

**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA CON BASE EN IDENTIFICACIÓN  
GEOMORFOLÓGICA, LITOLÓGICA Y ESTRUCTURAL EN LA CUENCA  
SUPERIOR DEL RÍO LATO, PIEDECUESTA, SANTANDER.**

**ASTRID YADIRA BARAJAS MÉNDEZ  
ÁLVARO ALDEMAR GÓMEZ PRADA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA  
2010**

**CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA CON BASE EN IDENTIFICACIÓN  
GEOMORFOLÓGICA, LITOLÓGICA Y ESTRUCTURAL EN LA CUENCA  
SUPERIOR DEL RÍO LATO, PIEDECUESTA, SANTANDER.**

**ASTRID YADIRA BARAJAS MÉNDEZ  
ÁLVARO ALDEMAR GÓMEZ PRADA**

**Proyecto de Grado presentado como requisito  
Para optar el título de:  
Geólogos**

**Director:  
JUAN DIEGO COLEGIAL GUTIÉRREZ  
Geólogo Ph. D**

**Codirector:  
SULLY GOMEZ ISIDRO  
Ingeniera Civil M.Sc, Ph.D**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA  
2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta tesis de pregrado pudo ser realizada gracias al apoyo de:

Juan Diego Colegial Gutiérrez Geólogo Ph. D; decano de la facultad de Físico – Químicas y director de proyecto, gracias por brindarnos sus conocimientos y apoyo durante el desarrollo de la tesis, que Dios siga llenado de éxitos su vida.

Sully Gómez Isidro Ingeniera Civil M.Sc, Ph. D codirectora del proyecto.

Danny Rueda, Geólogo, por su tiempo durante el procesamiento e interpretación sísmica, bendiciones en tu vida.

A Crispín Fonseca por su colaboración y orientación para el diseño de mapas de fracturas.

A los estudiantes Raúl Vera y Benjamín por su apoyo en la adquisición sísmica, a Daren Rodríguez por brindarnos sus conocimientos en campo para descripción de fracturas.

Andrés Calles por su colaboración con el grupo de petrosísmica y permisos de ingreso al ICP (Instituto Colombiano del Petróleo), al igual que Nelson Sánchez Geólogo, y William Agudelo.

A Juan Carlos Ingeniero Civil por el apoyo incondicional que siempre nos ofreció para el desarrollo de este proyecto.

A todos gracias por darnos su apoyo y amistad en especial a Natalia Higuera Ayala, Reynaldo Ortiz Rios, que Dios los bendiga.

**A Dios por ser mi camino y razón de ser; A mis padres Álvaro y Cecilia quienes con su incondicional apoyo y sabiduría me han guiado en esta importante etapa de mi vida; a mis hermanos Rubén Darío y Edwin Omar, gracias por ser siempre mis mejores amigos.**

**Álvaro Aldemar Gómez Prada.**

**Dios gracias por permitir que hoy mi vida este llena de bendiciones, por darme la oportunidad de estar con mis padres que son la fuerza de mí ser, gracias por su sacrificio y esfuerzo; este triunfo es para ustedes. Por regalarme la fortuna de estar con mis dos hermanos, a ustedes gracias por su compañía y apoyo incondicional. Pero también te doy gracias por darme la alegría de encontrar a una persona muy especial que ha estado presente antes y durante el proceso de mi carrera; a mi novio  
Diego Rivera.**

**Astrid Yadira Barajas Méndez.**

## TABLA DE CONTENIDO

1.0 INTRODUCCION.....	19
2.0 OBJETIVOS.....	21
2.1 Objetivo general.....	21
2.2 Objetivos específicos.....	21
3.0 GENERALIDADES DE LA ZONA.....	22
3.1 Marco geológico de la cuenca.....	31
4.0 METODOLOGÍA.....	33
4.1 Fase 1. Fundamentación y diseño.....	33
4.1.1 Recopilación de información.....	33
4.1.2 Análisis de información.....	33
4.1.3 Estudios anteriores.....	34
4.2 Fase 2. Desarrollo y ejecución.....	37
4.3 Fase 3. Conclusiones finales.....	38
4.4 Fase 4. Redacción y edición de tesis.....	38
4.4.1 Fase 5. Defensa de la tesis.....	38
4.5 Análisis morfoestructural.....	42
4.6 Actividades de campo.....	43
4.6.1 Muestreo.....	44
4.6.2 Método de análisis de fracturas.....	45
4.6.3 Método geofísico.....	46
4.7 Procesamiento de información.....	50
4.7.1 Análisis de secciones delgadas.....	50
4.7.2 Procesamiento sísmico.....	51
4.8 Modelos y herramientas.....	54
5.0 MARCO TEORICO.....	55
5.1 Ciclo del agua.....	55
5.2 Fases del ciclo hidrogeológico.....	56
5.3 Clasificación de acuíferos.....	57
5.3.1 De acuerdo a su génesis.....	58
5.3.2 De acuerdo a sus atributos físicos.....	58

5.3.3 Clasificación por criterios de transmisividad.....	59
5.3.4 De acuerdo a su estructura.....	59
5.3.5 Acuíferos fracturados.....	60
6.0 RESULTADOS.....	64
6.1 Resultados de campo.....	64
6.1.1 Rasgos estructurales.....	64
6.1.2 Unidades litológicas.....	65
6.1.3 Datos de fracturas en afloramiento.....	69
6.1.4 Análisis de datos en afloramiento para la porosidad.....	72
6.2 Resultados de laboratorio.....	75
6.2.1 Análisis morfoestructural.....	75
6.2.1.1 Mapa de lineamientos.....	75
6.2.2 Diagrama de rosetas.....	77
6.2.3 Mapa geológico.....	79
6.2.4 Descripción de secciones delgadas.....	79
6.2.5 Perfil de meteorización.....	82
6.2.6 Interpretación sísmica.....	90
6.2.7 Distribución de muestras de agua, cuencas del río de Oro y Lato.....	96
7.0 CONCLUSIONES.....	99
8.0 RECOMENDACIONES.....	100
9.0 BIBLIOGRAFIA.....	101

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Ubicación cuenca río Lato en la cuenca superior del río Lebrija.....	23
<b>Figura 2</b>	Localización Geográfica cuenca río lato.....	24
<b>Figura 3</b>	Condiciones Morfoclimáticas selva nublada.....	26
<b>Figura 4</b>	Subcuenca Superior del río Lebrija.....	28
<b>Figura 5A</b>	Flujo grama metodológico del proyecto.....	38
<b>Figura 5B</b>	Flujo grama de procesos de las fases de trabajo.....	39
<b>Figura 5C</b>	Flujo grama de procesos de las fases de trabajo.....	40
<b>Figura 5D</b>	Flujo grama de procesos de las fases de trabajo.....	41
<b>Figura 6</b>	Método extracción de núcleos.....	44
<b>Figura 7</b>	Zona de extracción núcleos.....	45
<b>Figura 8</b>	Esquema ilustrativo posiciones de los receptores.....	49
<b>Figura 9</b>	Multicomponente para adquisición sísmica.....	50
<b>Figura 10</b>	Esquema estimación de fracturas sección delgada.....	51
<b>Figura 11</b>	Procesos desarrollo ciclo del agua.....	55
<b>Figura 12</b>	Escorrentía superficial y subterránea del agua.....	56
<b>Figura 13</b>	Medios naturales y artificiales del agua subterránea.....	57
<b>Figura 14</b>	Acuíferos fracturados.....	60
<b>Figura 15</b>	Lineamientos Valle río lato.....	64
<b>Figura 16</b>	Lineamento cerro morro negro.....	65
<b>Figura 17</b>	Localización gneis en la vía Bucaramanga – Berlín.....	67
<b>Figura 18</b>	Cuarzomonzonita con alto grado de meteorización química.....	68
<b>Figura 19</b>	Gneis afectados por diques intrusivos.....	68
<b>Figura 20</b>	Cuarzomonzonita de la corcova en su estado más fresco.....	69
<b>Figura 21</b>	Scanline en afloramiento.....	70
<b>Figura 22</b>	Representación esquemática de las fracturas.....	70
<b>Figura 23</b>	Apertura VS frecuencia acumulada de fracturas.....	73
<b>Figura 24</b>	Afloramiento Cuarzomonzonita con alteración a caolín.....	74
<b>Figura 25</b>	Mapa de lineamientos cuenca río Lato.....	75
<b>Figura 26</b>	Mapa de densidad de lineamientos cuenca río lato.....	76
<b>Figura 27</b>	Modelo digital de terreno con direcciones representativas mostradas Por diagramas de rosetas.....	78
<b>Figura 28</b>	Mapa geológico a escala 1:25000 de la cuenca del río lato.....	79

<b>Figura 29</b>	Apertura de las microfracturas en sección delgada.....	82
<b>Figura 30</b>	Intensidad de microfracturas en sección delgada.....	82
<b>Figura 31</b>	Litología cerro Morronegro mayor elevación.....	83
<b>Figura 32</b>	Gneis meteorizado, Km 28 vía Bucaramanga – Berlín.....	84
<b>Figura 33</b>	Cuarzomonzonita afectados por procesos de meteorización.....	85
<b>Figura 34</b>	Gneis con alto grado de fracturas.....	86
<b>Figura 35</b>	Perfil de meteorización.....	87
<b>Figura 36</b>	Localización de muestras en el modelo digital de la cuenca.....	88
<b>Figura 37</b>	Mapa de potencial hidrogeológico de la cuenca del río Lato.....	89
<b>Figura 38</b>	Propagación de la señal de onda sísmica para receptores.....	91
<b>Figura 39</b>	Perfil Sísmico.....	92
<b>Figura 40</b>	Distribución de minerales en sección delgada.....	93
<b>Figura 41</b>	Distribución capa meteorizada en perfil sísmico.....	93
<b>Figura 42</b>	Cuerpo Ígneo en el Perfil sísmico.....	94
<b>Figura 43</b>	Zona de transición en el perfil sísmico.....	95
<b>Figura 44</b>	Distribución del perfil sísmico en el perfil de meteorización.....	96
<b>Figura 45</b>	Puntos de agua.....	96

## LISTA DETABLAS

<b>Tabla1</b> Geometría adquisición sísmica línea 1.....	48
<b>Tabla2</b> Geometría geófonos en programa Promax.....	53
<b>Tabla3</b> Geometría de fuentes en programa Promax.....	54
<b>Tabla4</b> Características físicas de fractura en campo.....	72
<b>Tabla5</b> Composición mineralógica y porcentual de la muestra.....	80
<b>Tabla6</b> Porcentajes de porosidad secciones delgadas.....	88
<b>Tabla 7</b> Esquema de velocidades de ondas sísmicas para diferentes litologías propuesto por Press (1966).....	91
<b>Tabla 8</b> Propiedades químicas del agua en la cuenca.....	98

## ANEXOS

<b>Anexo A:</b> Construcción del mapa de sombras y lineamientos a partir del MDT.....	103
<b>Anexo B:</b> Interpretación y análisis fotogeológicos.....	109
<b>Anexo C:</b> Descripción de Scanline en afloramiento.....	133
<b>Anexo D:</b> Descripción muestreo de fracturas de secciones delgada.....	140
<b>Anexo E:</b> Descripción de secciones delgadas.....	144
<b>Anexo F:</b> Diseño de Imágenes en Petrel.....	153

## RESUMEN

### TÍTULO

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA CON BASE EN IDENTIFICACION GEOMORFOLÓGICA, LITOLÓGICA Y ESTRUCTURAL EN LA CUENCA SUPERIOR DEL RÍO LATO, PIEDECUESTA, SANTANDER

### AUTORES

ASTRID YADIRA BARAJAS MÉNDEZ  
ÁLVARO ALDEMAR GÓMEZ PRADA

### PALABRAS CLAVES

Cuenca del Río Lato, Rocas Cristalinas meteorizadas, Fracturas, Hidrogeología, Sísmica estrato Somero.

### DESCRIPCIÓN

Como una contribución al conocimiento para el ordenamiento y planificación de cuencas hidrogeológicas, se elaboró la cartografía geológica, a escala de 1:25000 de la Cuenca del Río Lato, se realizó una caracterización estructural, geomorfológica y sísmica; con los datos obtenidos se generó un perfil de la meteorización de la rocas duras, como lo son las rocas metamórficas e ígneas, espesor aproximado de estas y análisis de porosidad a partir de secciones delgadas con tinción de fondo azul. Permitiendo de esta manera proveer una mejor caracterización hidrogeológica.

El área de estudio hace parte del macizo de Santander donde afloran rocas metamórficas como el Neis de Bucaramanga pre-devónicas y rocas ígneas como la Cuarzomonzonita de la corcova de edad triásico jurásico. Estas rocas presentan un alto grado de fracturamiento representado por fallas y diaclasas y en otros sectores alto grado de meteorización. Las anteriores características otorgan a estas rocas grandes posibilidades de almacenar y transmitir agua.

La cuenca del río Lato se encuentra afectada por la falla regional de Bucaramanga, encontrándose deformada y plegada permitiendo de esta manera que las rocas que allí afloran den lugar a una alta permeabilidad secundaria que facilite la filtración, movimiento y acumulación del agua, con un área aproximada de 72 Km<sup>2</sup> con una topografía ondulada y valle erosional en forma de "V" en la parte media y alta de la cuenca. El clima predominante de esta zona es húmedo tropical mostrando paisajes montañosos, relieve de crestas, relieve de vigas como principales características morfológicas.

-----  
\*Proyecto de grado, Modalidad de investigación.

\*\*Facultad De Ingenierías Físico-Químicas, Escuela De Geología Director Juan Diego Colegial.

## ABSTRACT

**TITLE:** HIDROGEOLOGIC CHARACTERIZATION BASED IN GEOMORPHOLOGICAL, LITHOLOGICAL AND STRUCTURAL IDENTIFICATION IN THE UPPER BASIN OF THE LATO RIVER PIEDECUESTA SANTANDER.

### AUTHORS

ASTRID YADIRA BARAJAS MENDEZ.

ALVARO ALDEMAR GOMEZ PRADA

### KEY WORDS

Lato River Basin, Weathered crystalline rocks, fractures, Hydrogeology, Seismic shallow stratum.

### DESCRIPTION

The study area is part of the Santander Massif where metamorphic outcrops are predevonian gneisses of Bucaramanga and igneous rocks such as the hump Cuarzomozonita Triassic-Jurassic age. These rocks have a high degree of fracturing represented by faults and joints and other areas high degree of weathering. The above characteristics of these rocks provide great possibilities to store and transmit water.

As a contribution to enhance the knowledge about of management and planning of hydrogeological basins, was developed the geological cartography study which is presented to scale 1: 250000 of Lato River basin; a structural, geomorphological and seismic characterization was held. Data obtained was a weathering profile of hard rocks (metamorphic and igneous) based on thin sections descriptions of texture, composition and porosity analysis.

Lato River Basin is affected by the regional fault in Bucaramanga, being deformed and folded thus allowing the rock outcrop there give rise to high secondary permeability to facilitate the filtration, water movement and accumulation, with an area approximately 72 km<sup>2</sup> with a rolling topography and erosional valley in a "V" in the middle and upper basin. The climate of this area is humid tropical mountain panoramas, terrain of ridges, beams relief main morphological characteristics.

---

\* Degree work research modality of research.

\*\*Faculty of Physical-Chemical Engineering, School of geology Director Juan Diego Colegial.

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso del agua se ha realizado como algo cotidiano y la disponibilidad del recurso nunca se ha puesto en tela de juicio, en especial, en comunidades urbanas, donde las administraciones municipales planean la obtención de los recursos hídricos, especialmente de las aguas superficiales y en ciertas situaciones donde el recurso es escaso; se proyectan obras como canalizaciones, uso de tubería e incluso perforaciones para acceder a recursos hídricos subterráneos. En algunas regiones, donde la geología está principalmente conformada por rocas cristalinas, el recurso subterráneo se considera inexplorable.

En ambientes de rocas cristalinas, los estudios hidrogeológicos han ido evolucionando al punto de propugnar un cambio de concepto de los acuíferos discontinuos al modelo de acuíferos continuos y estratiformes debido a los procesos de meteorización; esta es la premisa asumida en este estudio.

El estudio de la caracterización hidrogeológica que aquí se presenta se desarrolló en la cuenca del río Lato, en el municipio de Piedecuesta, y busca caracterizar la cuenca hidrogeológica teniendo en cuenta la revisión de los estudios geológicos e hidrogeológicos existentes; la caracterización geomorfológica en cuanto al análisis morfoestructural, la elaboración de la cartografía geológica en sentido amplio, la adquisición sísmica de reflexión utilizando los software de interpretación Promax y Thrustline para establecer el espesor de la zona meteorizada de las rocas cristalinas; como fruto de las actividades de cartografía (por fotointerpretación y en campo) se produce el mapa geológico (litológico y estructural) y morfoestructural. A partir de un modelo digital del terreno se elabora un mapa de sombras del cual se obtienen lineamientos que complementan el mapa morfoestructural a partir del cual se deriva un mapa de densidad de fracturas; los datos adquiridos y las resoluciones establecidas permiten presentar la cartografía en escala 1:25.000.

A nivel de afloramiento se identificaron las litologías y se estudió el fracturamiento utilizando el método Scanline (González de Vallejo, 2002) con el fin de estimar la potencialidad de permitir el flujo de agua hacia el subsuelo a través de los materiales rocosos frescos y meteorizados; se realizaron

muestreos de las rocas meteorizadas elaborando secciones delgadas para análisis petrográficos con el fin de estudiar la composición mineralógica, el estado de alteración de los minerales, la textura y estructuras especialmente realizando la estimación porcentual de la porosidad.

Con base en los datos obtenidos se presenta un modelo del perfil de meteorización en la cuenca teniendo en cuenta los criterios propuestos por P. Lachassagne (2008), integrando la información cartográfica, geofísica y petrográfica se plantea la definición de acuíferos del área de estudio alrededor de lo cual se elaboran conclusiones y recomendaciones.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar la caracterización hidrogeológica en la cuenca superior del río Lato basada en el análisis cartográfico, geomorfológico y estructural a escala 1:25000 en el municipio de Piedecuesta, Santander, específicamente en la zona de meteorización de las rocas cristalinas y zonas fracturadas, las cuales están implicadas con infiltración, acumulación y flujo del agua.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ❖ Realizar una revisión completa y, desde luego, bien documentada del tema (comentada y previamente analizada).
- ❖ Realizar la cartografía geológica en escala: 1:25000 para publicar. Esto implica metodológicamente:
  - tener la síntesis de la cartografía existente de la cuenca y sus alrededores.
  - Realizar el Mapa geológico elaborado por los integrantes de este proyecto.
- ❖ Realizar la fotointerpretación y elaboración de un mapa de fracturas.
  - Basados en el modelo digital del terreno se generara un modelo de sombras para la observación de lineamientos.
- ❖ Realizar un análisis estadístico de la orientación de diaclasas.
- ❖ Realizar adquisición sísmica del subsuelo y diferenciar o no componentes de la meteorización de las rocas cristalinas.
- ❖ Estimar la porosidad de rocas y formaciones superficiales del macizo rocoso a partir de estudios petrográficos.
- ❖ Delimitar un perfil de Meteorización utilizando criterios propuestos por P.Lachassagne.
- ❖ Enmarcar la información hidrológica de propiedades físico químicas existente en el ámbito de la caracterización hidrogeológica realizada.

### 3.0 GENERALIDADES DE LA ZONA

El presente capítulo muestra de una manera general aspectos de la zona en donde se encuentra ubicada la cuenca alta del río Lato, su infraestructura y algunos rasgos naturales.

#### • Localización

La cuenca del río Lato se encuentra en el municipio de Piedecuesta en el sector sur oriental del área metropolitana de Bucaramanga, correspondiente a las planchas 120-2B Y 120-2D del cuadrángulo H-12 del sistema cartográfico del Instituto Geográfico Colombiano Agustín Codazzi.

El presente estudio se centra en la parte alta de la cuenca de río Lato (que a su vez pertenece a la cuenca del río de Lebrija) esta zona se encuentra delimitada por las coordenadas:  $X_1$ : 1267390,  $Y_1$ : 1113171.  $X_2$ : 1266340,  $Y_2$ : 1116790.  $X_3$ : 1277300,  $Y_3$ : 1117980.  $X_4$ : 1276661.  $Y_4$ : 1116214.

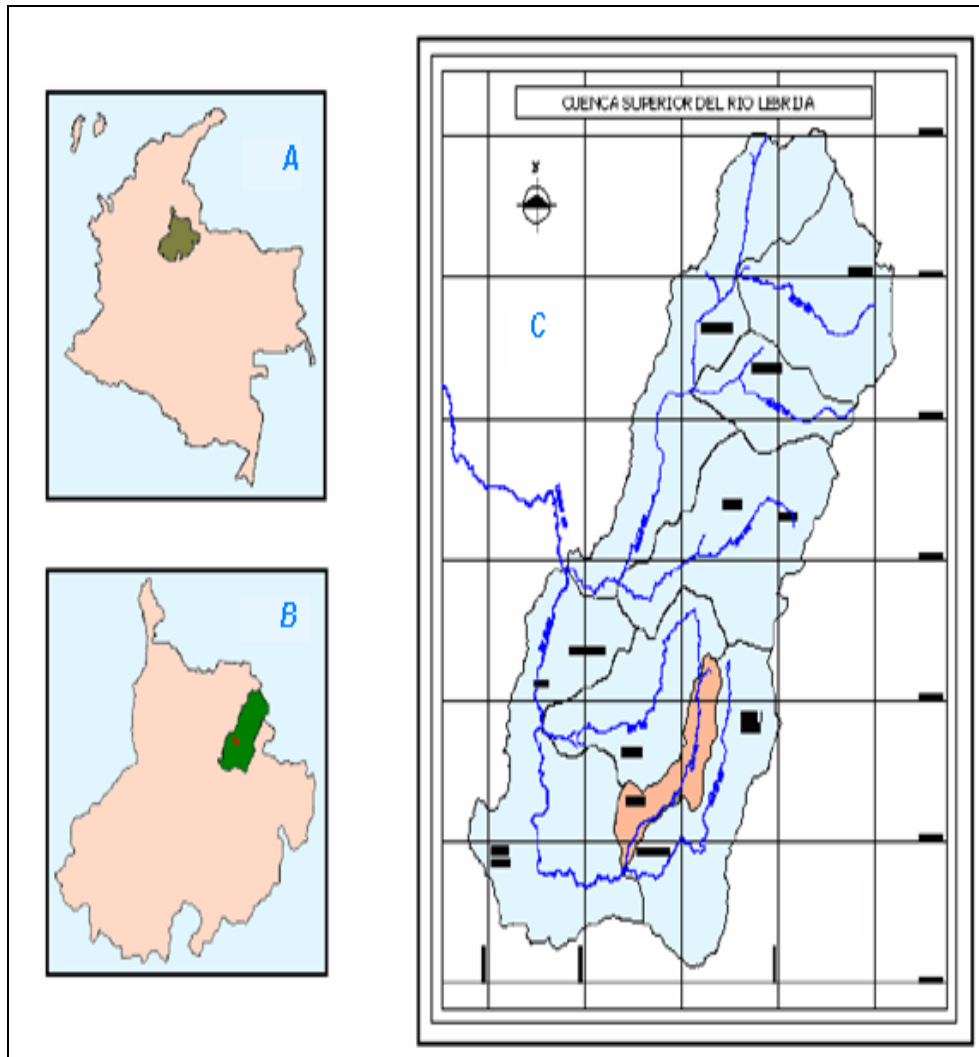
El curso principal del río corre en sentido este oeste, desde el borde occidental del Macizo de Santander hasta la parte alta y media del valle de Guatiguará – Río de Oro formado entre las mesas de Ruitoque y los Santos.

La cuenca tiene una extensión de 72.00 km<sup>2</sup>, de los cuales el 30% se localiza sobre valle de Guatiguará; la cuenca es una de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable para la mesa de Ruitoque y el valle de Guatiguará, y una gran fuente potencial de agua subterránea. Posee una población cercana a los 116736 habitantes.

#### ▪ Resumen cuenca Lato

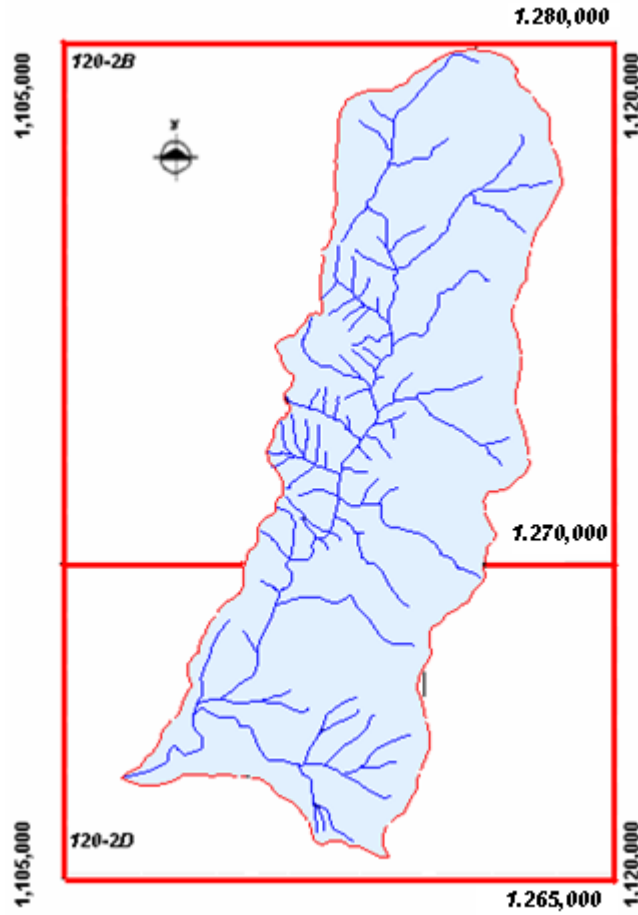
En la cuenca del río Lato se presentan tres tipos de unidades geomorfológicas con materiales y estructuras geológicas diferentes: el valle de Guatiguará- río de Oro, una depresión intramontana de topografía relativamente plana de alturas entre 950 y 1050 msnm, localizada entre La Mesa de Ruitoque, el macizo de Santander y La Mesa de los santos, conformada por depósitos cuaternarios de origen continental, que constituyen la parte baja de la cuenca; también en la parte baja, La Mesa de Ruitoque, con cotas entre 950 y 1350 msnm es una unida compuesta de rocas sedimentarias continentales del jurásico como conglomerados, areniscas y lodolitas bastante duras, y por último el Macizo de Santander es un relieve bastante quebrado, muy abrupto,

con laderas de pendiente escarpada a muy escarpada desde la cota 1050 hasta la 3000 msnm en la parte media y alta de al cuenca, compuesto por rocas ígneas y metamórficas bastante dicacclasadas y meteorizadas de tipo Neis, esquisto, migmatita y cuarzomonzonita.



**Figura 1: Ubicación río Lato en la cuenca del río Lebrija.**

A: Ubicación de la cuenca en el mapa de Colombia, B: Ubicación de la cuenca en el departamento de Santander y C: Ubicación de la cuenca del Río Lato en la cuenca del Río Lebrija



**Figura 2: Localización Geográfica de la cuenca del río Lato; incluida en las planchas de IGAG 120-2B y 120-2D**

**• Vías de acceso**

La zona cuenta con algunas vías de acceso en su parte baja; hacia la parte media y alta existen carretables para campero y caminos de herradura y penetración.

El área se ubica en la parte del sur del área metropolitana de Bucaramanga del departamento de Santander, la principal vía de acceso a la zona de estudio es la carretera que conduce de Bucaramanga - Piedecuesta en el departamento de Santander.

