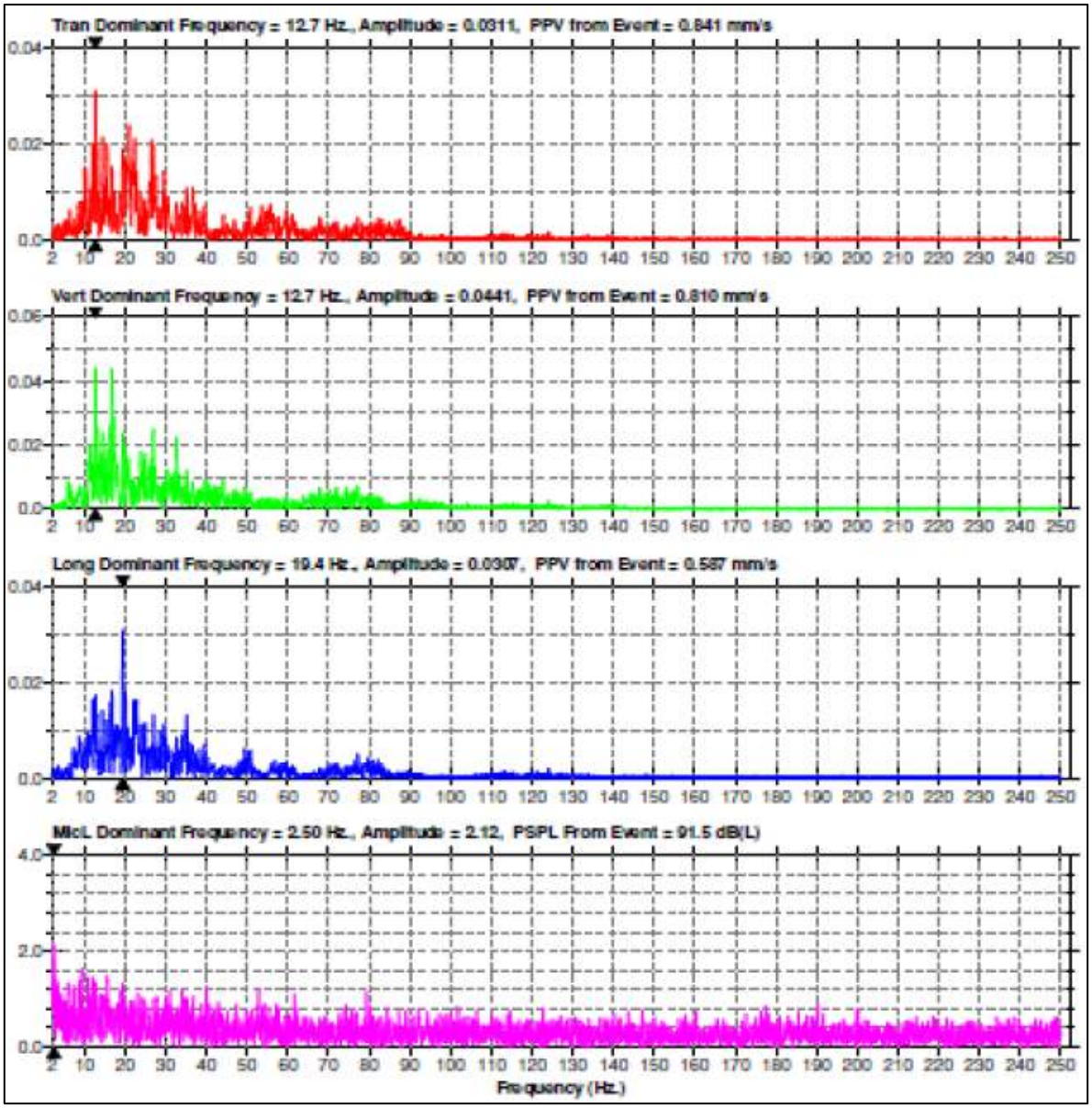


Figura 9-3 Espectros de Fourier voladura 26-02-2015. Punto de monitoreo 1. Tomado de Orica (2015).



En la medición del punto de monitoreo 1, el sensor de mayor valor fue el transversal, tal como se observa en los gráficos del registro de monitoreo (Figura 9-2). En la Figura 9-3 se especifica las frecuencias resultantes para cada uno de los sensores y de las cuales se toma como referencia la frecuencia máxima dominante del sensor transversal 12,7Hz, pues es la frecuencia asociada con la señal que aparece por mayor tiempo en el registro (ORICA, 2015).

Para la voladura del 7 de mayo de 2015 se tiene los siguientes registros de velocidades de ondas sísmicas.

Tabla 9-3 Registros sismográficos puntos de monitoreo 1 y 2. Tomado de Orica (2015).

Estación	Transversal (mm/s)	Vertical (mm/s)	Longitudinal (mm/s)	Pico del vector suma (mm/s)
Punto de Monitoreo 1	0.571	0.984	0.937	**1.211**
Punto de Monitoreo 2	--	--	--	**--**

Esta voladura tuvo un registro de vibración asociado, lo cual indica que los niveles de vibración percibidos activaron el *trigger* del sismógrafo ubicado en el punto de monitoreo 1, dando como resultado un PPV de 1,211mm/s. En este evento de voladura no se activó el sismógrafo que se ubicó en el punto de monitoreo 2 (ORICA, 2015).

A continuación se muestran los registros para el punto 1 que fue el lugar donde se tuvo registros de velocidades.

Figura 9-4 Registro sismográfico voladura 07-05-2015. Punto de monitoreo 1. Tomado de Orica (2015).

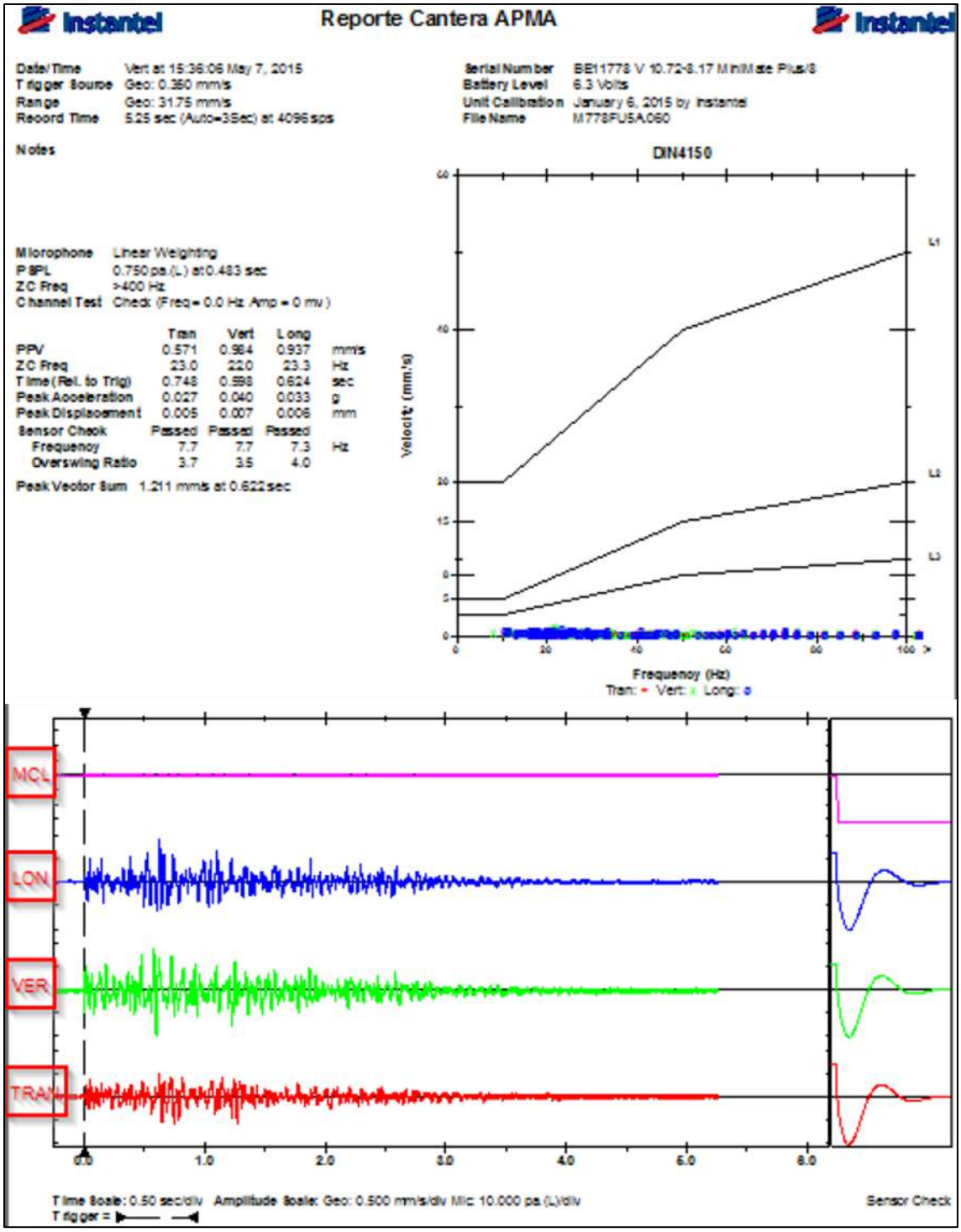
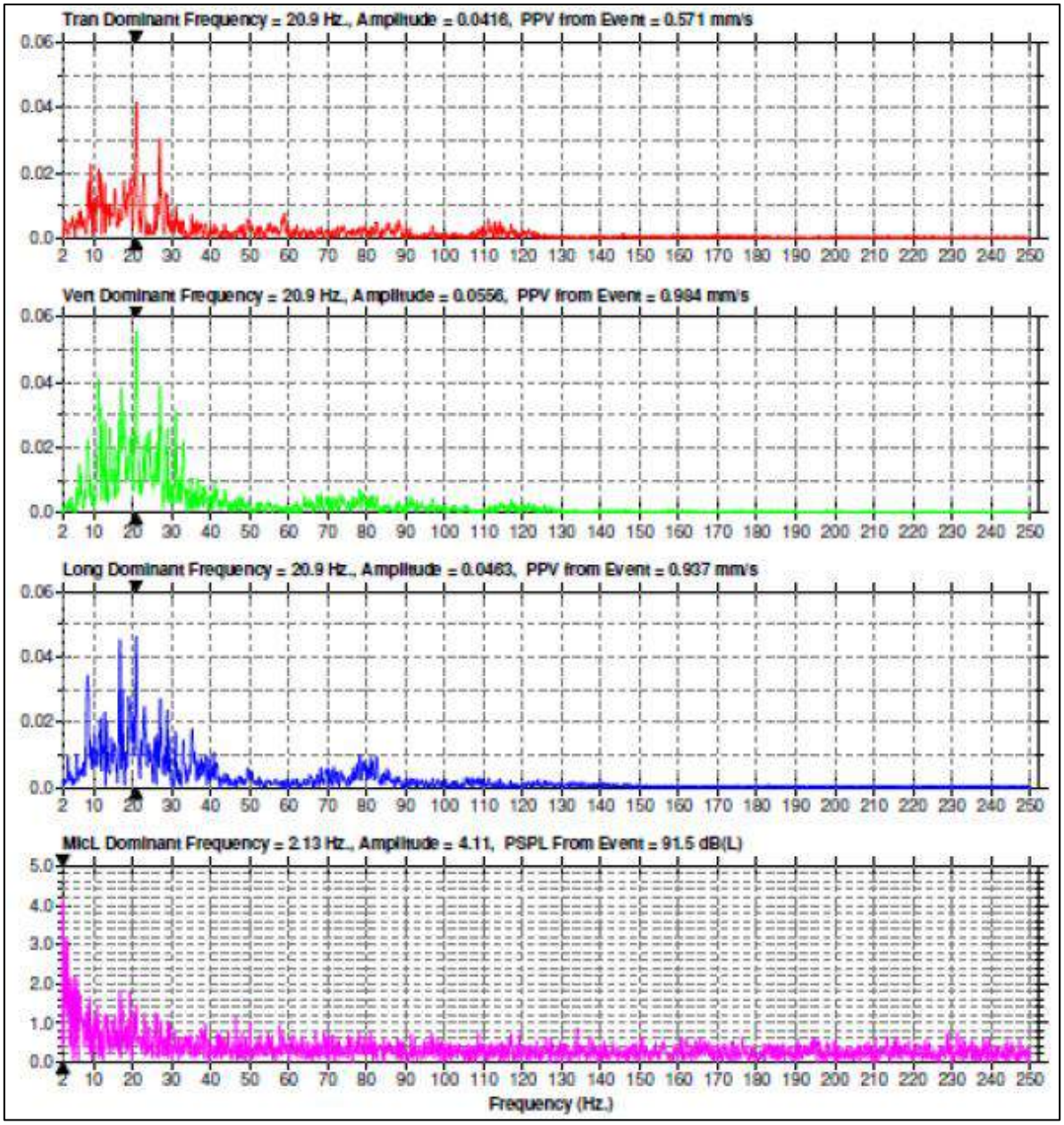


Figura 9-5 Espectros de Fourier voladura 07-05-2015. Punto de monitoreo 1. Tomado de Orica (2015).



En la medición del punto de monitoreo 1, el sensor de mayor valor fue el vertical, tal como se observa en los gráficos del registro de monitoreo (Figura 9-4). En la Figura 9-5 también se especifica las frecuencias resultantes para cada uno de los sensores y de las cuales se toma como referencia la frecuencia máxima dominante del sensor vertical 20.9 Hz, pues

es la frecuencia asociada con la señal que aparece por mayor tiempo en el registro (ORICA, 2015).

Para la voladura del 3 de septiembre de 2015 se tiene los siguientes registros de velocidades de ondas sísmicas.

Tabla 9-4 Registros sismográficos puntos de monitoreo 1 y 3. Tomado de Orica (2015).

Estación	Transversal (mm/s)	Vertical (mm/s)	Longitudinal (mm/s)	Pico del vector suma (mm/s)
Punto de Monitoreo 1	1.048	1.572	1.381	**1.599**
Punto de Monitoreo 3	0.571	0.254	0.317	**0.635**

Esta voladura tuvo un registro de vibración asociado, lo cual indica que los niveles de vibración percibidos activaron el trigger del sismógrafo ubicado en el punto de monitoreo 1, dando como resultado un PPV de 1,6 mm/s. Así mismo la voladura activó el sismógrafo que se ubicó en el punto de monitoreo 3, dando como resultado un PPV de 0,635 mm/s. (ORICA, 2015).

A continuación se muestran los registros para el punto 1 que fue el lugar donde se tuvo registros de velocidades.

Figura 9-6 Registro sismográfico voladura 03-09-2015. Punto de monitoreo 1. Tomado de Orica (2015).

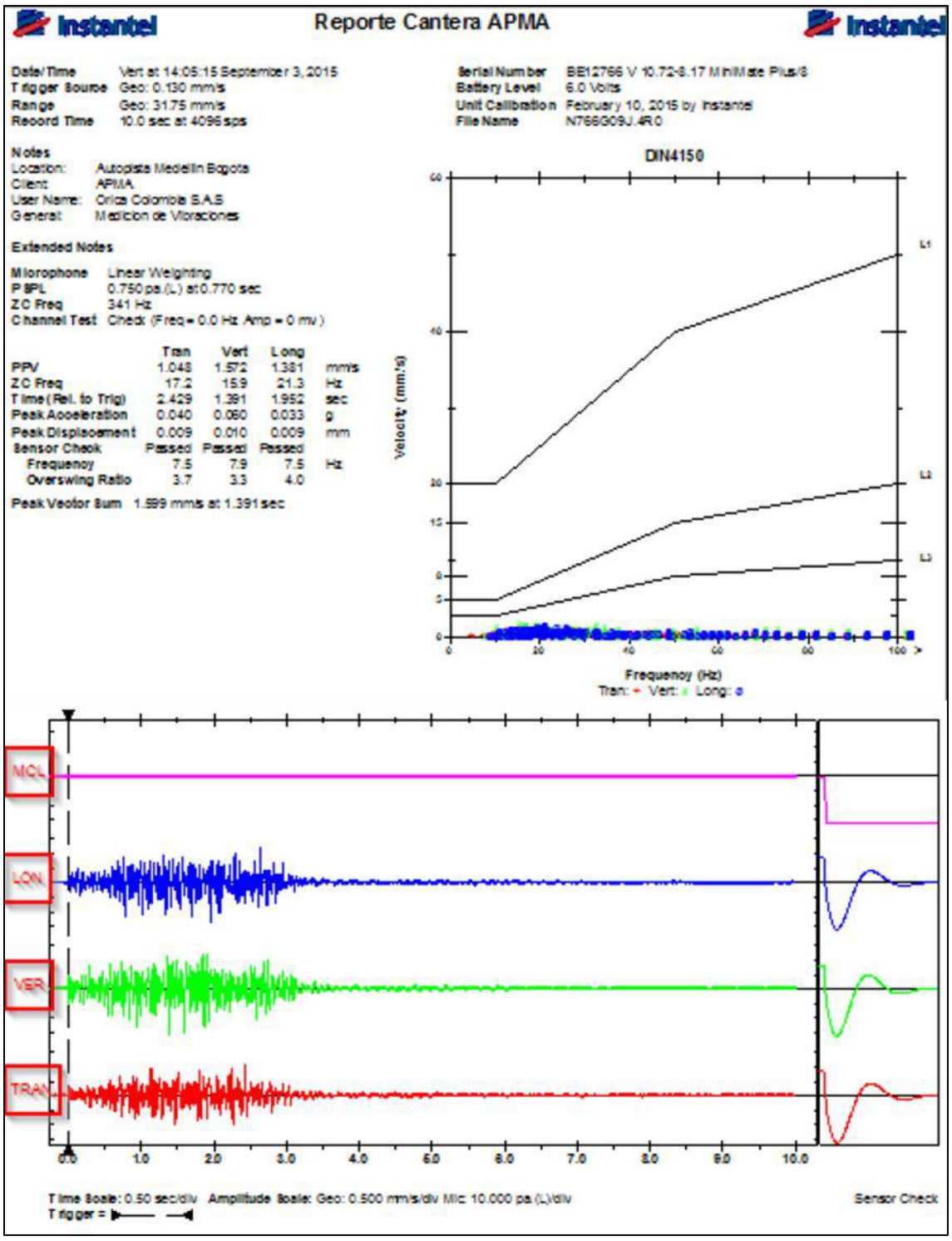
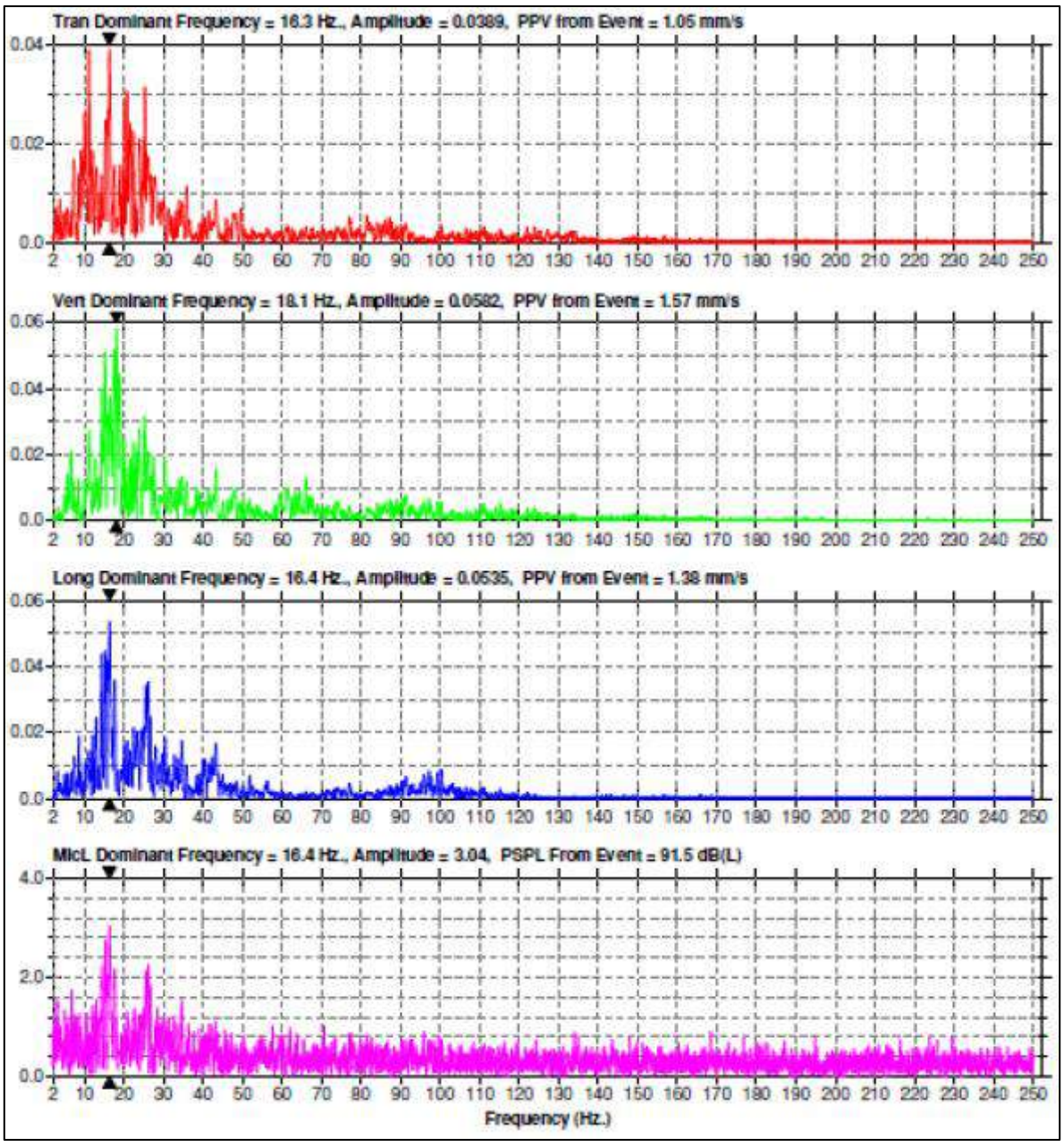


Figura 9-7 Espectros de Fourier voladura 03-09-2015. Punto de monitoreo 1. Tomado de Orica (2015).