Algunos carretables que se derivan de la carretera principal han sido utilizados para el estudio de la zona de interés, entre estos se encuentran el carretable de Sevilla, Cristales, Planadas y Cubín. En algunos lugares de las partes montañosas fue necesario utilizar los caminos de herradura,

especialmente en zonas primarias y reservas forestales protegidas por la CDMB y algunos lugares de la cuchilla de cristales con un difícil acceso.

- **Aspectos Morfoclimáticos**

Se presentan dos unidades climáticas dentro de la cuenca según Tricard 1967:

- **Selva nublada**

Zonas que de acuerdo con la clasificación de Holdrige (en Tricard 1967) corresponden con Bosque Muy Húmedo Montano alto. Entre los 1500 y 3400m (ver figura 3), es relativamente fría pero y alta pluviosidad. Como su nombre lo indica la neblina es muy frecuente y la humedad es alta y constante. Característica de este piso, donde su vegetación es muy densa con un tapiz de musgos y de algas, frena y suprime la acción de la escorrentía”.

El régimen pluvial acentuado presenta una disminución en los meses de diciembre, enero y febrero; la alta humedad del piso se manifiesta en la aparición de muchas epifitas. En la parte más alta de este piso comienzan a suceder fenómenos de precipitación horizontal. El piso de Selva Nublada, húmeda, es esencialmente el dominio de los deslizamientos crónicos del terreno. La morfogénesis de este piso está regida por las entalladuras de las corrientes de agua y por la acción de la solifluxión sobre las vertientes.

En la siguiente fotografía se puede observar que partes del paisaje permiten la escorrentía del agua debido a la ocurrencia de zonas desforestadas y en otros puntos del paisaje frena y suprime la acción de la escorrentía por la gran presencia de vegetación.



**Figura 3: condiciones Morfoclimáticas de selva nublada, altura 2850 msnm.**

○ **Bosque premontano**

Corresponde a las zonas Bajas, las cuales son esencialmente más secas. Esta característica de menor humedad unida a las pendientes moderadas provocan la desaparición de la solifluxión para dar paso a la erosión por acción de la escorrentía difusa en casi toda el área, con muy pocos sectores donde pasa a cárcavas Tricard 1967.

● **Actividades y usos del suelo**

Las principales actividades humanas que se están desarrollando actualmente sobre la cuenca son: explotación agrícola y pecuaria sobre el Valle de Guatiguará y parte media de la cuenca (veredas Granadillo y Faltriquera); explotación forestal de bosques naturales en la parte alta de la cuenca.

La cuenca además surte de agua para riego y consumo, humano y animal, a toda la población campesina asentada y otros entes como el Instituto colombiano de Petróleo, Monasterios y casas de campo situadas en el Valle de Guatiguará.

Según el POT del 2000 de Piedecuesta y Fuentes Plan de Aguas del área de jurisdicción CDMB, 2007, se puede decir que el cauce principal del Río Lato posee un recorrido por suelos de diferentes características al igual que zonas

de vida diferentes en donde se encuentran usos variados, 1108 has en bosques primarios, especialmente en las veredas La Nevera, Santa Rita, y Cristales, equivalentes al 30% de esta unidad; 237 has en bosque secundario localizadas.

El deterioro ambiental producido por las actividades agrícolas se puede clasificar como erosión del suelo, contaminación del agua, disminución de la cantidad de agua y deterioro del paisaje.

#### •Hidrología

El área corresponde a la cuenca superior del río Lebrija, esta cuenca se encuentra ubicada en medio de la cuenca del río Frío y río de Oro que corresponde a los municipios de Piedecuesta y parte de Floridablanca. Esta cuenca no cuenta con mediciones sistemáticas de caudales, solamente algunos aforos puntuales realizados por la CDMB y el ICP; por lo tanto, se cuenta con los datos de precipitaciones de las estaciones pluviométricas para generar caudales en la cuenca del río Lato. La cuenca cuenta, como valores estimativos, con un registro pluviométrico de veinte años, llevado en forma sistemática y continua por entidades como la CDMB, el HIMAT y el acueducto de Bucaramanga, sobre la cuenca del río de Oro a la cual pertenece (Caballero et al, 1995).

#### •Red hidrográfica

La red hidrográfica está conformada por el río Lato, una corriente permanente de valle erosional en V en la parte media y alta de la cuenca, que nace en la cota 3000, disectando y drenando el Macizo montañoso; las dos terceras partes de su recorrido transcurren en direcciones S30W hasta la parte baja de la cuenca, donde cambia un poco la dirección hacia el S60W atravesando el Valle d Guatiguará hasta el escarpe sur de La Mesa de Ruitoque y trascurriendo adyacente y paralelo a esta en la misma dirección hasta desembocar en el Rió de Oro, en este último tramo la actividad del río es más bien depositación que erosión.

Los afluentes principales del río Lato son la quebrada Faldiguera, Guayabero, Morronegro y Guatiguará; las dos primeras localizadas en la parte media de la cuenca disectando el Macizo montañoso, la tercera sobre la parte alta de la



La morfografía de la zona de estudio fue descrita por Tricard et Al 1967, presenta las siguientes características: paisajes montañosos, relieve de crestas, relieve de vigas.

### •**Geomorfología**

Le evolución estructural del área de estudio ha enmarcado profundamente el paisaje hoy presente. La presencia de grandes estructuras, como la falla de Bucaramanga, permiten diferenciar tres unidades geomorfológicas diferentes: la depresión de Florida -Piedecuesta y Meseta de Ruitoque– Mesa de los Santos (depresión de Bucaramanga) denominado el valle de Guatiguará, río de Oro, la Mesa de Ruitoque y las colinas y montañas del Macizo de Santander, unidades sobre las que transcurre el curso río Lato y sus quebradas afluentes.

De acuerdo a estudios geomorfológicos, la cuenca presenta tres paisajes, de los cuales los montañosos y de valle son de relevancia en el análisis del sistema hidrogeológico. El paisaje montañoso presenta una litología correspondiente a rocas metamórficas e ígneas, de pendiente alta, cañadas angostas y profundas, desarrollo de suelos y localmente preservada que configuran la zona de recarga del sistema hidrogeológico. El paisaje de valle, un deposito coluvión-aluvial compuesto de grandes fragmentos de roca desprendidos de la parte alta y embebidos en una matriz areno arcillosa y arcillo arenosa, constituye la zona de acumulación del recurso hídrico subterráneo que serán muy importantes en el futuro desarrollo de la región.

#### ○ **Paisaje de valle aluvial**

Este se presenta en la parte media de la cuenca, que corresponde a la parte de menor pendiente. Tiene una forma de topografía que varía entre suavemente ondulada a fuertemente ondulada, posición relativa baja, con diferencias de cota del orden de 25m. Este lo constituye principalmente relictos de conos, terrazas y abanicos.

### ○ Paisaje de altiplano

Está representado por la ladera erosional de la Mesa de Ruitoque. La forma de la topografía es empinada disectada, este paisaje está en una posición relativa media, con desnivelaciones del orden de 200 m., orientado hacia el noreste y conforma una vertiente recortando las capas.

Dentro de este paisaje se encuentran los siguientes relieves: relieve de colinas, relieve de lomas, y conos de deyección; (Tricard et. al. 1967).

### ● Geología

Para entender los procesos geológicos que se han desarrollado en la cuenca del río Lato se debe conocer de manera muy general el marco tectónico de Colombia y la cordillera oriental, debido a que se encuentra constituido por la interacción entre las tres placas tectónicas de la corteza terrestre, mismas que poseen movimientos muy característicos entre sí; estas placas son: La placa de Nazca con movimiento que va del Este hacia el Oeste de 6.4cm por año, la placa del Caribe que posee movimiento del Sureste NW-SE 1.7cm por año y la placa Suramericana que va del Noreste hacia el Suroeste NE-SW 1cm por año. El movimiento de estas tres placas es demasiado lento en el año y este ha sido constante a través del tiempo geológico produciendo grandes cambios en la superficie terrestre, formándose plegamientos, fracturamientos y grandes levantamientos que son reflejados en la corteza terrestre y que como producto final originó la tres cordilleras colombianas, entre ellas la cordillera oriental, contenida en una estructura geológica bastante plegada, fracturada y levantada; esto ha sido el producto de la compresión de la interacción de las placas.

### **3.1. Marco geológico de la cuenca.**

La cuenca se encuentra localizada dentro de la configuración geológica del Macizó de Santander, ha sido afectada por la evolución de la falla de Bucaramanga.

- **Macizo de Santander.**

El Macizo de Santander es una estructura regional alargada de dirección NW-SE de 700km de longitud y 100km de ancho (Caballero y Trujillo, 1999) atraviesa el departamento de Santander en su extremo oriental y está compuesta de rocas metamórficas e ígneas y algunos retazos de rocas sedimentarias. Estas dependen del grado de metamorfismo, agrupadas en las formaciones Neis de Bucaramanga del Precámbrico, formaciones Silgara del Predevónico y formación Floresta del Devoniano; las rocas ígneas representan el grupo plutónico de Santander con edades que van desde el Predevónico hasta el Triásico - Jurasico.

- **Falla de Bucaramanga.**

Es una falla regional que se traza partiendo del extremo Sur del Macizo de Santander con una longitud de más de 600Km (Caballero y Trujillo, 1999) hasta el Oeste de Santa Marta. Su configuración rectilínea y su gran longitud comprueban que es una falla de rumbo sinistral de grandes proporciones (WARD 1993); sin embargo, Julievert 1961 la define como una falla inversa por observaciones realizadas en inmediaciones de Bucaramanga, donde la falla muestra desplazamientos verticales con movimientos inversos y ascendentes del bloque oriental, correspondientes al Macizo de Santander.

Castro & Bernal 1992, concluyen que buena parte de la sismicidad que se presenta en la ciudad de Bucaramanga está asociada a la actividad reciente de la Falla de Bucaramanga. Evidencias morfológicas y estructuras como el basculamiento de la Formación meseta de Bucaramanga, la presencia de cerros alineados, lagos de falla y otros han confirmado su actividad (León 1992).

Todas estas fallas geológicas asociadas al margen oriental de la falla de Bucaramanga han afectado la masa rocosa del área y se puede ver su influencia en la configuración de la red de drenaje, cuya característica

importante es la orientación de los cursos de los principales drenajes en la dirección de las fracturas existentes y el encajonamiento de sus valles erosionales, río Surata y río Lato, bastante angostos y alargados.

Las estructuras mayores y menores convierten las unidades geológicas en frágiles, permitiendo el plegamiento, el fracturamiento y, por ende, el levantamiento, haciendo favorable a la meteorización y en otras zonas origina grandes rocas fracturadas. La falla de Bucaramanga presenta una amplia zona de roca triturada y cizallada que se puede observar.

- El Gneis de Bucaramanga se caracteriza por ser una secuencia de alto grado de metamorfismo, de edad Precámbrica (Ward et al 1993). Está conformado por paragneis pelítico, semipelítico y arenáceo; esquistos, ortogneis y migmatitas, materiales de diferentes grados de metamorfismo de los que depende la asociación mineral componente que puede incluir: Silimanita-cordierita: biotita-feldespatos-cuarzo con o sin moscovita y Silimanita: epidota-anfíbol; neis cuarzomonzonítico con biotitas: cordierita-feldespato-cuarzo. Los feldespatos incluyen un gran porcentaje de Plagioclasa, Calcita y junto a las Micas, Anfíboles y Piroxenos son los más inestables en las condiciones del clima de la zona.

La textura general de las rocas es de carácter fanerítico, variando desde equigranular, inequigranular a pegmatita; pero también se pueden encontrar diques de roca ígnea máfica de grano muy fino, reflejando una gran heterogeneidad de materiales expuestos en un mismo afloramiento que presentan, además, un alto diaclasamiento con espaciamiento centimétrico, especialmente desarrollado sobre el área de la zona de la falla de Bucaramanga, donde el macizo rocoso está prácticamente cizallado y completamente brechado.

Los rasgos geomorfológicos característicos de esta unidad resaltan en la zona por su topografía abrupta, pendientes que varían entre 24 y 66 grados con un patrón de drenaje dendrítico a subdendrítico. En la interpretación de fotografías aéreas, estas unidades litológicas se presentan con tonos de color gris, que varían entre claro y medio.

## **4.0 METODOLOGÍA**

Para llevar a cabo los objetivos propuestos en este proyecto se desarrollaron sistemáticamente cinco fases, utilizando materiales disponibles para cumplir las actividades específicas, gracias al desarrollo de resultados preliminares y finales, cada fase estuvo compuesta de la siguiente manera.

### **4.1. Fase 1. Fundamentación y diseño.**

Durante esta fase se identificarán las diferentes fuentes de información, recopilación, selección y análisis de la información existente; usando como apoyo recursos de información en las bases de datos, catálogos bibliográficos, y recursos electrónicos de La Universidad Industrial de Santander, Ingeominas, IGAG, y otras instituciones; estas brindaron información importante de tipo geológico, geomorfológico y estructural; luego se realizó el programa y plan de actividades como:

#### **4.1.1. Recopilación de información.**

Para la recopilación de los datos se tuvieron en cuenta entidades públicas y privadas que han desarrollado trabajos de investigación en la cuenca del río Lato y sectores aledaños. La selección bibliográfica se realizó a partir de parámetros de interés en el desarrollo del proyecto de investigación, entre ellos, la Geología del sector, Geomorfología y datos estructurales y ambientales que ayudaron con información fundamental. Aproximadamente, se consultaron diez libros, cuatro artículos y tres informes.

#### **4.1.2. Análisis de información.**

El análisis morfoestructural identifica criterios y rasgos de relación desde el punto de vista de la Geología, Geomorfología y Geología estructural, las cuales ayudaron a definir la evolución geológica de la zona y parte de la cartografía geológica existente.

Se elaborará la fotointerpretación con base en fotografías aéreas donde se aplicará un sistema de clasificación; se utilizará un estereoscopio para el análisis de la red de drenajes y para generar trazados de lineamientos y fallas.

### **4.1.3. Estudios anteriores.**

El estudio de la potencialidad hidrogeológica de las rocas cristalinas, particularmente en rocas plutónicas y metamórficas, ha sido definido por muchos textos técnicos como limitado a la existencia de zonas de porosidad y permeabilidad secundarias que finalmente condicionan su delimitación superficial y marcan la continuidad de dicha potencialidad por lo que generalmente es catalogada como local (Davies & Wiest 1971 y Price 2003) .

El proyecto está enfocada a la exploración y el modelado de los atributos petrofísicos de rocas cristalinas aflorantes en la cuenca del río Lato lo cual ha requerido la consulta de estudios como "Overview of the Hydrogeology of Hard Rock: Applications for their Survey, Management, Modelling and Protection" (P. Lachassagne, 2008), estudios anteriores en la cuenca del río Lato; de otra parte, fue importante recopilar y conocer estudios realizados en la cuenca superior del río Lebrija cuenca donde se encuentra la zona de estudio. En este apartado se repasa parte de los trabajos que se recopilaron como base para empezar a desarrollar el proyecto.

#### **• Hidrogeología en rocas cristalinas.**

El uso de aguas subterráneas en zonas dominadas por rocas cristalinas, como granitos o rocas metamórficas, ocupan grandes extensiones en los diferentes continentes con disponibilidades que varían desde muy baja hasta muy alta (de menos de 2-3 hasta 20 m cúbicos por hectárea) dependiendo del manejo y gestión existentes del recurso, con tales disponibilidades es posible abastecer desde comunidades dispersas hasta pequeñas y medianas ciudades; en general estos recursos contribuyen en gran medida al desarrollo económico de las regiones que los posee, especialmente en zonas áridas y semiáridas, zonas donde el recurso es limitado, no obstante, estos acuíferos son considerados como altamente heterogéneos.

Comúnmente se considera que las propiedades hidrodinámicas de los acuíferos en rocas cristalinas son muy variables en el ámbito local por lo cual estos acuíferos se consideran discontinuos, igualmente se considera que las propiedades tienden a ser heterogéneas y por tanto imprevisibles en el ámbito de una cuenca.

El actual conocimiento de la estructura y el funcionamiento de los acuíferos en rocas cristalinas y sus propiedades hidrodinámicas permiten relacionarlas principalmente con la existencia de perfiles de meteorización profundos y conservados, la distribución espacial de esos perfiles o de sus restos después de la erosión, pueden asumirse integralmente como parte de una cuenca; este contexto permite un nuevo desarrollo donde se puede asumir la regionalización de las propiedades de los acuíferos de rocas duras y establecer numerosas aplicaciones prácticas: la cartografía de las aguas subterráneas a escala regional, a través de la ubicación y las técnicas y métodos de gestión de los recursos hídricos a escala de la cuenca, lo que es crucial en las zonas donde el agua subterránea es muy explotada.

• **Inventarios de estudios anteriores relacionados con este trabajo de investigación.**

Colombia se caracteriza por poseer grandes recursos hídricos, afortunadamente tiene la necesidad primaria de contar con información actualizada y cada vez más precisa sobre la disponibilidad en recursos hídricos y de sus usos, lo que clasifica y ordena las zonas con mayores peligros de desabastecimiento. Pero infortunadamente, los estudios en medios cristalinos por fracturas son extremadamente poco estudiados, enfocados al estudio de la hidrogeología.

Otoniel Vergara (2003) desarrolló su trabajo de Grado: Prospección Geológica Para Aguas Subterráneas En Rocas Cristalinas en el macizo de Santander, enfatizando en el conocimiento de la forma, distribución y extensión de las fracturas; dando respuesta positiva a las rocas cristalinas que allí predominan, considerándose como conductoras de aguas subterráneas formando un sistema de flujo.

Rey y Beltrán (2002) realizaron un estudio donde se propuso la existencia de una red de drenajes subterráneos en el Macizo de Santander.

En 2001 se realizó un estudio Geotectónico que corresponde a la zonificación Sismo geotécnica indicativa del área Metropolitana de Bucaramanga. La cual fue implementada por la Subdirección de Amenazas Geoambientales de Ingeominas.

Pinto y Téllez (1999) plasmaron estudios de rasgos neotectónicos asociados a la falla de Bucaramanga – Santa Marta con un sistema de radar e imágenes satelitales con fines estructurales y geotécnicos.

Vélez Otalvaro (1999) realiza una reseña sobre las posibilidades que representan las rocas metamórficas como almacenadoras de agua.

Fernando Munar (1995) caracterizó las propiedades físicas y químicas de los suelos en la cuenca del río Lato mediante análisis de campo y de laboratorio en el marco del ordenamiento ambiental territorial y manejo de la cuenca; dichos estudios se enfocaron al aprovechamiento y optimización de su recurso suelo.

Duarte y López (1989) plantearon la posibilidad de utilizar aguas Subterráneas provenientes de los depósitos de abanico y de las rocas más profundas de la formación Girón para el consumo en Bucaramanga en la parte de la Meseta, para el estudio se realizó una prospección geoeléctrica donde se realizaron 8 SEV.

La empresa Pozos y Perforaciones perpetró la perforación de un pozo en el cementerio Jardines la colina, encontrándose que las unidades litológicas pertenecen a rocas metamórficas obteniendo caudales de 0.5litros/segundo.

En la década de 1970, Ingeominas desarrolló proyectos y estudios regionales gracias al convenio con el gobierno de Holanda, que respondía al nombre de THE NETHERLANDS ORGANISATION FOR APLIED SCIENTIFIC RESEARCH TNO. Gracias a ello se realizó la exploración de aguas subterráneas en el departamento del Valle del cauca, Valle medio del magdalena y en la Sabana de Bogotá, en su parte noroccidental.

- **Hidrogeología, panorama general.**

La hidrogeología es una ciencia íntimamente relacionada con el estudio del subsuelo. Las formaciones geológicas situadas por debajo del nivel freático están saturadas y el agua se mueve lentamente a través de la roca, bien por espacios porosos o bien por fracturas. El conocimiento del volumen y naturaleza de los fluidos presentes, y de su comportamiento (características estáticas y dinámicas) constituyen hoy en día un estudio indispensable para el conocimiento del subsuelo.

El desarrollo en el ámbito mundial de la hidrogeología, en rocas cristalinas que se encuentran fisuradas, ha sido poco difundido debido a las condiciones principales que regulan el movimiento del agua subterránea, como transmisividad, permeabilidad y almacenamiento, pues son representaciones de los acuíferos. La mayoría de los países en donde se poseen grandes afloramientos de rocas metamórficas e ígneas, se han ido aprovechando estos caudales generados por el fracturamiento de estas masas rocosas.

En 2002, la universidad de la república de Montevideo, Uruguay, en la carrera de ingeniería agropecuaria, se desarrolló el taller de recursos naturales donde se propuso que las fracturas que se encuentran abiertas y limpias en las rocas cristalinas afectan a rocas con una composición perfecta para el almacenamiento de aguas subterráneas y las condiciones de recargas se encuentran aseguradas mediante interconexión con el sistema hídrico superficial; por lo tanto, las probabilidades de obtener caudales que compensen en una obra de captación correctamente ubicada, diseñada y construida son muy buenas.

#### **4.2. Fase 2. Desarrollo y ejecución.**

Se realizó y se definió el marco teórico para luego ejecutar todas las actividades necesarias en el desarrollo de este proyecto, estas actividades son mencionadas a continuación:

- Cartografía fotogeológica.
- Digitalización de mapas fotogeológicos.
- Cartografía geológica a escala 1:25000.
- Muestreo y análisis de diaclasas y fracturas.
- Perfil de meteorización.
- Diseño de mapa de fracturas.
- Análisis de secciones delgadas.
- Toma, Procesamiento y análisis de datos geofísicos
- Análisis y resultados preliminares.

### 4.3. Fase 3. Conclusiones finales.

En esta fase se extrajeron y expusieron las conclusiones que arrojó el trabajo después de realizar todos los análisis correspondientes de los resultados obtenidos durante el desarrollo de cada fase.

### 4.4. Fase 4. Redacción y edición del proyecto.

En esta fase se hizo la redacción y edición definitiva del documento para presentar ante el comité de trabajos de grado.

#### 4.4.1. Fase 5. Defensa de la tesis.

Se requirió de la presencia de un grupo de calificadores ante el comité de proyecto de grado de la Escuela De Geología para que aportaran sus puntos de vista y, por ende, dieran el calificativo de esta tesis de investigación.

A continuación se presenta el diagrama donde se ilustra la metodología descrita anteriormente, figura 5a. Los números dentro de los cuadros describen el orden en el que se desarrollaron las fases:

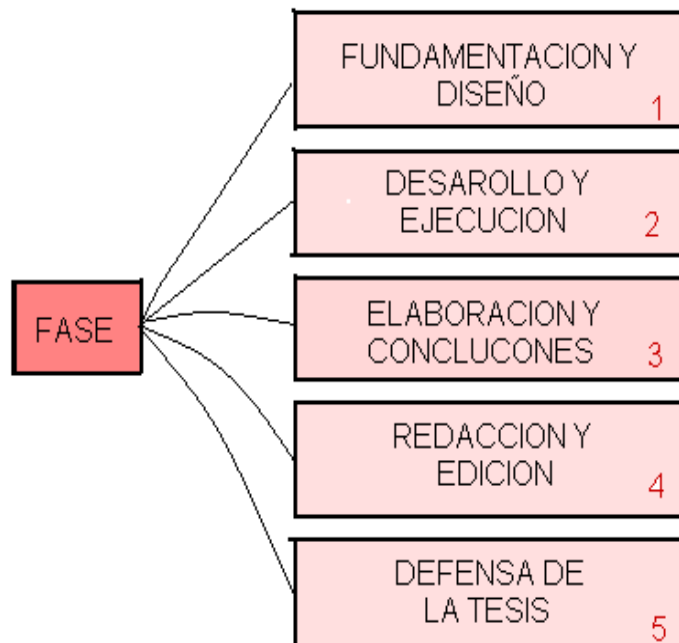


Figura 5a: Flujo grama metodológico del proyecto.

Los flujogramas de los procesos de fases de trabajo que se presentan a continuación corresponden a la figura **5B**, **5C**, **5D**.

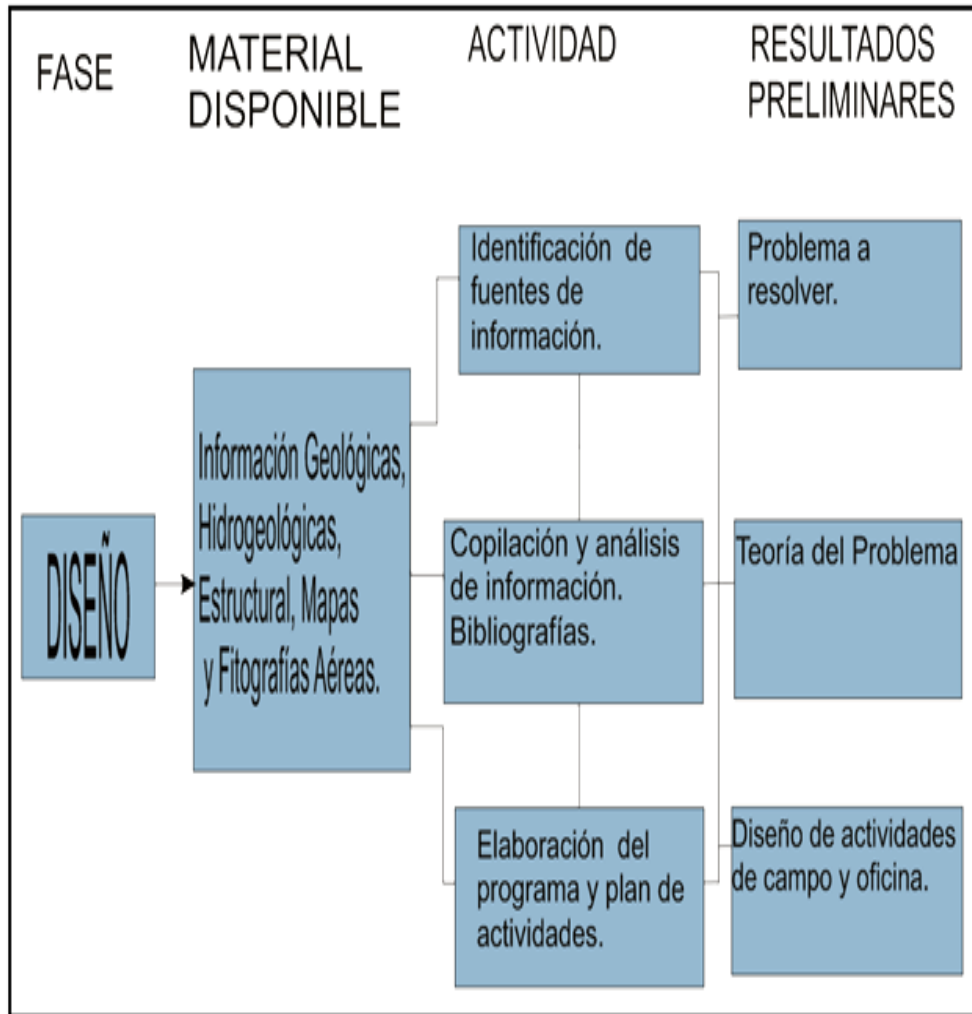


Figura 5B.

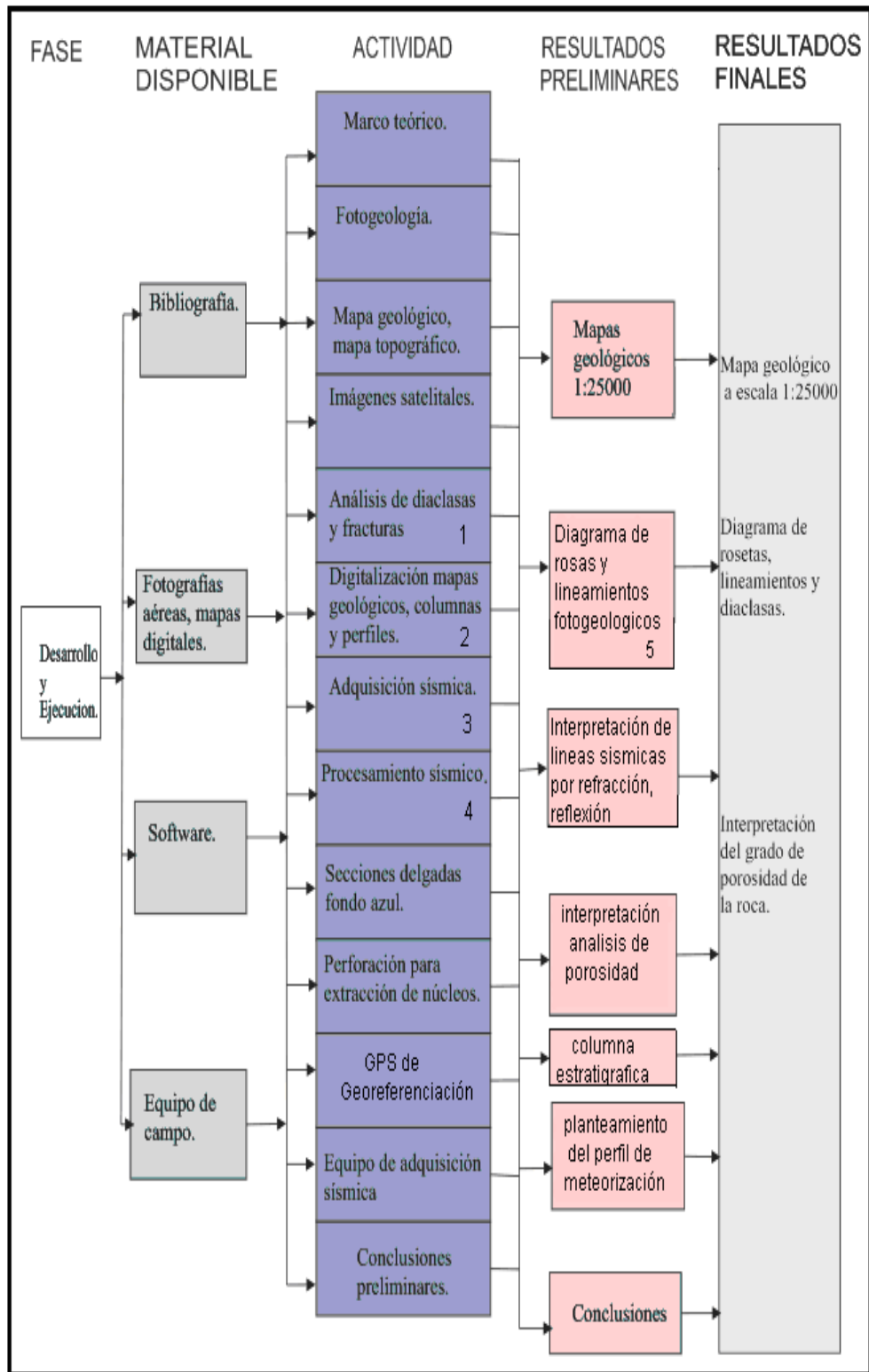


Figura 5C.

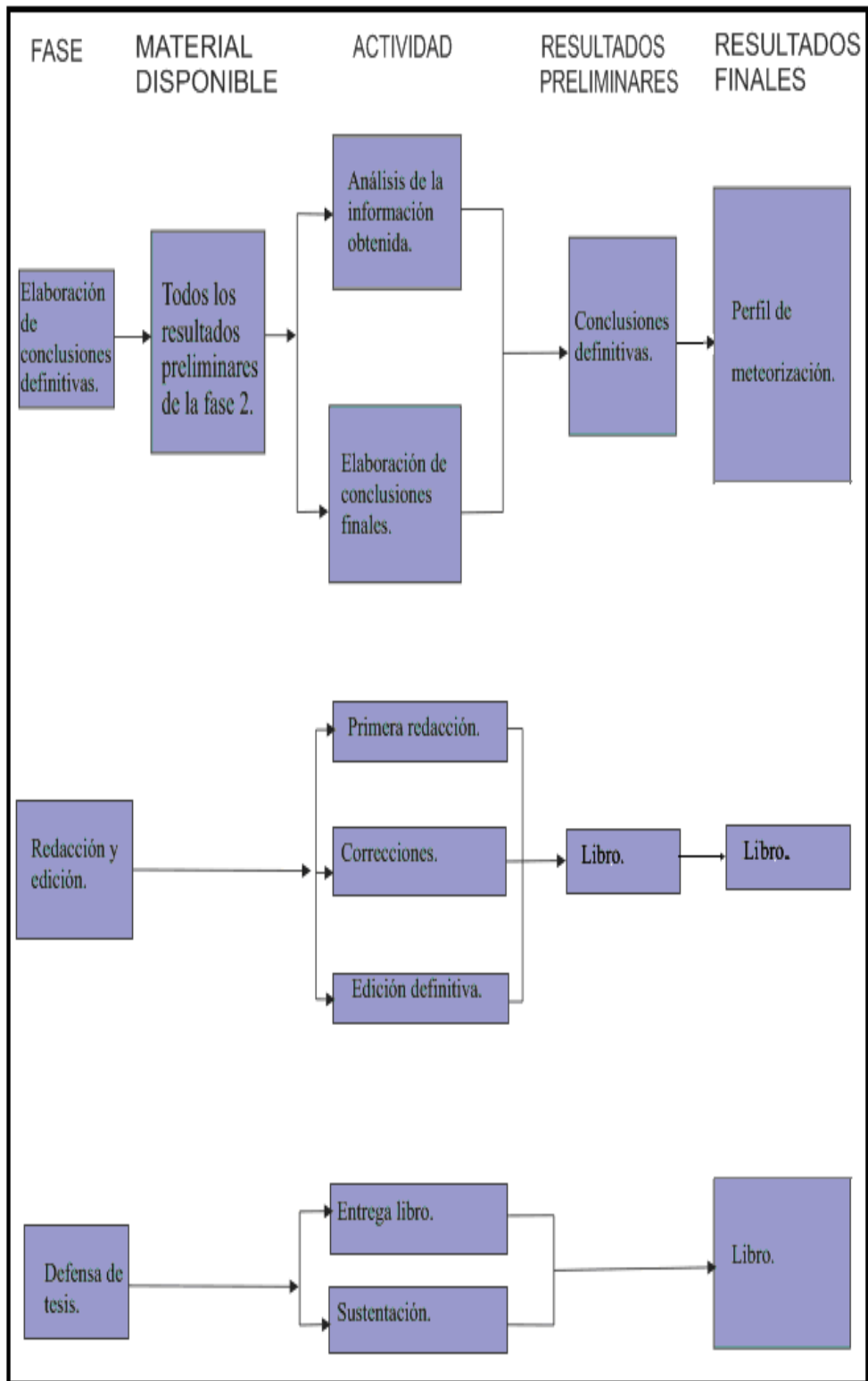


Figura 5D

#### **4.5. Análisis Morfoestructurales.**

Las observaciones realizadas directamente en campo, y las muestras tomadas, son utilizadas para observar los procesos existentes; estas poseen diferentes descripciones de la morfología denominándose Método Directo. Los datos obtenidos se representan en mapas, esquemas, diagramas, etc.

Los métodos indirectos son aquellos que se realizan por medio de otras técnicas, estas suministran la información que no se puede lograr con el método directo como son: Geofísica, Sísmica, Gravimetría, Geoeléctrica.

Al estudiar los procesos o fenómenos estructurales se analiza la relación espacial entre los elementos y aspectos mecánicos que los constituyen, pues son los causantes de la deformación estructural de la roca.

El objetivo principal es conocer la caracterización de las rocas presentes en la zona de estudio, puesto que se quiere analizar la posibilidad de filtración, transporte y almacenamiento de agua subterránea, a partir de la meteorización y fracturamiento de la roca, extensión, distribución y forma de las fracturas que se encuentran contenidas en el área de estudio.

Para cumplir a cabalidad con este objetivo se realizará una fotointerpretación, análisis de lineamientos, red de drenajes, litológicos y topográficos de la zona.

Se realizará el análisis morfoestructural para identificar criterios y rasgos de relación desde el punto de vista de la Geología, Geomorfología estructural que permita definir y comprender la evolución geológica de la zona y parte de la cartografía geológica existente.

Teniendo en cuenta los mapas topográficos y las fotografías aéreas se digitalizará la red de drenaje (ver Anexo B).

Se recolectó la fotointerpretación de diferentes líneas de vuelo que cubrían una parte de la cuenca; posteriormente se procedió con el análisis en los estereoscopios disponibles por escuela de Geología (Marca Carl Zeis Jena).

- **Análisis de mapas topográficos.**

Se realizará un análisis con las planchas topográficas 120 – 2B y 120 – 2D del Instituto Geográfico Agustín Codazzi y con las bases topográficas representadas en formato digital.

Con estas planchas y con el modelo referencial de elevación del terreno, creado por el grupo del GPH permite la generación de lineamientos o detectar cambios abruptos en la topografía del el área. En campo se observará y se diferenciarán zonas, estableciendo diferentes formas geomorfológicas que caracterizan en superficie las rocas que allí afloran. A partir de los mapas topográficos se pudo diferenciar la topografía.

A partir de este análisis y del modelo de elevación del terreno se obtendrá un mapa de lineamientos en la zona de estudio, el cual se implementará con los datos de fracturas tomados directamente en campo por el método estadístico de Scanline (Gonzáles de Vallejo, 2002), este mapa muestra en qué puntos está la mayor concentración de fracturas.

#### **4.6. Actividades de campo.**

Con el propósito de realizar la cartografía geológica a escala 1:25000 en la cuenca del río Lato y diferenciar las diferentes unidades litológicas que presentan un mayor grado de fracturamiento y meteorización, se realizará una salida de campo en la zona de 75 km<sup>2</sup>, con duración de veinticinco días, utilizando un sistema de clasificación regido por:

Reconocimiento geomorfológico, geológico, estructural; toma de muestras de las diferentes litologías en el área con su respectiva orientación y localización, se harán referencias con GPS, CSX 60 MAP Garmin; con el propósito de realizar secciones delgadas para análisis petrográfico se captarán fotografías en la zona, las que estarán referenciadas para obtener un catálogo de información de lo visto en campo.

#### 4.6.1. Muestreo.

Adicional a las muestras de mano se recolectarán núcleos en la vía que conduce del ICP (Instituto Colombiano del Petróleo) a Berlín para diseñar secciones delgadas fondo azul para análisis petrográfico y grado de porosidad de cada muestra.

Para la extracción de los núcleos se realizará una limpieza sobre la superficie de los afloramientos, es decir, con ayuda de pala y pica se retirará el material superficial con el fin de obtener unos mejores núcleos, ya que la parte externa están más expuesta a la meteorización, luego se adicionará una poca de agua en la zona escogida para la extracción del núcleo; el taladro se situará teniendo en cuenta la inclinación de la superficie seleccionada para sacar la muestra, mientras que se está extrayendo el núcleo habrá que estar constantemente adicionando agua en el contacto del taladro y la roca, al mismo tiempo se estará adicionando agua al mismo taladro utilizando un embudo y una manguera contenida en el taladro como se observa en la figura 6 y 7.



Figura 6. Extracción del núcleo adicionando agua contacto taladro-roca.



**Figura 7: zona extracción núcleo**

#### **4.6.2. Método de análisis de fracturas.**

Se plasmará un análisis de fracturas aplicando el método de Scanline (González de Vallejo, 2002), y la clasificación propuesta por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (1999) descritas a continuación:

El método de Scanline es un método estadístico que permite realizar mediciones en familias de fracturas, con orientaciones y características homogéneas, midiendo con una cinta métrica una longitud representativa la frecuencia de las discontinuidades; la cinta debe colocarse perpendicularmente a los planos de fracturas, registrándose la distancia entre discontinuidades adyacentes debido a que la superficie de los afloramientos no permiten realizar las medidas del espaciado en dirección perpendicular a la superficie, entonces lo que se mide son espaciados aparentes; luego se mide la abertura de cada fractura y se describe la clase de relleno y su dirección correspondiente de cada fractura.

La orientación se define por su rumbo, es decir, por el ángulo que forma una línea horizontal trazada sobre el plano de fracturas con el norte magnético y buzamiento, indicando el sentido del buzamiento.

- **El espaciado:** define la distancia entre dos planos de fracturas de una misma familia, medida perpendicular a dichos planos, condicionando el tamaño de los bloques.

- **Abertura:** es la distancia perpendicular que separa las paredes de la fractura cuando no existe relleno.

•**Determinación de porosidad de fracturas en campo.**

Para el análisis de las fracturas se busco relacionar la apertura con frecuencia acumulada utilizando la fórmula modificada por Arango (2003) para luego graficarla en un histograma.

$$\Phi: IF \cdot H_f / L$$

Donde:

**(IF) Índice De Fracturamiento:** Se define como el número de fracturas del Scanline dividido por la longitud del mismo Donde:

$$IF: N. \text{ de fracturas} / \text{longitud del Scanlines.}$$

La intensidad de las fracturas depende del grado de detalle en la medición de las fracturas, es decir, de la observación de los datos. En campo se tomaron nueve Scanlines.

**Hf:** Abertura de las fracturas **Relleno:** materia de naturaleza distinta a la roca de las paredes.

**L:** Longitud del Scanlines

#### **4.6.3. Método geofísico.**

Se realizará Geofísica de reflexión para hallar espesores de meteorización, que se rige por:

Un equipo compuesto por una fuente, “porra”, de aproximadamente 18Kg., una línea de cuatro receptores, “geófonos”, y uno adicional “T0”, encargado de abrir la banda para que los receptores capten la señal, un Multicomponente con entrada para treinta y dos canales, sistema de cableado y un equipo portátil para la adquisición de los datos. Para una primera etapa se efectuará una línea sísmica por reflexión, aunque los dos modelos escogidos se pueden adaptar a líneas sísmicas por reflexión y refracción.

Durante el desarrollo de esta adquisición se contará con un primer tramo de carretera de aproximadamente 200m, ubicados sobre las coordenadas: X= 1270689, Y= 1118784, Z= 2264, se hará una línea de estacas distanciadas a tres metros, una de la otra; la adquisición de la línea 1 se encuentra dividida en dos fases, para la primera se aplica el siguiente estilo geométrico: un T0 y la fuente, ubicados en la posición 1 a una distancia de 1,5m, atrás de la primera estaca, donde se encuentra ubicado el receptor en la posición 2, posteriormente se hace una serie de shot al lado del T0, consecutivamente se desplaza el T0 y la fuente 1,5m adelante del receptor para realizar los shot, este esquema se sigue haciendo manteniendo fijo el receptor y cambiando las diferentes posiciones de la fuente y el T0, ubicándose a la mitad de cada estaca; este proceso se hace hasta 1,5m adelante de la estaca 13, posición 27.

Para este modelo solo se utilizará un receptor y se mantendrá la geometría hasta la estaca 14, ya que, a mayor distancia, el receptor no capta la señal y genera ruido.

Para la segunda fase, se tiene sobre la misma línea de estacas una cadena de cuatro receptores ubicados a partir de la estaca 4, posición 8 hasta la estaca 19 y posición 38, la distancia que hay entre el primer receptor y el último sobre la misma línea es de 9m. Para el T0 y la fuente el punto de partida es igual que en el modelo anterior sobre la posición 1, así mismo se desplaza hasta la 27 a 1,5m delante de la estaca 13.

Los siguientes modelos ilustran el esquema realizado en campo para la adquisición de la línea 1.

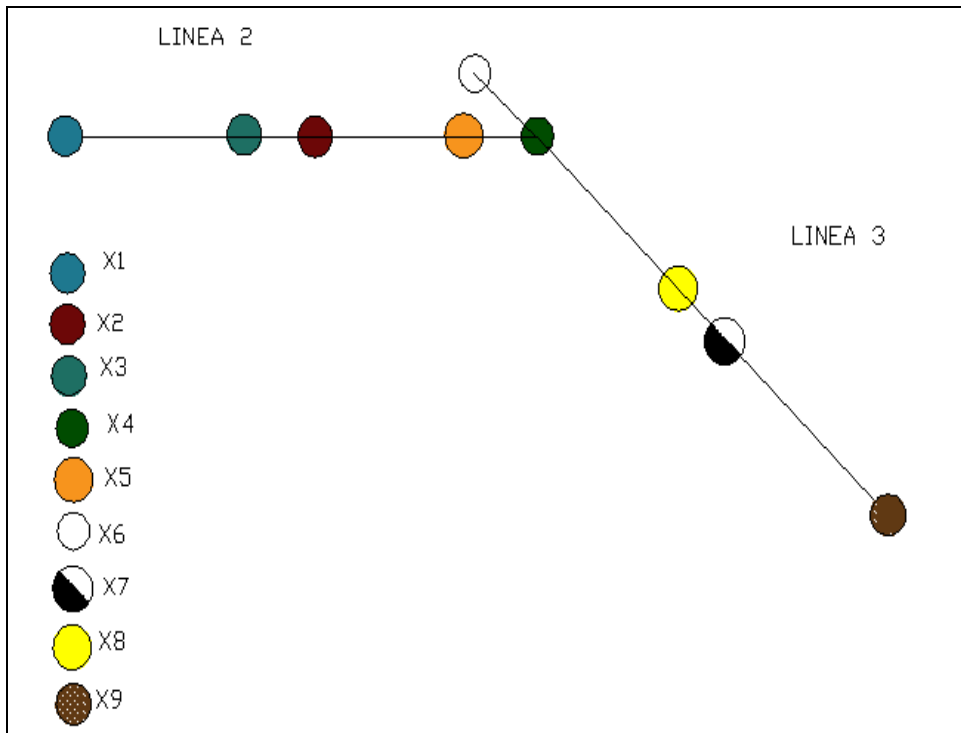
				LÍNEA 1			
17 de Octubre							
		Estaca 1		Estaca 2		Estaca 3	
Posición	1	2	3	4	5	6	7
Coordenada	0	1,5	3	4,5	6	7,5	9
Receptores		▼					
Fuentes	X1 ◊		X2 ◊		X3 ◊		X4 ◊
Receptores				▼			
Fuentes	X1 ◊		X2 ◊		X3 ◊		X4 ◊
Receptores						▼	
Fuentes	X1 ◊		X2 ◊		X3 ◊		X4 ◊
H	2266.9	2266.90	2267.74	2268.58	2268.14	2267.7	2264.35

**TABLA1: Geometría utilizada para adquisición sísmica línea 1**  
**Convenciones: X1 ◊: Posición de T0 y fuente, lugar de Shot. ▼: Receptores.**

Para la línea sísmica 2 tenemos un arreglo de 4 receptores, distanciados cada 5m, la fuente y el T0 se encuentran ubicados 5m atrás del primer receptor, se realizan los shot correspondientes sobre ese punto (posición 1, coordenada 0) y luego se traslada la fuente y el T0, 5m adelante del cuarto receptor (posición 6, coordenada 25) este esquema se sigue realizando tal como lo indica la geometría expuesta en las tablas (**Anexo B**) y durante una distancia aproximada de 100m, finalizando la realización de las líneas 2 y 3.

Para la línea 4, se utiliza el mismo arreglo de geófonos, con la diferencia de que la fuente y el T0, están distanciadas inicialmente a 10m del primer receptor y posteriormente a 5m del primer receptor (posiciones 1 y 2 respectivamente) durante las diferentes posiciones de la fuente y el T0

se realizan una serie de Shot que determinan la geometría del esquema, para finalizar se traslada la fuente y el T0 5m después del cuarto geófono y luego a 10m, tal como se hizo hacia el comienzo de la línea, siguiendo la serie de Shot registrados en el procesamiento sísmico.



**Figura 8. Líneas sísmicas 2 y 3; esquema que ilustra las diferentes posiciones de los receptores sobre las líneas 1 y 2, separadas a un ángulo aproximado de 21°.**

El equipo de trabajo, compuesto por cuatro personas, cada uno con una actividad definida, regida por: Golpear cinco veces cada geófono por medio de la fuente de 18 libras, mover los geófonos y estar pendiente que estos no se desconectaran del multifuncional, alerta a cualquier movimiento o ruido diferente a la de la fuente ya que estos alteraran el registro de las velocidades de las ondas emitidas, manejo del multifuncional y verificar que los registros emitidos por la fuente son los correctos.

A partir de estos datos se obtiene información de estructuras internas, espesor de zona meteorizada; reflectores en todo el espesor de meteorización. Con estos datos obtenidos en campo se realiza un procesamiento utilizando el programa llamado Promax y thrustline. Figura 9 se observa el multifuncional perteneciente al grupo de investigación Petrosísmica convenio UIS ICP Bucaramanga.



**Figura9: Multicomponente.**

## **4.7. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.**

### **4.7.1. Análisis de secciones delgadas.**

Con las muestras recogidas en campo se realizan doce secciones delgadas con Epóxico azul para determinar el grado de fracturamiento de la roca y su correspondiente descripción mineralógica, para esto se realiza este estudio en la sala de microscopios de la Escuela de Geología de La Universidad Industrial De Santander.

La intensidad de fracturamiento, el número de fracturas por unidad de longitud a lo largo de un la línea de muestreo, es un atributo importante en el proceso de obtención de porosidades secundaria de los sistemas fracturados.

La densidad de fracturamiento se describe como la intensidad o abundancia de fracturas potencialmente disponibles para el movimiento de fluidos y la probabilidad de encuentro de fracturas en un pozo.

Para el análisis realizado en laboratorio se toma la sección delgada y a continuación se marcan dos líneas (color azul), longitudinal y transversal, a la sección (figura 10), se ajusta la platina y se hace un barrido sobre las dos líneas, posteriormente se hace un conteo sobre las dimensiones de cada cristal, teniendo en cuenta la medida sobre cada lente ocular “lente de 5X=2mm; 10X=1mm”, finalmente se suman todos los valores mineralógicos ya medidos y transformados en cada sección.



**Figura 10. Secciones delgadas fondo azul mostrando método valores de porosidad.**

Estas fotografías indican las líneas guías que se tienen en cuenta para el barrido de la sección y la cantidad de secciones (doce muestras) recogidas en campo.

De la misma manera se hace el cálculo sobre fracturas, y se toman las dimensiones de fracturas libres sobre la línea guía.

Una vez se tengan estos valores, se estima un porcentaje promedio de porosidad, como lo muestra la siguiente expresión:

$$\% \text{Porosidad} = (\text{total fracturas} / \text{total mineral}) * 100$$

Los datos de porosidad, descripción mineralógica y de adquisición sísmica son fuente indispensable en la creación del perfil de meteorización.

Se tiene en cuenta para la descripción mineralógica la metodología propuesta en el manual de Petrología ígnea y metamórfica (García Carlos, 1997).

#### **4.7.2 Procesamiento sísmico.**

Procesamiento de los datos sísmicos realizado en PROMAX (Paginas 12 a 51, del manual). Se despliega de acuerdo a los siguientes pasos:

- **Reformateo.** Consiste en convertir el formato de grabación de la empresa que realiza la adquisición a un formato para desarrollar el procesamiento.
- **Edición.** En esta fase se editan trazas ruidosas, trazas con polaridad invertida, se eliminan señales con mono frecuencia y registros malos.
- **Geometría.** Consiste en relacionar las posiciones (coordenadas X, Y, Z) de las fuentes con el posicionamiento de los correspondientes receptores activos

(tendido sísmico). Es imprescindible conocer las posiciones de los puntos donde se toman datos, así como de la fuente que origina la señal sísmica.

- **Corrección por divergencia esférica.** Se aplica una función de ganancia con el objeto de compensar las pérdidas de energía de las ondas sísmicas a través del subsuelo, bien sea por transmisión, dispersión esférica, entre otros.

- **Aplicación de estáticas de campo.** Se elimina el retardo que sufre la onda sísmica al atravesar la capa meteorizada (corrección vertical en tiempo), también se llevan los datos a un plano de referencia o *datum*. Cuando el *datum* seleccionado es el nivel del mar la corrección generalmente es negativa.

- **Deconvolución.** Es un proceso matemático que reduce, elimina o cambia la forma de cada ondícula emitida por la fuente llevándola lo más posible a un *spike*.

- **Ordenamiento por CMP.** Es el ordenamiento por punto medio común, se ordenan las trazas sísmicas en grupos que tengan un mismo punto medio fuente-receptor. Se aplica antes del apilamiento.

- **Análisis de velocidades.** Se determinan las funciones de velocidad en función del tiempo, en varias familias CMP a lo largo de la sección sísmica, que al serles aplicadas en la corrección NMO, logra que cada una de las reflexiones provenientes de diferentes distancias fuente-receptor, elimina el efecto del offset.

- **Corrección NMO.** Es una corrección hiperbólica dependiente de la velocidad que se le aplica a los datos sísmicos con la finalidad de horizontalizar los eventos, paso indispensable antes del apilamiento.

- **Estáticas residuales.** Es la determinación de desplazamiento en tiempo a ser aplicados sobre las trazas de una familia CMP, para mejorar el alineamiento horizontal de los eventos a fin de obtener un mejor apilamiento.

- **Mute.** Se refiere a la eliminación del efecto del estiramiento de la señal sísmica, debido a la corrección NMO.

- **Apilado.** Es la suma de trazas pertenecientes a una misma familia CMP, para obtener una sola traza que simula la adquisición (información sísmica donde las fuentes y los receptores comparten una localización común). Al graficar

todas las trazas que resulten de este proceso se obtienen una sección sísmica apilada.

- **Aplicación de filtros.** Los filtros atenúan ruidos cuyas frecuencias están fuera del espectro de las señales. Este proceso también puede ser aplicado al principio del procesamiento al nivel de registros. La aplicación de estos filtros en los registros ayuda o facilita el análisis de velocidad, pero no se recomienda guardar los registros filtrados para evitar la pérdida de la información.

- **Migración.** Es el proceso mediante el cual se mueven los eventos buzantes a su verdadera posición en el subsuelo y se colapsan las difracciones.

En las siguientes figuras se observan las geometrías cargadas en PROMAX.



Mark	Block	Station	X	Y	Elev	Static
1		1	0,0	0,0	2360,0	0,0
2		2	5,0	0,0	2359,8	0,0
3		3	10,0	0,0	2359,6	0,0
4		4	15,0	0,0	2359,4	0,0
5		5	20,0	0,0	2359,2	0,0
6		6	25,0	0,0	2359,0	0,0
7		7	30,0	0,0	2358,8	0,0
8		8	35,0	0,0	2358,6	0,0
9		9	40,0	0,0	2358,4	0,0
10		10	45,0	0,0	2358,2	0,0
11		11	50,0	0,0	2358,0	0,0
12		12	55,0	0,0	2357,8	0,0
13		13	60,0	0,0	2357,6	0,0
14		14	65,0	0,0	2357,4	0,0
15		15	70,0	0,0	2357,2	0,0
16		16	75,0	0,0	2357,0	0,0
17		17	80,0	0,0	2356,8	0,0
18		18	85,0	0,0	2356,6	0,0
19		19	90,0	0,0		0,0
20		20	95,0	0,0		0,0
21		21	100,0	0,0		0,0
22		22	105,0	0,0		0,0
23		23	110,0	0,0		0,0

Tabla 2. Geometría de Geófonos. Programa Promax.