En la medición del punto de monitoreo 1, el sensor de mayor valor fue el vertical, tal como se observa en los gráficos del registro de monitoreo (Figura 9-6). En la Figura 9-7 también se especifica las frecuencias resultantes para cada uno de los sensores y de las cuales se toma como referencia la frecuencia máxima dominante del sensor vertical 18.1Hz, pues es

la frecuencia asociada con la señal que aparece por mayor tiempo en el registro (ORICA, 2015).

Los resultados de los tres eventos de monitoreo muestran que las máximas velocidades sísmicas se presentan en el punto de monitoreo 1 (debido a su cercanía a la zona de explotación), sin embargo la velocidades registradas allí (las Tabla 9-2 a la Tabla 9-4) son muy bajas, pues sus valores se encuentran por debajo de los límites mínimos permitidos por la norma DIN 4150 (Tabla 9-1).

Los registros de monitoreo del punto 1 (Figura 9-2 a Figura 9-6) se muestran los valores picos de velocidad, aceleración, desplazamiento y la duración de la excitación en sentido transversal, longitudinal y vertical producidos por cada evento (voladuras), estos valores son muy pequeños. La frecuencia dominante de la excitación también es mostrada en las Figura 9-3 a la Figura 9-7.

Para la voladura del día 26 de febrero de 2015 los valores picos más altos fueron:

- Velocidad pico = 0.841 mm/s
- Aceleración pico = 0.045 g
- Desplazamiento pico = 0.007 mm
- Duración de la excitación = 1.896 s
- Frecuencia dominante = 12.7 Hz

Para el evento del día 5 de mayo de 2015 los valores son los siguientes:

- Velocidad pico = 0.984 mm/s
- Aceleración pico = 0.040 g
- Desplazamiento pico = 0.007 mm
- Duración de la excitación = 0.748 s
- Frecuencia dominante = 20.9 Hz

Y para el evento del día 3 de septiembre de 2015 los valores son los siguientes:

- Velocidad pico = 1.572 mm/s
- Aceleración pico = 0.060 g
- Desplazamiento pico = 0.010 mm
- Duración de la excitación = 0.748 s
- Frecuencia dominante = 16.3 Hz

Teniendo en cuenta lo anterior, los mayores valores se presentan en el evento del día 3 de septiembre de 2015, pero como se mencionó anteriormente estos valores son muy bajos (la aceleración pico alcanza sólo el 6% de la gravedad, y la duración es menor a 1 segundo).

Estos resultados indican que las voladuras no influyeron en el movimiento en masa ocurrido en la zona de la cantera debido a las bajas aceleraciones producidas y la corta duración de la excitación dinámica (ondas sísmicas producidas por la voladura).

A continuación se comparará la aceleración máxima obtenida en los monitoreos de las voladuras con las aceleraciones máximas esperadas según el estudio de microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado.

9.2 ESPECTRO DE RESPUESTA PARA LOS SUELO DEL MUNICIPIO DEL VALLE DE ABURRÁ

Debido a las características geológicas y geomorfológicas del sitio de interés (zona donde se produjo el movimiento en masa del suelo), se tiene que predominan los depósitos de vertiente, por lo tanto, se mostraran el espectro de respuesta para estos materiales.

En la Figura 9-8 se puede observar que la máxima aceleración esperada para los depósitos de vertiente es de 0.8 g para un depósito de suelo de 16 m, y el intervalo de variación de los periodos fundamentales es de 0.2 s a 0.7 s (es decir de 1.43 Hz a 5 Hz).

Comparando la aceleración máxima esperada para este tipo de depósitos según la microzonificación sísmica del Valle de Aburrá (0.8 g) con la aceleración pico máxima producida por las voladuras en el evento del 3 de septiembre de 2015 (0.06 g), se tiene que esta última es 13.3 veces menor. Así mismo el intervalo de frecuencias dominantes de la microzonificación sísmica del Valle de Aburrá es 1.43 Hz a 5 Hz, si comparamos este intervalo con las frecuencias dominantes producidas por las voladuras nos podemos dar cuentas que dichas frecuencias se encuentran muy alejadas del intervalo dado en la microzonificación sísmica (pues las frecuencias producidas por las voladuras van desde 12.7 Hz a 20.9 Hz (en términos de periodos es de 0.05 s a 0.08 s)

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se concluye de nuevo que las vibraciones generadas por las voladuras en la cantera Las Nieves no tuvieron incidencia en el movimiento en masa ocurrido en la zona adyacente a la cantera, pues las frecuencias dominantes de las perturbaciones se encuentran por fuera del intervalo de resonancia del suelo definido en la microzonificación sísmica del Valle de Aburrá, además las aceleraciones pico producidas son menores o iguales al 6% de la gravedad (0.06 g).

Figura 9-8 Espectro de respuesta máxima y mínima para el perfil de flujo sobre residual de anfibolita de Medellín. Tomado de AMVA (2006).

Perfil	$Sa_{máx}$ *(g)*	Período Fundamental (s)	Observaciones
Flujo sobre residual de anfibolita (PRaM)	*0.7 – 0.9*	0.3 s	Los límites máximo y mínimo, obtenidos del análisis de 120 perfiles típicos, indican un amplio rango de variación de los periodos fundamentales (0.2 s a 0.7 s), con una variación menor en cuanto a los valores de aceleración espectral. Para el sitio 12-O, el cual presenta el pico máximo, la respuesta tiene una aceleración $Sa_{máx}$=0.9 g. En este sitio el espesor de suelo alcanza los 38m. Para el sitio 4M1 (sitio con respuesta más baja para algunos períodos) la aceleración $Sa_{máx}$ es 0.8 g. El espesor de suelo en este sitio es de 16m.

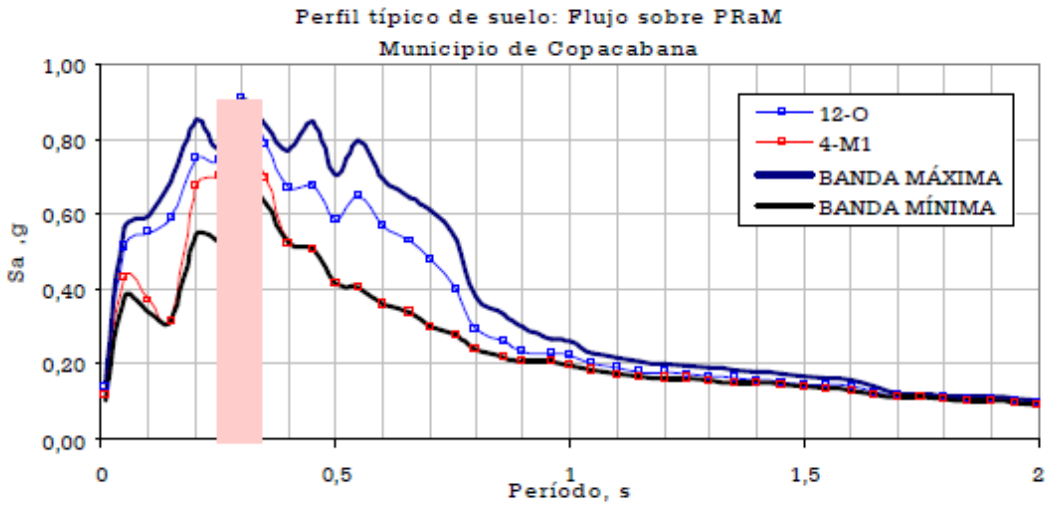


Figura 8.57. Respuesta máxima y mínima obtenida para el perfil de flujo sobre residual de anfibolita PRaM.

10. TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS

De las tomografías eléctricas realizadas en el área de estudio de la Cantera Las Nieves (Figura 10-1), se obtienen dos zonas bien diferenciables a partir de los valores de resistividades obtenidos en los sondeos.

Figura 10-1. Esquema de localización de líneas geoeléctricas.

Las líneas 1 a la 4 (Figura 10-2) reflejan resistividades con valores altos, lo que es concordante con la unidad de rocas metamórficas competentes presentes en la zona.

Para el área de las líneas 5 a la 9 (Figura 10-3), se reflejan igualmente valores altos de resistividades, además de unos marcados bajos resistivos indicando la presencia de agua filtrando por fracturas, fallas y/o diaclasas. A pesar de encontrasen zonas de aparente filtración de agua a través de discontinuidades, estas zonas no están asociadas entre sí, presentándose de forma puntual.

Figura 10-2. Tomografías líneas 1 a la 4. Tomado de Tropical (2016).

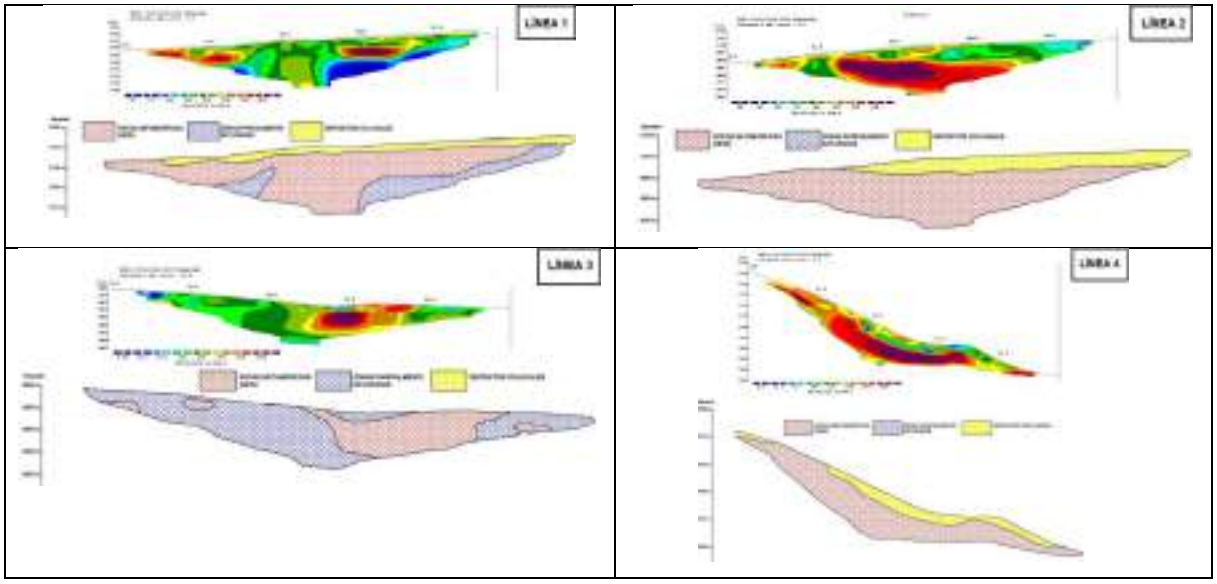
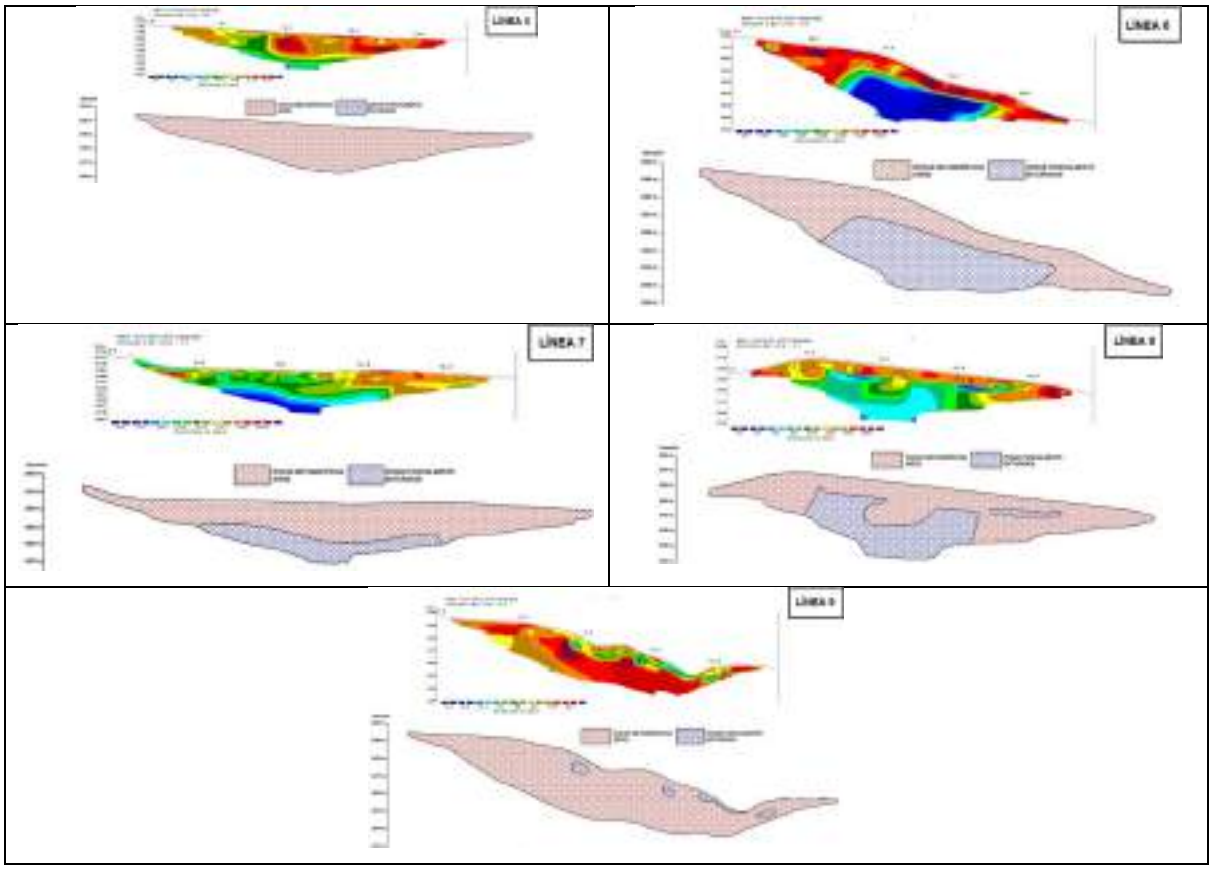


Figura 10-3. Tomografías líneas 5 a la 9. Tomado de Tropical (2016).



11. ANÁLISIS DEL DESLIZAMIENTO

Previo a establecer unas causas posibles de la ocurrencia del deslizamiento, se debe tener presente el marco geológico-geomorfológico, donde se inscribe la zona, que corresponde con la parte alta del cañón del río Medellín, sobre las laderas orientales, en zona limítrofe con el Altiplano Central de Antioquia, modeladas en un mosaico de rocas metamórficas, afectadas por una serie de fallas, en cuyas zonas se desarrollan espesos perfiles de meteorización.

Las vertientes donde se inscribe el sector de interés, como en conjunto todo el valle, ha evolucionado en gran parte por el desarrollo de fenómenos de remoción en masa, es decir es natural en la región la ocurrencia de deslizamientos que den forma al paisaje, tal como lo atestigua la presencia de huellas asociados con antiguos procesos que se han presentado en la región, donde confluyen otros factores que posibilitan su desencadenamiento, como son las lluvias, donde caen al año entre 1.500 y 2.000 mm de precipitación, distribuidos en dos fases de intensas lluvias, una de abril a mayo y otra de septiembre a noviembre. Adicionalmente, el alto grado de inclinación de las laderas, sobre suelos saprolítico y depósitos recientes, que hacen del sector ser altamente susceptible a que se presenten estos fenómenos.

La ocurrencia de los deslizamientos es consecuencia de un complejo campo de esfuerzos, que se encuentra activo en una masa de roca o de suelo en las vertientes, donde los dos parámetros más determinantes son o un incremento del esfuerzo cortante, o una disminución de la resistencia del material.

En cuanto al incremento del esfuerzo de corte se puede presentar por la remoción del soporte lateral o de base (debido a la erosión, deslizamientos previos, cortes de carreteras y canteras); por un incremento de carga (peso de la lluvia/nieve, rellenos, vegetación), por un incremento de presiones laterales (presiones hidráulicas, raíces, cristalización, expansión de la arcilla); por esfuerzos transitorios tales como terremotos, o por movimientos tectónicos.

La reducción de la resistencia del material se puede deber a la disminución de la resistencia del material por cambios en el estado de consistencia. También puede ser por cambios en las fuerzas intergranulares (presión de los poros de agua, disolución); o por cambios en la estructura (disminución de la resistencia en el plano de falla, fracturamiento).

Dado lo anterior se pueden establecer unos factores causales internos para el desarrollo de los deslizamientos, como son la geología, los sismos y las aguas subterráneas; y otros externos, como el relieve, la vegetación, el clima y la actividad humana, donde el desarrollo del fenómeno de remoción es multicausal, con preponderancia mayor en unos factores que en otros, que en última instancia están controlados por el factor tiempo.

En cuanto a la geología como un primer factor que predispone a la ocurrencia del fenómeno, se debe a que la zona se ubica dentro de un sector de transición entre dos litologías, los neises al sur y las anfibolitas al norte, donde el grado de fracturación aumenta y la meteorización de la roca es más intensa, sobre la cual reposan unos depósitos de vertientes, donde se definieron por lo menos dos eventos, asociados con antiguos movimientos de masa, cuya composición son fragmentos angulares, parcialmente meteorizados envueltos en una matriz de textura limo-arcillosa, que corresponden con los materiales removilizados en el deslizamientos actual.

En cuanto a la geomorfología es un segundo factor importante que predispone al deslizamiento, ya que el sector corresponde con una concavidad del terreno, dentro de un sector donde se tienen antiguas huellas de deslizamiento, donde los depósitos quedan colgados en las vertientes, sobre unas laderas de fuerte pendiente. La identificación de las Unidades Morfodiámicas Independientes (UMI), indica que, si bien el Título Minero C5530 cobija el área afectada, las actividades mineras actuales estaban concentradas en un área diferente a la UMI donde se desarrolló el fenómeno.

Un factor detonante interno muy importante corresponde con las aguas subterráneas, las cuales se observan aflorando en la base del escarpe principal del deslizamiento, cuyas mediciones de caudal indican que el material deslizado, los depósitos de vertiente antiguos, eran saturados con aguas provenientes del Altiplano Central de Antioquia, con caudales mayores a 2 l/s, un aporte de agua importante más que el agua de infiltración de la ladera, donde dadas las condiciones de alta pendiente, la textura del suelo y los cálculos hidrológicos de tiempos de concentración en la cuenca donde ocurrió el fenómeno, indican que en el sector, las precipitaciones más que infiltrar escurren rápidamente en la vertiente.