Wk	Block	Source	Station	X	Y	Z	FF1	Offset	Skid	Pattern	Min Len	Post Field	Lat Line Sta	Lat Line Dev	Cap Chan Dlt	Cap Size Ht	Static
1		1	1	0,0	0,0	2380,0	0			L		4	1	1		0	0,0
2		2	6	20,0	0,0	2380,0	0			L		4	6	1		0	0,0
3		3	5	20,0	0,0	2380,2	0			L		4	5	1		0	0,0
4		4	10	45,0	0,0	2380,2	0			L		4	10	1		0	0,0
5		5	9	40,0	0,0	2380,4	0			L		4	9	1		0	0,0
6		6	14	65,0	0,0	2380,4	0			L		4	14	1		0	0,0
7		7	13	60,0	0,0	2380,6	0			L		4	13	1		0	0,0
8		8	18	85,0	0,0	2380,6	0			L		4	18	1		0	0,0
9																0	0,0
10																0	0,0
11																0	0,0
12																0	0,0
13																0	0,0
14																0	0,0
15																0	0,0
16																0	0,0
17																0	0,0
18																0	0,0
19																0	0,0
20																0	0,0
21																0	0,0
22																0	0,0
23																0	0,0

Tabla 3. Geometría Fuentes. Programa Promax.

#### 4.8. Modelos y Herramientas.

Para lograr una mejor aproximación, en cuanto a los datos obtenidos sobre la cuenca del río Lato, con Autocad 2007, se modeló la Geología de la cuenca a escala 1:25000, se utilizó el modelo digital del terreno del macizo de Santander, de donde se extrajo la cuenca del río Lato, y se generaron los diferentes mapas de sombras en Golden Surfer (licencia de la escuela de Ingeniería Civil). Para el procesamiento sísmico y el modelamientos de la cuenca en 3D, se utilizaron respectivamente los programas Promax, (seismic data processing software páginas 12 a 51 del manual) y Petrel cuyas licencias pertenecen a ICP-ECOPETROL.

## 5.0 MARCO TEÓRICO

En la presente investigación se desarrolla una metodología para el estudio del agua en rocas fracturadas y meteorizadas, un tema que no está debidamente estudiado en Colombia. A continuación se dan a conocer algunos aspectos de la hidrogeología.

### 5.1. Ciclo del agua

El ciclo hidrológico es el movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea, este posee procesos continuos e interdependientes, de movimiento y transferencia de agua en la tierra, el océano, cuerpos de agua y en la atmósfera. Por ser un ciclo no tiene punto de partida, sin embargo, para explicarlo, se puede comenzar por la evaporación que se produce en el océano, en lagos, embalses, y todo tipo de cuerpos de agua, y la evapotranspiración de las plantas, la cual es la combinación del agua que se pierde por evaporación en el suelo y transpiración en la vegetación. Esta evaporación y evapotranspiración, son producidas por la energía suministrada por el sol e influenciadas por las condiciones climáticas e hídricas de temperatura, radiación, viento y humedad. De esta forma, el agua cambia de un estado líquido a un estado gaseoso.



Figura 11: La dirección de las flechas indican como ocurre el proceso para el desarrollo del ciclo del agua ([http://www.bgr.de/b1hydro/fachbeitraege/d199902/s\\_uruguay.htm](http://www.bgr.de/b1hydro/fachbeitraege/d199902/s_uruguay.htm).)

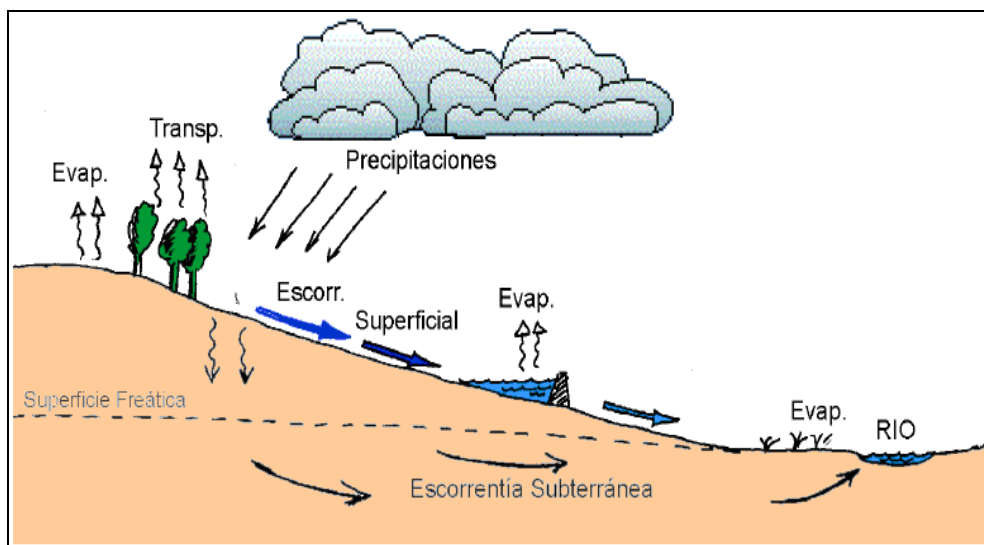
El ciclo hidrogeológico está constituido por una fracción minoritaria de aguas subterráneas, pero es de igual importancia que el agua superficial, la

escorrentía en el agua subterránea es un poco más lenta que la superficial a veces la lentitud de la escorrentía subterránea confiere al ciclo unas características fundamentales, por ejemplo que los ríos continúen con caudal mucho tiempo después de las últimas precipitaciones, es decir, el agua subterránea es una fase más del ciclo hidrológico; a veces se olvida esta obviedad y se explotan como si no tuvieran que ver con las precipitaciones o la escorrentía superficial trayendo resultados indeseados.

Hay excepciones de aguas subterráneas, como las que provienen del interior de la tierra, como aguas termales, sulfuradas; pues estas son conocidas como aguas juveniles y son ajenas al ciclo del agua.

## 5.2. Fases del ciclo hidrológico.

### Condiciones naturales



**FIGURA 12:** Se observa el proceso que sigue la escorrentía superficial y subterránea. ([http://www.bgr.de/b1hydro/fachbeitraege/d199902/s\\_uruguay,htm](http://www.bgr.de/b1hydro/fachbeitraege/d199902/s_uruguay,htm)).

Para la escorrentía subterránea el agua que llega a la zona saturada circula por el acuífero siguiendo los gradientes hidráulicos regionales hasta que sale al exterior o es extraída, su recorrido puede ser de unos metros a kilómetros, durante un periodo de unos meses o de miles de años, puede lograrse por:

- Ser extraída artificialmente mediante pozos o sondeos en zonas de topografía plana y superficie freática profunda, la extracción por captación constituye casi la única salida del agua subterránea. Figura 14.
- Salir al exterior como manantial. Los contextos hidrogeológicos que dan lugar a un manantial son muy variados, en la siguiente figura se adjunta solo uno de ellos.
- Evotranspiración por plantas freatofitas o si la superficie freática se encuentra cerca de la superficie. En laderas que cortan la superficie freática se genera una abundante vegetación.
- Es normal que el cauce de un río aumente aguas abajo, aunque este no reciba afluentes superficiales.

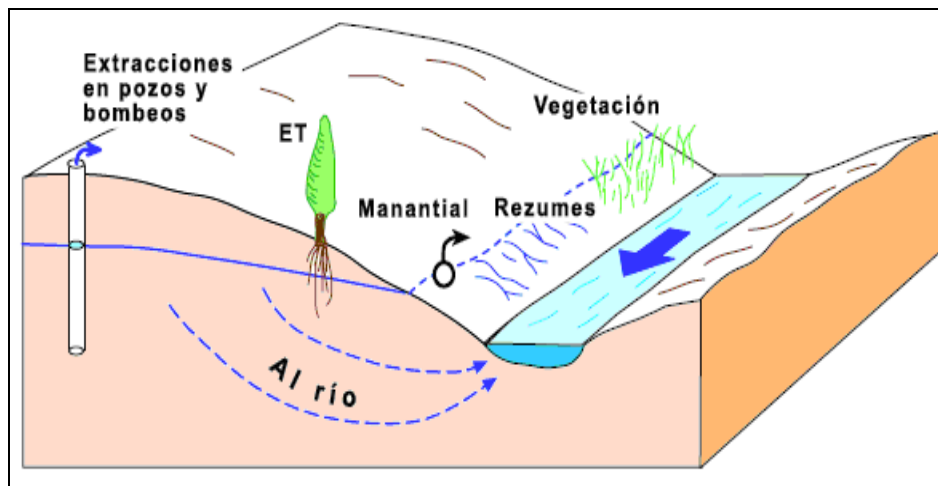


Figura 13: Esquema donde se representan los medios por los que sale a la superficie el agua subterránea ([http://www.bgr.de/b1hydro/fachbeitraege/d199902/s\\_uruguay,htm.](http://www.bgr.de/b1hydro/fachbeitraege/d199902/s_uruguay,htm.))

### 5.3. Clases de acuíferos.

Es indispensable entender los conceptos que enfocan la hidrogeología, por esta razón se deben diferenciar y conocer las distintas categorías antes de hablar de acuíferos.

Los siguientes conceptos fueron tomados de <http://web.usal.es/javisan/hidro>.

Dentro de estas categorías se encuentran las siguientes:

- **La cuenca hidrográfica** es la definida por la topografía el cual es fácil mente delimitable en un mapa topográfico, referida directamente a la escorrentía Superficial.

• **Cuenca hidrogeológica o hidrológica**, es un concepto que engloba también a las aguas subterráneas. Una cuenca hidrográfica constituirá también una cuenca hidrogeológica cuando no existan trasvases apreciables de aguas subterráneas de una cuenca a otra, es decir, que podamos considerar que las divisorias topográficas que dividen a la escorrentía superficial constituyen también divisorias de la escorrentía subterránea entre cuencas adyacentes. Esto se cumple en general para cuencas grandes de más de 1000 o 2000 km<sup>2</sup>. Para cuencas pequeñas habría que considerar la hidrogeología de la zona con cuidado.

Los acuíferos se clasifican teniendo en cuenta sus propiedades físicas el cual depende de la génesis y de su rentabilidad económica teniendo en cuenta aquellos criterios que son de interés.

Los acuíferos son formaciones de gran porosidad y permeabilidad capaces de almacenar y transmitir agua en forma apreciable.

#### **5.3.1. De acuerdo a su génesis.**

Los acuíferos se clasifican teniendo en cuenta ciertos procesos de formación de porosidad el cual poseen una subdivisión denominada primaria estas son:

- **Acuíferos fisurados:** poseen porosidad secundaria, lo que se da como resultado de procesos de fracturación y de meteorización.
- **Acuíferos kársticos:** La porosidad presente es secundaria y es el efecto de procesos de disolución de rocas solubles como lo es la roca caliza.
- **Acuíferos porosos:** Su porosidad es primaria y es en consecuencia es el resultado de los huecos que quedan al sedimentar las rocas detríticas.

#### **5.3.2. De acuerdo a sus atributos físicos.**

Se basan especialmente en dos criterios, el primero es el de transmisividad del subsuelo teniendo en cuenta la permeabilidad y los espesores saturado del acuífero y el segundo es la presión del agua en el centro del acuífero, es decir, el grado de dependencia subterránea con el ciclo superficial.

### 5.3.3. Clasificación por criterios de transmisividad.

Transmisividad: **T**

Permeabilidad: **P**

Espesor saturado del acuífero: **b**

La transmisividad se caracteriza por el producto de la permeabilidad por el espesor saturado del acuífero lleva una subdivisión arbitraria como se presenta a continuación:

- **Acuíferos:** Es una capa permeable de roca capaz de almacenar, filtrar y liberar agua. La capa de roca (o estrato) contiene muchos poros que, cuando se conectan, forman una red que permite el movimiento del agua a través de la roca. Si el acuífero se dispone sobre un nivel de roca impermeable, el agua no pasará a niveles inferiores desplazándose lateralmente.
- **Acuífugos:** formaciones de muy baja porosidad y muy baja permeabilidad, en consecuencia, no almacenan ni transmiten aguas (ejemplo: rocas graníticas, rocas ígneas y metamórficas sanas).
- **Acuífijos:** formaciones de alta porosidad y baja permeabilidad, susceptibles de almacenar grandes cantidades de agua, pero de muy difícil extracción por los métodos corrientes de explotación (ejemplo: arcillas).
- **Acuitardos:** Unidades geológicas que almacenan agua subterránea dejándola pasar o cediéndola con dificultad como los limos, arenas arcillosas y limos arcillosos.
- **Acuicludos:** unidades geológicas que almacenan agua subterránea, pero que no la ceden ni la dejan pasar como se observan en las lutitas.

### 5.3.4. De acuerdo a su estructura.

Estos se clasifican en: libres, confinados, semiconfinados.

- **Los acuíferos libres:** son aquellos en que el nivel permeable está directamente en contacto con la atmósfera; la presión del agua en el acuífero es igual a la atmosférica, la que se encuentra por debajo del techo del acuífero, es decir, un acuífero libre consiste en una zona impermeable que sirve de base a una zona permeable saturada de agua, sobre la que existe una capa permeable sin saturar.

- **Acuíferos confinados:** son aquellos en que el techo del acuífero es un acuicludo (impermeable) la presión del agua se estabiliza con la atmosférica por encima de su techo en el acuífero, es decir, este tipo de acuífero presenta una permeabilidad muy pequeña o nula y, a veces, al estar envuelto por estratos impermeables suprayacentes y subyacentes, impiden al agua moverse más allá de la región confinada.
- **Acuíferos semiconfinados:** El techo del acuífero es un acuitardo (semipermeable) y la presión del agua se estabiliza por encima de su techo.

### 5.3.5. Acuíferos fracturados:

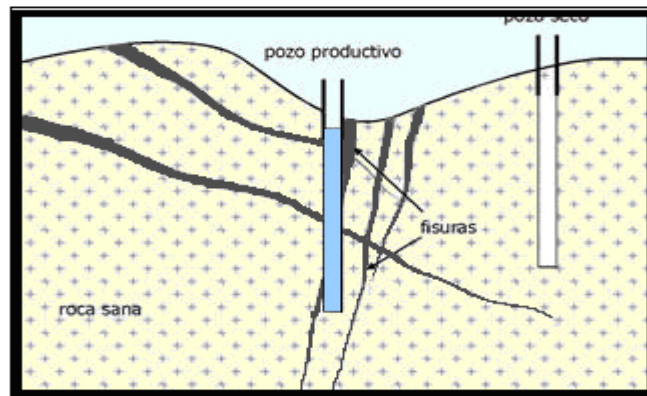


Figura 14. Acuífero fracturado Tomada de. <http://www.fagro.edu.uy/geología>

Debido a que las rocas metamórficas e ígneas son por naturaleza rocas impermeables carecen de porosidad, por lo tanto no permiten la filtración y movimiento de agua subterránea, es decir, toda roca cristalina no almacena ni transporta agua ni ningún tipo de fluido debido a su condición impermeable.

Para que se lleve a cabo la infiltración, almacenamiento y transporte de agua en el cuerpo cristalino (rocas ígneas y metamórficas) debe poseer cierta porosidad. Para que obtengan tal porosidad, llamada secundaria, debe haber procesos posteriores a su génesis, que se obtienen a partir de dos fenómenos que son disolución y fracturación.

Las rocas duras tienen la posibilidad de comportarse como frágiles en los primeros cientos de metros de nuestra superficie terrestre, es decir, se fracturan ante esfuerzos que actúan sobre el segmento o parte de la corteza en la cual están siendo emplazadas. Desde el punto de vista de la historia

geológica, que ha ocurrido en Colombia, ha surgido una serie de eventos tectónicos que dieron lugar a una serie de fracturas que han y están cortando el basamento cristalino y es por este motivo que permite la infiltración y acumulación de agua subterránea.

Las fracturas posibilitan la circulación del agua subterránea, ya sea en mayor o menor proporción. Por lo tanto se comportan como canales o conductos que favorecen el proceso de meteorización, responsable de la degradación de la roca en su estado natural y formaciones de minerales estables en condiciones superficiales. Los minerales estables que se encuentran en la superficie terrestre son principalmente las arcillas que son el resultado del reacomodamiento de los elementos químicos que forman a los minerales constituyentes de las rocas originales ígneas y metamórficas.

Si las fracturas afectan aquellas rocas que contienen minerales que son débiles frente a la meteorización, las fracturas serán selladas con las arcillas neoformadas; en cambio, si las fracturas cruzan o intersecan las rocas cuya composición son de minerales poco alterables, entonces las fracturas permanecerán limpias y abiertas produciendo gran almacenamiento y movimiento del agua subterránea. Por lo tanto estas fracturas necesitan estar conectadas con el ciclo hidrológico con el propósito de que puedan recargasen con agua.

El agua subterránea se genera a partir de la infiltración de la lluvia, que al llegar al contacto con la corteza terrestre tendrá que traspasar el suelo. Los movimientos y propiedades químicas que se generen sobre el suelo intervendrán en la calidad del agua que sea infiltrada al igual que su composición química. En los primeros metros de la superficie terrestre las rocas cristalinas alteradas actúan como acuitardos almacenando el agua de lluvia infiltrándola en las fracturas presentes o subyacentes.

Los cursos de agua superficial como los ríos, cañadas, y arroyos son los sitios donde se encuentran en mayor tiempo en contacto con las fracturas que afectan el subsuelo, normalmente en terrenos donde hay cuerpos cristalinos, los cursos superficiales están en mayor o menor grado controlados por la red de fracturas del subsuelo. Una vez que se logra identificar una red de fracturas

que afectan rocas poco meteorizables y recargas estables se habla de acuíferos fracturados.

Las rocas de una buena composición para el almacenamiento de agua son interrumpidas cuando las fracturas existentes son limpias y abiertas ya que estas hacen que haya movimiento del flujo de agua. Las condiciones de recarga son muy factibles por la interconexión con el sistema hídrico superficial, a partir de esto se pueden obtener grandes caudales en una obra de captación. Con respecto a la superficie piezométrica regional en los acuíferos fracturados es difícil de establecer el comportamiento del acuífero.

#### **5.3.5.1. Diaclasas**

Estas estructuras son muy importantes para este proyecto de investigación para los estudios hidrogeológicos debido a que se encuentran íntimamente relacionadas con el estudio del subsuelo. Las formaciones geológicas situadas por debajo del nivel freático están saturadas y el agua se mueve lentamente a través de la roca, bien por espacios porosos o bien por fracturas.

Las fracturas poseen inclinaciones geométricas como lo es el espaciamiento, longitud, inclinación e interconexión estas son las que definen la existencia de un acuífero de fracturas o fisuras. Al hablar de diaclasas decimos que son fracturas que poseen desplazamientos menores normales con respecto a su superficie y con respecto a la superficie de fracturas poseen movimientos paralelos escasos, por no decir nulos.

Es importante conocer las diferentes características que poseen las diaclasas ya sean a partir de su tamaño o su tipo la interconexión que existe entre fracturas, el tipo de litología en donde ocurre la fracturación o roca y la porosidad de la fracturas.

Dentro de la fase de campo se realiza un muestreo y análisis geostadístico de las diaclasas o fracturas presentes en la zona por el método del Scanline y a partir de los datos tomados en campo se generaron algunos diagramas de rosetas.

A continuación se realiza una breve recopilación de las fracturas.

### **Tamaño y tipo de fracturas.**

Para rocas cristalinas existen las siguientes características:

- Fracturas de Tensión: Poseen gran capacidad de almacenamiento, ya que han desarrollado redes de fracturas interconectadas generando demasiados espacios de movimiento y almacenamiento de agua, por esta razón abren paso para que estos cuerpos rocosos sean buenos almacenadores de agua.
- Fractura de corrimiento: A partir de las fallas se puede producir que dos o más fallas se corten generando algunos ejes de intersección que abren espacios produciendo la filtración y almacenamiento de agua en gran proporción y con rendimientos excepcionales a gran profundidad. Estas son fallas que producen un movimiento originando un brechamiento con diferentes tamaños, los cuales dependen del comportamiento de la roca y las causas que rigen la alteración, los tamaños finos se comportan de manera impermeable, catalogándose como acuitardos. Los que generan porosidades excepcionales son de tamaños medianos y gruesos, dan origen a la posibilidad de la acumulación o formaciones de acuíferos convirtiéndose en buenos conductores hidráulicos. El efecto de presiones residuales normales a los planos de corrimiento causa un efecto subhorizontal en la posición, desapareciendo los espacios que existen entre los bloques.
- Fracturación por descomposición: Estas tienen la posibilidad de generar fracturas horizontales y subhorizontales, se encuentran cerca de la superficie actuando como colectores de flujo de manera circular, a partir de las fracturas verticales en las rocas metamórficas e ígneas. Todo esto se debe a una disminución en la carga litostática.

Es muy importante resaltar que el fracturamiento se produce en algunas rocas como:

- Compactas o rocas secas, se conocen como rocas masivas con una fracturación escasa, es por esta razón que no resultan buenas almacenadoras de agua. A esto se le conoce como Acuífugos tomada de Larsson, 1985.
- Rocas dúctiles: Dentro de estas rocas, cuando existen fracturas, se presentan rellenas por materiales de alteración de arcilla, se caracterizan por ser esquistos de menor o bajo grado esos se conocen como acuitardos.

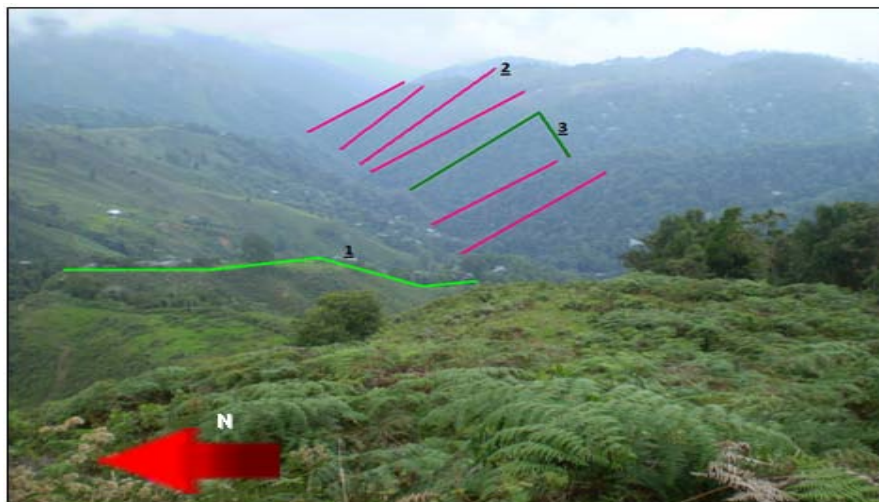
- Rocas fracturadas: Las litologías más presentes poseen sectores con una densidad alta de fracturación, formándose verdaderos acuíferos. Algunas rocas son rocas intrusivas.

- La porosidad es muy importante en las fracturas e influye la clase de roca y el relleno de los materiales causados por la meteorización.

## 6.0 RESULTADOS





### 6.1 Resultados de campo

#### 6.1.1 Rasgos estructurales.



**FIGURA 15: Lineamientos en el Valle del Río Lato donde se observa pendientes escalonadas, silla de montar, Faceta triangular.**

El valle el río Lato se caracteriza por su geomorfología. Se encuentra que esta corresponde a la unidad litológica del Neis de Bucaramanga, es una zona de alta montaña, presenta unas espesas vegetaciones arbóreas y pendientes, de moderadas a altas. Presenta una topografía ondulada o rizada.

-  **(1)** Silla de montar.
-  **(2)** Pendientes moderadas a altas.
-  **(3)** Faceta triangular.
-  Dirección de la fotografía, indicando el Norte.

Se presentan pendientes escalonadas, una faceta triangular y silla de falla; se evidencia actividad de falla, observando pendientes moderadas a alta presentes en el Valle del río Lato.



**FIGURA 16:** Lineamiento en el Cerro Morronegro vía Bucaramanga -Cúcuta

En la zona de falla Morro negro se observan filos rocosos y formas sobresalientes alargadas y estrechas, orientadas por el rumbo de las rocas limitadas por fallas, como se observa en la anterior figura. Las unidades litológicas que encontramos en el cerro de Morro negro corresponden al Neis de Bucaramanga con algunos parches de ortogneis.

### **6.1.2 Unidades litológicas**

Las unidades litológicas, encontradas en la zona de estudio, son rocas metamórficas e ígneas. Una de las finalidades de esta salida de campo es caracterizar cuáles unidades litológicas son las que presentan mayor grado de fracturamiento y cuál presenta mayor grado de meteorización, encontrando que las rocas metamórficas presentan alto índice de fracturamiento y las rocas ígneas presentan alto índice de meteorización; la roca metamórfica se encuentra en la parte inferior y superior de la cuenca. En su parte inferior presenta alto índice de fracturas, que está controlado por la falla regional Bucaramanga - Santa marta y, en la parte superior, con bajo índice de fracturas, hacia la parte central de la cuenca, se encontró la Cuarzomonzonita

de la corcova, con alto índice de meteorización; en algunas ocasiones se aprecia un contacto con la roca metamórfica bastante meteorizado y alterada.

Se encontró en la zona de estudio las siguientes unidades litológicas:

- **Rocas Ígneas y Metamórficas.**

Esta unidades litológicas se encuentra cartografiadas en el cuadrángulo H12 - 120 - 2B y 120 - 2D. El Neis de Bucaramanga es una roca metamórfica que se encuentra al Este de la falla de Bucaramanga, sobre el macizo de Santander, y hacia el nororiente de la cuenca; algunas rocas en su estado natural se encuentran en el cauce río lato y algunos drenajes.

La Cuarzomonzonita se caracteriza por ser una roca ígnea presente en la cuenca de río Lato, que constituye el Plutón de la corcova Ward et. al.1993. Los afloramientos se encuentran localizados conformando un cinturón alargado que atraviesa la cuenca.

- **Neis de Bucaramanga.**

Esta unidad litológica reconocida en nuestra fase da campo correspondiente al Neis de Bucaramanga Fig.17, se encuentra ubicado sobre la parte baja de la cuenca del río Lato con coordenadas X: 1276510, Y: 1119064, Z: 2854, en una zona de falla, afectada principalmente por la falla de Bucaramanga - Santa marta, de carácter regional, y presentándose en segunda ocasión hacia las partes más altas de la cuenca. En la parte baja de la zona de estudio se encontró alto índice de fracturas y meteorización física y química, presentado colores rojos, amarillos y oscuros, producto de alteración y oxidación de esta litología; aparentemente se observa una roca compacta con grandes venas de cuarzo alteradas, sus fracturas en su mayoría se encuentran sin relleno. En su parte alta se encuentra el Gneis con mayor grado de meteorización química por disolución y con menor grado de fracturas y se encuentra menos compacto ya que se encuentra con altos índices de humedad, es decir, se disgrega fácilmente al retirarlo del afloramiento.



**Figura 17: Afloramiento gneis vía que conduce de Bucaramanga a Berlín.**

El neis de Bucaramanga presenta diferentes estructuras dependiendo de su estado de deformación representado en su geomorfología, según lo observado en campo como se muestra en el anterior esquema.

- **Cuarzomonzonita de la Corcova.**

Corresponde a Cuarzomonzonita de color gris de grano fino a medio, de textura fanerítica y aspecto sacaroide que conforman la masa principal del Plutón de la corcova. Su composición es de Cuarzo, Feldespatos, Biotita uniformemente diseminado y trazas de Muscovita; su color es gris en roca residual, se pueden encontrar testigos de este tipo de roca como núcleos frescos sub-redondeados de diferentes tamaños, producidos por meteorización esferoidal.

En este campo de estudio se encontró la Cuarzomonzonita de la corcova en la parte central de la cuenca, con altos índices de meteorización y bajo grado de fracturas, presenta colores blancos y amarillos, es afectada por el sistema de fallas Bucaramanga - Santa marta, se presenta húmeda, su grado de compactación es muy baja, ya que se disgrega fácilmente figura18. Se encontraron venas de cuarzo que atraviesan esta unidad litológica de grandes dimensiones con alto índice de meteorización, se encuentran pequeñas intrusiones con el Gneis de Bucaramanga, encontrándose muy meteorizado figura19. También se presenta en cercanías al río Lato la Cuarzomonzonita de la corcova en su estado natural, es decir, no se encuentra alterada; por lo tanto no presenta porosidad secundaria con su color característico gris Figura 20.



**Figura18: Afloramiento Cuarzomonzonita de la corcova con alto grado de meteorización química por disolución parte central de la cuenca, cercanía al río Lato.**



**Figura 19: Afloramiento gneis De Bucaramanga afectado por diques intrusivo de Cuarzomonzonita.**



**Figura 20. Afloramiento Cuarzomonzonita de la corcova en su estado más fresco.**

### **6.1.3 Datos de fracturas en afloramiento**

El propósito de medir los patrones de fracturamiento en campo es el de establecer orientaciones y características morfológicas de los patrones de fracturamiento, ya que al medirlas en superficie se puede proyectar al subsuelo.

La predicción puede ser incierta, pero una predicción cualitativa de las condiciones de la superficie, sumada a la evolución estructural del área, conduce a entender las características del afloramiento en el subsuelo. Se realiza una descripción de fracturas teniendo en cuenta el grado de meteorización, la cantidad de fracturas, el tipo de relleno, el espaciamiento, la apertura de cada una y su respectiva dirección.

Para llevar a cabo la caracterización de las fracturas se utiliza el método de Scanline, como se observa en el **Anexo c**.

Se miden, en afloramiento, nueve Scanline en el lugar más predominante de fracturas hacia la parte baja de la cuenca, varía en su longitud el afloramiento de 1.80m, hasta 6.66m. Como se observa en el anexo c.

- **Descripción de afloramiento por scanline:**

Se encuentra ubicado sobre la vía que conduce del ICP a la vereda cristales con coordenadas x: 1270115, Y: 1118512, Z: 2280. En la siguiente figura se realiza un Scanline sobre gneis de Bucaramanga, en un espejo de falla, posee

una longitud de 4.8m., dirección 35/60SE atravesando a doce fracturas que varían en dirección desde 270/55n a 260/40nw con abertura desde 1mm, hasta 3cm, rellenas con material residual húmedo, pero sin agua libre, producto de la gran vegetación presente en la parte superior del afloramiento; su color representativo en el afloramiento es rojo a negro, producto de la oxidación su grado de meteorización; se clasifica decolorada ya que se observan cambios en el color original de la matriz rocosa. Las principales fracturas en el afloramiento se clasifican como fracturas afectadas por disolución, creando una porosidad adicional, producto de fenómenos de meteorización superficial, el espaciado de las fracturas se clasifica como “junto”, ya que su espaciado principal fue de 80mm., el afloramiento presenta una continuidad media y con aberturas anchas en el patrón de fracturas.



Figura 21: Scanline en afloramiento.

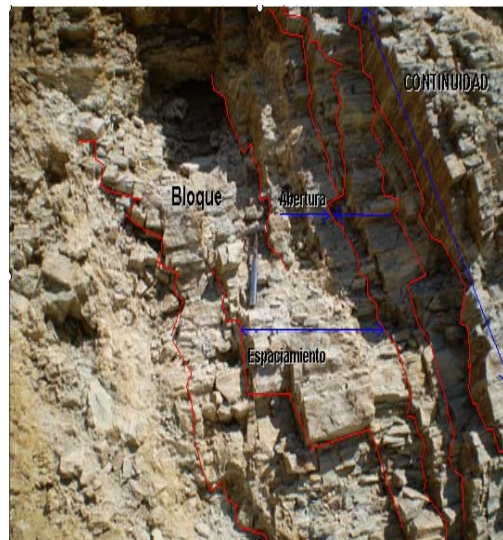


Figura 22: Representación esquemática de las fracturas en afloramiento.

•Características físicas del afloramiento.

Para cada afloramiento se realizo una tabla Con su descripción física de Fracturas como se observa a continuación.

LITOLOGIA	Naturaleza: Metamorfico		Formación:				Edad:	
Formaciones superficiales	Gneis Milonitizado		Morfología: Pendientes moderadas				Espesor: 4mt	
Estructuras	Plegues:		Falla: Mensuly				Otros:	
FRACTURAS	Bloques	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy Brechificado >30	
GRADO DE METEORIZACION	I Sana		II Algo meteorizada	III Mediana mente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada	VL Suelo residual	
Hidrogeología	Sin presencia de agua		Seco con señales de agua	Humedo	Goteos	Flujo	Caudal estimado	





Abertura mm	Numero Acumulado	Frecuencia Acumulada
15	1	0.0769
5	3	0.230
3	8	0.615
2	12	0.923

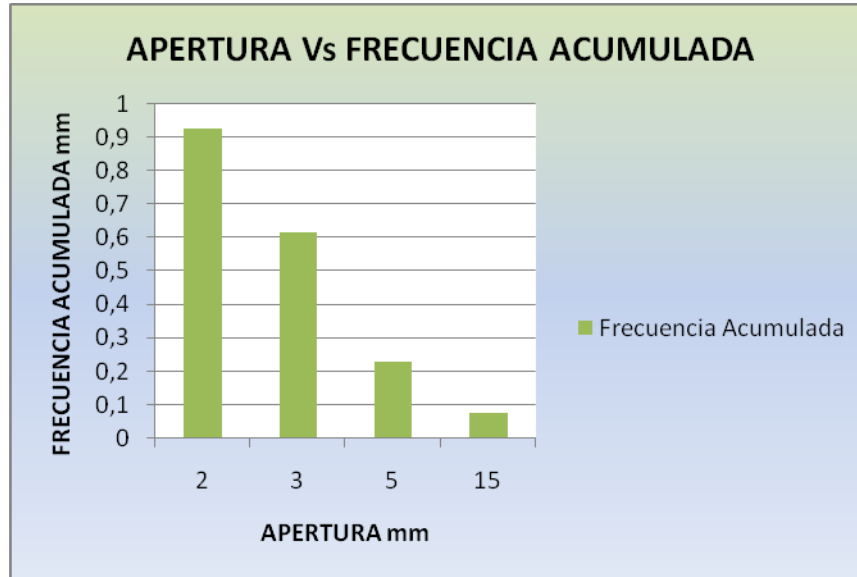


Figura 23. Apertura vs. Frecuencia acumulada de fracturas.

El diagrama de barras (figura 23) indica una fuerte tendencia en la distribución de familias de fracturas con aperturas dominantes, para este caso tenemos que las mayores cantidades se encuentran registradas para aperturas de dos milímetros, cuyos valores de frecuencia acumuladas son los más altos, haciendo que este tipo de fracturas sean las más abundantes en el afloramiento.

Para el cálculo del índice de fracturamiento se toman el número total de fracturas y se divide por la longitud del Scanline. Posteriormente se calcula el volumen de porosidad de fracturas tomando tres valores definidos por las aperturas en el afloramiento, estos valores están dados por la mayor apertura, un promedio de aperturas y, por último, la menor apertura, dando porcentajes de porosidad de fracturas de la siguiente manera.

**Índice de fracturamiento:**  $12/130=0.092$

### **Porcentaje de porosidad de fracturas:**

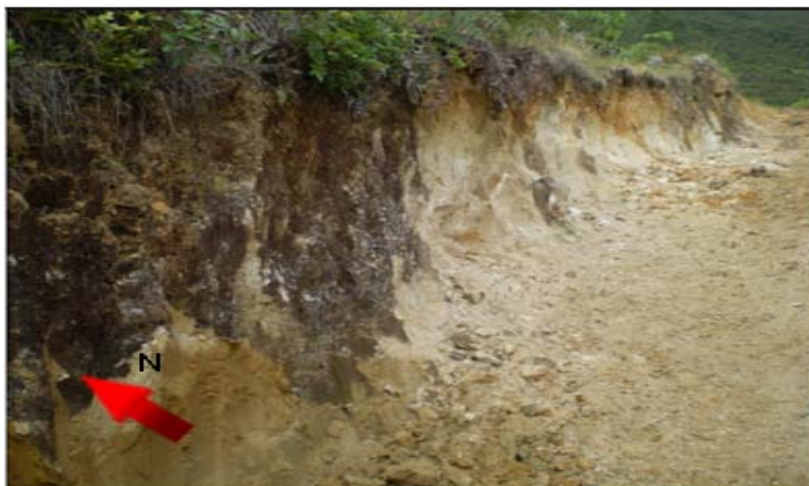
$\Phi = 0.92 \cdot 15 / 1300 = 1.06\%$  Para la máxima apertura.

$\Phi = 0.92 \cdot 6.25 / 1300 = 0.44\%$  Para la media apertura

$\Phi = 0.92 \cdot 2 / 1300 = 0.14\%$  Para la mínima apertura.

### **• Muestreo en campo.**

Se realiza un muestreo en campo donde se recolectaron aproximadamente 55 muestras. teniendo en cuenta su textura, grado de compactación, color, brillo, raya y minerales visibles, con su respectiva alteración, al sacar la muestra se referenciarón teniendo en cuenta el norte del afloramiento, algunas muestras no se pudieron extraer por el estado de meteorización y alteración de algunos afloramientos, ya que se disgrega muy fácil, como en el caso donde aflora la Cuarzomonzonita, como se observa en la figura 24; este muestreo se realizo con el propósito de identificar en campo unidades litológicas aflorantes para corroborar la cartografía existente. En algunos lugares es imposible el acceso, lo que dificulta el muestreo para esos sitios, lo que se realizo para estos lugares de difícil acceso se tuvo en cuenta la geomorfología de cada unidad aflorante, como en el caso del Neis de Bucaramanga, en algunos puntos de la cuenca en sus cercanías al río Lato.



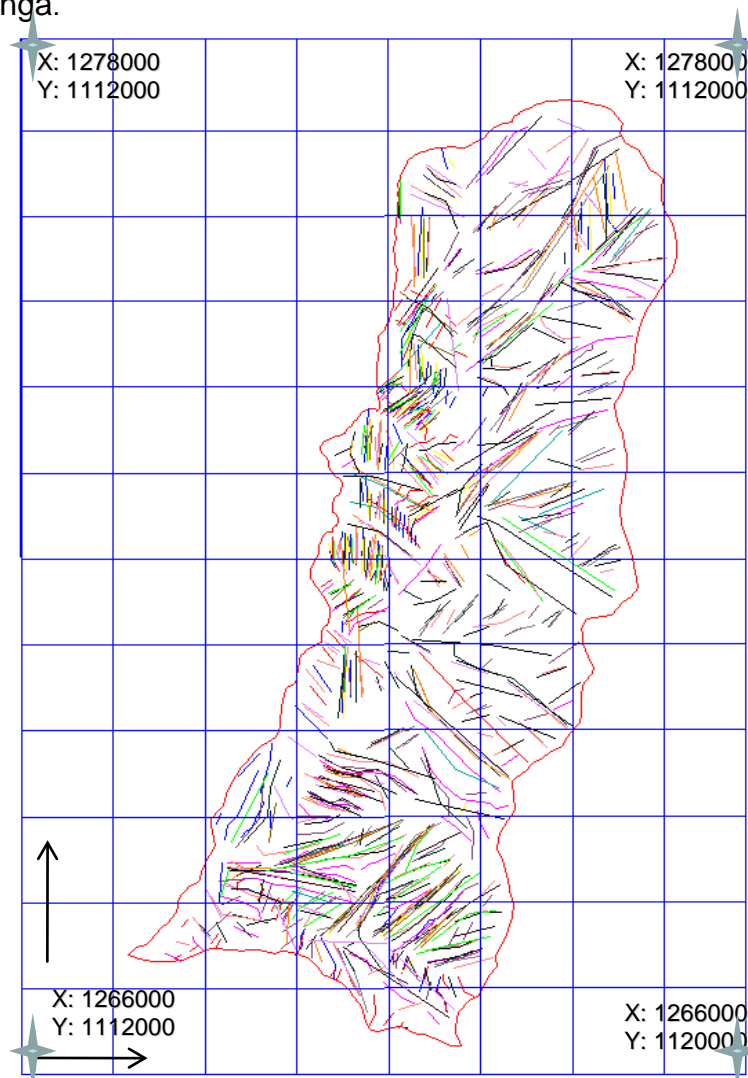
**Figura 24. Afloramiento de Cuarzomonzonita de la corcova con alto grado de Meteorización física, química y alteración a caolín**

## 6.2 RESULTADOS DE LABORATORIO

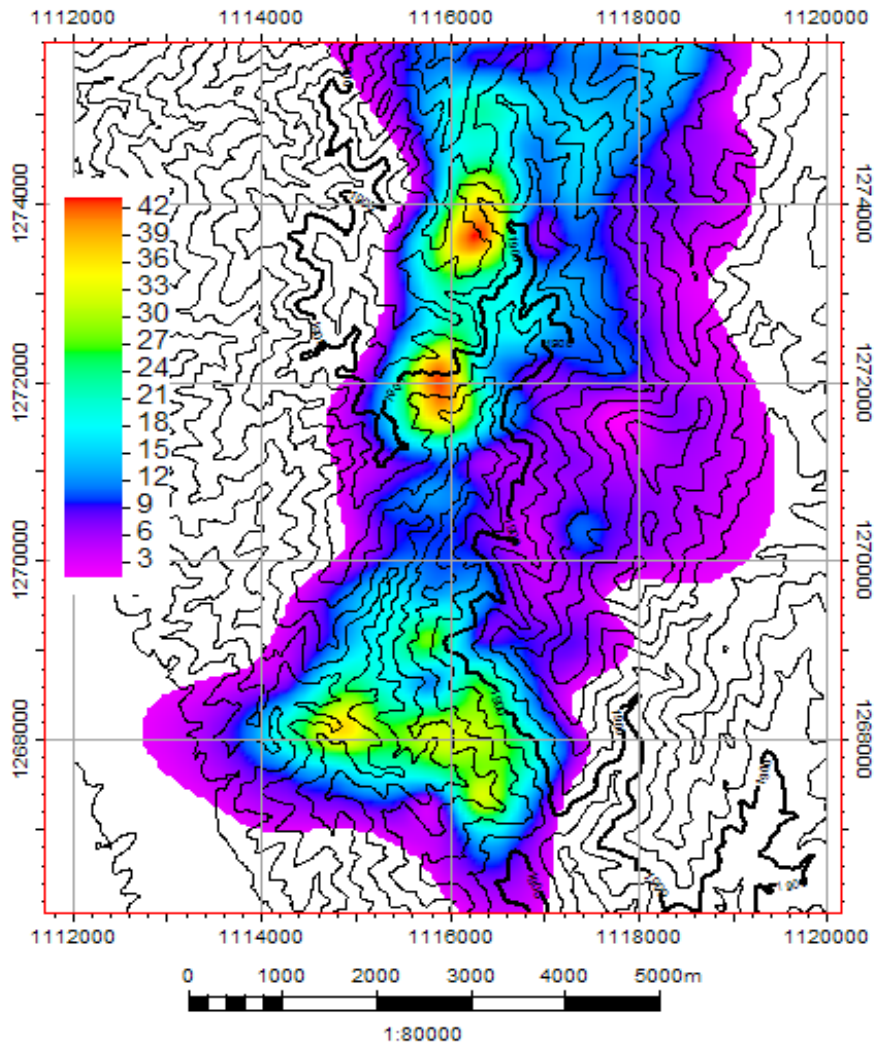
### 6.2.1. Análisis Morfoestructural.

#### 6.2.1.1 Mapa de lineamientos.

Basados en el modelo digital del terreno de la cuenca del río Lato, se realiza el modelo de lineamientos basados en estructuras observadas en el MDT, a partir del mapa de sombras, generado en Golden Surfer, son exportados los datos obtenidos a Autocad, en donde se logran apilar todas las direcciones preferentes de lineamientos (ver figura 25); en la imagen se logran identificar direcciones dominantes que se deben a la configuración geológica del macizo de Santander y muy relacionada e influenciada por la evolución de la Gran falla de Bucaramanga.



**Figura 25: Esquema que ilustra los diferentes lineamientos sobre la cuenca, obtenidos con el mapa de sombras y con diferentes posiciones del sol.**



**Figura 26: Se muestra el mapa de densidad de lineamientos medidos en un área de 500m<sup>2</sup>, a través de la Cuenca del río Lato.**

Dentro de la cuenca del río lato se logran diferenciar dos zonas que se encuentran dominadas por una densa capa de líneas, estos sectores afectados logran tener su mayor concentración sobre la parte baja de la cuenca, cuya dirección preferente es hacia el NE y en la parte media de la cuenca con una dirección NS principalmente.

Este modelo se generó con base en el modelo metodológico propuesto en el anexo A, donde se explican los pasos para la realización de este mapa de lineamientos.

El mapa de densidades (figura 26) expone las zonas donde ocurre la mayor confluencia de lineamientos sobre la cuenca, se observa el modelo definido por una serie de colores que reflejan los sectores con mayores índices de

lineamientos, quedando expuestas zonas muy bien marcadas por colores más intensos (rojo-amarillo), mostrando así una gran similitud entre los dos modelos anteriormente descritos. Para la formación del mapa de densidades de lineamientos se escoge un área de 500m<sup>2</sup> sobre el modelo digital en planta se toman las coordenadas del punto central y se cuentan las líneas que atraviesa cada cuadrado; de esta manera se logra generar en el software Petrel el modelo de densidad de lineamientos sobre la cuenca del río Lato.

Se comparan los dos esquemas anteriores mostrando de esta manera una gran similitud sobre las zonas con mayor densidad de lineamientos, encontrando así una gran cohesión de estructuras alineadas sobre la cuenca.

Para el mapa de densidad de lineamientos se observa la leyenda con una amplia gama de colores, acompañada por el valor numérico que indica la cantidad de líneas encontradas cada 500m<sup>2</sup> sobre de la zona de estudio.

### **6.2.2. Diagrama de rosetas.**

Este modelo indica por medio de diagramas de rosetas las direcciones más representativas de las estructuras sobre toda la cuenca en el modelo digital del terreno, mostrando tres direcciones preferentes, en donde una de ellas es paralela al plano de falla, manteniéndose así en toda la cuenca y con variaciones muy bajas en su dirección (ver figura 27); se indican las direcciones que toman las estructuras deformadas una vez se encuentren alineadas en superficie.

Ubicación:

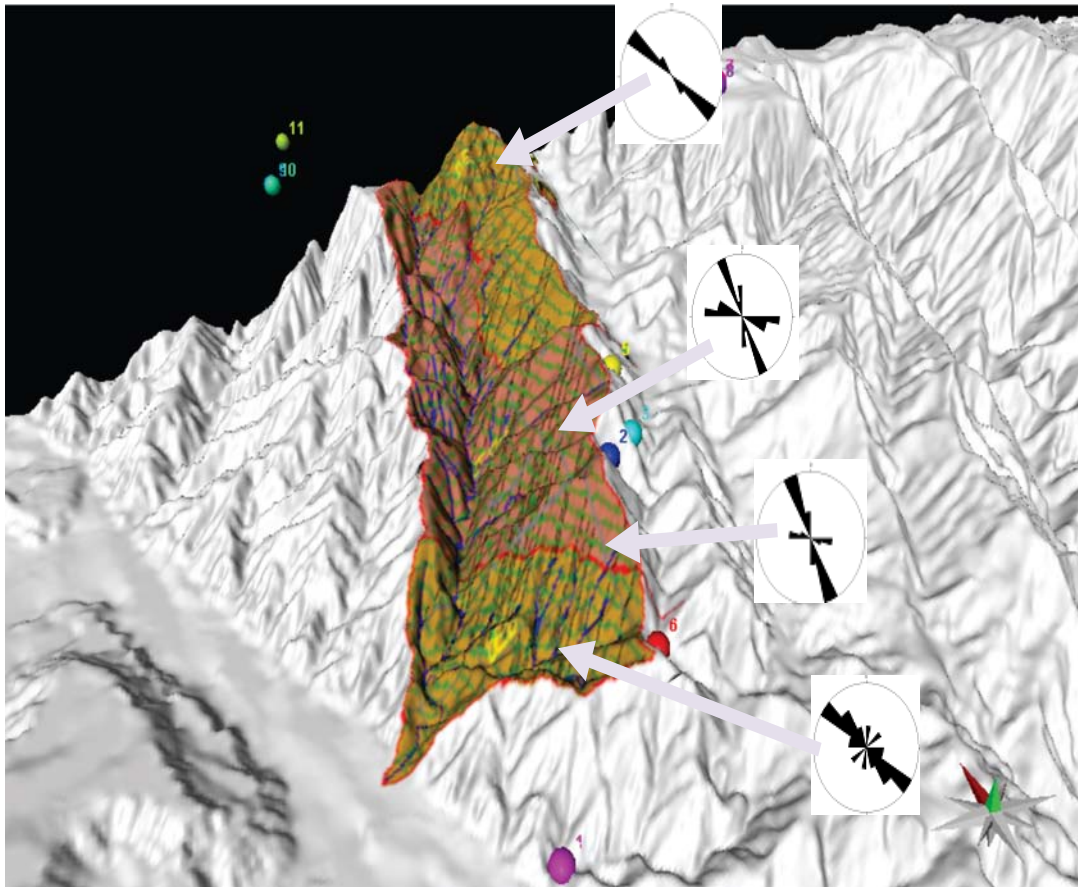
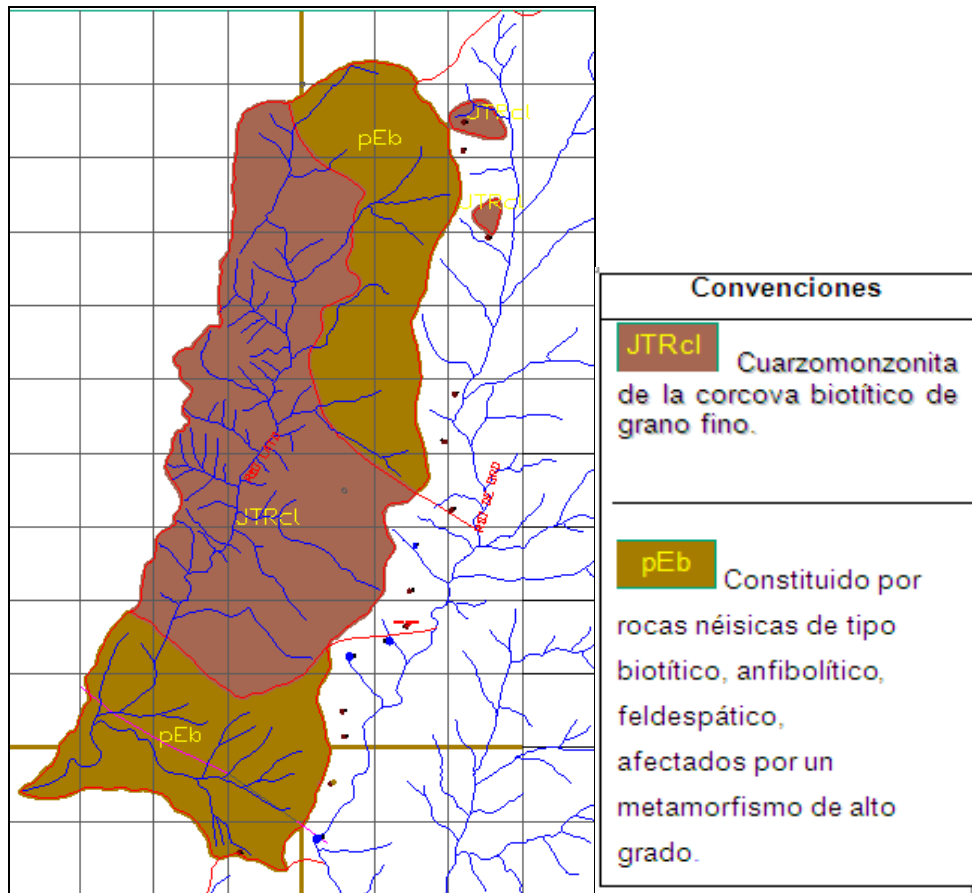


Figura 27. Modelo digital del terreno y las direcciones más representativas mostradas por diagramas de rosetas. Las flecha indican la ubicación de los afloramientos donde se recopiló los datos de orientación en la ceunca del río Lato.

### 6.2.3 Mapa Geológico.



**Figura 28:** Mapa a escala 1:25000 de la cuenca del río Lato, se observa el mapa hecho en campo y sus correspondientes estaciones marcadas por puntos rojos.

Con base en el campo realizado se define un mapa a escala 1:25000 de la cuenca del río Lato, generando mayores aproximaciones sobre los contactos litológicos y cartografiando cuerpos graníticos; sobre este sector se identifica la falla de Menzuly, ubicada en la parte baja de la cuenca.

### 6.2.4. Descripción de las secciones delgadas.

Se realiza un análisis petrográfico de doce núcleos recolectados en campo, se encontró que los minerales alterados como plagioclasas y feldespatos permiten la percolación y flujo del agua formando una porosidad secundaria por alteración. Otros minerales como el cuarzo se encuentran fracturados en su gran mayoría, permitiendo de esta manera la filtración del agua debido a que

las fracturas en ocasiones se encuentran interconectadas, formando de esta manera porosidad secundaria por fracturamiento.

Para llegar a este resultado se realiza el análisis petrográfico como se muestra a continuación:

#### Delta 1

<b>Minerales Principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Menores</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales secundarios</b>
Cuarzo	40	Epidota	3	opacos	1	Sericita
Plagioclasa	28	moscovita	4			clorita
Biotita	20	Microclina	4			

**Tabla 5. composición mineralógica y porcentual de la muestra 1.**

#### **Coordenadas:**

X: 1266575; Y: 1116149; Z: 1791

**Origen:** Metamórfico.

#### **Clasificación.** Gneis

**Cuarzo:** se observan en nicoles paralelos individuos incoloros de relieve moderado-alto, en nicoles cruzados exhiben colores de birrefringencia que pertenecen al segundo orden, heteroblásticos, xenoblásticos, muestran fenocristales de cuarzo sucio, muy fracturado (ver Figura 37). Estos fenocristales presentan variaciones en su tamaño y longitud, se encuentran muy fracturados, en contacto neto con Plagioclasas y Biotitas; las fracturas se cruzan unas con otras a través de cristales como Cuarzo y Plagioclasa, generando fracturas libres, con la capacidad de transportar un fluido, o rellenas, posiblemente por material propio del mineral.

**Plagioclasas:** Se observan en nicoles paralelos Individuos incoloros con bajo relieve, en nicoles cruzados exhiben colores de birrefringencia de segundo orden de forma subideoblástica, xenoblástica, se presentan fenocristales de este mineral con longitudes de 1,2 mm hasta 0,6 mm de espesor en promedio. Presentan fracturas que en algunos casos son rellenas por material de

alteración (sericita), que permite el flujo considerable de agua, según las dimensiones de las fracturas. La sericita se debe a la alteración de la Plagioclasas y se observa a manera de parches (ver figura 34), se encuentra altamente distribuida en la sección como mineral de relleno sobre fracturas y como parches alrededor del cristal de Plagioclasa, en cualquiera de las dos formas la sericita permite el paso de un fluido.