La ladera donde ocurrió el deslizamiento es afectada por la presencia de ciertos acuíferos inconfinados presentes en los macizos rocosos parcialmente meteorizados, sobre los que se desarrollan un estrato superior de tendencia impermeable, que genera una sobrecarga en las vertientes y ocasionan los movimientos de masa, tal como lo evidencia investigaciones realizadas en la región por Salvá y Velásquez (2013) y Hoyos (2009), quién afirma que las aguas subterráneas del Valle de Aburrá son, en gran proporción provenientes de la cuenca del río Negro y de la cuenca del río Grande, y son la principal razón por las que se desestabilizan las laderas en el cañón del río Medellín.

Tal como lo comenta en su investigación Salvá y Velásquez (2013), los acuíferos inconfinados adicionan subpresiones a la ladera y generan inestabilidad en la misma y en casos críticos están asociados más con las precipitaciones que se desarrollan en el altiplano que las que se dan en las vertientes del cañón, lo cual es corroborado en el área de interés, que los aumentos de caudal en los afloramientos de agua del escarpe, se registraron después de lluvias intensas en el altiplano. Adicionalmente, los análisis de

estabilidad realizados en el Capítulo 7, muestran como la presencia y aumento de un nivel freático en la ladera, disminuye el factor de seguridad, volviéndolo crítico.

Vale la pena resaltar que una de las conclusiones importantes de la Investigación de Salvá y Velásquez (2013), muestra que los fenómenos de inestabilidad en la ladera oriental del Valle de Aburrá tienen un comportamiento marcado por la atura sobre el nivel del mar, entre las cotas 1.800 m.s.n.m. y 2.100 m.s.n.m. que es donde se presentan movimientos en masa con mayor frecuencia que en cualquier otra cota de la ladera, que corresponde con la franja donde afloran los niveles de aguas subterráneas, provenientes del altiplano y están dentro de la franja donde se ubica la zona afectada por el deslizamiento en la Cantera.

12. CONCLUSIONES

12.1 GEOLOGÍA

- El área de interés que cubre el terreno de explotación de la Cantera Las Nieves, se sitúa litológicamente sobre el Complejo El Retiro, corresponde a neises bandeados, localmente plegados y con estructura migmatítica, en algunas áreas se presentan intercalaciones de neises, neises miloníticos, y paquetes de anfibolitas neísicas y esquistos anfibólicos. También se pueden apreciar materiales no consolidados como depósitos de tipo flujo y de deslizamiento de alta variabilidad de la relación bloque – matriz, con bloque heterométricos.
- Las estructuras regionales hacen parte de un sistema de fallas de dirección N-W de dominio frágil - dúctil constituido por fallas y lineamientos cortas que han afectado las fajas de rocas metamórficas, así como posiblemente pudieron haber sido un detonante tectónico en la generación de los desgarres para la conformación los materiales dentro del área de estudio.
- En la geología local se pudieron identificar las diferentes unidades geológicas ya señaladas en instancias regional, sin embargo es importante mencionar las variedades de flujos encontrados los cuales presentan tanto cualidades geológicas (edad, estado de meteorización) como geotécnicas (grado de consolidación y compactación, parámetros geotécnicos) completamente diferentes. Otras relaciones geológicas entre estos flujo indican la ocurrencia de al menos otros dos eventos de deslizamientos en esta misma zona, lo cual indica una tendencia natural de zona a incurrir en remociones en masa sin no es tratado por procesos de estabilización.
- Las geoformas presentes en la zona dan cuenta de zonas de pendientes altas que persisten con geometrías elongadas continuas como es el caso de los escarpes, lomos, sin embargo también pueden presentarse morfologías superficies bajas de pendientes suaves tipo colinas, en suelos residuales y materiales de flujo.
- El área donde ocurrió el movimiento en masa presenta una clasificación de amenaza por movimientos en masa de media a alta, referidos a deslizamientos traslacionales,

rotaciones y flujos de detritos con bajo estado de protección para el suelo. Sin embargo es de anotar que en gran parte del título 5530, incluido los frentes de explotación la amenaza no supera la categoría media.

12.2 HIDROLÓGICO, HIDRÁULICO E HIDROGEOLÓGICO

- El deslizamiento y consecuente desvío del cauce de la quebrada Suramérica, hasta la quebrada Atajo, está generando efectos negativos importantes, relacionados con el aumento de caudal y transporte que sedimentos en dicha fuente receptora. Esto pone en riesgo el abastecimiento de agua de la comunidades que se benefician de dicha fuente.
- La zona del proyecto presenta un régimen de precipitación bimodal, con precipitaciones bajas en los meses de enero, febrero y marzo, y precipitaciones altas en los meses de septiembre, octubre y noviembre, con una precipitación media de 1723.7 mm/año.
- Las cuencas de las quebradas Suramérica y El Atajo, presentaron cuales medios de 6,56 L/s y 12,34 L/s, respectivamente.
- Los tres afloramientos identificados en el área del proyecto, presentaron caudales medios de 0,36, 1,87 y 2,08 L/s (23 de noviembre de 2016).
- Las medidas adoptadas para el control de afloramientos han consistido en recolección y transporte a fuentes cercanas; sin embargo, son medidas insuficientes y puede estarse saturando la masa de suelo del derrumbe con otros afloramientos no detectados.
- De acuerdo con el análisis morfométrico de las cuencas de las quebradas Suramérica y El Atajo, se resalta el grado escarpado de la pendiente, que influye en los procesos de erosión y cantidad y tamaño de los materiales arrastrados. Asimismo, se identificó que las cuencas presentan susceptibilidad a las crecidas.
- Dentro la cantera se seleccionó un punto para aforar la quebrada Suramérica. Al comparar el resultado del aforo con el caudal medio estimado para el mismo punto, se pudo ver que el primero resulta mayor que el segundo. El hecho de que el aforo presente un caudal mayor que el caudal medio estimado, podría explicarse considerando que la cuenca subterránea es mayor que la cuenca superficial; es decir, que el agua de la quebrada Suramérica proviene de otras zonas de recarga aledañas a la cuenca.
- A partir de una definición de un corte transversal a lo largo de la cuenca, se determinó un perfil del nivel freático de la cuenca del área del proyecto, definido por una forma convexa donde el punto de afloramiento se encuentra en la cota aproximada de 2194 m.s.n.m.
- Se propuso una solución hidráulica para el manejo de la quebrada Suramérica, que cosiste en la construcción de un canal escalonado, por ser uno de los mecanismos ampliamente aceptados para la disipación de energía en forma regulada.

- En el análisis geotécnico realizado para la zona del deslizamiento tanto como para el frente de explotación se ha hallado que, aun trabajando con parámetros conservadores, se pueden obtener factores de seguridad aceptables para el frente de explotación con las condiciones actuales del talud. Sin embargo, para la zona donde ocurrió el deslizamiento se hace necesario realizar las intervenciones mencionadas en el capítulo de hidrología.

12.3 GEOTECNIA

12.3.1 CONCLUSIONES ANÁLISIS GEOTÉCNICO ZONA DE DESLIZAMIENTOS.

- Los análisis regresivos sobre la topografía anterior al evento de remoción en masa, muestran que para una situación de estabilidad límite del talud, el material correspondiente al depósito de vertiente antiguo desplazado (QfIII) tiene parámetros geotécnicos de C=17 kPa y ángulo de fricción interna de 36º. Estos parámetros se consideran conservadores dada la incertidumbre en la exploración y en el número de ensayos realizados sobre las muestras recuperadas para este fin (Tabla 7-11).
- Los análisis de estabilidad realizados sobre la topografía actual, muestran que en general la ladera es estable y no presenta una superficie de falla global de la misma. Sin embargo, se observan superficies de fallas locales en dos puntos específicos donde los factores de seguridad son bajos y requieren análisis específicos.
- El primer talud localizado entre las cotas 2113 m.s.n.m y la 2126 m.s.n.m se observan factores de seguridad de 1,16 y 1,3 para las condiciones de nivel freático alto y medio respectivamente. Estos valores no cumplen con los factores de seguridad mínimos establecidos para este informe. Para garantizar la estabilidad del mismo, se requiere retirar el depósito de vertiente hasta llegar a la roca (Horizonte IIA) con el proceso de limpieza que se viene realizando actualmente. En caso de no encontrarse la roca y que el talud quede perfilado en material de depósito se debe implementar una pendiente de 1,0H:1,0V.
- El segundo punto crítico es la corona del deslizamiento donde aflora la roca, por lo que los análisis de estabilidad muestran factores de seguridad ideales de 1,46 y 1,48 para nivel freático alto y medio respectivamente. Sin embargo, dado que en la parte alta de la corona se encuentra un depósito colgado, este deberá ser permanente monitoreado para evitar posteriores caídas de material de dicha zona.
- Los factores de seguridad obtenidos son susceptibles a los cambios de nivel freático y aguas de infiltración. Por lo tanto, se requiere realizar obras de drenaje tales como drenes horizontales en pata de los bancos para la disipación de presiones de poros y cuentas que evacuen adecuadamente las aguas de infiltración y de nivel freático.

12.3.2 CONCLUSIONES FRENTE DE EXPLOTACIÓN

- La zona de explotación está conformada por un macizo rocoso de calidad media, el cual geotécnicamente es de buenas características evidenciándose las altas pendientes de la ladera sin presentar vestigios de deslizamientos o procesos activos de deslizamientos.
- El análisis de estabilidad por equilibrio límite, da como resultado que el macizo rocoso es estable presentando factores de seguridad mayores a 1.5 en condiciones estáticas y 1.05 para condiciones seudo estáticas.
- Los análisis cinemáticos muestran que las estructuras presentes en el macizo rocoso pueden configurar diferentes tipologías de fallas, bien sea planar o por volcamiento, que son locales y dentro de la Unidad Morfodinámica 2, donde está la extracción minera que se ejecuta actualmente.

12.4 ANÁLISIS VOLADURAS EN LA CANTERA LAS NIEVES

- En el estudio de voladuras realizado por la empresa ORICA, los registros muestran velocidades, aceleraciones y desplazamientos causados por las vibraciones con valores muy pequeños, donde los máximos registrados por los sismógrafos fueron 1,572 mm/s, 0,06 g y 0,010 mm respectivamente. Además, la máxima duración registrada para un evento fue de 1,896 s. Estos resultados indican que las voladuras no influyeron en el movimiento en masa ocurrido en la zona de la cantera, debido a que las aceleraciones producidas son muy bajas y la duración de la excitación dinámica (ondas sísmicas producidas por la voladura) es muy corta.
- La comparación que se realizó de la máxima aceleración generada por las voladuras con la máxima aceleración esperada según la microzonificación sísmica del Valle de Aburrá, muestra que la máxima aceleración producida por la voladuras es 13,3 veces menor a la aceleración máxima esperada en la microzonificación sísmica del Valle de Aburrá; además, los intervalos de frecuencia dominante producidos por la voladuras (12,7 Hz a 20,9 Hz) se encuentran por fuera del intervalo de resonancia del suelo de la zona de deslizamiento (1,43 Hz a 5Hz). De acuerdo a lo anterior, se concluye de nuevo que las vibraciones generadas por las voladuras en la cantera Las Nieves no tuvieron incidencia en el movimiento en masa ocurrido en la zona adyacente.

12.5 CONCLUSIONES DEL DESLIZAMIENTO

- Los análisis geológicos, geomorfológicos, hidrológicos superficiales y subterráneos y las evaluaciones de susceptibilidad a los deslizamientos, indican que existen tres

factores internos importantes que causaron el movimiento del 26 de octubre de 2016, uno son los materiales afectados, que están asociados con depósitos de antiguos movimientos de masas, los cuales reposan sobre un macizo rocoso muy fracturado y meteorizado, dentro de la zona de transición de los neises y las anfibolitas.

- El segundo factor se relaciona con la geomorfología, donde la zona afectada se ubica dentro de una región cóncava, de alta pendiente, delimitada por huellas antiguas de movimientos, dentro de un área modelada sobre depósitos de vertiente colgados. Un tercer factor importante y detonante son las aguas subterráneas, corroborado por los afloramientos presentes en el área de interés, por los análisis hidrológicos, cuya cuenca subterránea es mayor que la cuenca superficial; es decir, que el agua de la quebrada Suramérica proviene de otras zonas de recarga aledañas a la cuenca, es decir en el deslizamiento influye más el agua subterránea que el agua superficial, además, que los tiempos de concentración y las pendientes de las vertientes, indican que el agua de caída directa por precipitación es su mayoría escurre más que infiltrar.
- Vale la pena anotar que el deslizamiento ocurrió por fuera de la zona de trabajo de explotación minera directa de la cantera, dentro de una unidad morfodinámica diferente. En la zona afectada no se adelantaban trabajos mineros y su intervención se dio en el 2011, mediante la conformación de unas bermas, que más que afectar o propender hacia el desarrollo del movimiento, descargaron el talud, conforme lo planteado y aprobado por la Autoridad Minera (Secretaría de Minas), en el PTI de 2006.
- De los análisis con fotografías e imágenes satelitales se concluye que la zona del deslizamiento, presenta una afectación baja por actividades humanas, ya que solo en el 2011 se realizaron movimientos exploratorios buscando explotar dicha sector, sin embargo, no fue intervenido en los años posteriores, manteniendo la cobertura vegetal y sin presentar signos de inestabilidad.
- También se nota que la parte baja del deslizamiento no hace parte de la explotación proyectada, por lo que **no** se puede afirmar que la base de la ladera fue afectada, despatándola y generando el deslizamiento que posteriormente se presentó. Se recuerda que los materiales encontrados en la zona alta del deslizamiento (y los que posteriormente se desplazaron) correspondían a un depósito de vertiente antiguo, el cual asociado a la dinámica hidrológica subterránea generó el movimiento del mismo. Diferente a los materiales encontrados en la zona norte de explotación donde aflora el macizo rocoso masivo y con fracturas favorables a la estabilidad, el cual se caracterizó mostrando factores de seguridad altos en los análisis de estabilidad realizados para las condiciones actuales.
- A partir de las tomografías geoeléctricas se precisan valores de resistividades altas (líneas 1-2-3-4), concordante con la unidad litológica de rocas metamórficas

presentes en el área y sobre las que se realiza la actividad minera actual (hacia el norte de las líneas). Así mismo, los valores bajos de resistividades presentes en las líneas 5, 6, 7, 8 permiten inferir filtraciones y saturación de aguas a través de fallas, fracturas y/o diaclasas. Estos bajos resistivos se presentan de forma puntual, marcando posiblemente afloramientos focales de agua. Evidenciando estos puntos de aguas, en junio de 2009 se radica ante CORANTIOQUIA un informe sobre afloramientos de aguas subterráneas presentes en esta zona (Cantera Las Nieves, 2009).

13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AMVA. 2006. Microzonificación sísmica del Valle de Aburrá.
- AMVA. 2009. Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el Valle de Aburrá. Formulación de propuestas de gestión.
- CANTERA LAS NIEVES. 2009. Informe sobre afloramientos de aguas subterráneas. Canteras Las Nieves, Licencia 5530. Radicado en Corantioquia el 08 de Junio de 2009. Medellín. 13p.
- CHOW, Ven Te; Maidment, David R., y Mays, Larry W. 1994. Hidrología Aplicada. Edit. McGraw Hill. Santafé de Bogotá.
- EEPPM. 2005. Revista HidrometeorológicaVol 1. Departamento de Hidrometría e Instrumentación, Empresas Públicas de Medellín.
- EL COLOMBIANO. 2016. http://m.elcolombiano.com/derrumbe-autopista-medellin-bogota-HC5242889.
- INGEOMINAS. 2005. Geología de la Plancha 147 Medellín Oriental. Memoria Explicativa. Bogotá D.C. 1415 p.
- INGEOMINAS. 2010. Geología de la Plancha 147 Medellín Oriental. Escala 1:100.000 Versión Digital. Bogotá D.C.
- INGEOMINAS & UNIVERSIDAD NACIONAL. 2010. Mapa Nacional de Amenaza, escala 1:1.500.000.
- González A.J. Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT. X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana - SCI -SCG – 1999.
- Hoyos,F.(2009). Academia.edu. Recuperado de http://unal.academia.edu/Fabi%C3%A1nHoyosPati%C3%B1o/Papers/1446923/ NOTAS_SOBRE_LA_HIDROGEOLOGIA_DE_LA_ZONA_CENTRAL_DE_ANTIOQUIA.
- ORICA. 2015. Informe Monitoreo de Vibraciones en La Cantera Las Nieves. Bogotá D.C. 26p.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO –SGC. 2017a. Red Sismológica Nacional de Colombia. http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Amenaza_Sismica/. Consultado en Mayo de 2017.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO –SGC. 2017b. Red Sismológica Nacional de Colombia. http://bdrsnc.sgc.gov.co/paginas1/catalogo/consulta_general_3.php?dep=CORDOBA. Consultado en Mayo de 2017.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO – SGC. 2014a. Glosario de unidades y subunidades geomorfológicas. Bogotá D.C. 50p.

- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO – SGC. 2014b. Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000. Plancha 147 – Oriental. Medellín. 95p.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO – SGC. 2014c. Memoria explicativa de la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000. Plancha 147 – Oriental. Medellín. 35p.
- TELEMEDELLÍN. 2016. http://telemedellin.tv/deslizamiento-en-autopista-medellin-bogota/149384/.
- SALVÁ RAMÍREZ MARISOL & VELÁSQUEZ PÉREZ ALEJANDRO. Mecanismo de Falla en Deslizamientos Profundos en Laderas de alta pendiente del Valle de Aburrá. 2013. Tesis de Grado en Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería de Antioquia.
- SIATA. 2017. https://siata.gov.co/siata_nuevo/. Consultado en Junio de 2017.
- TROPICAL INGENIERÍA Y CONSULTORÍA LTDA. 2016. Caracterización geológica a partir de tomografía geoeléctrica, Cantera Las Nieves, Copacabana (Antioquia). Bogotá D.C. 36p.

Cumplimiento al artículo 226 de la Ley 1564 de 2012.

De conformidad con lo establecido en el articulo 226 del Código General del Proceso, se anexa dictamen realizado por el GRUPO SOLUM, identificado con numero de Nit 900.436.290-6, con sede en la Ciudad de Medellin; localizada en la dirección Carrera 83 N° 32 EE 44 Medellin Antioquia, con abonado telefónico (4) 511 45 24

.El presenta dictamen se presenta bajo la gravedad de juramento, siendo una opinión independiente y seria, donde participaron en su elaboración los siguientes profesionales:

1) Norbey Arcila Quintero, identificado con numero de cedula 1.152.188.972.
   - Dirección Calle 41#77-22 de la ciudad de Medellin.
   - Abonado telefónico 315-817-51-06
   - Correo Electrónico: narcilaq@unal.edu.co
   - Profesión: Ingeniero Geólogo
   - Actualmente no se encuentra inmerso en ninguna de las causales contenidas dentro del artículo 50 de la ley 1564 de 2012-
   - Haciendo la salvedad que dentro de los procesos donde se encuentra la demandada Agregados y Proyectos Mineros de Antioquia, ha participado en el momento que se ha incorporado dicho informe técnico de Solum, a dichos procesos como testigo técnico
   - Declarando que en todos y cada uno de los exámenes, métodos utilizados, e investigaciones efectuados en el dictamen han sido los mismos para los diversos procesos.
   - Declarando que los métodos, exámenes, experimentos e investigaciones efectuadas dentro del desarrollo del presente dictamen se ajustan a el ejercicio regular de la profesión.
   - Manifiesta además bajo la gravedad de juramento que en dicho dictamen su opinión es independiente y corresponde a su convicción profesional.

Por lo anterior se relacionan copia de la hoja de vida del ingeniero Norbey Arcila Quintero, junto con el soporte de experiencia profesional.

2) José Luis Velásquez Serna, identificado con numero de cedula 1.037.591.036

- Dirección Calle 7 # 81-107 apartamento 1102
- Abonado telefónico 320-609-31-53
- Correo Electrónico: jlveasqs@gmail.com
- Profesión: Ingeniero Civil
- Actualmente no se encuentra inmerso en ninguna de las causales contenidas dentro del artículo 50 de la ley 1564 de 2012-
- Haciendo la salvedad que dentro de los procesos donde se encuentra la demandada Agregados y Proyectos Mineros de Antioquia, ha participado en el momento que se ha incorporado dicho informe técnico de Solum, a dichos procesos como testigo técnico
- Declarando que en todos y cada uno de los exámenes, métodos utilizados, e investigaciones efectuados en el dictamen han sido los mismos para los diversos procesos.
- Declarando que los métodos, exámenes, experimentos e investigaciones efectuadas dentro del desarrollo del presente dictamen se ajustan a el ejercicio regular de la profesión.
- Manifiesta además bajo la gravedad de juramento que en dicho dictamen su opinión es independiente y corresponde a su convicción profesional.

3) Revisado por el profesional Carlos Eduardo Parra Vargas, identificado con numero de cedula 71.647.477 de Medellin y tarjeta profesional 1149 del C.P.G

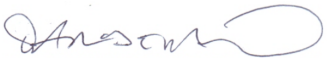
- Dirección Carrera 83 # 32 EE 44
- Abonado telefónico 3005743850
- Correo Electrónico: ceparra@gruposolum.co
- Profesión: Ingeniero Geólogo
- Actualmente no se encuentra inmerso en ninguna de las causales contenidas dentro del artículo 50 de la ley 1564 de 2012-
- Haciendo la salvedad que dentro de los procesos donde se encuentra la demandada Agregados y Proyectos Mineros de Antioquia, ha participado en el momento que se ha incorporado dicho informe técnico de Solum, a dichos procesos como testigo técnico

- Declarando que en todos y cada uno de los exámenes, métodos utilizados, e investigaciones efectuados en el dictamen han sido los mismos para los diversos procesos.
- Declarando que los métodos, exámenes, experimentos e investigaciones efectuadas dentro del desarrollo del presente dictamen se ajustan a el ejercicio regular de la profesión.
- Manifiesta además bajo la gravedad de juramento que en dicho dictamen su opinión es independiente y corresponde a su convicción profesional.

Los cuales entienden a plenitud que el presente dictamen fue realizado bajo su convicción profesional, para lo cual se anexa las hojas de vida de cada uno de los profesionales, en aras de dar cumplimiento a lo establecido en el artículo 226 de la ley 1564 de 2012.

_____
Norbey Arcila Quintero
Cc 1.152.188.972.

_____
José Luis Velásquez Serna
Cc 1.037.591.036



_____
Carlos Eduardo Parra Vargas
Cc: 71.647.477

NORBEY ARCILA QUINTERO

DATOS PERSONALES

Lugar y fecha de nacimiento	:	Cartagena, octubre 3 de 1980
Cedula de ciudadanía	:	1152188915
Estado civil	:	Soltero
Dirección de residencia	:	calle 41 #77-22
Teléfonos	:	413 6703 - 315 817 5106
Correo electrónico	:	narcilaq@unal.edu.co

PERFIL PROFESIONAL

Soy ingeniero geólogo con amplios cursos de formación tanto nacional como internacional, y experiencia de trabajo en empresa privada y en la academia. Poseo experiencia como: Monitor Académico en microscopia de minerales de mena; Estudiante Auxiliar en proyectos investigativos en caracterización de materiales en procesos mineralógicos; contratos de prestación de servicio en perforación y loggeo en minas subterránea y superficie, ingeniero geólogo en proyectos de geotecnia, gestión del riesgo y estudios de suelos; profesor catedrático de geología en la ingeniería, y consultor en proyectos de geotecnia, y cartografía geológica.

Recientemente me desempeñé como ingeniero geólogo encargado de la caracterización y mapeo geológico del costado occidental de la zona urbana de Medellín y sus zonas de expansión como parte del proyecto: Armonización de la Microzonificación Sísmica de la Municipios del Valle de Aburrá. Realizando cartografía y mapeo geológico, geomorfológico de riesgos y amenazas, mediante interpretación de bases topográficas, fotografías aéreas y campañas de campo. Además presto servicios de consultoría en caracterización de materiales en estudios hidrológicos para centrales hidroeléctricas, y consultor en proyectos de geotecnia.

Poseo conocimientos en valoración de propiedades mineras, caracterización de materiales, geotecnia, y gerencia de proyectos, con dominio de diversos softwares e idioma inglés, y con disposición y capacidad a aprender cosas nuevas.

Soy persona emprendedora, respetuosa, proactiva, líder y perseverante, con gran sentido de pertenencia, alta capacidad de adaptabilidad al cambio, pensamiento analítico y trabajo en equipo, que procura aportar ideas y soluciones en las diferentes áreas en las cuales se desempeña, orientado a resultados sobresalientes incluso bajo condiciones de presión.

EXPERIENCIA LABORAL

Empresa	:	Geo^2 S.A.S.
Cargo	:	Ingeniero Geólogo de Cartografía
Jefe Inmediato	:	Msc. Diego Armando Rendón Giraldo
Periodo	:	Mayo de 2016 – Actualidad
Contacto	:	300 615 79 72 Gerencia.geo2@gmail.com

Responsabilidades:

Realizar la cartografía de detalle en escala 1:4.000 del costado occidental de la zona urbana de Medellín y sus zonas de expansión como parte del proyecto: Armonización de la Microzonificación Sísmica de la Municipios del Valle de Aburrá como contratista para el Área Metropolitana de Valle de Aburrá. Esta cartografía incluye la identificación de todas las unidades litológicas superficiales y procesos morfodinámicos, mediante la lectura de planchas topográficas, interpretación de fotografías aéreas, y campañas de campo para posteriormente mapearlas mediante herramientas de SIG

Logros

Preparar, coordinar, y desarrollar exitosamente campañas cartográficas mediante la identificación y delimitación de formaciones superficiales, y procesos morfodinámicos, desde la etapa de pre-campo, campo, y post campo. Realizar recolección y evaluación de información relevante para cartografía geológica y geotécnica, mediante la revisión de estudios de suelos, registros de perforación y proyectos de cartografías geológicas y geotécnicas previas. Ejecutar y desarrollar mapas cartográficos físicos y digitales de los distintos aspectos geológicos y geomorfológicos identificados durante el transcurso del proyecto.

EXPERIENCIA LABORAL

Empresa	:	Universidad Cooperativa de Colombia.
Cargo	:	Docente de Geología en Ingeniería
Jefe Inmediato	:	Msc. Oscar E. Rodríguez González
Periodo	:	Febrero de 2016 – Mayo de 2016
Contacto	:	318 820 01 16 oringconsultores@gmail.com

Responsabilidades:

Preparar y dictar clases alusivas a geología en la ingeniería. Preparara y calificar evaluaciones basadas en las clases preparadas. Realizar salidas al campo donde se permita ejecutar conocimientos obtenidos durante las clases preparadas.

Logros

Permitir y facilitar el conocimiento de la geología y en diferentes áreas de la ingeniería para diversos grupos de estudiantes. Encaminar a grupos de estudiantes en la importancia del conocimiento de la geología para el desarrollo de diversos proyectos de ingeniería.

EXPERIENCIA LABORAL

Empresa	:	SENGKO S.A.S
Cargo	:	Ingeniero Geólogo Consultor
Jefe Inmediato	:	Ing. Tomás Molina
Periodo	:	Febrero de 2016 - Actualidad
Contacto	:	311 337 69 57 tamolina@gmail.com

Responsabilidades:

Participar en la coordinación y toma de decisiones con respecto a proyectos de diseño geológico – geotécnico para diversas obras civiles, cómo puentes, vias, casas y parcelaciones, aportando para el diseño de los mismo mediante la utilización de diversos softwares y criterios geológicos

Logros

Aportar desde el área de la geología al diseño exitoso de diversos proyectos de ingeniería e infraestructuras, incluso bajo condiciones geológicas complejas.

EXPERIENCIA LABORAL

Empresa	:	Suelos y Estructuras Ingeniería S.A.S
Cargo	:	Auxiliar de Geología – Ing Geólogo
Jefe Inmediato	:	Msc. Oscar E. Rodríguez González
Periodo	:	Octubre de 2014 – MAyo de 2016
Contacto	:	(4) 448 85 46 Ext. 138 - 318 820 01 16 suelosyestructurasing@gmail.com

Responsabilidades:

Participar en la coordinación y toma de decisiones con respecto a las perforaciones realizadas ya sea para la ubicación, profundidad, y personal requerido para diferentes proyectos con diferentes equipos y metodologías de perforación. Realizar análisis geológico de las muestras recuperadas (Loggeo), con el fin de revelar aspectos de ámbito geológico que tengan injerencia en el desarrollo de los proyectos. Dar indicaciones sobre el diseño geotécnico concerniente para cada proyecto mediante la utilización de criterios geológicos y análisis mediante el uso de softwares.

Logros

Aportar formatos y metodología de perforación en estudios geotécnicos de suelos y rocas Contribuir en diseños y componentes técnicos geológicos a los informes geotécnicos. Cooperar con formatos y hojas de cálculo para diseños geotécnicos. Participar en el diseño de más de 50 proyectos de infraestructura algunos de interés municipales como: el diseño geotécnico de muros de contención en el colegio maestro La Sierra en el municipio de Medellín; y el diseño geotécnico de tanques de agua para la prevención de incendios en el cerro Quitasol en el municipio de Bello

EXPERIENCIA LABORAL

Empresa	:	Agroindcol S.A.S
Cargo	:	Consultor de Caracterización
Jefe Inmediato	:	Ing. Gyna Jamaica
Periodo	:	Septiembre de 2015 - Actualidad
Contacto	:	(2) 374 95 43 - 301 360 18 33 agroindcolsas@gmail.com

Responsabilidades:

Asesorar sobre técnicas de caracterización con respecto a su utilidad, usabilidad y alcance, en la caracterización de sedimentos con el fin de realizar estudios hidrológicos para centrales hidroeléctricas. Dentro de las técnicas de caracterización empleadas están: Microscopia Óptica de Luz Transmitida (MOLT), Difracción de Rayos X (DRX), Microscopia Electrónica de Barrido (SEM). Realizar, preparar, y analizar las muestras de Secciones Delgadas para el análisis, de MOLT. Realizar y preparar las muestras de Secciones Pulidas para análisis de SEM

Logros

Aportar en la coordinación para toma, tratamiento y finalmente la realización de ensayos de caracterización de diferentes muestras en pro de aportar a estudios hidrológicos para centrales hidroeléctricas. Desarrollar exitosamente la preparación y caracterización de muestras para ensayos de MOLT y SEM

EXPERIENCIA LABORAL

Empresa	:	Universidad Nacional de Colombia Laboratorio de Carbones – Gobernación de Antioquia
Cargo	:	Geólogo de perforación, muestreo y loggeo
Jefe Inmediato	:	Msc. Luis Dethere Caro González
Periodo	:	Septiembre 2014 - Enero 2015
Contacto	:	321 607 21 23 - 316 344 44 90 ldcarog@unal.edu.co

Responsabilidades:

Coordinación de equipo de trabajo de perforación, direccionamiento de taladro, recuperación de muestras y posterior loggeo de las mismas, para el Proyecto "Determinación del Grado de Explosividad del Polvo de Carbón y Cuantificación del Contenido de Gas Metano en los Mantos de Carbón de la Cuenca de La Sinifaná" dirigido por el laboratorio de Carbones de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín y la Gobernación de Antioquia.

Logros

Direccionamiento exitoso de taladros de perforación en sondeos de hasta 50 metros de profundidad dentro de mantos de carbón en minas subterráneas, acompañamiento constante en la programación de muestreo y loggeo de material recuperado de los sondeos realizados. Adquisición de experiencia y conocimientos, y aplicación de las mismas en perforaciones de suelo y roca en mina subterránea como en superficie.

EXPERIENCIA LABORAL

Empresa	:	Universidad Nacional de Colombia Laboratorio de Bio-mineralogía
Cargo	:	Estudiante Auxiliar
Jefe Inmediato	:	Msc. Laura María Muñoz Echeverry
Periodo	:	Octubre 2011 – Noviembre 2012
Contacto	:	317 397 43 17 Immunoze@gmail.com

Responsabilidades:

Análisis en la mineralogía de procesos en el proyecto "Biooxidación de Sulfuros Refractarios como Opción de Pre-tratamiento en la Recuperación de Oro y otros Metales Valiosos en Residuos de Minería", mediante la elaboración y análisis de secciones delgadas y pulidas, Difracción de Rayos X (DRX), Procesamiento Digital de Imagen, y Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR). Elaboración de informes mensuales acerca de los avances del proyecto. Acompañamiento analítico y operativo en la caracterización de materiales en los demás proyectos investigativos desarrollados en el laboratorio.

Logros

Cooperar en la caracterización de materiales de numerosas tesis de Maestría. Adquisición de experiencia y conocimientos, y aplicación de las mismas en la caracterización de materiales y seguimiento de procesos mineralógicos en beneficio de minerales.

Empresa	:	Universidad Nacional de Colombia Escuela de Geociencias
Cargo	:	Monitor Académico
Jefe Inmediato	:	PhD. Marco Antonio Márquez Godoy
Periodo	:	Febrero 2011 – diciembre 2011
Teléfono	:	317 643 48 62

Responsabilidades:

Prestar acompañamiento y asesoría estudiantil en la asignatura "Mineralogía Óptica de Luz Reflejada", mediante horarios establecidos de solución en dudas teórico–prácticas de dicho curso. Además de suplir al docente de la asignatura en clase durante sus ausencias programadas.

Logros

Adquisición de experiencia y conocimientos, y aplicación de las mismas en mineralogía y petrografía de menas

INFORMACIÓN ACADÉMICA

Primaria	:	Colegio De La Salle Cartagena - 2001
Secundaria	:	Colegio De La Salle Cartagena – 2004 Institución Educativa Fatima Nutibara Medellín – 2007
Titulo Obtenido	:	Bachiller Académico
Universitarios	:	Ingeniería Geológica Universidad Nacional De Colombia Sede Medellín – 2016
Titulo Obtenido	:	Ingeniero Geólogo

CONOCIMIENTOS INFORMÁTICOS:

Microsoft Word:	Excelente
Microsoft Power Point	Excelente
Microsoft Excel	Excelente
Microsoft Project	Regular
ArcGis 10.1	Excelente.
AutoCad	Regular
Slide 6.0	Bueno
Dips 7.0	Bueno
Image Pro plus	Bueno

IDIOMAS

Idioma nativo: Español
Idioma Extranjero: Inglés, dominio del 70%

Idioma	Lectura					Escritura					Habla					Escucha				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Ingles				X				X						X					X	
valoración en una escala de 1 a 5 (1 Mal/2 Regular/3 Bien/4 Muy Bien/ 5 Excelente)																				

SEMINARIOS, CURSOS Y TALLERES

I Taller de la Red Minera XXI.
Proyectos, Iniciativas, y Técnicas aplicadas a la caracterización y aprovechamiento de recursos geológico-mineros.
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas.
Medellín, 24 de Agosto de 2011

Curso de SURPAC VISION Nivel Básico.
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas.
Medellín, 17 de junio del 2012

Diplomado Validación y Valoración De Propiedades Mineras.
Corporación para el Avance de la Geología, la Geotecnia y La Minera en Armonía con el Medio Ambiente – CORPOGEMMAS.
Medellín, del 28 de septiembre al 2 de diciembre del 2012

Curso Evaluación de Recursos Mineros.
Corporación para el Avance de la Geología, la Geotecnia y La Minera en Armonía con el Medio Ambiente – CORPOGEMMAS.
Medellín, del 28 de Febrero al 2 de Marzo del 2013.

XIV Congreso Colombiano de Geología y Primer Simposio de Exploradores
Sociedad Colombiano de Geología, Departamento de Geociencias de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, y Servicio Geológico Colombiano.
Bogotá, del 31 de Julio al 2 de Agosto del 2013.

XVII CONGRESO COLOMBIANO DE MINERÍA
Universidad Nacional de Colombia-Ministerio de Minas-Gobernación de Antioquia
Medellín, del 25 al 27 de Septiembre del 2013.

PASANTÍA INTERNACIONAL: FIELD TRIP TO THE WORLD CLASS DEPOSITS OF NORTHERN OF CHILE.
SEG – Student Chapter - Universidad Nacional de Colombia.
Chile, del 25 de enero al 10 de febrero del 2014.
Publicado en SEGWEB.ORG: http://www.segweb.org/pdf/students/student-chapters/universidad-nacional-de-colombia-sede-medellin/Field-Trip-Report.pdf

XI SEMANA TÉCNICA DE GEOLOGÍA & I GEOSCIENCES ANNUAL MEETING
Bucaramanga del 11 al 15 de Agosto de 2014

I SIMPOSIO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EN GEOLOGÍA E INGENIERÍA GEOLÓGICA – UNALMED (PONENTE)
Grupo de Investigación En Geología y Geofísica "Egeo" - Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín
Medellín, 9 y 10 de Octubre de 2014

CURSO GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS CON MICROSOFT PROJECT
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agrarias
Medellín, septiembre 014 - octubre 2014

CURSO EXCEL INTERMEDIO
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias Económicas
Medellín, mayo 2015 - julio 2015

CURSO EXCEL FINANCIERO
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias Económicas
Medellín, julio 2015 – 10 de Septiembre

CURSO GERENCIA DE PROYECTOS
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Minas.
Medellín, julio 2015 – 18 de septiembre de 2015

REFERENCIAS PERSONALES

OSCAR JAVIER JARAMILLO R.
Ingeniero. Geólogo Msc
Petrógrafo Acreditado ICCP (www.iccop.org)
Interventor Proyecto CBM-Explosividad de Carbones (Gobernación de Ant. - U. Nacional)
Contacto: 314 84 35 43 - ojaramillo11@gmail.com

DIEGO ARMANDO RENDÓN RIVERA
Ingeniero. Geólogo Msc)
Profesor, universidad Nacional de Colombia
Gerente Geo2 S.A.S.
Contacto: 300 6157972 - gerencia.geo2@gmail.com

DANIEL F. CALVO TREJOS
Ingeniero Civil
Departamento de Diseño Geotécnico CONSULCIVIL S.A.S
Contacto: 301 430 71 01 - dfcalvo@gmail.com

AURELIO GOMEZ GONZALEZ

NACIONALIDAD:	Colombiano
FECHA DE NACIMIENTO:	7 de abril de 1955 Salamina -Caldas
DOCUMENTO DE IDENTIDAD:	C.C. 10.530.462 de Popayán
DIRECCION:	Carrera 84A N° 9-07 augomez@gmail.com Teléfono 342 63 38 Medellín - Colombia
PROFESION:	Ingeniero Civil
FECHA DE GRADO:	21 de diciembre de 1979
MATRICULA PROFESIONAL:	1920202786 del Cauca
POSGRADO:	Magíster en Ingeniería Ambiental
FECHA DE GRADO:	28 de febrero de 2003
IDIOMAS A NIVEL DE TRABAJO:	Inglés y Francés.

PERFIL PROFESIONAL

Ha participado en estudios y diseños, y en la revisión de estudios de grandes proyectos hidroeléctricos y similares, en sus diferentes etapas o fases, mediante aplicación de conocimientos de hidráulica, mecánica de rocas, estructuras, hidrología, hidrogeología y otros; en las obras que conforman estos proyectos como son: estructuras de captación y de descarga, túneles y cavernas subterráneas, plazoletas, vías de acceso, ataguías.

Ha trabajado como asesor técnico, interventor y coordinador en diseños de acueductos y alcantarillados; como asesor en construcciones en las áreas de estructuras, geotecnia e hidráulica, y como director de obra de un proyecto vial. Ha elaborado, coordinado y asesorado diseños estructurales, hidráulicos, estudios geotécnicos y estudios de hidrología.

Ha participado en diseños de rellenos sanitarios como coordinador y como asesor.

Ha coordinado y participado en estudios de impacto ambiental y planes de manejo ambiental, y participado como interventor ambiental en proyectos de construcción estatales.

Ha participado en estudios hidrogeológicos.

Se ha desempeñado como catedrático en varias universidades, en las áreas de hidráulica, hidrología, geotecnia y estructuras.

Realizó el Trabajo de Investigación PRUEBA A LA VALIDEZ DE ALGUNAS FUNCIONES PARA MEDIR EL TIEMPO DE VIAJE DEL AGUA EN MEDIOS POROSOS NO SATURADOS, dentro del tema de Vulnerabilidad a la Contaminación de Acuíferos, como etapa final de los estudios de Maestría en Ingeniería Ambiental.

ESTUDIOS PROFESIONALES

Ingeniería Civil: Facultad de Ingeniería Civil, Universidad del Cauca, Popayán -Colombia-, marzo, 1974-diciembre, 1979.

Hidrogeología: XX Curso de Hidrogeología "Noel LLopis", Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, Madrid -España-, enero -julio 1986.

Maestría en Ingeniería Ambiental. Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Medellín - Colombia -. Enero de 1999 a febrero de 2003.

CURSOS ESPECIALES

Seminario sobre la norma ACI 318-77, Instituto Colombiano de Productores de Cemento, Cali, agosto, 1979.