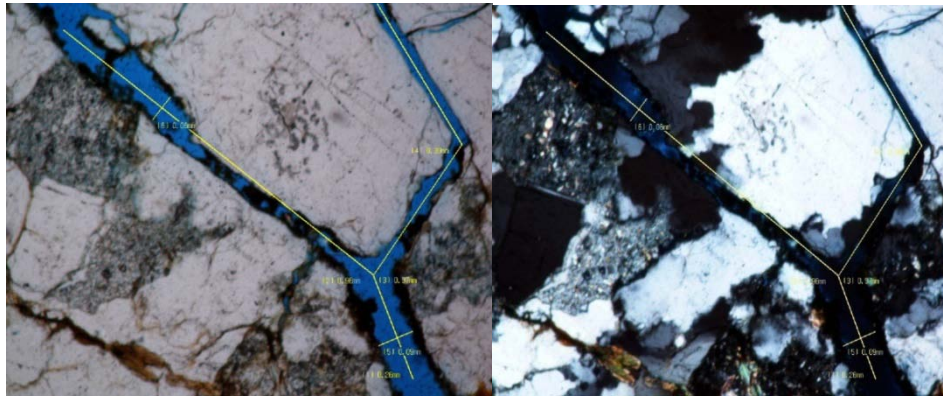
**Biotita:** Se observan en nicoles paralelos individuos hojosos de color marrón, pleocroicos; se encuentra en contacto neto con cuarzo y plagioclasas. Presenta alteración a clorita (ver figura 33), la biotita posee considerables cantidades de hierro, debido a los colores rojizos muy intensos, la clorita se desarrolla desde los bordes del cristal de biotita hacia el interior del mismo, rellenando en buena cantidad superficies de fractura.

**Epídota:** Se observan en nicoles paralelos individuos incoloros con relieve alto, heteroblásticos, forma subideoblástica, muestra un leve pleocroísmo, y es muy fracturado; en nicoles cruzados presenta colores de interferencia altos, en contacto con Cuarzo y Plagioclasa.

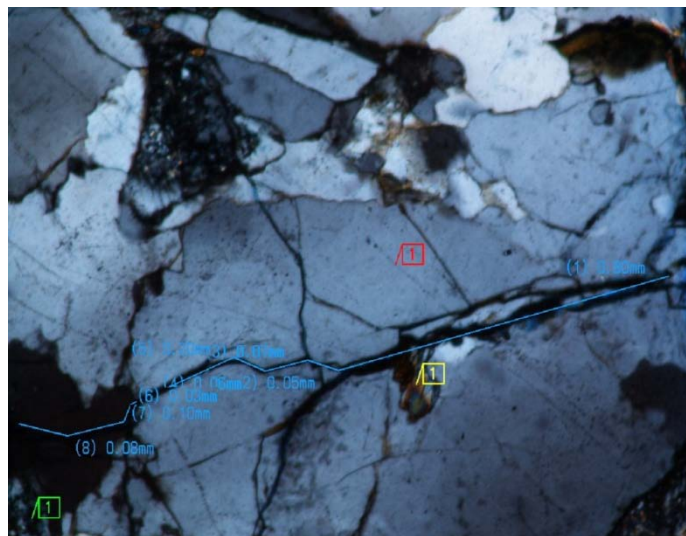
**Muscovita:** Se observan en nicoles paralelos Individuos incoloros con bajo relieve, forma subideoblástica, heteroblástica, en cruzados exhiben altos colores de interferencia pertenecientes al segundo orden, hábito laminar, se encuentra en contacto neto con cuarzos, y plagioclasas.

**Microclina:** Se observan en nicoles paralelos Individuos incoloros de relieve moderado, homeoblásticos, forma xenoblástica, en nicoles cruzados exhiben colores de interferencia del segundo orden. Característicos por su maclado de Carlsbad, su distribución en la muestra es inapreciable.

**Minerales Opacos:** Se observan en nicoles paralelos y cruzados oscuros, Individuos heteroblásticos, xenoblásticos, asociado al Cuarzo y Plagioclasa, su distribución es escasa en la muestra.



**Figura 29; Intensidad de Fracturamiento, mostrando aperturas de aproximadamente 0,15 mm, sobre cristales de cuarzo en su mayoría, también se puede apreciar parches de sericita y biotita Cloritizada (parte inferior izquierda). Tomada con el objetivo de 5X.**



**Figura 30; Fracturamiento de minerales, se aprecia como el cuarzo, se encuentra muy fracturado, generando una porosidad secundaria que se comunica a través de diferentes cristales, la longitud de la fractura que se muestra en la fotografía es de 1,1mm. La descripción posee una porosidad secundaria de 11%. Tomada con el objetivo de 5X.**

### **6.2.5 Perfil de Meteorización:**

Para generar el perfil de meteorización se tienen en cuenta el régimen pluvial de la zona, caracterizado por la disminución sobre los primeros meses del año, textura del material no consolidado, espesores del regolito, cobertura vegetal y altura sobre el nivel del mar.

Para su construcción se parte desde los sectores más altos de la cuenca, caracterizando los componentes litológicos y el grado de meteorización del área, dividiendo así los niveles de meteorización en una serie de zonas.

## Zona 1.

En la imagen se observa el cerro Morro negro, en color amarillo el trazo de la falla y a un costado del cerro se encuentra la quebrada Morro negro, que posteriormente se une al río Lato, se caracteriza por tener fuertes pendientes y una espesa vegetación, sobre este sector aflora el Gneis de Bucaramanga.



**Figura 31: A: Cerro Morro negro; se aprecia la ubicación que tiene del Cerro Morro negro como uno de los sectores de mayor elevación sobre la cuenca del río Lato y su litología característica, localizada sobre las coordenadas X: 1276510, Y: 1119064, Z: 2854. B: Afloramiento gneis de Bucaramanga localizado a espaldas del cerro morronegro.**

Esta zona se caracteriza por alta meteorización, comprendida litológicamente por rocas del Gneis de Bucaramanga, y por intrusiones de cuerpos graníticos en diversos sectores; topográficamente el cerro Morro negro se eleva sobre los 3050m con pendientes empinadas a muy empinadas que facilita la desunión de rocas por gravedad, esto junto con la alta pluviosidad y la densa vegetación, facilita y ayuda la meteorización de la zona. El gneis se encuentra con un alto grado de meteorización ya que la roca se disgrega con facilidad, al observarse en sección delgada se muestra como se forman fracturas que cortan la foliación de la roca y se forman costras o manchas de oxidación que evidencian el flujo de agua sobre minerales de composición máfica.

## Zona 2.

Perfil de meteorización, localizado sobre la vía que conduce de Bucaramanga a Cúcuta, sobre el Kilómetro 28, zona de alta pendiente con alta vegetación arbórea.

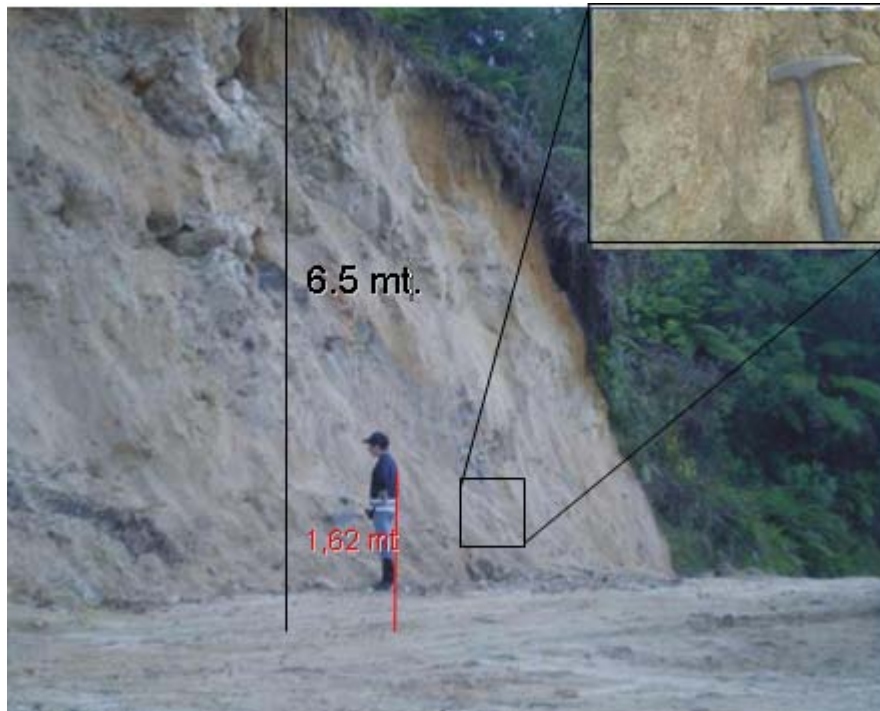


**Figura32 A: Afloramiento Gneis con alta grado de meteorización, se muestra un perfil de meteorización de 9m. de espesor y sobre el tope una capa de materia orgánica. B: Gneis detalle del afloramiento.**

Se encuentra localizada cerca de la Hacienda la Esmeralda, (sobre las coordenadas X: 1276154, Y: 1117968; Z: 2814) el grado de meteorización es alto, la roca que aflora corresponde al Gneis de Bucaramanga, sin embargo los altos factores de humedad y pluviosidad, la densa vegetación y organismos vivos hacen que el proceso de meteorización química actúe de manera más significativa sobre este sector. El nivel superficial corresponde al material orgánico con espesores promedios aproximados de 50cm. Existe una diversidad de colores en el material no consolidado, clasificado dentro de una textura arenosa de tonos que van de blanco a naranja, respectivamente.

### **Zona 3.**

El perfil de meteorización corresponde en este sector a la Cuarzomonzonita ubicada sobre la vía que conduce de la vereda de Cubín hacia la vereda la Mata, localizada en las coordenadas X: 1271781, Y: 1116966, Z: 2114.



**Figura 33: Perfil de meteorización de la Cuarzomonzonita.**

Se observa como los bloques ubicados sobre la parte superior del afloramiento y están una cobertera de materia orgánica con espesor variable, esta zona se destaca por el alto grado de meteorización que ha sufrido la Cuarzomonzonita, debido a factores físicos (liberación de esfuerzos) y químicos (formando nuevos minerales que estén en equilibrio bajo las actuales condiciones, siendo este el caso para la alteración de la Plagioclasa a Sericita) actuantes en el área, se observa hacia el techo que se conservan unos bloques muy diaclasados y fracturados por donde es fácil la filtración y el descargue de agua, provenientes de zonas de alta pendiente; los productos de meteorización son de textura arenosa y de colores pardo-naranja poco consolidados.

#### **Zona 4.**

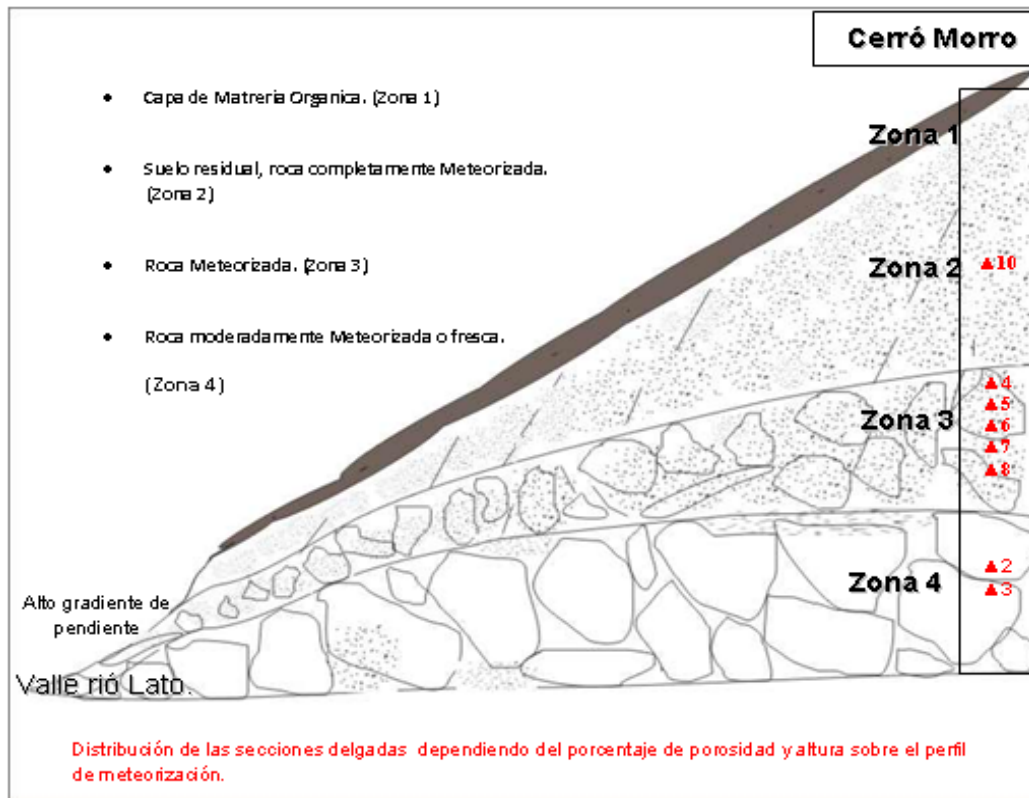
Perfil de meteorización ubicado sobre la vía que conduce del ICP hacia la vereda Cristales, kilómetro 12, localizada en las coordenadas X: 1267515 Y: 1117387, Z:1998.



**Figura 34: Gneis con alto grado de fracturas; la figura ilustra el grado de fracturamiento y diaclasamiento producto de esfuerzos generados sobre la falla mensulí.**

Litológicamente se caracteriza por la presencia de Gneis Bucaramnga en cercanías con la falla de Mensulí y afectada principalmente por la falla de Bucaramanga, se aprecia cómo la roca se encuentra triturada, diaclasada y altamente fracturada, generando gran cantidad de bloques caídos, mostrando pendientes moderadas con un alto grado de meteorización. Hidrogeológicamente en el afloramiento se muestran fracturas secas con un espaciado promedio que varía entre 60 y 200mm. generalmente con aperturas entre 2,5 y 10mm; el perfil tiene un espesor de 4m., se encuentra cubierto por un material de derrubio clasificado dentro de una textura areno-arcillosa de colores que van desde amarillo pardo a un naranja más intenso; este material se encuentra también como relleno de fracturas.

Basados en esquemas anteriormente propuestos para la cuenca del río Lato, se ubican las zonas de meteorización correspondientes al perfil de meteorización, y se localiza los sectores donde se estimaron porcentajes de porosidad con base en la descripción de secciones delgadas sobre el macizo ingneometamórfico altamente disectado y quebrado.



**Figura 35: Esquema propuesto por Caballero Víctor, 1995; donde se generaliza la alteración que sufre las rocas ingneometamórfico en las laderas de la cuenca del río Lato.**

El Perfil de meteorización presenta geformas de lomas alargadas, montañas y colinas con laderas de pendiente escarpada que terminan en valles profundos de fondo en forma de V. Sobre las partes más altas de la cuenca se presentan geformas suaves y redondeadas cóncavo-convexas; sobre estas lomas y cerros el regolito presenta los mayores espesores, evidenciando las altas actividades de meteorización, el espesor del regolito disminuye en los flancos a medida que se desciende hasta el fondo de los drenajes, donde algunas veces se puede hallar roca fresca (sobre la parte baja del perfil, cerca al río Lato). Los materiales así desarrollados en general son muy permeables y facilitan la infiltración rápida del agua de lluvia; sus sistemas de diaclasas y otras discontinuidades permiten el desarrollo de meteorización profunda que es facilitada e incrementada por la presencia de vegetación de raíces profundas y que, además, actúan como estabilizadores de las laderas al sostener o “amarrar” el suelo a la ladera.

Porcentaje de porosidad.				
Secciones delgadas.	X	Y	Z	Porosidad
Delta 1	1266575	1116149	1791	11.44%
Delta 2	1268147	1117567	2095	2.03%
Delta 3	1268489	1117543	2112	0.56%
Delta 4	1269645	1118415	2463	2.16%
Delta 5	1270122	1118461	2359	1.46%
Delta 6	1272150	1118934	2387	2.30%
Delta 7	1272791	1119069	2371	1.23%
Delta 8	1274920	1119523	2588	3.11%
Delta 9	1276103	1119184	2735	0.96%
Delta 10	1276490	1119195	2815	6.82%
Delta 11	1267515	1117387	2015	1.56%
Delta 12	1271222	1119028	2349	6.27%

Tabla 6. Porcentaje de porosidad, secciones delgadas.

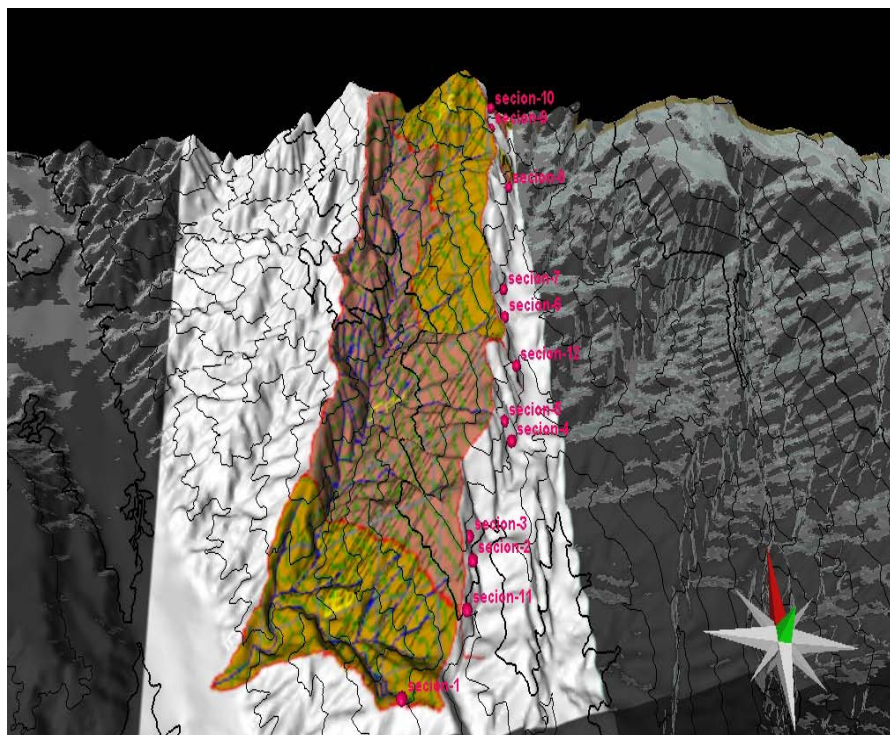
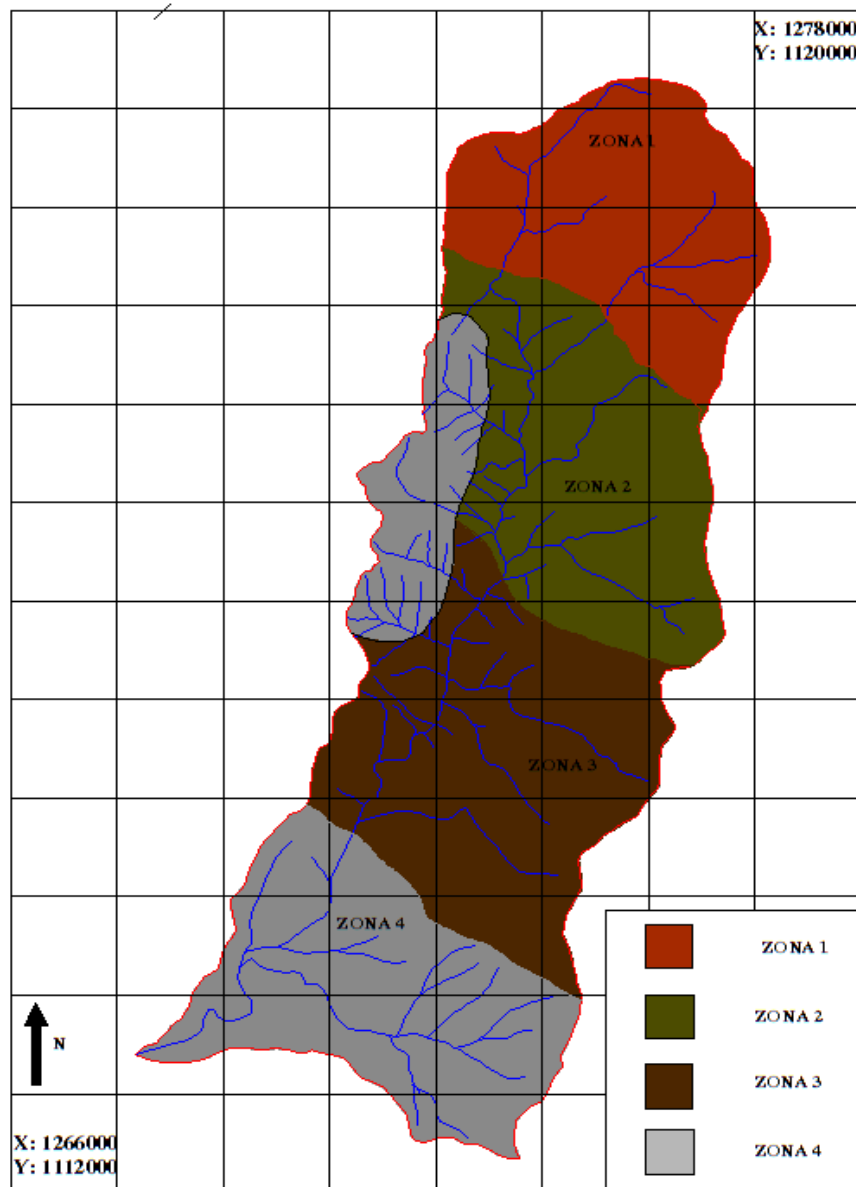


Figura 36: Localización de muestras en el modelo digital de la cuenca.



**Figura 37: Mapa de Potencial Hidrogeológico mostrando diferentes zonas localizadas en la cuenca del río Lato. Zona 1: potencial hidrogeológico bajo, Zona 2 y 3: potencial hidrogeológico medio ; Zona 4: alto potencial hidrogeológico rocas muy framentadas.**

Para la elaboración del mapa de potencial hidrogeológico se tuvo en cuenta el mapa de densidad de lineamientos, el perfil sísmico y condiciones ambientales del sector. Los contactos de las zonas fueron ligados a datos obtenidos en campo, muestras de mano y descripciones de afloramiento que corroboran el hecho de que existan cuatro zonas con potencial hidrogeológico con definidos para cada área.

El mapa de densidad de lineamientos limita áreas dentro de las cuales el grado de deformación de la roca es alto (parte media y baja de la zona) mostrando áreas con un buen potencial hidrogeológico (zona 4) facilitando la infiltración y el flujo del agua ya que las fracturas se encuentran libres de relleno y abiertas dentro de esta zona. El perfil sísmico (zona 3) genera un espesor de capa de meteorización continua sobre la parte superficial del perfil, definiendo así que el potencial hidrogeológico para esta zona es medio. Se estima de esta manera que para la parte alta de la cuenca (zona 1) el espesor de capa meteorizada aumente, disminuyendo de esta manera el potencial hidrogeológico.

#### **6.2.6. Interpretación sísmica**

Mediante caídas de masas, o golpes en un punto del terreno, se originan ondas elásticas de tipo y características indicadas en la (figura 39), registrándose los tiempos de llegada en una serie de puntos elegidos, donde se utilizan los receptores.

En síntesis, se miden los tiempos que tardan en llegar a los receptores el primer frente de onda que corresponde a las ondas de compresión (P) en todo su recorrido, ya que estas son las más rápidas.

El objetivo es determinar los tiempos de llegada de la refracción sobre estrato Somero, la baja velocidad de la capa, donde usualmente la porción de espacios de poros de aire vacíos son llenados por agua en la roca y tierra inconsolidada; la sísmica de meteorización es usualmente diferente a la Geología de meteorización (el resultado de roca en descomposición). El termino LVL indicado por Sheriff, 1991; (baja-velocidad de la capa) es a menudo usado por la sísmica de meteorización; algunas veces la velocidad de meteorización es gradación, algunas veces esta bruscamente estratificada. Las velocidades de meteorización son típicamente de 500 a 800m/s (aunque las velocidades de meteorización principalmente pueden ser de 150 m/s para los primeros cm).

El perfil sísmico tiene una longitud de 57,2m, con una profundidad aproximada de 30,4m determinados a partir de los registros de trazos de rayos (figura38), en donde se observa hasta dónde se registra la señal. Para la interpretación de

las velocidades de ondas sísmicas en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias se sigue el esquema propuesto por Press (1966).

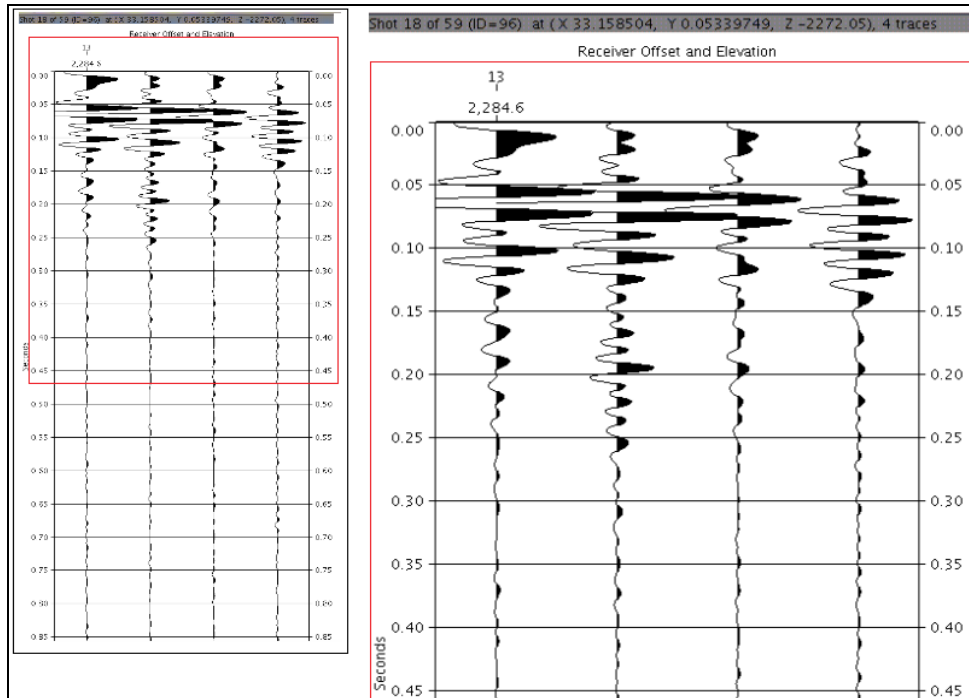


Figura38: Propagación de la señal de ondas de compresión para cuatro receptores en adquisición sísmica.