II Conferencia Regional de Geotecnia del Occidente Colombiano, Universidad del Cauca, Popayán, noviembre, 1979.

Tecnología de la pavimentación, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad del Cauca, Popayán, febrero-julio 1979.

Estructuras metálicas, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad del Cauca, Popayán, julio-diciembre, 1979

Estabilidad de Taludes, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad del Cauca, Popayán, julio-diciembre, 1979.

Mecánica de rocas, Instituto de Vías, Universidad del Cauca, abril, 1981.

Seminario sobre cálculo y diseño estructural de obras hidráulicas, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad del Cauca, Popayán, septiembre 1991.

Estudios personales teóricos y prácticos sobre Planeación Participativa.

Ciclo Financiero Básico. Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, julio a noviembre de 1995.

Conceptos Básicos en Diseño y Construcción de Redes Domiciliarias de Gas. Curso organizado por AINSA, ACIEM Y SOTECC. Medellín, 16 al 27 de abril de 1996

AUTOCAD. Universidad de Medellín, Centro de Cómputo. Febrero - mayo de 1996.

Ingeniería del Drenaje Urbano. Universidad de Antioquia, AINSA y ACODAL. Intensidad 30 horas. Medellín, septiembre 1996.

Introducción a los Sistemas de Información Geográfica –ARCVIEW-. Universidad de Antioquia, Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Intensidad 20 horas. Medellín, octubre 1999.

Curso Taller “Hidrología de Medios Porosos No Saturados: Modelación y Aplicación a la Recarga de Acuíferos y a Problemas de Riegos y Drenajes”. Comisión Fulbright e Instituto de Ciencias Naturales y Ecología de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Orientador: Dr. Jan Hendrickx. Profesor Asociado New Mexico Tech. USA. Intensidad 30 horas. Junio de 2000.

Curso Taller “Flujo de Agua y de Contaminantes en Medios Porosos No Saturados”. Comisión Fulbright e Instituto de Ciencias Naturales y Ecología de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Orientador: Dr. Jan Hendrickx. Profesor Asociado New Mexico Tech. USA. Intensidad 18 horas. Junio de 2000.

Curso “Diseño de Alcantarillado”. Curso organizado por el Instituto Colombiano de Productores de Cemento, ICPC. Intensidad 27 horas. Medellín, marzo de 2004.

Curso de Capacitación de las Normas de Diseño de Acueductos de las Empresas Públicas de Medellín E.S.P., dictado por el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Los Andes, con una intensidad de 40 horas. Medellín, marzo de 2007.

PUBLICACIONES

"Criterios y elementos básicos para el revestimiento de túneles y pozos hidrotécnicos”. Universidad del Cauca, Popayán. Septiembre de 1991.

EXPERIENCIA DOCENTE

Cátedra: Análisis Estructural I
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad de Medellín, 1987 - II

Cátedra: Estructuras Hidráulicas
Ingeniería Civil
Escuela de Ingeniería de Antioquia, 1990 - I

Cátedra: Acueductos y Alcantarillados
Ingeniería Civil
Escuela de Ingeniería de Antioquia, 1990 - II , 1993 - II y 1994 - II.

Cátedra: Obras Hidráulicas
Ingeniería Civil
Universidad Eafit, 1990 - II , 1993 - II y 1994 - II.

Cátedra: Hidráulica Aplicada
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad de Medellín, 1991 y 1992 - I

Cátedra: Hidráulica

Ingeniería Civil
Escuela de Ingeniería de Antioquia, 1992 - II y 1993 - II

Cátedra: Hidrología
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad de Medellín, 1995, 1996 ,1997 - I.

Cátedra: Mecánica de Suelos I
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad de Medellín, 1996 - II y 1997 I.

Cátedra: Mecánica de Fluidos e Hidráulica
Diplomado sobre Instalaciones y Redes de Gas
Facultad de Ingeniería Civil
Universidad de Medellín, 1998 - I

Cátedra: Sistemas de Abastecimientos de Agua
Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Sanitaria
Universidad de Antioquia, 1997 - ll a 2003-ll, 2004-ll a 2007-l.

Cátedra: Laboratorio de Mecánica de Suelos
Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Sanitaria
Universidad de Antioquia, 2001-l a 2003 -l.

Cátedra: Hidrología
Facultad Nacional de Salud Pública
Administración en Salud con Énfasis en Sanitaria y Ambiental
Universidad de Antioquia, 2001-l a 2004-l, 2005-2

Cátedra Posgrado: Diseño de Drenajes en Vías Terrestres
Facultad de Ingeniería. Especialización en Vías Terrestres
Universidad Pontificia Bolivariana - Bucaramanga -, enero - marzo 2001

Cátedra: Centrales Hidroeléctricas
Ingeniería Civil
Universidad Eafit, 2006-I y 2007-l

Cátedra: Hidrología
Facultad de Ingeniería – Ingeniería Civil
Universidad Cooperativa de Colombia, 2006-ll, 2007-l y 2007-ll.

Cátedra: Hidrología Aplicada
Facultad de Ingeniería – Ingeniería Civil
Universidad Cooperativa de Colombia, 2006-ll, 2007-l y 2007-ll.

Cátedra: Hidráulica
Facultad Nacional de Salud Pública
Tecnología en Saneamiento Ambiental

Universidad de Antioquia, 2011-l a 2012-l

EXPERIENCIA PROFESIONAL Y LABORAL

- INTEGRAL S.A. - Abril de 1980 hasta diciembre de 1992.

Trabajó como ingeniero de diseño y como ingeniero coordinador de diseños, con participación en los siguientes proyectos:

PROYECTO HIDROELECTRICO DE SAN CARLOS
Interconexión Eléctrica S.A. ISA
Abril, 1980 - Enero, 1986

Está localizado en el departamento de Antioquia. Tiene una capacidad instalada de 1550 MW.
Participó en los diseños para la construcción de las obras de la central: en el revestimiento definitivo de las dos almenaras, en el montaje de la tubería de presión, en el revestimiento de los túneles y en los tapones de concreto masivo en los túneles de construcción.

PROYECTO HIDROELECTRICO DE JAGUAS
Interconexión Eléctrica S.A. ISA
Abril, 1980 - Marzo, 1987

Está localizado en el departamento de Antioquia. Tiene una capacidad instalada de 177 MW.
Participó en los diseños para construcción de las obras de la central: en las excavaciones y revestimiento de la almenara de aguas arriba y de algunos túneles, en las obras de acabado en la descarga, en el montaje y revestimiento de las tuberías de presión, en los tapones de concreto masivo en los túneles de construcción, y en las excavaciones superficiales.
Participó en la elaboración de los planos definitivos del proyecto.

PROYECTO HIDROELECTRICO DE CALDERAS Y TAFETANES
Interconexión Eléctrica S.A. ISA
Abril, 1980 - Marzo, 1987

Está localizado en el departamento de Antioquia. El proyecto Calderas tiene una capacidad instalada de 18.7 MW. Por su parte la desviación del río Tafetanes hacia río Calderas permite incrementar el caudal en las centrales de Calderas y posteriormente en San Carlos.
Participó en el cálculo de cantidades de obra y costos del proyecto y en la evaluación de propuestas de licitación. Participó en los diseños para la fabricación de las tuberías metálicas requeridas en el proyecto
Participó en los diseños para construcción de las obras subterráneas de ambos proyectos, en la elaboración del informe sobre el llenado de las conducciones para la puesta en marcha del proyecto Tafetanes.

APROVECHAMIENTO MULTIPLE DEL RIOGRANDE
EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLIN
Abril, 1980 - Diciembre, 1992

Está localizado en el departamento de Antioquia; sus propósitos son generación hidroeléctrica en las centrales de
La Tasajera y Niquía, abastecimiento del acueducto del área metropolitana de la ciudad de Medellín y descontaminación del río Medellín.
La central La Tasajera es subterránea con una capacidad instalada de 300 MW. La central Niquía es superficial. En su primera etapa con una capacidad instalada de 24 MW y en su desarrollo futuro tendría una capacidad instalada total de 55 MW.
El caudal turbinado en Niquía se conduce hasta la planta de tratamiento para el acueducto, Manantiales, mediante tuberías superficiales de 5,2 km de longitud.
El caudal turbinado en las dos centrales y no utilizado para el acueducto será descargado en el río Medellín con lo cual se reducirá su grado de contaminación.
Participó en los estudios de factibilidad y en los diseños para licitación y para construcción de túneles y pozos subterráneos, en las excavaciones superficiales, en los tapones de concreto masivo para los túneles de construcción, y en los detalles para el montaje de las tuberías metálicas.
Participó en la elaboración del informe para el llenado de las conducciones y la puesta en marcha del proyecto.

PROYECTO HIDROELECTRICO DE CALIMA III
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC
Noviembre, 1982 - Enero, 1986

Está localizado en el departamento del Valle del Cauca. Tiene una central superficial con una capacidad instalada de 240 MW.
Participó en los diseños para licitación: en el estudio de alternativas para las desviaciones del río Chanco, las quebradas Minas y La Cristalina, en los diseños para excavación y revestimiento permanente de la almenara y de algunos túneles.

Participó en la revisión de los cálculos de cantidades de obra y presupuesto realizada en octubre y noviembre de 1988.

PROYECTO TUNEL DE LOS ROSALES Y OBRAS ANEXAS
EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA -
Febrero, 1987 - Diciembre, 1992

Está localizado en la ciudad de Bogotá; comprende una conducción subterránea de 9.1 km de longitud a través de los cerros orientales aledaños a la ciudad.
Participó en los diseños de las estructuras hidráulicas de los cruces de las quebradas en las vías de acceso a los portales; en los diseños de excavación y de revestimiento del túnel y en los diseños de los tapones en concreto masivo.

CENTRAL HIDROELECTRICA DE SONSON
EMPRESA ANTIOQUEÑA DE ENERGIA - EADE
Noviembre, 1988 - Diciembre, 1992

Está localizada en el departamento de Antioquia y tiene una capacidad instalada de 4.200 kW.
Participó en el diagnóstico del estado del túnel de presión y sus obras anexas, en 1992, para el análisis de la factibilidad técnica de la ampliación de su capacidad instalada.

DESARROLLO HIDROELECTRICO DE PORCE II
EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLIN
Marzo, 1989 - Diciembre, 1992

El proyecto hidroeléctrico de Porce II está localizado al noreste del departamento de Antioquia. Este proyecto se encontraba en diciembre de 1992 en la etapa de estudios y diseños para licitación. Tiene una capacidad total de 392 MW
Participó en la coordinación de los estudios y diseños para revisión de Factibilidad y de los diseños para Licitación de las conducciones subterráneas y demás obras anexas.

PROYECTO MIXTO NUEVO LIBARE
EMPRESAS PÚBLICAS PEREIRA
Septiembre, 1991- Diciembre, 1992

El proyecto se encuentra localizado en la ciudad de Pereira, Risaralda. Aprovecha las aguas del río Otún para generación hidroeléctrica (5880 kW) y abastecimiento del acueducto de la ciudad de Pereira.
Participó en los diseños de un túnel galería de 400 m de longitud a través del cual pasa la tubería de presión antes de llegar a las plantas de potabilización.

PROYECTO HIDROELECTRICO DANIEL GUTIERREZ
COMPAÑIA NACIONAL DE FUERZA Y LUZ
SAN JOSE DE COSTA RICA
Mayo, 1992 - Diciembre, 1992

Este proyecto, en diciembre de 1992 estaba planeado para una capacidad de generación de 18 MW y como parte del mismo se tiene la desviación del río Tapezco, con posibilidad de un aprovechamiento hidroeléctrico.
Trabajó en los planteamientos y diseños de alternativas para la desviación del río Tapezco; en los diseños de túneles para el proyecto hidroeléctrico y para la desviación del Tapezco.

- CONALVIAS LTDA. Enero de 1993 a mayo de 1993

PAVIMENTACION DE LA VIA ANSERMANUEVO-EL AGUILA
SECRETARIA DE OBRAS PÚBLICAS DEL VALLE
Enero, 1993 - Mayo, 1993

Trabajó como director de la construcción de la obra. Estos dos municipios están ubicados en el norte del departamento del Valle del Cauca. La longitud a pavimentar era de 22 km.
Adicionalmente se desempeñó como asistente técnico de la empresa, para la cual realizó y revisó diversos diseños.

- TEA INGENIEROS LTDA. Agosto de 1993 a agosto de 1994.

Fue socio de la firma. Trabajó como director de los diseños de las obras civiles del proyecto de Agua Mineral “La Humareda” perteneciente a la firma Postobón S.A.. Este proyecto ubicado en el municipio de Heliconia -Ant.-, consiste en la captación, la conducción y el procesamiento del agua para fines comerciales.

- GESTIÓN EN INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL LTDA. -GICA Ltda.- (ANTES: GESTION AMBIENTAL

S.A.) Febrero 1996 a Diciembre de 2009.

Fue socio de esta firma. Se desempeñó como coordinador en las áreas de hidrología, hidráulica y ambiental.
Ha participado en los siguientes proyectos:

- Obras para el manejo de las aguas residuales industriales de Química Amtex.1996
- Diseños para un Plan de Manejo Ambiental de una via en el municipio de Briceño. 1996
- Coordinación del diseño estructural y ejecución del estudio geotécnico para la construcción de la Nueva Sede de Corpourabá en Apartadó. Edificaciones de 5, 3 y 2 pisos.1996 - 1997
- Elaboración de diseños para el Plan de Manejo Ambiental de la Pequeña Minería en el municipio de Frontino y municipios aledaños.1997
- Diagnóstico de las instalaciones hidrosanitarias del Instituto Jorge Robledo. Diseño y construcción de las red de alcantarillado de aguas residuales y lluvias de la red hidráulica y contra incendio.1996 - 1997
- Coordinación y diseños varios del Estudio de Aseo Urbano y del Diseño del Relleno Sanitario del Municipio de Briceño.1997
- Coordinación del Estudio Geotécnico para la ampliación de la Escuela Superior de Administración Pública -ESAP-, edificación de cinco (5) pisos. Se incluye una evaluación estructural y de fundación de ocho (8) columnas existentes.1997 - 1998.
- Estudio Geotécnico para el Hospital del municipio de Ebéjico. 1999.
- Estudio de Impacto Ambiental para el Hospital del municipio de Ebéjico. 1999.
- Estudio Hidrológico y Geotécnico para el acueducto veredal en el municipio de Donmatías, Veredas Santa Ana, Arrayanes, y Miraflores. 1999.
- Estudio Ambiental para el Hospital General de Medellín. 1999.
- Evaluación hidráulica de un sector del río Medellín en la vereda El Totumo del municipio de Girardota, para un proyecto de explotación minera en el río. Interesado: señor Luis Eduardo Madrigal C..Junio 2004.
- Obras para retención de sedimentos de minería. Una presa de 50 m de altura y diques para una sobreelevación hasta 80 m. Obras de drenaje, vías de acceso y construcción, excavaciones, monitoreo. Cliente: Mineros Nacionales S.A. Julio –Septiembre de2004
- Estudio Geotécnico para construcción de 2 pisos en Turbo (Ant.). Cliente: Comunidad Misioneras de María Inmaculada y Santa Catalina de Sena. Septiembre 2004.
- Construcción de un muro de cerramiento, de 160 m de longitud, en Turbo (Ant.).. Cliente: Comunidad Misioneras de María Inmaculada y Santa Catalina de Sena. Octubre 2004.
- Estudio de Impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental para el proyecto Parcelación El Remanso, de la firma HEBEL S.A., ubicada en el municipio de Guatapé. 2008.

PROYECTOS VARIOS PARA LA FIRMA ARQUITECTURA Y CONCRETO S.A.
Septiembre de 2005 a 2008.

La firma ARQUITECTURA Y CONCRETO S.A. es constructora de proyectos urbanísticos.
El ingeniero Gómez a trabajado como coordinador en la elaboración de estudios hidrológicos e hidrogeológicos, diseños de obras hidráulicas para manejo técnico y ambiental de las quebradas en los siguientes proyectos urbanísticos ubicados en el costado suroriental de Medellín y nororiental de Envigado: Bosques de La Calera (quebrada La Escopetera y Caño Los Ángeles), Calera Alta

(quebrada La Escopetera), Cerezal Casas (quebrada La Hondita), El Molino de San Lucas y Senior´s Club Apartamentos (quebrada La Paulita), Jardines de Montiel (quebrada La Honda), Proyecto Los Ángeles (caño Los Mesa) y Sede Orbitel (quebrada Los Balsos).

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA CALZADA EXISTENTE Y CONSTRUCCIÓN DE UNA NUEVA CALZADA DE LA CARRETERA CARTAGENA-BARRANQUILLA. CONSORCIO GICA-GEVIAL.
Asesor y coordinador de los estudios hidrológicos e hidráulicos. Diciembre 2008 a Diciembre 2009.

-HIDRYCAS S.A.S. Marzo de 2010, actualmente.

Gerente y director técnico de la empresa de consultoría Ingeniería del Recurso Hídrico. Civil, Ambiental, Sanitaria. S.A.S. - Hidrycas S.A.S.

HÍDRYCAS S.A.S. es una firma cuyo objeto principal es el ejercicio de la ingeniería Civil, Sanitaria y Ambiental, y demás ingenierías afines; actividades que se desarrollan con proyectos de consultoría, interventoría, construcción y comercialización. Esta firma fue creada en marzo de 2010, y ha venido prestando servicios de ingeniería de consultoría en las áreas de Hidrología, Hidráulica, Ambiental y Sanitaria a la firmas Gica Ltda., Inteinsa S.A., Construcciones El Cóndor S.A., Conconcreto S.A., ARGOS S.A., Conasfaltos, Gevial S.A.S., Auscultar S.A.S., Túnel Aburrá Oriente, CDO Constructora, Arquitectura y Concreto, entre otras. Como se trata de una firma nueva, su experiencia se complementa con la experiencia de sus socios (GICA LTDA., Hilda Lucía Londoño E., y Aurelio Gómez G.) y de la conformación de un grupo de profesionales.

- DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA. SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA FÍSICA PARA LA INTEGRACIÓN Y DESARROLLO DE ANTIOQUIA.

TRAINCO S.A. tiene a su cargo las obras de recuperación y mantenimiento de la vía Caldas-Angelópolis, y contrató a HÍDRYCAS S.A.S. para hacer el estudio hidrológico e hidráulico de la quebrada La Bramadora en el cruce de la vía Caldas-Angelópolis, y los diseños de obras necesarios para la estabilización de la vía, en lo más inmediato, y plantear los diseños requeridos en una segunda etapa.
Tiempo: 1 mes. Período 26 de septiembre de 2011 – 26 de octubre de 2011.

- MUNICIPIOS UNIDOS DEL SUR DE ANTIOQUIA –MUSA-

MUSA contrató a HÍDRYCAS S.A.S. para para realizar los Estudios Hidrológico e Hidráulico, necesarios para el diseño y la construcción de un puente sobre la quebrada San Pablo, en la vía La Danta – San Miguel (municipio de Sonsón), en el sitio Candilejas.
Tiempo: 1 mes. Período 28 de noviembre de 2011 – 28 de diciembre de 2011.

- CONJUNTO RESIDENCIAL ASTURIAS P.H

El Conjunto Residencial Asturias P.H. contrató a HÍDRYCAS S.A.S., para una Evaluación del Sistema de Drenaje del mismo, que comprende trabajos de investigación en campo, consulta de información

secundaria, estudios hidrológicos e hidráulicos, diseños conceptuales para el manejo adecuado del agua, y presentación de diseños con las soluciones que se requieren con urgencia para evitar daños significativos en las viviendas y en la infraestructura. Posteriormente, se amplió el contrato para los diseños detallados de las obras más urgentes.
Tiempo: 3 meses. Período 28 de diciembre de 2010 – 28 de febrero de 2011, y 21 de octubre de 2011 – 21 de noviembre de 2011.

- NUBIOLA COLOMBIA PIGMENTOS S.A.

NUBIOLA COLOMBIA PIGMENTOS S.A. contrató a la empresa HÍDRYCAS S.A.S. para realizar los estudios hidráulicos y diseños necesarios de obras de protección de la margen derecha del río Medellín y control de inundaciones en las instalaciones de la planta ubicada en el municipio de Girardota.
Tiempo: 2 meses. Período 13 de agosto de 2011 – 13 de octubre de 2011.

- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, INVÍAS

El Instituto Nacional de Vías, INVÍAS, viene dando respuesta a la atención de emergencias y dentro de éstas se ha incluido la Protección de los Estribos del Puente Luis Ignacio Andrade y la Protección de Orillas (río Magdalena), en la vía Honda-Villeta.

Los Estudios, Diseños y Construcción de la Protección de los Estribos del Puente Luis Ignacio Andrade y la Protección de Orillas, fueron contratados con el CONSORCIO CONTRUBOR, y éste a su vez subcontrató a la firma AUSCULTAR S.A.S. para los trabajos de exploración, el levantamiento topográfico (batimetrías), los estudios hidrológicos, hidráulicos y geotécnicos, y los diseños de las obras que permitan cumplir con el objetivo del contrato con el INVÍAS.

Los estudios hidrológicos e hidráulicos, incluidos los diseños, fueron realizados por la firma HÍDRYCAS S.A.S.
Tiempo: 2 meses. Período 5 de agosto de 2011 – 5 de octubre de 2011.

- INGENIERO CONSULTOR INDEPENDIENTE

ACUEDUCTO MULTIVEREDAL Y SANEAMIENTO BÁSICO DEL CORREGIMIENTO SANTA ELENA - MEDELLÍN -
Empresas Públicas de Medellín E.P.M.
1994-1995

Proyecto para beneficiar las veredas El Placer y Barroblanco, en el corregimiento de Santa Elena, en el municipio de Medellín. Consta de una bocatoma con rejilla de fondo, en una pequeña presa de concreto sobre la quebrada Santa Elena, un desarenador, una estación de bombeo, una planta de tratamiento de filtración lenta, un tanque de almacenamiento y la red de distribución. El QMD es de 14,5 litros por segundo. El proyecto incluye los diseños de saneamiento para la vereda El Placer.

El contrato de los diseños estuvo a cargo del Ingeniero Fredy Darío Caicedo T.
El ingeniero Gómez participó en todos los trabajos del proyecto como asesor y como coordinador de los diseños.

ACUEDUCTO MULTIVEREDAL DEL RIO AURRA - SAN JERONIMO -
MUNICIPIO DE SAN JERONIMO
1994-1995

Proyecto para beneficiar una amplia zona veredal del municipio con la posibilidad de atender la cabecera en casos de emergencia. Consta de una captación lateral sobre el río Aurrá, desarenador, 9 km de conducción, una planta de tratamiento convencional y otra de filtración lenta, un tanque de almacenamiento de 500 m^3 y otros cinco tanques menores para atender a cada una de las veredas.
Los estudios comprenden:
- Planteamiento de alternativas técnico-económicas, selección de la mejor alternativa y realización de los diseños correspondientes a esta, con su presupuesto y sus especificaciones técnicas.
- Propuesta de un plan de desarrollo institucional para manejo del proyecto y la administración del servicio.
- Determinación de la viabilidad financiera del proyecto.
- Planteamiento de soluciones para los problemas de tipo ambiental que puedan afectar al proyecto y al área de servicio.
Los diseños de este proyecto estuvieron a cargo de la firma Ingeniería Aplicada Ltda. y la Interventoría de los mismos a cargo del Ingeniero Alonso Londoño Silva.
El ingeniero Gómez trabajó como interventor auxiliar en todas las labores del proyecto.

SOLUCIÓN DE CONTINGENCIA PARA EL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL VALLE DE ABURRÁ.
ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ
Mayo 2002 – enero 2003.

El ingeniero Gómez fue contratado para la Evaluación Hidrológica, Climática e Hidráulica de los dos sitios seleccionados para tal fin: La Pradera, ubicado en la margen izquierda del río Medellín en jurisdicción del municipio de Don Matías, y La Salada, ubicado en el municipio de Caldas, dentro de la cuenca de la quebrada La Salada. Igualmente, tuvo a su cargo la medición de niveles piezométricos y su interpretación, en nueve perforaciones en La Pradera

PLAN MAESTRO PARA ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO
MUNICIPIO DE SALGAR
2002

El ingeniero Gómez fue contratado por la firma PICSO LTDA., responsable del proyecto, para el estudio hidrológico tanto para las fuentes de abastecimiento como para las fuentes receptoras, y para el manejo de los drenajes urbanos.

PLAN MAESTRO PARA ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO
MUNICIPIO DE FREDONIA
Enero – marzo 2003

El ingeniero Gómez fue contratado por la firma OPERADORES DE SERVICIOS S.A. E.S.P., responsable del proyecto, para el estudio climático de la zona e hidrológico tanto para las fuentes de abastecimiento como para las fuentes receptoras, y para el diseño de la estructura de reparto y control en la captación.

PLAN MAESTRO PARA ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

MUNICIPIO DE VALPARAISO
Enero – marzo 2004

El ingeniero Gómez fue contratado por la firma OPERADORES DE SERVICIOS S.A. E.S.P., responsable del proyecto, para el estudio climático de la zona e hidrológico tanto para las fuentes de abastecimiento como para las fuentes receptoras, y para el diseño de la estructura de reparto y control en la captación.

PLAN MAESTRO PARA ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO
MUNICIPIO DE SANTA BÁRBARA
Enero – marzo 2004

El ingeniero Gómez fue contratado por la firma OPERADORES DE SERVICIOS S.A. E.S.P., responsable del proyecto, para el estudio climático de la zona e hidrológico tanto para las fuentes de abastecimiento como para las fuentes receptoras, y para el diseño de las estructuras de reparto y control en las captaciones.

ACUEDUCTOS VEREDALES EN EL PROYECTO PORCE III, PARA ATENDER A LA POBLACIÓN REUBICADA POR CAUSA DE LA INUNDACIÓN DEL EMBALSE
EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN
Octubre 2006 – a la fecha

La Corporación Antioquia Presente viene realizando para las Empresas Públicas de Medellín todas las actividades tendientes a la reubicación de las comunidades que se verán afectadas por la inundación del embalse del proyecto hidroeléctrico Porce lll, Esta Corporación subcontrató a la ingeniera Patricia Jaramillo para los diseños de los acueductos Perico, Santa Lucía, El Guadual, Cabuyal, El Saino, Bohíos, Plan de Pérez, Salamina y Malabrigo.

El Ingeniero Gómez ha participado como asesor técnico de estos sistemas de acueductos veredales.

- UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, FACULTAD DE INGENIERÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES Y DE INGENIERIA -CIA-.

Trabajó como contratista en los siguientes proyectos:

ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TURBO
MUNICIPIO DE TURBO
1994-1995

Este proyecto busca dar una solución definitiva al manejo de las aguas residuales del municipio de Turbo.
Los estudios y diseños estuvieron a cargo del Centro de Investigaciones Ambientales y de Ingeniería de la Universidad de Antioquia.
El ingeniero Gómez mediante un contrato con esta entidad tuvo a su cargo la realización de los diseños estructurales de las diferentes obras que comprenden el proyecto.

PLAN MAESTRO PARA ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

MUNICIPIO DE SAN CARLOS
1998

Trabajó como ingeniero civil dentro del equipo de trabajo, con responsabilidades específicas en el diseño estructural de las diferentes estructuras.

PROYECTO "ESTUDIO DE ZONAS DE RECARGA Y ACUÍFEROS EN EL VALLE DE ABURRÁ" UNION TEMPORAL UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA – INTEGRAL S.A.
Septiembre 2001 – Abril 2002

Participó como hidrogeólogo en el Estudio. Realizó el estudio hidrológico y el balance hídrico del Valle de Aburrá, coordinó actividades de campo como Sondeos Eléctricos Verticales y Pruebas de Bombeo.

PROYECTO "ESTUDIO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL PARQUE RECREATIVO LAS BALLENAS EN GIRARDOTA.
COMFAMA NORTE
Noviembre 2001 – Abril 2002

Realizó el estudio geotécnico y los análisis hidráulicos de los diseños.

PROYECTO "DISEÑO DEL RELLENO SANITARIO PARA EL MUNICIPIO DE SAN JUAN DE PASTO, EN EL LOTE ANTANAS"
Septiembre - Diciembre 2002

El Centro de Investigaciones Ambientales y de Ingeniería de la Universidad fue contratado por la empresa EMAS para realizar los diseños y el estudio de impacto ambiental del proyecto de Relleno Sanitario para el municipio de San Juan de Pasto.

El ingeniero Gómez participó como asesor en los diseños de obras civiles, hidrología, hidrogeología y geotecnia.

- UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, FACULTAD NACIONAL DE SALUD PÚBLICA
UNIDAD DE ASESORIAS Y CONSULTORIAS MUNICIPALES
Mayo - diciembre de 1995 y diciembre 1996 a la fecha.

Trabajó como contratista en diseño y asesoría de las obras civiles principales y en los estudios ambientales de proyectos de acueductos y alcantarillados.

ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO -EVALUACION Y DISEÑO-
MUNICIPIO DE SAN JUAN DE URABA
Mayo a septiembre. 1995

Participó como coordinador de los diseños de la captación, de la conducción y del sistema de bombeo.

PLAN MAESTRO PARA ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO

MUNICIPIO DE CONCORDIA Septiembre - Diciembre 1995

Los trabajos principales comprenden:
Para el acueducto, el realce en 1 m de la presa y del vertedero de excesos para mejorar la capacidad de regulación aumentar en 2 L/s el caudal disponible, la captación y la conducción de las aguas de tres nacimientos menores para disponer de otros 2 L/s, la captación y el bombeo de hasta 12 L/s, de un afluente de la quebrada Magallo, y el ajuste de las redes.
Para el alcantarillado, una planta de tratamiento de aguas residuales que manejará un 70% de las aguas a tratar y una serie de sistemas de tratamiento localizados en diferentes sitios, el diseño del alcantarillado sanitario nuevo para separarlo del sistema combinado existente y el aprovechamiento y rediseño de este último para manejar las aguas lluvias.

El ingeniero Gómez trabajó como asesor en el planteamiento de alternativas y en los diseños de las estructuras hidráulicas y el realce de la presa. Igualmente realizó los estudios de suelos para las diferentes estructuras a construir.

DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE ACUEDUCTO Y PLAN DE SOLUCION
MUNICIPIO DE MAICAO-GUAJIRA
Diciembre 1996 a Enero 1997 y Julio de 1998

El municipio de Maicao presentaba una grave crisis en el sistema de abastecimiento de agua potable. Tenían algunos estudios y diseños. La Universidad realizó un diagnóstico de la situación, una revisión y evaluación de los estudios y diseños existentes y un plan de solución de la problemática.
El ingeniero Gómez trabajó como asesor en la evaluación del recurso hídrico (aguas superficiales y subterráneas) y en general del diagnóstico y planteamiento de alternativas.

PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO
MUNICIPIO DE SAN PEDRO DE URABA, NECOCLÍ Y ARBOLETES
Marzo - Diciembre 1997

La Universidad tuvo a su cargo la realización de los estudios y diseños de los Planes Maestros de Acueducto y Alcantarillado de estos municipios.
El ingeniero Gómez prestó asesoría en los diseños y tuvo a su cargo los estudios hidrológicos y geotécnicos.

PLAN MAESTRO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO
MUNICIPIO DE YARUMAL
Marzo - Noviembre 1998

Prestó asesoría en los diseños y tuvo a su cargo los estudios hidrológicos y geotécnicos.

SERVICIO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO PARA SIETE VEREDAS DE LOS MUNICIPIOS DE YONDÓ Y REMEDIOS
Marzo - Diciembre 1997

El ingeniero Gómez participó en la asesoría que la Universidad dio a las comunidades de estas

veredas, para solucionar diversos problemas de abastecimiento de agua y saneamiento básico.

CONSULTORÍA PARA LA FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANEJO DE LA MICROCUENCA DE LA QUEBRADA MALPASO, ZONA NOROCCIDENTAL DE MEDELLÍN
SECRETARIA DEL MDIO AMBIENTE MUNICIPIO DE MEDELLÍN
Febrero - Septiembre 2006

El ingeniero Gómez participó como coordinador del proyecto.

- UNIVERSIDAD DE MEDELLIN, FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL APROVECHAMIENTO MÚLTIPLE DEL RÍO TARAZÁ. 1998.
Cliente: Planeación Departamental. Municipios del Bajo Cauca.
Trabajó en el estudio hidrológico y la caracterización de la cuenca del río. Coordinó el estudio ambiental.

- PZ INGENIEROS

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL RELLENO SANITARIO CURVA DE RODAS.
Marzo - diciembre 1999.
Cliente: Empresas Varias de Medellín E.S.P.
Participó en los procesos del EIA. Trabajó en las actividades inherentes a la Ingeniería Civil y en el estudio hidrológico y la caracterización de la cuenca de la quebrada Rodas.

DISEÑO DEL SISTEMA DE MANEJO DE AGUAS LLUVIAS Y LIXIVIADOS PARA LA ZONA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL PARQUE AMBIENTAL LA PRADERA.
Diciembre 2003- enero 2004.
Cliente: Empresas Varias de Medellín E.S.P.
Participó como asesor en el diseño hidráulico.

- UNIÓN TEMPORAL SERINCAS LTDA. - RENÁN ZAPATA LÓPEZ

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA EL ACUEDUCTO DE LA ZONA NORTE DEL URABÁ.
Octubre 1999 - febrero 2000.
Cliente: Planeación Departamental.
El Ingeniero Gómez tuvo a su cargo el estudio hidrológico de los ríos San Juan de Urabá y Mulatos. Participó en las demás actividades del estudio.

- INGENIERO GABRIEL IGNACIO GUTIÉRREZ

SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE DESLIZAMIENTOS Y DAÑOS DE SOCAVACIÓN EN EL CANAL DE CONDUCCIÓN DE LA CENTRAL RIO ABAJO (SAN VICENTE).
1999.
Cliente: Empresa Antioqueña de Energía - EADE.
El Ingeniero Gómez tuvo a su cargo los estudios y diseños geotécnicos para la recuperación del canal en una zona derrumbada, y la protección de la vía y el canal por efectos de socavación del río Negro.

ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA INTERVENCIÓN DE LA QUEBRADA LA ESCOPETERÍA EN EL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LA CARRERA 30 (TRANSVERSAL INFERIOR) Y LA IGLESIA DE LA DIVINA EUCARISTÍA, EN EL BARRIO EL POBLADO.
Diciembre 2002 – Enero 2003
Cliente: Secretaría del Medio Ambiente del municipio de Medellín.
El Ingeniero Gómez tuvo a su cargo la evaluación geológica, geomorfológica e hidrológica de la quebrada en el tramo señalado, y el estudio y diseño de obras hidráulicas para protección y manejo.

- INGENIERO LUIS FERNANDO CANO GÓMEZ

ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD, IMPACTOS AMBIENTALES E INGENIERÍA DEFINITIVOS PARA LA RECTIFICACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA TRANSVERSAL AUSTRAL E-40, CARRETERA MÉNDEZ – MORONA, TRAMO: PARROQUIA SANTIAGO – PUERTO MORONA, INCLUYE ACCESO A SOLDADO MONJE, UBICADA EN LA PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO - REPÚBLICA DE ECUADOR. Junio-Julio 2003
Cliente: Contratista ASOCIACIÓN TNM -PLANISOC.

El Ingeniero Cano es consultor de la firma contratista Asociación TNM - Planisoc constructora del proyecto, y tuvo a su cargo los estudios de estabilización geotécnica de seis (6) deslizamientos.
El Ingeniero Gómez participó en estos trabajos con el estudio hidrológico y el diseño hidráulico de las obras de drenaje.

-AMPLIACIÓN DE LA VÍA LAS PALMAS SECTOR SAN DIEGO – EL INDIO (MEDELLÍN).2003.

Cliente: CONSTRUCCIONES EL CÓNDOR.

El Ingeniero Cano, asesor de la firma Construcciones El Cóndor, constructora del proyecto, tuvo a su cargo los diseños de una estructura de cajón (¨box culvert¨), una estructura de disipación de energía hidráulica y los llenos para el cruce de la quebrada El Indio.

El Ingeniero Gómez participó en estos trabajos con el estudio hidrológico y el diseño hidráulico de las citadas estructuras.

VÍAS INTERNAS PARA LA EXPLOTACIÓN MADERERA EN LAS FINCAS EL ROBLE Y LA ESPERANZA (MUNICIPIO DE SANTA ROSA- ANTIOQUIA). Octubre – Noviembre 2003.
Cliente: REFORESTADORA EL GUÁSIMO.

El Ingeniero Cano realizó el estudio geotécnico y el diseño de la estructura del pavimento en afirmado para las vías internas de explotación maderera.

El Ingeniero Gómez realizó todos los trabajos de campo y la caracterización geotécnica de los corredores viales.

-PROYECTO HIDROELÉCTRICO DE PORCE III (EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN)
VÍAS DE ACCESO 2004 - 2005.

Clientes: CONSORCIO EL CÓNDOR – CONCIVILES (Grupo 2).
CONSORCIO VIAL GRUPO 3

El Ingeniero Cano es asesor de los dos consorcios responsables de la construcción de los tramos 2 y 3 de las vías de acceso al proyecto. Los trabajos de asesoría comprenden los diseños de los depósitos complementarios para disposición de materiales de excavación, desde el punto de vista geométrico, geotécnico, hidrológico e hidráulico.

El Ingeniero Gómez participó en estos trabajos con los estudios hidrológicos y los diseños hidráulicos de las citadas obras.

- INGENIERO RENÁN DARÍO ZAPATA LÓPEZ

El Ingeniero Gómez formó parte del equipo de colaboradores del Ingeniero Zapata, en la interventoría de diseño de los siguientes Planes Maestros de Acueducto y Alcantarillado, en los componentes hidrológico, hidráulico y ambiental:

- Municipios de Ebéjico, Zaragoza y Maceo. Contrato CORANTIOQUIA Nº 5048 de 2003, plazo 270 días.
- Municipios de Sopetrán y Armenia Mantequilla. Contrato CORANTIOQUIA Nº 5196 de diciembre 2003, plazo 240 días.
- Municipios de Caicedo y Liborina. Contrato CORANTIOQUIA Nº 5751 de noviembre de 2004, plazo 355 días.
- Municipios El Bagre y Begachí. Contrato CORANTIOQUIA Nº 5814 de 2005.
- Municipios de Segovia y Remedios. Contrato CORANTIOQUIA Nº 5815 de 2005.

- INGENIERÍA, TECNOLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN S.A. – INTEINSA -

ASESORÍA TÉCNICA DE LA ADECUACIÓN, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE LOS SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL DE PROPIEDAD DE EMPRESAS VARIAS DE MEDELLÍN E.S.P. Y LA INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA (RELLENO SANITARIO CURVA DE RODAS Y PARQUE AMBIENTAL LA PRADERA).
Marzo 2004 a la fecha.

El ingeniero Gómez forma parte del equipo asesor, como especialista en hidrología e hidráulica. Ha realizado diseños para manejo de aguas lluvias en los vasos La Carrilera y La Música (Parque

Ambiental La Pradera), y en la parte alta del Relleno Sanitario Curva de Rodas. Igualmente, ha realizado el estudio hidrológico y climático para el vaso Altair, en La Pradera y asesora los diseños hidráulicos del mismo.

Ingeniero asesor en las áreas de hidrología, hidrogeología e hidráulica en diferentes proyectos realizados por la firma.

- SALAZAR FERRO INGENIEROS S.A.

Diseño del Patio para la Disposición Temporal de Cenizas de los residuos generados en la Termoeléctrica El Remanso – Termopaipa IV ubicada en el Municipio de Paipa –, según contrato CES 2005-207, con el propósito de obtener la modificación a la licencia ambiental otorgada para la operación de la termoeléctrica.
Septiembre de 2005 a diciembre de 2005

El ingeniero Gómez participó en los diseños del patio y tuvo a su cargo el Estudio de Impacto Ambiental

- RAMIRO MESA BARRERA, INGENIERO CONTRATISTA

La firma del ingeniero Ramiro Mesa Barrera, tuvo a su cargo la interventoría de la construcción del Colegio San Antonio de Prado, y de obras complementarias para otras 6 instituciones educativas del municipio de Medellín, en los años 2007 y 2008.

El ingeniero Gómez tuvo a su cargo en las interventorías, el componente ambiental.

- JAIRO RAMÍREZ CASTRO, INGENIERO CONTRATISTA

La firma del ingeniero Jairo Ramírez Castro, tuvo a su cargo la consultaría para la valoración de estudios de proyectos hidroeléctricos y termoeléctricos, para la UPME, en el período Octubre – Noviembre de 2007. Proyecto hidroeléctrico Neme, Proyecto Hidroeléctrico Río Saldaña, Inventario Tolima Huila 10 - 100 MW Inventario Nariño Cauca 10 - 100 MW, Río Arma: Hidroeléctrica Encimadas, Cañaveral, Estudios Río Fonce y Suárez, Proyecto Hidroeléctrico, Río Fonce Proyecto Hidroeléctrico La Cabrera, Termoupar, Termo Yariguies, Termo Lumbi y Termo Cesar.