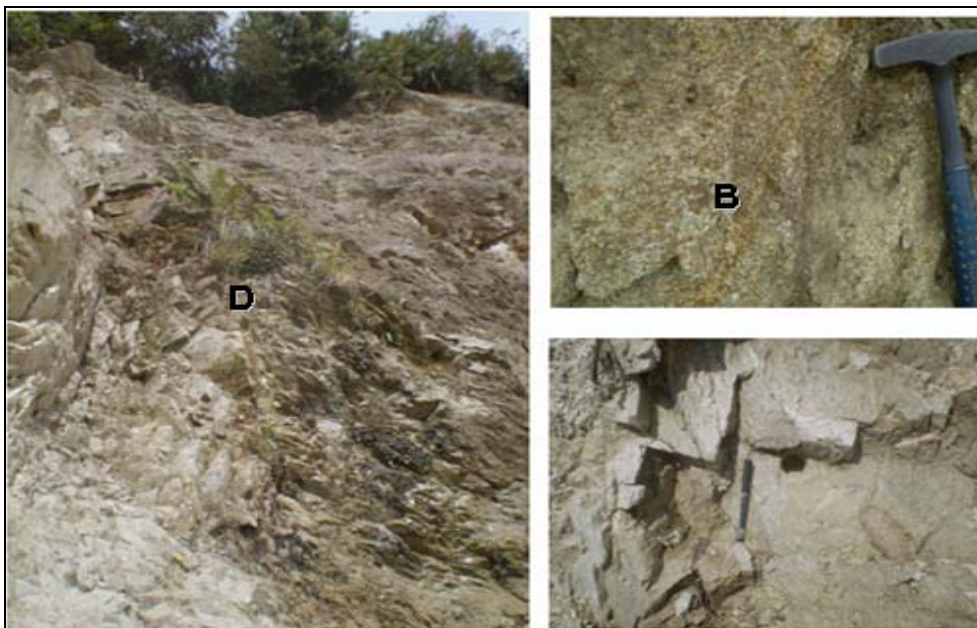
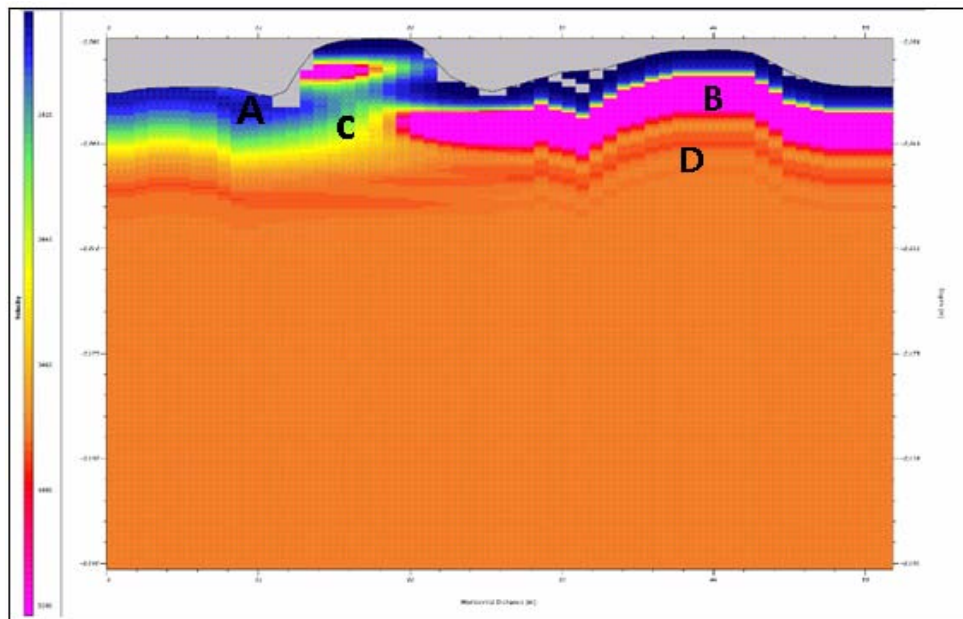
- **Campo De Velocidades**

Material	Velocity (Km/s)	
	Vp	Vs
Anhydrite	4.1-5.0	2.67-2.99
Basalt	5.06-6.4	2.72-3.21
Chalk	2.1-4.2	
Dolomite	3.5-6.9	
Gneiss	3.5-7.5	
Granite	4.8-6.0	
Gypsum	2.0-3.5	
Limestone	1.7-7.0	
Marble	3.75-6.94	2.02-3.86
Salt	4.4-6.5	
Sandstone	1.4-4.3	
Sandstone- Shale	2.1-4.5	
Shale and Slate	2.3-4.7	

Tabla7: Esquema de velocidades de ondas sísmicas para diferentes litologías propuesto por Press (1966).

Donde se determinan las diferentes velocidades de onda para cada unidad litológica, generando un perfil con diferentes colores de interferencia

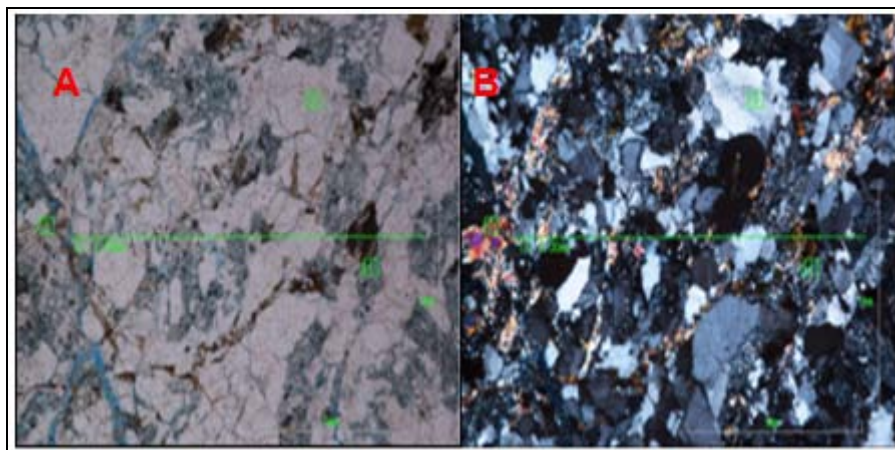
característicos. En la siguiente figura se muestran los diferentes niveles de intensidades registrados para cada unidad litológica:



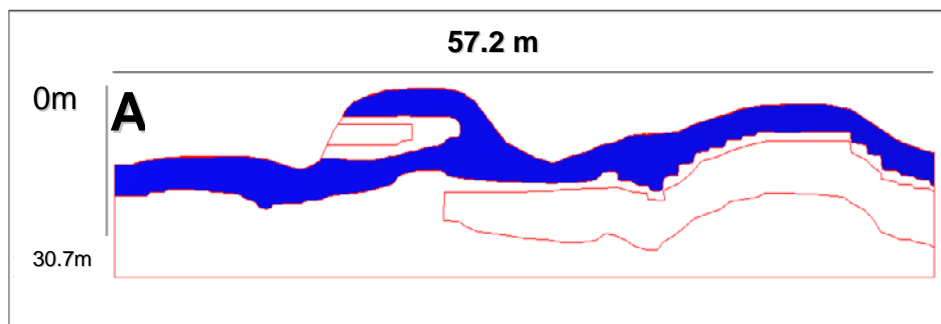
**Figura 39: Perfil sísmico; arriba perfil sísmico dividido en 4 zonas características (A,B,C,D) abajo, correlación con unidades litológicas aflorantes en el perfil sísmico.**

En el perfil sísmico se observa inicialmente una zona “A” , con velocidades de onda corresponden a (400 y 900 km/s) formando una capa de meteorización producida por factores físicos que están continuamente rompiendo la roca, actividad biológica definida por acción de organismos, implicación química generando descomposición.

La figura anterior (fig 39) se ilustra un área con alto fracturamiento, formando fragmentos más pequeños que conservan características del material original en forma de bloques sobre la base del afloramiento, la ruptura de estas roca en trozos más pequeños, aumenta el área superficial para el ataque químico y alteración de minerales por acción de fluidos. La actividad biológica representa un papel fundamental sobre el perfil, sísmico ya que hacia el techo del afloramiento se observa una densa vegetación con un espesor no mayor a 60cm de materia orgánica; Las plantas y raíces que crecen entre las fracturas en busca de nutrientes resquebrajan la roca dejando superficies de roca sana expuesta a la descomposición de la estructura interna de los minerales; esta descomposición se ve reflejada en minerales de alteración como caolín y sericita (figura 39). El espesor promedio de la capa meteorizada es de 10.4 m aproximadamente y está representada de color azul que muestra un intervalo de velocidad de onda característico (figura 40).

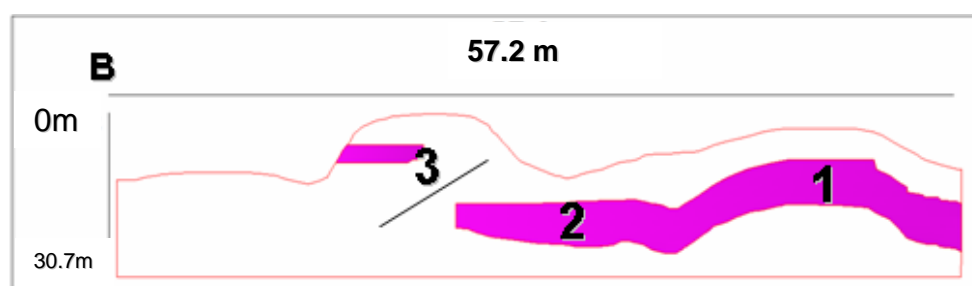


**Figura 40: A; Nicoles paralelos se observa la filtración de agua en los minerales alterados B; Nicoles cruzados Distribución de minerales, se observan cristales de cuarzo y plagioclasas diferentes tamaños y una distribución significativa de minerales de alteración sericita y clorita. Tomada con el objetivo de 5x.**



**Figura 41: Muestra la distribución que tiene la capa meteorizada a lo largo del perfil sísmico.**

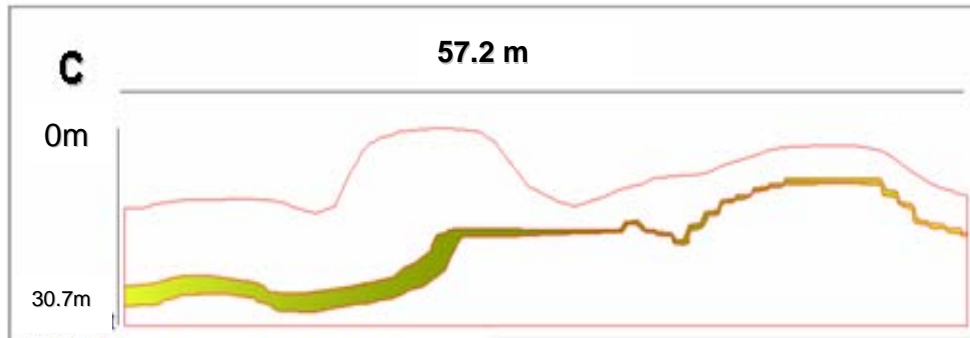
Para la zona “B” se observa un cuerpo con velocidades de onda que oscilan entre los 4.8 y 6 k/s, correspondiente a un material ígneo representado por colores de intensidad alta (violeta) en la figura 5 el cuerpo ígneo corresponde a un lacolito, en la parte 1 se genera un embobamiento producto de la composición ácida de la intrusión ígnea formando un antiforme con flancos simétricos a su eje, para la segunda parte se genera un sinforme asimétrico con flanco horizontal y por último una tercera parte que divide al cuerpo ígneo a causa de una falla inversa creando una zona de debilidad favorable para la penetración de agentes meteóricos; desplazando así los bloques, generando disminución en el espesor de las capas de arenas. La cuarzomonzonita está sufriendo meteorización a medida que se encuentre más próximo a la superficie; este tipo de alteración hace que la roca se comporte con un grado de friabilidad muy alto hacia las partes externas del cuerpo (meteorización esferoidal); esta meteorización queda en evidencia al observar que hacia las partes externas del cuerpo ígneo existe una transición de colores que van desde un amarillo a un verde, estas capas tienen una velocidad de onda mucho menor que la cuarzomonzonita y corresponden a capas de arenas que bordean el cuerpo ígneo. En la imagen se puede apreciar una reducción de presión que se produce cuando la roca situada encima es erosionada dejando expuesto el cuerpo ígneo a la meteorización. Las dimensiones del cuerpo ígneo son aproximadamente de 11,86m en espesor a 37.4m en longitud.



**Figura 42: Características del cuerpo ígneo(Lacolito) definido en tres eventos, sobre el perfil sísmico.**

La zona “C”, representada por velocidades de onda entre 1400 y 4300 m/s, corresponde a niveles de arenas con espesores más significativos hacia la parte izquierda de la imagen, posteriormente, y a causa de la falla, se crea una

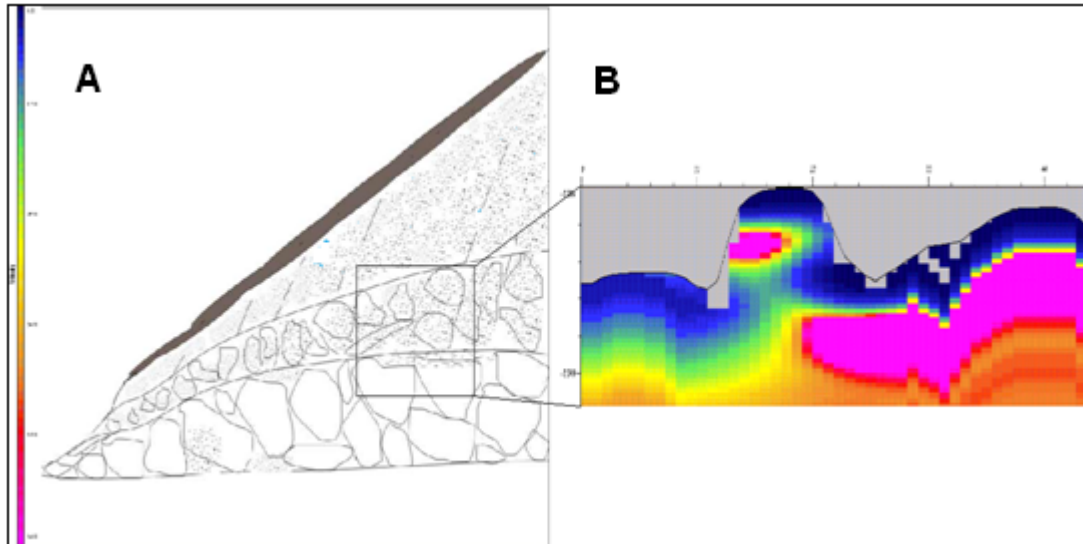
zona de mayor desgaste, donde se forma una disminución en el espesor de las capas de arena bordeando en cuerpo ígneo.



**Figura: 43** Se define la distribución que tiene la zona de transición de las arenas a lo largo del perfil sísmico.

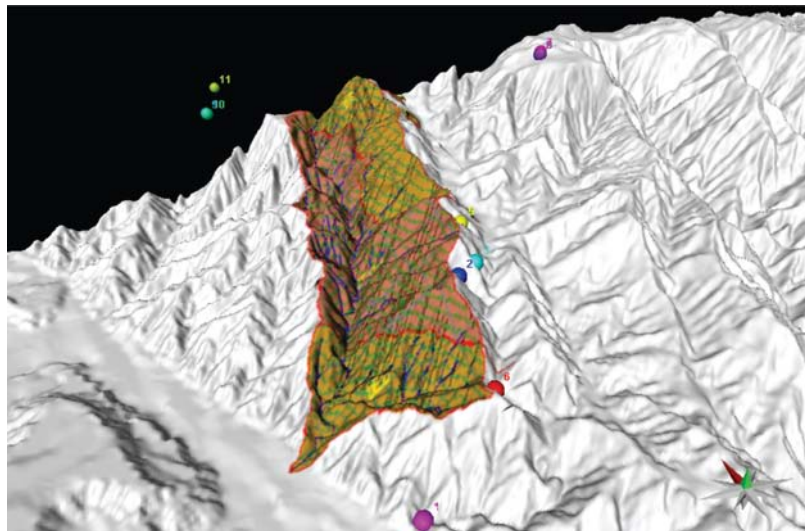
La zona "D" corresponde litológicamente al Gneis (figura 2) que corresponde a velocidades de onda entre los 3.5 k/s y 7.5 k/s y representado por un color naranja ubicado en la parte baja del perfil.

Para la ubicación del perfil de sísmico sobre el perfil de meteorización se cuentan con factores como el grado de meteorización de la roca, fracturamiento y franjas de roca moderadamente fresca (figura 7) de esta manera se puede apreciar que el perfil sísmico se encontraría ubicado en el límite de la zona 3 y la zona 4, esto deduce por el espesor de capa meteorizada, además del área de transición donde se ubican las arenas para la zona 3 y la forma como aun se conserva la roca para la zona 4, en el perfil sísmico se encuentra definida por el cuerpo intrusivo de carácter masivo registrando las velocidades de onda más altas; la sección delgada se ubica entre de un intervalo de porosidad sobre la zona 3 describiendo un área de roca meteorizada a moderadamente fresca.



**Figura: 44 B:**Distribución del perfil sísmico sobre A:el perfil de meteorización, identificando áreas de capa meteorizada, arenas y cuerpos que aún se conservan frescos.

### 6.2.7 Distribución de muestras de agua en la cuenca río Lato y río de Oro.



**Figura 45:** Ubicación de puntos de Agua sobre el Afloramiento cuenca río lato. Se muestra la cartografía de la cuenca del Río Lato y los puntos de agua que fueron destinadas a pruebas fisicoquímicas. Imágenes Petrel.

En general la profundidad y la edad de la roca hacen el agua mas salada; las muestras 1y 2, corresponden a un aforo sobre el rio de Oro, donde se midió el caudal y propiedades fisicoquímicas del agua, litológicamente se relacionan al Gneis de Bucaramanga, se localizan inmediatamente al Este de la falla de

Bucaramanga y en el sector Nororiental de la cuenca, la edad es atribuida a aproximadamente Proterozoico.

El grado de acidez aumenta hacia zonas con litologías preferentes a granitos, las muestras 2,3 y 4, en especial esta última presenta un pH que puede estar influenciado por la mezcla con ácidos orgánicos debidos a los cultivos del sector; la edad del cuerpo granítico corresponde al, triásico-Jurasico, de composición intermedia.

La conductividad eléctrica, aumenta en dirección al flujo. Esta está bien evidenciada sobre las muestras de agua 1 y 6 ya que el cambio de altitud y la distancia de recorrido sobre diferentes cuerpos rocosos hace que las muestras presenten un el grado de conductividad.

Los datos de muestras de agua quedan ilustrados en la siguiente tabla.

Por isotopos estables (Colegial 2003); la infiltración de la recarga de la zona proviene por encima de la cota de 1500m.

En la siguiente tabla se resumen las características fisicoquímicas de las muestras de agua, tomadas sobre el flanco derecho de la divisoria de aguas de en cuenca del rio lato y la cuenca del rio de oro.

No.	Tipo	Subcuenca	Localización	Zona Geológica	m.s.n.m.	E	N	Fecha-Hora	Temp. Aire	Temp. Agua	pH	REDOX	Conduct. Eléctrica	Salinidad TDS		Óxígeno disuelto	%O2	Caudal
					m			2010	°C	°C		mV	µS/cm	mg/l		mg/l		m3/s
1	Río	Oro media	Conquistador	Gneis de B/manga	1101,575	1114971,76	1265879,87	10/02-07:00	20,5	19,4	8,05	62	175	95	0,1	-	-	0,800
2	Nacimiento	Oro media	Km. 15 via ICP La Vega	Gneis intrusidn granítica	2194,591	1117640,33	1268231,93	10/02-09:35	18,7	18,9	7,76	109	68,7	26,3	0	-	-	-
3	Nacimiento	Oro media	Km. 16 via ICP La Vega	Granito	2241,281	1118185,60	1269447,41	10/02-10:25	20,8	21,3	6,82	109	52,8	28,2	0	-	-	-
5	Quebrada	Oro media	Km. 18 via ICP La Vega	Gneis	2333,274	1118534,58	1270743,91	10/02-11:45	21,2	16,1	7,51		59,4	31,6	0	-	-	-
6	Río	Oro media	Puente a Sevilla		1702,116	1117199,83	1266764,59	10/02-15:00	19,3	17	8,02	88	51,5	27,5	0	-	-	0,64
7	Nacimiento		Picacho-La Masita'	Calizas la floresta	3418,016	1123862,78	1275542,96	12/02-09:20	16	9,9	7,08	125	191	100	0,1	5	51,5	-
8	Nacimiento		Picacho-La Masita	Calizas la floresta	3406,302	1123740,84	1275400,46	12/02-10:00	17	8,9	7,46	55	101	54	0,1	7	88,5	-
9	Río	Frio	Puente	Igneo contacto gneis con cuarzoamazonita calcárea	1804,214	1114784,40	1280614,78	12/02-13:30	27	18,5	7,75	61	91,6	49,4	0,1	8,5	91	0,238
10	Río	Frio	Puente	Igneo contacto gneis con cuarzoamazonita calcárea	1806,796	1114793,54	1280567,78	12/02-13:55	27	18	7,55	52	92,3	49	0,1	7,1	88	-
11	Río	Tona	Aguas abajo Bacatoma-Carrizal		1274,368	1116105,66	1285316,46	12/02-16:05		25,2	8,79		205	108	0,1	8,6	111	0,034

Tabla 8. Propiedades químicas del agua

## 7.0 CONCLUSIONES

La cartografía a escala 1:25000, realizada para el área de la cuenca superior del río Lato, permitió identificar y definir dos unidades litológicas que tienen edades del Paleozoico y el Triásico - Jurásico; unidad 1) constituida por el Gneis de Bucaramanga (Peb) Constituido por rocas néisicas de tipo biotítico, anfibolítico, feldespático, afectados por un metamorfismo de alto grado, 2) Cuarzomonzonita de la corcova, que es de grano fino a medio.

La orientación preferencial de las diaclasas en el área definida por el método de Scanline presenta dos orientaciones generales, la primer familia con una dirección N-S, formando planos paralelos a la falla de Bucaramanga, y una segunda familia con direcciones NE; ligados estos datos al mapa de lineamientos, se concluye que las zonas con mayores densidades de lineamientos ubicados sobre la parte baja de la cuenca corresponden de igual manera con los datos de rosetas dados por Scanline.

Las rocas que conforman la cuenca superior del río Lato, correspondientes al Gneis de Bucaramanga y a la Cuarzomonzonita de la corcova, presentan condiciones de alta meteorización y fracturamiento generando una alta permeabilidad, permitiendo la infiltración y el transporte del agua. Las condiciones de humedad en el área y los abundantes nacimientos de agua hacen que, sobre la parte alta de la cuenca, se den zonas de recarga.

El estudio físico de fracturas en la cuenca del río Lato permitió caracterizar fracturas abiertas y libres de relleno sobre zonas con mayor grado de deformación en la parte baja y media de la cuenca facilitando el movimiento y filtración del agua

Básicamente las propiedades físicas del material repercuten en diferentes características con respecto a la porosidad, permeabilidad y al comportamiento

agentes del intemperismo en sentido hidrogeológico. Materiales con velocidades de onda muy altas corresponden a cuerpos duros compuestos de minerales resistentes al ambiente, esto es corroborado ya que en superficie existen determinados rasgos tectónicos y sus proyecciones en el subsuelo son vistos como planos de fractura que correlacionan las dos partes.

## **8.0 RECOMENDACIONES**

- Se considera importante incluir el análisis por catodoluminiscencia para mejor interpretación de fracturas ya que nos permite diferenciar cuales son inducidas y naturales.
- Se realizó trabajo petrográfico caracterizando la porosidad en sección delgada, quedando por realizar complementos de permeabilidad con trabajos de ensayos en campo.
- La geometría para la generación del perfil sísmico es el punto de partida en toda adquisición sísmica de datos, el buen manejo y la mejor forma de adecuarla, permite optimizar tiempo y garantiza mejores resultados puesto que el arreglo geométrico da una mejor distribución espacial de los geófonos en campo mejora la recepción de los datos para el procesamiento y posterior interpretación

## 9.0. BIBLIOGRAFÍA

- ALBINO, León Geología Estructural Bucaramanga. Escuela de Geología UIS, 1998.
- ATIYE T. the effect of weathering on pore geometry and compressive strength of selected rock types from Turkey. 2004
- Beltrán, Ruth y Rey, Alexander, Corporación Estructural asociado al Sistema de Fallas Bucaramanga – Santa Marta y diaclasas, para definir una Red de Drenajes Subterráneo en el Macizo de Santander, sección entre Piedecuesta (Río de Oro) y Bucaramanga (Río Suratá). Universidad industrial de Santander, 2002.
- BELTRAN Ruth y Rey, Alexander comportamiento estructural asociados al sistema de fallas Bucaramanga.1999
- Caballero, Víctor y Cesar Trujillo caracterización hidrogeográfica de la cuenca del río lato con base para la sustentación ambiental ICP. 1999.
- DEWANDEL P. Krishnamurthy D.A generalized 3-D geological and hydrogeological conceptual model of granite aquifers controlled by single or multiphase weathering. 2006.
- GARCIA, Carlos manual de Laboratorio de petrología Ígnea. Bucaramanga Escuela de Geología UIS, 1997.
- GARCIA, Carlos, manual de Laboratorio de Petrología Metamórfica. Bucaramanga Escuela de Geología UIS, 1997.
- Gonzáles De Vallejo, L. Ingeniería Geológica. Pearson Madrid. 2002.
- MUNAR, Fernando. Características Físicas y Químicas de los suelos en la cuenca del río Lato. 1995.
- LESLIE Holdridge Determination of World Plant Formations from Simple Climatic Data. 1967

- OTONIEL Vergara Prospección Geológica Para Aguas Subterráneas en Rocas cristalinas Fracturadas Del Macizo de Santander Sector Oriental de Bucaramanga, Tesis. UIS.2004
- PINTO. J. Téllez. G, Interpretación de los Rasgos Geotectónicos Asociados Al Sistema de Falla Bucaramanga Santa Marta en el departamento de Santander mediante el procesamiento de imágenes satelital y de radar. Bucaramanga escuela de Geología UIS 1999.
- RATNAKAR Dhakate. Geomorphological and geophysical approach for locating favorable groundwater zones in granitic terrain, Andhra Pradesh, India. 2007.
- SHAKEEL A. Iran. Groundwater Dynamics in Hard Rock Aquifers. 2007
- SCHILDKNECHT, f, Exploración y protección de agua Subterránea en acuíferos cristalinos fracturados en el Uruguay. [http://www.bgr.de/b1hydro/fachbeitraege/d199902/s\\_uruguay,htm](http://www.bgr.de/b1hydro/fachbeitraege/d199902/s_uruguay,htm).
- TRICART, Jean La Tierra, Planeta Viviente. Madrid. Akal Editor.171p. 1981
- TRICART, Jean. Le modelé des régions chaudes: forets et savanes. SEDES. Paris (Ve) France. 1967.
- VELEZ Otalvora, Hidráulica de aguas subterráneas. Medellín Universidad de Colombia.
- WARD D, et al, Geología de los cuadrángulos H12 Bucaramanga. Ingeominas Boletín Geológico Vol. xx N. 13,19973.

## ANEXOS

### ANEXO A

#### INTERPRETACION Y ANALISIS FOTOGEOLOGICOS

En esta etapa del proyecto se tuvieron los siguientes objetivos: identificar fotogeológicamente unidades litológicas, establecer el patrón estructural del área, identificar vías de acceso, a partir de los cuales se realizó un mapa de la red de drenaje Figura 28, un mapa donde se diferencia la litología como se observa en la Figura 29.

Este estudio se realizó con las fotografías número 5635, 5636, 5637, 5638 del vuelo M56 pertenecientes a un sector de la plancha del IGAG 120 -2B y 120 -2D que corresponden a una parte del área de Piedecuesta Santander.

En este análisis se enfocó principalmente hacia los lineamientos fallas y fracturas en general, se trazaron según los criterios y parámetros convencionales de la foto geología para el análisis estructural como son: control estructural de la red hidrográfica, escarpes de falla, cambios de pendiente, colinas alineadas, facetas triangulares, sillares de falla, trincheras de falla, valles lineales, lomas de presión. A partir de estos datos se generó un mapa de lineamientos y teniendo en cuenta el modelo de elevación del terreno con los programas Autocad, Surfer como se observa en las siguientes figuras:

#### **Procedimiento:**

Partiendo de la información suministrada realizamos la interpretación de las respectivas fotografías aéreas con la ayuda de los estereoscopios se analizan las diferentes variables cuyo objetivo es dar una mejor interpretación litológica y estructural del sector.