El ingeniero Gómez participó en la revisión y calificación técnica de los anteriores proyectos, en todo lo referente a la ingeniería civil.

- CORPORACIÓN HORIZONTE AZUL

La Corporación Horizonte Azul, mediante el contrato Nº 10000228063 con las Empresas Públicas de Medellín, llevó a cabo el Estudio de riesgo y vulnerabilidad con las respectivas recomendaciones técnicas de intervención para las conducciones de agua cruda: conducción tanque El Toldo hasta el tanque La Tablaza y conducción Portal Ayurá hasta la Planta de Tratamiento La Ayurá.
Trabajo realizado durante los meses de mayo, junio y julio de 2007.

El ingeniero Gómez participó en la revisión y análisis del componente hidráulico del proyecto, y en los análisis de riesgo y vulnerabilidad.

- USAENE

La firma USAENE tuvo a su cargo el Estudio de Factibilidad para Proyecto de Generación Térmica a Gas, en el Campo La Creciente –Departamento de Sucre-, para la empresa Proeléctrica y Cía. S.C.A. E.S.P. Período enero – febrero de 2008.

El ingeniero Gómez participó en la coordinación del componente de obras civiles, incluido el presupuesto de las mismas, para dicho estudio.

DISEÑOS Y ASESORIAS - Varios -

- Ha trabajado en la elaboración de estudios de suelos y geotécnicos para construcciones de vivienda y edificaciones. Asesorías en la estabilización de taludes.
- Ha prestado asesoría en la construcción de viviendas.
- Ha realizado diseños estructurales para edificaciones, viviendas y locales comerciales.
- Asesorías en evaluaciones hidrogeológicas.
- Ha participado en Estudios de Impacto Ambiental.

- Ha participado como asesor en la presentación de los trabajos de grado:
- "Diagnóstico ambiental quebrada La Chaparrala: componente vertimientos, aguas arriba de la captación del acueducto del municipio de Andes". 2008

- Ha participado como jurado en la presentación de los trabajos de grado:
- "Estudio de la Homogeneidad de Series de Precipitación en el oriente Antioqueño". Facultad de Ingeniería. Universidad de Medellín. 1997.
- "Efectos de la Reforestación con Especies Exóticas sobre la Producción de Agua en Piedras Blancas - Medellín-". Facultad de Ingeniería. Universidad de Medellín. 1997.
- "Proyecto de Prefactibilidad de la Microcentral Hidroeléctrica de El Bagre (Antioquia).". Facultad de ingeniería. Universidad de Medellín. 1998.
- "Delimitación de Zonas de Recarga de los Acuíferos Aplicando la Metodología de Taludes Naturales con Fines de Protección y Conservación, en El Municipio de Apartadó – Antioquia". Universidad Cooperativa de Colombia. 2004.
- "Formulación de algunos elementos del Sistema de Gestión Ambiental, para la hacienda La Arboleda, ubicada en el municipio de Andes, Antioquia, bajo la norma ISO 14001-2004; año 2008"

Medellín, junio de 2012

_____

AURELIO GÓMEZ GONZÁLEZ
C.C 10.530.462 de Popayán

HOJA DE VIDA

DATOS PERSONALES

NOMBRE Y APELLIDOS	**Carlos Eduardo Parra Vargas**
CÉDULA DE CIUDADANÍA	No. 71.647.477 de Medellín
TARJETA PROFESIONAL	No. 1149 del C.P.G
PASAPORTE	No. CC71647477
DIRECCIÓN	Carrera 83 No.32EE-44
	La Castellana - Medellín - Colombia
TELÉFONO	4114524
CELULAR:	3005743850
E-MAIL:	ceparra@gruposolum.co

FORMACIÓN ACADÉMICA

UNIVERSIDAD

PREGRADO

Universidad Nacional de Colombia - Medellín. Ingeniería de Geología. 1991.
Título Obtenido: Ingeniero Geólogo.

Tesis de Grado: "Estudio Geológico de la Mina La Viborita" Amalfi - Antioquia

POSGRADO

Universidad EAFIT – Medellín. Especialización en Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Junio de 2002

Título Obtenido: Especialista en Mecánica de Suelos y Cimentaciones.

Universidad EAFIT – Medellín. Maestría en Ingeniería - abril de 2014

Título Obtenido: Magister en Ingeniería – Universidad EAFIT.

CURSOS DE ACTUALIZACIÓN

Curso de Arc-Gis. Dictado por el Ingeniero Jorge Cano – GICA Ltda. – Febrero de 2009 a abril de 2009 – 48 Horas.

Curso Sobre Comportamiento y Modelación de Suelos No Saturados. Dictado por el Dr. Eduardo Rojas González de la Universidad de Querétaro – México – Marzo 20 al 24 de 2007 (Universidad EAFIT – Medellín) – 20 Horas.

Curso Introducción al Método del Elemento Finito Aplicado a la Geotecnia. Dictado por el Dr. Gabriel Auvinet de la Universidad Nacional Autónoma de México. Marzo 6 al 10 de 2006 – (Universidad EAFIT-Medellín) – 25 Horas.

Fotogrametría Digital apoyada en el SIG LISA-FOTO, para aplicaciones municipales. Dictado por el Dr. EKKEHARD JORDAN de la Universidad Henri Heine de Duesseldorf de Alemania. Octubre 4 a 17 de 2002 (Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín). 104 horas.

Estudio de Cuencas Sedimentarias. Dictado por Geólogo George Gorin de la Universidad de Ginebra - Suiza. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Abril 17-18 y 19 de 2002.

Ciencia del Suelo. Dictado por: Ing. Daniel Jaramillo. Universidad Nacional-ICNE-Medellín. 45 horas, febrero - junio / 1996.

Evaluación de Estabilidad de Laderas en la Planeación y Ejecución de Proyectos. Dictado por: Ing. Fabián Hoyos P. Asociación de Exalumnos de la Facultad de Minas - ADEMINAS. Junio 17 al 28 de 1991.

Geomorfología Fluvial. Dictado por: Dr. Keith Richards. Universidad Nacional-Facultad de Minas. Postgrado en Recursos Hidráulicos. Agosto 8 al 12 de 1988.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

EMPRESA	***GRUPO SOLUM SAS – Soluciones Geotécnicas***
PROYECTOS	APP Cesar – Guajira – APP Ruta al Mar – Via el Viajano San
CARGO	Coordinador de Proyectos Geológicos y Geotécnicos
ACTIVIDADES	Elaboración de propuestas, coordinar actividades de campo y oficina, establecer lineamientos específicos y analizar la viabilidad técnica de los proyectos.
TIEMPO	Enero 2014- Hasta la fecha

EMPRESA	***GRUPO SOLUM SAS***
PROYECTO	Estudio de Suelos Urbanización Entre Hojas
CARGO	Especialista en Geología - Geotecnia
ACTIVIDADES	La obra Entre Hojas se proyecta en un lote que cubre un área de 2300 m² aproximadamente en una altura de 1650 metros sobre el nivel del mar. El

	proyecto está conformado por cuatro (4) torres en unidad cerrada cada una con veintinueve (29) pisos incluyendo tres (3) niveles superiores para parqueaderos y siendo 4 apartamentos por piso, con la inclusión de 2 ascensores por torre
TIEMPO	Junio 2013 – Septiembre 2013

EMPRESA	***GRUPO SOLUM SAS***
PROYECTO	Estudio de Suelos Urbanización Nativo Madera
CARGO	Especialista en Geología - Geotecnia
ACTIVIDADES	La obra Nativo Madera se proyecta de un área de 6209 m² aproximadamente en una altura de 1679 metros sobre el nivel del mar. El proyecto está conformado por tres (3) torres en unidad cerrada cada una con diecisiete (17) pisos incluyendo los tres (3) primeros niveles para parqueaderos y siendo dos (2) apartamentos por piso, con la inclusión de 2 ascensores por torre.
TIEMPO	Agosto 2013 – Noviembre 2013

EMPRESA	***GRUPO SOLUM SAS***
PROYECTO	Estudio de Suelos Parqueaderos de Sierra Grande
CARGO	Especialista en Geología - Geotecnia
ACTIVIDADES	El proyecto Sierra Grande – Parqueaderos consiste en la adecuación de tres sectores de parqueo para las unidades habitacionales en construcción, las cuales se encuentran a lo largo del conjunto residencia, se proyecta de un área de 2604 m² aproximadamente.
TIEMPO	Octubre 2013- Noviembre 2013

EMPRESA	***GRUPO SOLUM SAS***
PROYECTO	Estudio de Suelos Lotes del municipio de concordia
CARGO	Especialista en Geología - Geotecnia
ACTIVIDADES	Estudios y Diseño geotécnicos de las fundaciones de 4 lotes para vivienda pública en el municipio de Concordia departamento de Antioquia, se proyecta de un área de 30.004 m² aproximadamente. Fecha: Agosto 2013
TIEMPO	Agosto 2013

EMPRESA	***Grupo SOLUM S.A.S– No Telefónico 4126942 Medellín***
PROYECTOS	▪ Vías de Las Américas – Estudios geotécnicos de cimentaciones y estabilidad para puentes viales en los tramos Turbo – El Tigre y San Marcos Magajual. ▪ Vías de Las Américas – Estudios geotécnicos de sitios críticos en la ruta Turbo-Necoclí-Arboletes-Puerto Rey. ▪ Vías de Las Américas – Estudio de Estabilidad y Estabilización de taludes en catorce tramos del proyecto vial. ▪ TNM Ltd. Estudio Geotécnico Puente Comfenalco. ▪ TNM Ltd. Variante Boquerón – Estudios geotécnicos de estabilidad de taludes y para puentes viales. ▪ TNM Ltd. Variante Málaga – estudios geotécnicos para el corredor vial. ▪ TNMLtd. Caminos Unificados de Quellaveco – estudios geotécnicos para el corredor vial proyectado. ▪ TNM Ltd. Variante Capillune – estudios geotécnicos y de estabilidad ▪ Consorcio CICE – Interceptor norte río Medellín – Estudios Geológicos e interpretación geotécnica del corredor. ▪ Gevial S.A. Sitios críticos via Popayán – Mojarras – Estudios geotécnicos y de estabilidad. ▪ Arquitectura y Concreto – Parcelación La Quinta – Estudios geológicos y geotécnicos.
FUNCIONES	▪ Coordinación de proyectos
TIEMPO:	Mayo 2011 – Dic- 2013.

EMPRESA	***CONSULTOR INDEPENDIENTE***
PROYECTOS	▪ Ponce de León y Asociados S.A. – Geólogo Interventoría - Febrero de 2010- Octubre 2010. ▪ Consorcio Arquitectura y Concreto S.A. e Hidroturbinas Delta. Estudio de Geología para Ingeniería en el Proyecto de la Pequeña Central Hidroeléctrica Delta (PCH-DELTA). Mayo de 2010. ▪ Consorcio CCC – Proyecto Hidroeléctrico Porce III – Informe condiciones de estabilidad en zona de vertedero. Junio 2010. ▪ Integral S.A. – Estudio físico-químico de suelos zona de rescate arqueológico Proyecto Hidroeléctrico Ituango - Departamento de Antioquia – Junio de 2010. ▪ Integral S.A. – Estudio físico-químico de suelos zona de rescate arqueológico proyecto Puerto Nuevo – Departamento del Magdalena – Febrero de 2010. ▪ Sanear S.A. – Estudio Geológico y Geotécnico Lote Bodegas Caldas – Enero de 2010.
FUNCIONES	▪ Asesor en las áreas de geología y geomorfología.

	▪ Participación en los equipos interdisciplinarios encargados de los estudios para los diferentes proyectos. ▪ Elaboración de informes técnicos en los aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos. ▪ Realización de los diseños geotécnicos, análisis de estabilidad de taludes general y local y diseño de cimentaciones para los diferentes proyectos. ▪ Supervisión y levantamiento de Perforaciones a Rotación y Percusión.
TIEMPO:	Diciembre de 2009 - Mayo 2011.

EMPRESA	***GICA LTDA – No Telefónico 2306886 Medellín***
GERENTE	Ingeniero Civil Luis Fernando Cano Gómez
PROYECTOS	▪ CONASFALTOS – Estudio Geotécnico PTAR – Planta Bello. ▪ Estudios Geotécnicos y de Estabilidad de Taludes en el proyecto Bodegas Puerta de Entrada. ▪ Parcelación Asturias – Estudios de Riesgos Lote 11. ▪ Concesión Vía al Mar – Tramo Cartagena - Barranquilla ▪ Estudios y Diseños para la Doble Calzada del Tramo Cúcuta – Pamplona. ▪ Estudios y Diseños para el Tramo Tibú – El Tarra (Norte de Santander). ▪ Concesión Vial Ruta Caribe – Tramos desde Cruz del Viso hasta Cartagena y de Bayunca a Barranquilla. ▪ Concesión Vial Córdoba – Sucre – Tramos Montería – Cereté – Ciénaga de Oro y Sincelejo – Corozal. ▪ Proyecto Hidroeléctrico Porce III - Consorcio CCC – Vía a Vertedero Zona A1. ▪ Ecovias S.A. – Depósito de Excedentes Saltos y Pisquines. ▪ Conconcreto S.A. – Estabilización Talud Unidad Residencial Punta de Piedra.
FUNCIONES	▪ Elaboración de estudios geológicos y geotécnicos. Análisis de estabilidad de taludes y diseño de depósitos de excedentes.
TIEMPO:	Enero de 2008 - Diciembre 18 de 2009

EMPRESA	***LUIS FERNANDO CANO G – INGENIERO CONSULTOR***
GERENTE	Ingeniero Civil – Luís Fernando Cano Gómez

PROYECTOS	▪ Estudios Geotécnicos para las cimentaciones del puente vial La Víbora, en el área urbana de Dosquebradas, para el Corredor Vial Manizales-Pereira-Armenia, para el Grupo Constructor Autopistas del Café (Octubre 2007). ▪ Estudios Geotécnicos para las cimentaciones de los puentes peatonales en el Corredor Vial Manizales-Pereira-Armenia, para el Grupo Constructor Autopistas del Café (Marzo 2007). ▪ Estudio Geotécnico Obra San Jorge – Lote Parmenia – Para la firma Constructora ARQUITECTURA & CONCRETO S.A. Medellín-Marzo de 2007.
FUNCIONES	▪ Asesor en las áreas de geología y geomorfología. ▪ Participación en los equipos interdisciplinarios encargados de los estudios para los diferentes proyectos. ▪ Elaboración de informes técnicos en los aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos. ▪ Realización de los diseños geotécnicos, análisis de estabilidad de taludes general y local y diseño de cimentaciones para los diferentes proyectos. ▪ Supervisión y levantamiento de Perforaciones a Rotación y Percusión.
TIEMPO:	Junio de 1998 – diciembre de 2007.

EMPRESA	***SANEAR LTDA – No Telefónico 4366070 Medellín***
GERENTE	Ingeniero Sanitario ***ANIBAL ESPINAL S***
PROYECTOS	▪ Diseño de los Planes Maestros de Acueducto y Alcantarillado para los municipios de: Cisneros, Urrao, Rionegro, Guatapé, Marinilla, Argelia, Ciudad Bolívar, Jardín, Andes, Venecia, Jericó, Maceo, Abejorral, Segovia, Amagá, Nariño y Tarazá en el Departamento de Antioquia; además del Corregimiento de Porce en el municipio de Santo Domingo y Doradal y Jerusalén en el Municipio de Puerto Triunfo y del Municipio de Quinchía en el Departamento de Risaralda. ▪ Estudio de amenazas naturales en el área urbana del municipio de Urrao (Antioquia). ▪ Estudio de Impacto Ambiental y de Riesgos en el Proyecto Hidroeléctrico Guaico para Empresas Públicas de Medellín
FUNCIONES	▪ Asesor en las áreas: ambiental y de riesgos, geología, geomorfología y geotecnia. ▪ Ejecución de estudios geotécnicos para las obras de saneamiento básico y agua potable de los planes maestros diseñados. ▪ Participación en los equipos interdisciplinarios encargados de los estudios ambientales para los diferentes proyectos. ▪ Elaboración de informes técnicos en los aspectos geológicos, geomorfológicos, geotécnicos y ambientales.

TIEMPO:	Octubre de 1994 – Diciembre 2007.

EMPRESA	***JOSÉ IGNACIO SIERRA - INGENIERO CONSULTOR. No. Telefónico 2327746 Medellín.***
GERENTE	Ingeniero Civil ***JOSÉ IGNACIO SIERRA V.***
PROYECTOS	▪ Estudio Geotécnico para la Remodelación de las instalaciones en las Facultades de Medicina y Derecho de la Universidad de Antioquia. ▪ Estudio geotécnico en la Unidad Deportiva Miraflores del barrio Buenos Aires en la ciudad de Medellín. ▪ Estudio geológico y geotécnico en el barrio Yarumito del Municipio de Copacabana (Departamento de Antioquia). 2003 ▪ Estudios geotécnicos de lotes para proyectos de vivienda y urbanizaciones.
FUNCIONES	▪ Asesor en las áreas geológicas y geomorfológicas. ▪ Ejecución de los programas de exploración de campo. ▪ Realización de los diseños geotécnicos y análisis de estabilidad de taludes general y local para los proyectos.
TIEMPO	Marzo de 1998 – Diciembre 2007.

EMPRESA	***GONZALO HINCAPIÉ INGENIERO CONSULTOR. No Telefónico 4969501 Medellín***
GERENTE	Ingeniero Civil ***GONZALO HINCAPIÉ AGUDELO***
	▪ Estudios Geológicos y Geotécnicos para la estabilización de algunos tramos en el sistema de aducción de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Empresa CERVUNIÓN S.A – Municipio de Itagüi (Departamento de Antioquia). Octubre a Noviembre de 2006. ▪ Estudios Geotécnicos en tramos inestables de las vías Valparaíso –Caramanta, Jardin-Riosucio; Jeríco-Andes; Venecia-Bolombolo. Con la Firma AIM LTDA para el Departamento de Antioquia. Diciembre de 2005 – Enero de 2006. Estudio geotécnico para los lotes proyectados en la construcción de las obras de saneamiento básico y agua potable en el municipio de Caracolí y los Corregimientos de Las Mercedes y Estación Cocorná (Municipio de Puerto Triunfo), en el Departamento de Antioquia, para la empresa DIESPU LTDA. 2003 ▪ Estudio Geotécnico para la ampliación de la bocatoma del acueducto del Municipio de Rionegro en el Departamento de Antioquia. 2003 ▪ Estudio geotécnico para el plan maestro de acueducto y alcantarillado del municipio de Entrerríos para la firma consultora Saneambiente Ltda. 2003. Estudio geotécnico para el proyecto

	Caminos del Rodeo Etapa 2 en el Barrio Belén Rincón de la Ciudad de Medellín. Diciembre de 2005. ▪ Estudio geotécnico de un lote en la vereda La Tablaza del Municipio de La Estrella (Departamento de Antioquia). 2003 ▪ Estudio geotécnico de un lote en el barrio Robledo de la ciudad de Medellín para el Arq. Pablo Castaño. 2003
PROYECTOS	▪ Estudio Geotécnico de un lote en la Urbanización Guadarrama del Municipio de Sabaneta (Departamento de Antioquia). 2003
FUNCIONES	▪ Asesor en las áreas geológicas y geomorfológicas. ▪ Coordinación y Ejecución de los programas de exploración de campo. ▪ Realización de los diseños geotécnicos y análisis de estabilidad de taludes general y local para los proyectos.
TIEMPO:	▪ Agosto de 2003 - Diciembre 2007

EMPRESA	***OPERADORES DE SERVICIOS S.A E.S.P. No. Telefónico 3512999 Medellín***
COORDINADOR TÉCNICO	Ingeniera Sanitaria ***PIEDAD PORRAS ZAPATA***
PROYECTO	Estudios y Diseños Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado del Municipio de Fredonia (Departamento de Antioquia).
FUNCIONES	Ejecución de los estudios geológicos, geomorfológicos, ambientales y de riesgos para el proyecto.
TIEMPO	Febrero a Junio de 2003.

EMPRESA	***LUZ MARINA GARCÍA M – INGENIERA CONSULTORA. No. Telefónico 4210864 Medellín***
GERENTE	Ingeniera Sanitaria ***LUZ MARINA GARCÍA MUÑETON.***
PROYECTOS	▪ Estudios y Diseños Centro Integrado de Manejo de Residuos Sólidos El Guacal – EEVVM, en el municipio de Heliconia (Departamento de Antioquia). 2003 ▪ Estudios y Diseños Relleno Sanitario del Municipio de San José de La Montaña (Departamento de Antioquia). 2003. ▪ Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado de los Municipios de Cáceres, Anzá, Remedios y Caicedo y en los Centros Poblados de Minitas y La Clara en el Municipio de Amagá. ▪ Estudios y Diseños de los Rellenos Sanitarios para los Municipios de Yalí, Yarumal y Nechí en el Departamento de Antioquia.
FUNCIONES	▪ Asesor en las áreas geológica, geomorfológica y geotécnica. ▪ Ejecución de los programas geotécnicos de exploración de campo. ▪ Realización de los diseños geotécnicos y análisis de estabilidad de taludes general y local para los proyectos.
TIEMPO	Octubre de 2003 – Diciembre 2007.

EMPRESA	***CORPORACIÓN GAIA. No Telefónico: 5117845 Medellín***
DIRECTORA EJECUTIVA	Socióloga ***ÁNGELA PEÑA***
PROYECTOS	▪ Diagnóstico Ambiental del Municipio de Medellín ▪ La Blanquita: un sitio Arqueológico en el valle de Aburrá.
FUNCIONES	▪ Análisis y elaboración de los estudios geológicos, geomorfológicos, ambientales y de riesgos para el proyecto de diagnóstico ambiental de Medellín. ▪ Ejecución de levantamientos de suelos y correlaciones pedo y lito estratigráficas para el proyecto arqueológico.
TIEMPO	▪ Enero a Junio de 2003. ▪ Julio a Septiembre de 2001

ENTIDAD	***UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA***
COORDINADOR TÉCNICO	***Phd. NÉSTOR AGUIRRE*** ***Msc. RUBÉN ALBERTO AGUDELO G*** ***Msc. LUIS ALBERTO ARIAS LÓPEZ***
PROYECTOS	▪ Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) para el Valle de Aburrá en el Departamento de Antioquia. ▪ Caracterización de los principales aspectos físicos, químicos y bióticos en la cuenca de la quebrada La Vega en San José del Nus ▪ Estudios y Diseños para el Relleno Sanitario de la Ciudad de San Juan de Pasto – Nariño y Gerencia de la Construcción del Alcantarillado de Turbo y Coordinación de los estudios de riesgo, para la elaboración de un Plan de Manejo para la Prevención y Mitigación de Desastres en el Área Urbana del Municipio de Turbo ▪ Cartografía Sistemática de la cuenca alta del río Chigorodó. ▪ Estudio Ecológico y Ambiental en las Ciénagas Grande y de Massi en Montería.
FUNCIONES	▪ Elaboración de los estudios geológicos y geomorfológicos. ▪ Participación en la elaboración del estudio de Impacto Ambiental y Formulación del Plan de Manejo y de Emergencias y Contingencias del relleno. ▪ Elaboración de la Cartografía Geológica y Geomorfológica en la cuenca alta del río Chigorodó y Estudio de la dinámica fluvial del río Chigorodó. ▪ Fotointerpretación y elaboración de mapas hidrogeomorfológicos y de vegetación en la zona de Ciénagas asociadas al Río Sinú.
TIEMPO	▪ Febrero de 2005 – Julio de 2005 ▪ Febrero 2002 a Enero 2003. ▪ Julio a Diciembre de 2002

	▪ Abril de 1996 – Octubre 1996 ▪ Septiembre a Noviembre de 1992

ENTIDAD	***UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA SEDE MEDELLÍN* - Departamento de Ciencias Forestales - Laboratorio de Fotointerpretación y SIG**
COORDINADOR TÉCNICO	***Msc. LUIS JAIRO TORO RESTREPO.***
PROYECTOS	▪ Implementación de un SIG para el ordenamiento de las cuencas: Ríos Calmar y Platanares en los municipios de Roldanillo, Bolívar y Trujillo en el Valle del Cauca para la CVC ▪ Implementación de un SIG para el ordenamiento de las cuencas: Bolo-Fraile-Desbaratado; Ansermanuevo-El Aguila y Roldanillo-La Unión-Toro, en el Valle del Cauca para la CVC
FUNCIONES	▪ Elaborar la cartografía geológica y geomorfológica del proyecto, a escala 1:25.000 y realizar los levantamientos de campo respectivos. ▪ Unificar los estudios generales y semi-detallados de suelos a escala 1:25.000 y realizar levantamientos de suelos.
TIEMPO	▪ Febrero a Abril de 2002 ▪ Diciembre 2000 a Junio 2001

ENTIDAD	***CORANTIOQUIA***
COORDINADOR TÉCNICO	*Ingeniería Forestal DIANA* ***SALDARRIAGA.***
PROYECTOS	Recuperación de un ecosistema lagunar afectado por actividades mineras en el Páramo de Belmira
FUNCIONES	Elaborar propuesta del diseño ingenieril de una presa de tierra, identificar fuentes de materiales y realizar una caracterización geotécnica del área de estudio.
TIEMPO	Agosto 18 a Octubre 18 de 2000

EMPRESA	***CHAMAT INGENIEROS LTDA***
GERENTE	Ingeniero Civil ***ALEXIS CHAMAT***
PROYECTO	Pequeña Central Hidroeléctrica en la Región de Fenicia – Nariño
FUNCIONES	Realizar los estudios geológicos y geomorfológicos del proyecto
TIEMPO	Diciembre de 1998 - Agosto de 1999

EMPRESA	***PZ INGENIEROS LTDA. No Telefónico 3317141***
GERENTE	Ingeniero de Minas **CRISTIAN PORRAS ZAPATA**

PROYECTO	Plan de Manejo Ambiental - Relleno Sanitario Curva de Rodas
FUNCIONES	Coordinar el desarrollo de los estudios de Diagnóstico, Evaluación y Plan de Manejo Ambiental del proyecto
TIEMPO	Febrero a Agosto de 1999.

EMPRESA	***PROGEA LTDA.***
GERENTE	Ingeniero Geólogo **JAIME NORBERTO GUARÍN O**
PROYECTO	Plan de Manejo Ambiental - Parque Industrial Bosques de Caldas
FUNCIONES	Coordinar el desarrollo de los estudios de Diagnóstico, Evaluación y Plan de Manejo Ambiental del proyecto
TIEMPO	Julio a Octubre de 1998.

EMPRESA	**GESTIÓN AMBIENTAL S.A**
COORDINADOR	Ingeniero Civil **AURELIO GÓMEZ GONZÁLEZ**
PROYECTO	Plan de Manejo Ambiental para la Pequeña Minería en el Distrito Minero de Frontino
FUNCIONES	Realizar el diagnóstico geoambiental en el área de estudio y formular proyectos para mitigar y corregir los impactos por minería
TIEMPO	Enero a Abril de 1997

ENTIDAD	***GOBERNACIÓN DE ANTIOQUIA - Secretaría de Desarrollo de la Comunidad – Sección FOPREVE***
COORDINADOR	Ingeniero Geólogo **JAFED NARANJO GUARÍN**
PROYECTO	Estudio para la Identificación de zonas de amenaza por fenómenos naturales en las cabeceras municipales de: Concordia, Ciudad Bolívar, Maceo, Montebello y Anorí.
FUNCIONES	Planeación y elaboración de los estudios de identificación de amenazas en las áreas urbanas de los municipios antes mencionados.
TIEMPO	Septiembre de 1993 - Septiembre de 1994.

EMPRESA	***MALDONADO INGENIERÍA S.A.***
PROYECTO	Estudio geotécnico para los diferentes sitios de ponteaderos en la vía Santa Fe de Antioquia - Bolombolo. Estudio geotécnico para la fundación y cimentación de obras civiles y equipos, en las instalaciones centrales del Campo Cusiana en Tauramena - Casanare. Estudio geotécnico y de estabilidad de vertientes para la construcción del puente sobre la Quebrada Chirajara, en la vía Bogotá - Villavicencio.

FUNCIONES	Ingeniero Residente, encargado de la planeación, organización y ejecución de los trabajos de campo de perforación.
JEFE INMEDIATO	Ing. Roberto Maldonado G - Ing. Jean Paul Vergnaud
TIEMPO	Marzo de 1993 – Agosto de 1993

EMPRESA	***GEOFÍSICA MALDONADO S.A***
CARGO	Ingeniero Geólogo.
FUNCIONES	Realización de estudios geológicos y geofísicos de sísmica de refracción y resistividad para proyectos de hidrogeología, minería y geotecnia.
JEFE INMEDIATO	Ing. Alejandro Ulloa Carrillo
TIEMPO	Octubre de 1991 - Agosto de 1992

EMPRESA	***COMPAÑÍA MINERA DE AMALFI***
PROYECTO	Estudio Litoestratigráfico y de sedimentación del oro en la Mina La Viborita en Amalfi - Antioquia.
CARGO	Investigador
FUNCIONES	Realización de la cartografía geológica y evaluación preliminar de reservas de la mina.
JEFE INMEDIATO	Ing. Luis Alberto Arias López
TIEMPO	Noviembre de 1989 - Julio de 1991.

EXPERIENCIA DOCENTE

UNIVERSIDAD EAFIT. Profesor Estabilidad de Taludes- Facultad de Ingeniería – Posgrado Especialización en Mecánica de Suelos y Cimentaciones – 2013 – Primer Semestre de 2014.

UNIVERSIDAD EAFIT. Profesor Métodos Numéricos – Facultad de Ingeniería – Posgrado Especialización en Mecánica de Suelos y Cimentaciones – Segundo Semestre de 2011.

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. Profesor de Cátedra – Facultad de Ingeniería – Departamento de Ingeniería Sanitaria – Curso Mecánica de Suelos. Febrero de 2001 - Enero de 2006

POLITÉCNICO JAIME ISAZA CADAVID – INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA. Profesor de Cátedra – Facultad de Ingeniería – Departamento de Ingeniería Civil – Curso Mecánica de Suelos Básica y Laboratorio. Febrero de 2004 - Diciembre de 2006.

SEMINARIO RAS 2000. Socialización de los aspectos geológicos y geotécnicos relacionadas en la norma sobre el Reglamento del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico para la República de Colombia. Dirigido a empleados de las EEPPM de Medellín. 8 horas. Octubre y Noviembre de 2003.

MONITORÍA ACADÉMICA EN FOTOINTERPRETACIÓN. Carrera Ingeniería Forestal - Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín. Semestres 01 del 2000. 6 horas semanales

SEMINARIO - TALLER: Identificación de Zonas de Riesgo en el Municipio de Urrao. SANEAR LTDA. 8 horas. 1996.

SEMINARIO: Socialización del Estudio Geoambiental en la Cabecera Urbana de Mesopotamia. CORNARE. 8 horas. 1996.

SEMINARIO - TALLER: Formulación de Proyectos Ambientales en los Municipios de Hispania y Concordia. Cabildo Verde - INDERENA. 16 horas. 1995.

PUBLICACIONES

La Blanquita: un Sitio Pre-cerámico en el Valle de Aburrá. Luz Elena Martínez, Silvia Botero, Carlos E Parra V. Corporación GAIA. II Congreso de Arqueología en Colombia. Mayo 9-11/2002. Ibagué-Tolima-Colombia.

Caracterización de los Principales Aspectos Físico-Bióticos de la Microcuenca de la Quebrada La Vega (Municipio de San Roque – Departamento de Antioquia. Grupo de Investigación y Modelación Ambiental (GAIA)-Universidad de Antioquia. Parte de libro – Capítulo 5 – Numeral 5.1. Geología y Geomorfología. Páginas 31 a 43. Agosto de 2004.

Un Registro Holocénico de Alta Resolución: Lodos de La Batea, Santa Fé de Antioquia. Reporte y Perspectivas. Boletín de Ciencias de la Tierra – No. 17. Páginas 109-115 Escuela de Geociencias y Medio Ambiente – Facultad de Minas – Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Oscar D Ruíz, Diana P Sánchez y Carlos E Parra. Noviembre de 2005.

REFERENCIAS PERSONALES

ELIZABETH SERNA SÁNCHEZ
Ingeniera Forestal – Msc. Geomorfología y Suelos
Profesional ARGOS
No. Telefónico: 3117520451

ALBEIRO RENDÓN R.
Ingeniero Geólogo.
Doctor en Ciencias Geológicas.
Docente Investigador - Facultad de Minas
Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín
No. Telefónico Oficina: 4255137

AURELIO GÓMEZ G
Ingeniero Civil –
Magister en
Ingenieria
GERENTE –
HYDRICAS S.A.S
No. Telefónico
Oficina: 4440270.

CARLOS EDUARDO PARRA VARGAS
c.c # 71.647.477 de Medellín

Medellín, junio de 2017

HOJA DE VIDA

DATOS PERSONALES

NOMBRE	Jose Luis Velásquez Serna
DOCUMENTO DE IDENTIDAD	1’037.591.036.
FECHA DE NACIMIENTO	09 de Octubre de 1988
LUGAR DE NACIMIENTO	Medellín, Antioquia, Colombia
ESTADO CIVIL	Soltero
DIRECCIÓN	Calle 7 #81-107 Apto 1102
TELÉFONO FIJO	577-09-80
CELULAR	320-609-31-53
E-MAIL	jlvelasqs@gmail.com

PERFIL PROFESIONAL

Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia, tengo experiencia en el manejo de Autocad 2D, Project, Slide 6.0, Plaxis 2D, Rocsience, DIPS, Settle 3D, herramientas de Microsoft Office (Excel, Word, Project).

Mis estudios universitarios se ven dirigidos hacia el diseño y ejecución de obras geotécnicas, pero también estoy en capacidad de desempeñarme en cualquier área de la Ingeniería Civil.

HABILIDADES Y DESTREZAS

- Diseño Geotécnico.
- Estabilidad de taludes.
- Diseño de Cimentaciones.
- Diseño de estructuras de contención.
- Liderazgo y ética profesional
- Trabajo con efectividad
- Capacidad de tomar decisiones adecuadas en diferentes escenarios en el ejercicio de mi profesión.
- Trabajo en equipo e interdisciplinario

FORMACIÓN ACADÉMICA

Estudios Universitarios: Universidad Nacional de Colombia
Sede: Medellin
Ingeniería Civil
2014

Estudios Secundarios: Colegio Calasanz.
Medellín Antioquia
Bachiller
2005

SISTEMAS OPERATIVOS

1. Microsoft Office (Excel, Word, Power Point)
2. AutoCAD 2D
3. AutoCAD 3D
4. Project
5. Slide
6. Phase II
7. Roclab
8. Dips
9. Plaxis
10. EPANET

CURSOS Y ASISTENCIA A EVENTOS

1. Curso de AutoCad 2D
   Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
   Medellín 2011

2. Curso de Autocad 3D
   Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
   Medellín 2011

3. Seminario de interventoria en obras
   SAI (Sociedad Antioqueña de
   Ingenieros y Arquitectos)
   Medellín 2015

4. Seminario- Taller Diseño y Construccion de Túneles
   SAI (Sociedad Antioqueña de
   Ingenieros y Arquitectos)
   Medellín 2015

5. I Seminario- Taller Sobre Gestion de Pavimentos
   SAI (Sociedad Antioqueña de
   Ingenieros y Arquitectos)
   Medellín 2015

EXPERIENCIA

1. Investigacion en geotecnia Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
Funciones: Auxiliar de ingeniería.

- Recopilación y procesamiento de información en apoyo al doctorado del ingeniero Francisco J. Nanclares A. Consistente en consulta de diferentes artículos científicos y análisis de ellos; recopilación y análisis de los datos de ensayos de corte directo sobre muestras de gran tamaño en material granular.
- Construcción y recopilacion de informacion de equipo para ensayo triaxial en muestras de gran tamaño.
- Preparación y ejecución de ensayos de consolidación y triaxiales para muestras de gran tamaño. Recopilación de los datos tomados durante el ensayo, análisis geotécnico y elaboración de informes.

Contacto:
Francisco Javier Nanclares
Profesor Asociado Universidad Nacional de Colombia
Tel: 3137162754-3183817447

2. Conestructurar S.A.S

Durante el periodo laborado me desempeñé como Residente de Obra, liderando las actividades de adecuacion de infraestructura Centros de Atención a Victimas (CAV) Sedes Palermo, Belencito y Caunces en Medellín.

El periodo laborado fue desde Abril hasta junio de 2013 (3 meses).

Contacto:
Carlos David Moreno
Ingeniero Quimico
Tel: 3006019155

3. W.W Ingeniería LTDA

Durante el periodo laborado me he desempeñé en proyectos de alcantarillado y acueductos, apoyando la parte de reconocimiento en campo, coordinación de frentes de trabajo, elaboración de informes, cálculos y diseño.

- Diseño Plan Maestro de Acueducto y Alcantarillado del municipio de Bojayá, Chocó.

- Plan Maestro de readecuación del acueducto del municipio de Lloró, Chocó.

El periodo laborado fue desde junio hasta noviembre de 2013 (6 meses).

Contacto:
Martin Andrés Zapata Hoyos
Ingeniero Sanitario
Tel: 3136831956

3. Grupo Solum S.A.S

Actualmente laboro en esta empresa en la cual he participado en los siguientes proyectos.

- Revisión diseños de fase III, del proyecto Vías de Cuarta Generacion 4G.
- Diseño de cimentaciones y estabilidad de taludes Proyecto Construcción, Rehabilitación, Operación y Mantenimiento del sistema Vial para la Conexión Antioquia-Bolívar.
- Realización de los Estudio geotécnicos para cimentaciones, estabilidad de taludes, drenajes y estructuras de contención del proyecto Sky Bussines Place Las Palmas.
- Estudio geotécnico y diseño de estructuras de contención del Proyecto Sunset 100 en la ciudad de Barranquilla.
- Recomendaciones para cimentación de la torre grúa, torre 3 y torre 4 Proyecto Nativo Flora, Municipio de envigado Medellín.
- Estudio Geotécnico Lote 20 Parcelación Las Palmas
- Diseños Geotécnicos PCH La Chorrera.
- Diseños estabilidad de taludes y diseño de cimentaciones Proyecto Red Vial Sucre.
- Estudios y diseños geotecnicos PCH Virginias.
- Estudio de estabilidad y estabilizacion de taludes vias de acceso PCH Virginias.
- Estudios geotecnicos de estabilidad de taludes, diseño de cimentaciones y diseño de pavimentos para el Hangar IEA Aeropuerto Jose María Cordova.
- Estudio de estabilidad de taludes Construcción Segunda Calzada El 15-Montería. Concesión Vias de Las Americas
- Diseño de cimentaciones para puentes Paso de Fauna Hatovial.

REFERENCIAS PERSONALES

Francisco Javier Nanclares
Ingeniero Civil
Consultor
Tel: 3137162754 - 3183817447

Diego Restrepo Trujillo
Tablemac
Ingeniero Mecánico
Tel: 3017836386

REFERENCIAS FAMILIARES

Juan Esteban Velásquez Sena
J&W Ingenieros.
Ingeniero Mecánico
Tel: 3217088587

Medellín, 22 de octubre de 2018

Rc018-274

GRUPO SOLUM SOLUCIONES GEOTECNICAS S.A.S.
NIT. 900.436.290-6
CERTIFICA QUE:

CARLOS EDUARDO PARRA VARGAS Identificado con cédula de ciudadanía No. 71647477 de Medellín, actuando como representante legal de la compañía, bajo la gravedad de juramento certifico que nuestra empresa no tiene causales de impedimento para rendir dictamen pericial sobre las circunstancias de tiempo modo y lugar y las posibles causas del siniestro ocurrido el pasado 26 de octubre de 2016 en el km 12 + 240 de la autopista Medellín - Bogotá.

Contamos con todas las cualidades, aptitudes, conocimiento, experiencia y equipo de trabajo técnico y humano, para desarrollar dicho dictamen pericial, el mismo fue realizado con toda imparcialidad y objetividad.

Anexamos hoja de vida del personal a cargo del proyecto los ingenieros:

NORBEY ARCILA QUINTERO Ingeniero Geólogo
CARLOS EDUARDO PARRA VARGAS Ingeniero Geólogo
AURELIO GOMEZ GONZALEZ Ingeniero Civil
JOSE LUIS VELASQUEZ SERNA Ingeniero Civil

Cordialmente,

CARLOS EDUARDO PARRA VARGAS
GERENTE

Carrera 83 N° 32 EE – 44
TELÉFONO 4114524
E-MAIL contabilidad@gruposolum.co
MEDELLÍN - COLOMBIA