#### **Localización:**

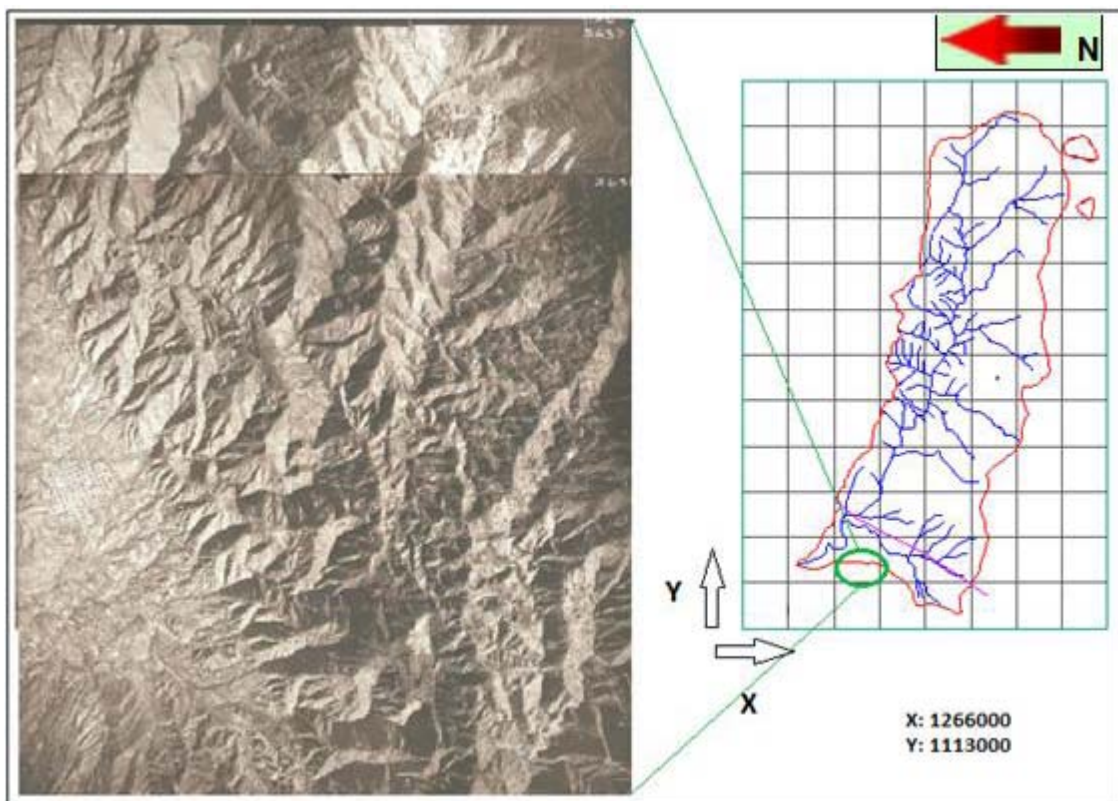
Las fotografías que fueron suministradas para el análisis geológico corresponden al municipio de Piedecuesta en el departamento Santander (ver foto 9) hacia el sur del área metropolitana de Bucaramanga.

La línea de vuelo correspondiente a estas, se demarcan con los números; 5637 y 5638.



**Fotografías aéreas, números 5637, 5638, sector de Piedecuesta, Santander.**

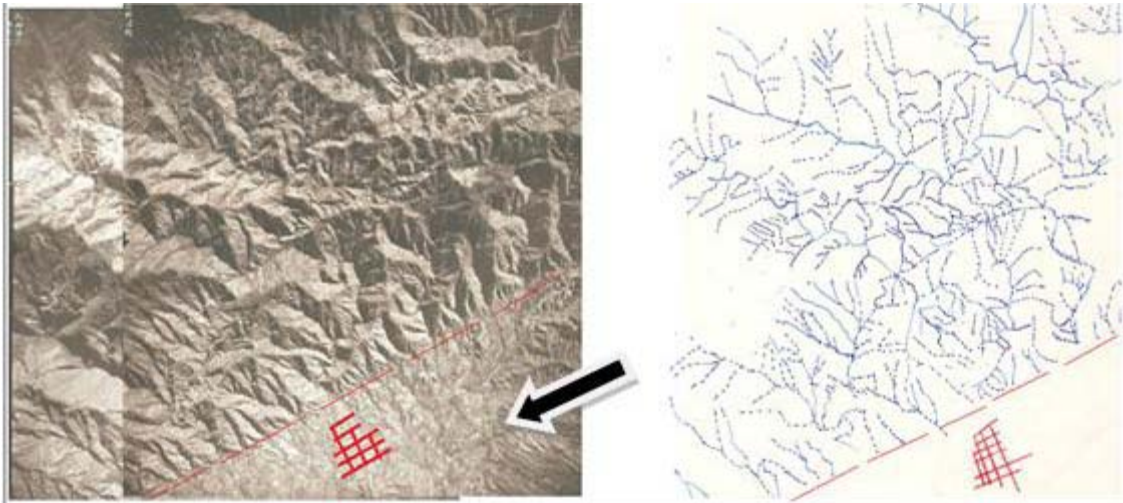
Esquema que muestra la ubicación de las fotografías aéreas sobre la parte baja de la cuenca del río Lato.



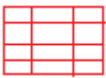

**Ubicación de las fotografías aéreas, fotografías 5637, 5638.**

En la fotografías aéreas la red de drenaje es de tipo dendrítico (ver figura 11), bastante densa, presenta formas de redes de tipo angular, el cual nos dio un indicio que son rocas que están susceptibles a la erosión debido posiblemente a la filtración y escorrentía de agua.

Se observa generalmente un patrón de drenaje dendrítico, se caracterizan porque los tributarios se unen a la corriente principal con ángulos agudos.



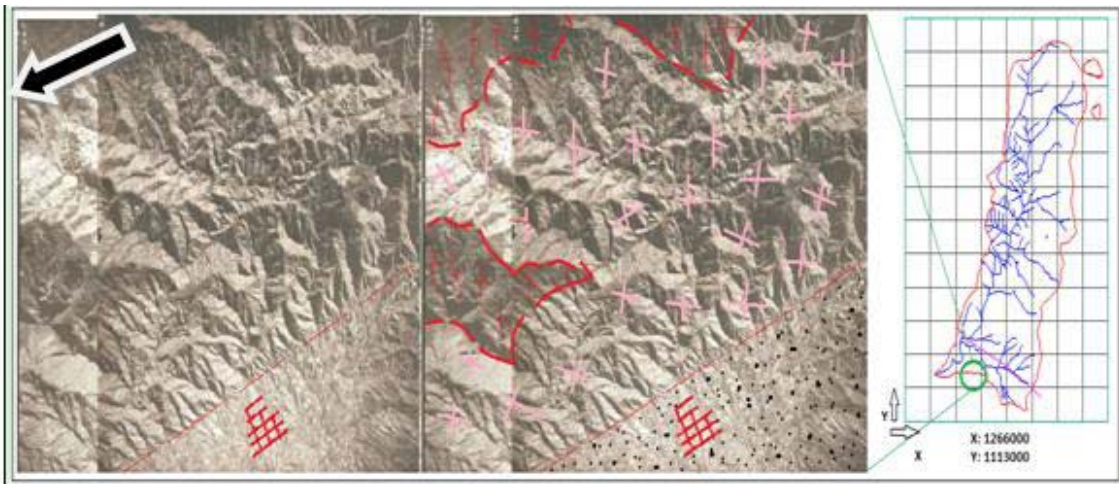
**Sistema de red de drenajes, a partir de fotografías Aéreas 5637y 5738**


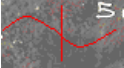


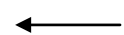
- ← Dirección, Norte de la fotografía.
-  Municipio de Piedecuesta.
-  Drenajes.

La siguiente red hídrica muestra, que el patrón de drenaje presenta una dirección con un ángulo preferente (líneas de color azul), con respecto del plano de falla, lo que inferimos como una consecuencia a la falla y la que es directamente responsable de los lineamientos.

**Análisis Litológico.**

El área de estudio correspondiente a las fotografías se encuentra enmarcada dentro de la configuración geológica del macizo de Santander y se encuentra muy relacionada e influenciada por la evolución de la gran falla de Bucaramanga, que tiene un papel importante en la formación de unidades tectonoestratigráficas tales como la que tenemos y que son motivo de investigación.



Convenciones	
	Cuarzomonzonita de la corcova.
	Neis de Bucaramanga.
	Deposito Cuaternario.
	Limites de contactos inferidos.
	Dirección,, Norte de la Fotografía..

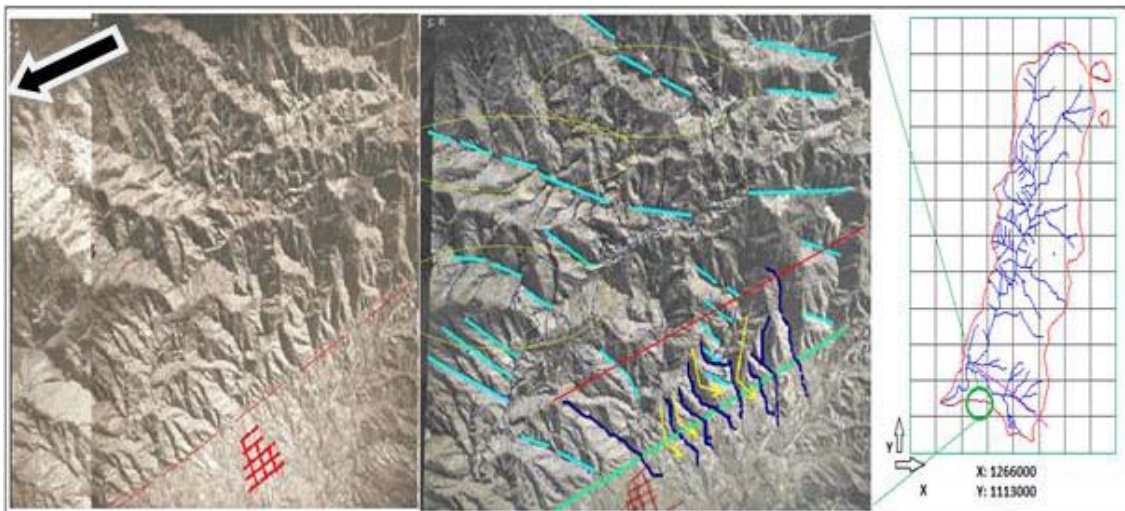
**Mapa Geológico basado en fotografías Aéreas 5637 y 5638.**

## Litología.

Encontramos que las unidades litológicas existentes en las fotografías corresponden a rocas ígneas de la Corcova (Cuarzomonzonita de la Corcova), con edad triásico-jurásico, que configura lo que se denomina el Plutón de la Corcova y rocas del Gneis de Bucaramanga pre devónicas, que se localizan inmediatamente al este de la falla de Bucaramanga sobre el macizo.

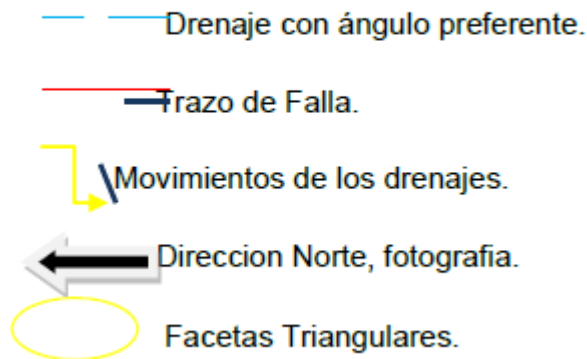
Encontramos dos clases litológicas con respecto a sus pendientes y colores; Debido a que las rocas metamórficas presentan una tonalidad de color gris más oscuro y una pendiente poco más moderada con respecto a las rocas ígneas.

Las rocas ígneas presentan un color más claro y pendientes mas abruptas, comparadas con las rocas metamórficas, identificando así la zona de contacto entre estos dos tipos litológicos.. Otra característica importante observada en la fotografía, es el cambio del curso o la dirección de las corrientes principales, ya que presentan un giro hacia la izquierda tal como se trata de mostrar con las flechas amarillas en la fotografía y por lo tanto concluimos que la falla es sinistral o de rumbo izquierda.



**Mapa Estructural, basado en fotografías Aéreas 5637 y 5638.**

Convenciones:



El rasgo característico de la fotografía es la falla Bucaramanga Santa Marta, en donde se observa un cambio muy fuerte en las pendientes, entre los dos tipos de roca; en la parte baja lado derecho, vemos una superficie plana compuesta de la planicie aluvial cuaternaria, perteneciente al abanico depositado en el sector metropolitano de Bucaramanga, Florida y Piedecuesta y en la parte adyacente al abanico, se observa una roca con pendientes muy fuertes y con las características de una roca granítica.


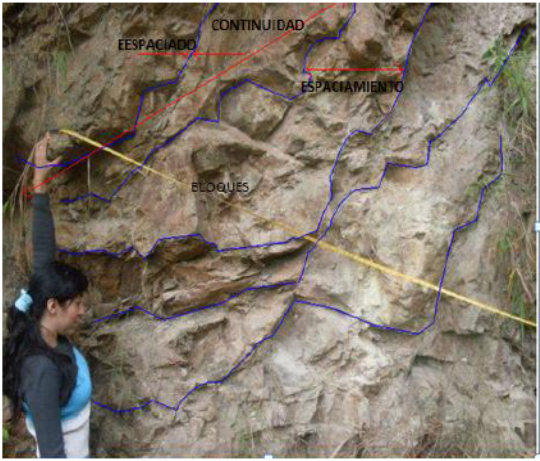
Este granito presenta contacto neto con la unidad sedimentaria y además se observa un lineamiento perfecto entre las dos litologías, rasgo característico de una falla.

Otra evidencia de falla son las facetas triangulares dibujadas en la fotografía, estas se encuentran en el borde entre el contacto de las dos litologías mencionadas.

## ANEXO B.

LITOLOGIA	Naturaleza: Metamorfica		Gneis de Bucaramanga			Edad: PreCambriano	
Formaciones superficiales	Estructura: Masiva		Morfología: Pendientes fuertes			Espesor 4mt	
Estructuras	Pliegues:		Fallas:			Otros:	
FRACTURAS	Bloques	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy Brechificado >30
GRADO DE METEORIZACION	I Sana		II Algo meteorizada	III Mediana mente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada	VI Suelo residual
Hidrogeología	Sin presencia de agua		Seco con señales de agua	Humedo	Goteos	Flujo	Caudal estimado

ANEXO B: Descripción de Scanline en afloramiento.

LITOLOGIA	Naturaleza: Metamorfico		Gneis De Bucaramanga			Edad : Pre Cambriano	
Formaciones superficiales	Decolorado		Morfología: Pendientes fuertes			Espesor: 3mt	
Estructuras	Pliegues:		Fallas:			Otros:	
FRACTURAS	Bloques	Muy Grandes <1	Grandes de 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy Brechificado >30
GRADO DE METEORIZACION	I Sana		II Algo meteorizada	III Mediana mente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada	VI Suelo residual
Hidrogeología	Sin presencia de agua		Seco con señales de agua	Humedo	Goteos	Flujo	Caudal estimado

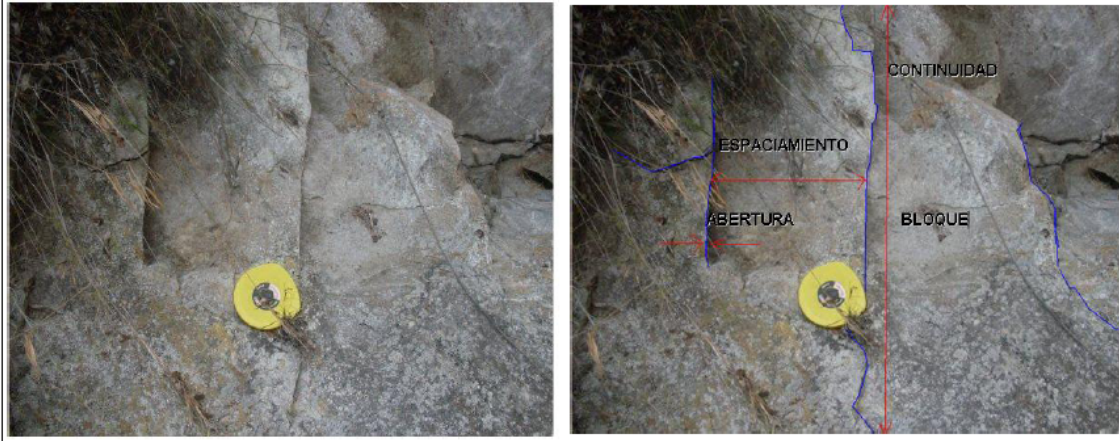
  

ESTACIÓN N. 2	ESPACIADO en mm						CONTINUIDAD		ABERTURA en mm						RUGOSIDAD				RELLENOS																							
	Extrem juntas		Muy juntas		Moderam Juntas		Separadas		Rumbo	Buzamiento	Cerrada		Parcialm abiertas		Abiertas		Moderad abiertas		Ancha		Muy ancha		Extrem ancha		Cavernosa		Escalonada		Ondulada		Plana		Composición		Espesor		Meteorización		Mois			
J1 20 85																																										
J1 36 65																																										
J1 36 65																																										
J1 36 65																																										
J1 25 85																																										
J1 25 85																																										
J1 25 85																																										
J1 25 85																																										
J1 25 85																																										
J1 60 60																																										

Figura 1 Tabla propiedades físicas de fracturas en afloramiento



LITOLOGIA	Naturaleza: Metamorfico		Formación: Gneis De Bucaramanga			Edad: Pre Cambriano	
Formaciones superficiales	Decolorada		Morfología: Pendientes Moderadas			Espesor: 2mt	
Estructuras	Plegues:		Fallas:			Otros:	
FRACTURAS	Bloques	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy Brechificado >30
GRADO DE METEORIZACION	I Sana		II Algo meteorizada	III Mediana mente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada	VI Suelo residual
Hidrogeología	Sin presencia de agua		Seco con señales de agua	Humedo	Goteos	Flujo	Caudal estimado



ESTACIÓN N.4	ESPACIADO en mm	CONTINUIDAD		ABERTURA en mm	RUGOSIDAD	RELLENOS		
		Rumbo	Buzamiento			Meteorización	aciones	
Tipo de plano	Buzamiento							Composicion
	Espesor							
Dirección de Buzamiento	<20	<1m	<1m	<0,1m	I Rugosa	1 Sana	Seco	
Buzamiento	Extrem juntas	Muy baja	Muy baja	Cerrada	II Lisa	2 Algo meteorizado		
	Muy juntas	Baja	Baja	Parcialm abiertas	III Slickensided	3 Media meteorizadas		
	Juntas	Moderada	Moderada	Abiertas	IV rugosa	4 Muy meteorizadas		
	Moderam Juntas	Alta	Alta	Moderad abiertas	V Lisa	5 Compl. Meteorizadas		
	Separadas	Muy alta	Muy alta	Ancha	VI Slickensided	6 Suelo residual		
	Muy separadas			Muy ancha	VII Rugosa			
	Extrem separadas			Extrem ancha	VIII Lisa			
	>6.000			>1000	IX Slickensided			
J1 5 60								
J1 5 60								
J1 5 60								
J1 5 60								
J1 5 60								
J1 55 50								
J1 55 50								
J1 55 50								
J4 300 65								
J4 300 65								
J4 300 65								
J4 300 65								
J4 300 65								
J4 300 65								

FIGURA 3 . Tabla propiedades físicas de fracturas en afloramiento

LITOLOGIA	Naturaleza: Metamorfica		Formación Gneis De Bucaramanga			Edad: Pre Cambriano	
Formaciones superficiales	Decolorado		Morfología: Pendientes Moderadas			Espesor: 3mt	
Estructuras	Plegues:		Fallas:			Otros:	
FRACTURAS	Bloques	Muy Grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños >30	Muy Brechificado >30
GRADO DE METEORIZACION	I Sana		II Algo meteorizada	III Mediana mente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada	VI Suelo residual
Hidrogeología	Sin presencia de agua		Seco con señales de agua	Humedo	Gates	Flujo	Caudal estimado



ESTACION N.5	ESPACIADO en mm						CONTINUIDAD		ABERTURA en mm						RUGOSIDAD			RELLENOS							
							Rumbo	Buzamiento																	
Tipo de plano																									
Dirección de Buzamiento																									
Buzamiento																									
<20																									
20-60																									
60-200																									
200-600																									
600-2000																									
2.000-6000																									
>6.000																									
Muy juntas																									
Muy juntas																									
Juntas																									
Moderam. Juntas																									
Separadas																									
Muy separadas																									
Extrem separadas																									
<1m																									
1-3m																									
3-10m																									
10-20m																									
>20m																									
Muy cerradas																									
Cerrada																									
0.1-.25																									
0.25-0.5																									
Abiertas																									
0.5-2.5																									
Moderad abiertas																									
2.5-10																									
Ancha																									
>10																									
Muy anca																									
10-100																									
Extrem ancha																									
100-1000																									
>1000																									
Cavenosa																									
I Rugosa																									
II Lisa																									
III Slickensided																									
IV rugosa																									
V Lisa																									
VI Slickensided																									
VII Rugosa																									
VIII Lisa																									
IX Slickensided																									
Composicion																									
Espesor																									
1 Sana																									
2 Algo meteorizado																									
3 Media meteorizadas																									
4 Muy meteorizadas																									
5 Compl. Meteorizadas																									
6 Suelo residual																									
Seco																									
Humedo																									
J3 240 70																									
J3 240 70																									
J3 240 70																									
J3 240 70																									
J3 260 80																									
J3 215 70																									
J3 215 70																									
J3 215 70																									

FIGURA 4 . Tabla propiedades físicas de fracturas en afloramiento





ESTACION No.14	ESPACIADO en mm		CONTINUIDAD		ABERTURA en mm	RUGOSIDAD	RELLENOS	
	Rumbo	Buzamiento	Rumbo	Buzamiento			Meteorización	aciones
Tipo de plano	Buzamiento							
Dirección de Buzamiento								
	<20	Extrem juntas						
	20-60	Muy juntas						
	60-200	Juntas						
	200-600	Moderam. Juntas						
	600-200	Separadas						
	2.000-6000	Muy separadas						
	>6.000	Extrem separadas						
		Muy beja	R/B					
		Baja	R/B					
		Moderada	R/B					
		Alta	R/B					
		Muy alta	R/B					
		Muy cerradas						
		Cerrada						
		Parcialm abiertas						
		Abiertas						
		Moderad abiertas						
		Ancha						
		Muy ancha						
		Extrem ancha						
		Cavenosa						
	I Rugosa							
	II Lisa	Escalonada						
	III Slickensided							
	IV rugosa	Ondulada						
	V Lisa							
	VI Slickensided							
	VII Rugosa	Plana						
	VIII Lisa							
	IX Slickensided							
	Composicion							
	Espesor							
	1 Sana							
	2 Algo meteorizado							
	3 Media meteorizadas							
	4 Muy meteorizadas							
	5 Compl. Meteorizadas							
	6 Suelo residual							
	Seco							
	Humedo							

FIGURA 7. Tabla propiedades físicas de fracturas en afloramiento

## DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA DE SECCIONES DELGADAS.

### Delta 2.

Minerales Principales	%	Minerales Menores	%	Minerales Accesorios	%	Minerales secundarios
Cuarzo	40	Feldespatos	5	Opacos	1	Sericita
Plagioclasa	30	Moscovita	4			Clorita
Biotita	20					

### Coordenadas:

X: 1268147; Y: 1117567; Z: 2095

Origen: Metamórfico

Clasificación: Gneis

## **DESCRIPCION COMPOSICIONAL**

### **CUARZO**

En nicols paralelos se presentan como individuos incoloros de bajo relieve, birrefringencia baja, sus colores de interferencia varían de blanco a gris de primer orden. Homeoblástico en la mayoría de la sección y forma xenoblástica. Los cristales de cuarzo se encuentran muy fracturados, generando superficies por donde pueda transmitir algún fluido estando a su vez interconectados con minerales de alteración (ver foto 1).

Estos presentan extinción ondulosa, el contacto es neto con algunos cristales de Plagioclasa y Biotita.

### **PLAGIOCLASA.**

En nicols paralelos se presentan como cristales incoloros de bajo relieve, colores de interferencia del primer orden, heteroblástica y forma xenoblástica, heteroblástica y formas subideoblásticos, se observan algunos cristales muy fracturados mostrando en algunos sectores fracturamiento que es perpendicular al maclado característico, muestra maclas polisintéticas mostrando bordes rectos e irregulares con los cristales de cuarzo y algunos feldespatos. Se encuentra moderadamente alterada a sericita (ver foto1), a partir de esta alteración permite la penetración y el flujo de agua (se observa parches tinturados de azul).

### **BIOTITA.**

En nicols paralelos se presentan como agregados de color marrón oscuros a claros, pleocroicos en nicols paralelos, individuos heteroblásticos, xenoblásticos. Esta distribuida homogéneamente en la muestra, algunos cristales presentan su exfoliación basal, muestra una biotita

Alterándose a clorita, de manera que se observan escamas residuales de biotita marrón rodeadas de clorita verde pálido y normalmente pleocroica, esta alteración da evidencia de la existencia de un fluido, este tipo de alteración va desde las partes más externas del cristal hasta el centro del mismo.

### **FELDESPATOS**

En nicols paralelos se presentan como cristales incoloros de relieve bajo, colores de interferencia del primer orden, homeoblástico, subideoblásticos, su presencia es escasa en la muestra, se encuentra en contacto neto con cuarzo y

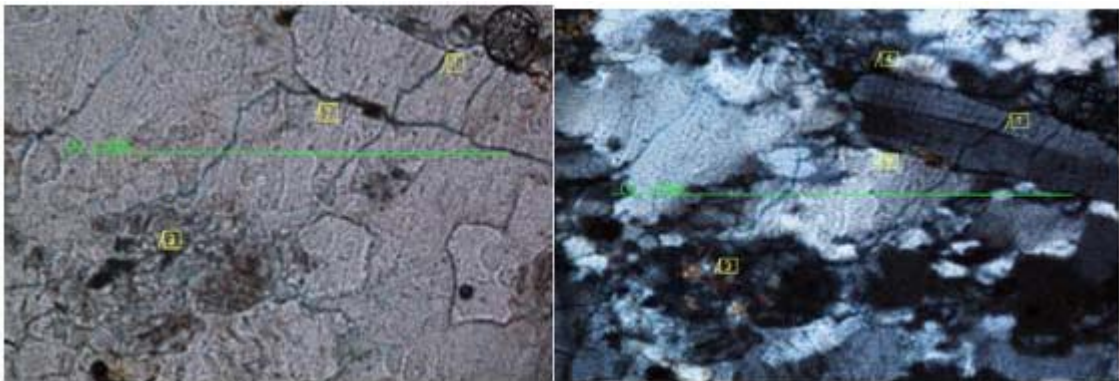
Plagioclasa; los feldespatos se encuentran alternando moderadamente a caolinitización.

### **MOSCOVITA**

En nicols paralelos representan como agregados incoloros hojosos de habito laminar, de relieve bajo, sus colores de interferencia son altos pertenecientes al segundo orden, presentan terminaciones irregulares ligadas al contacto con el cuarzo, la distribución en la muestra escasa.

### **MINERALES OPACOS**

En nicols paralelos y nicols cruzados son oscuros son escasos en la muestra no presenta una homogeneidad sus formas xenoblásticos, presentan contacto neto cóncavo con algunos cristales de cuarzo.



(A)

(B)

**Foto 1; Minerales presentes en la muestra. 1) Cristal de Plagioclasa, 2) Cuarzo, en contacto neto con cristales de biotita y plagioclasas, 3) Sericita, como producto de alteración de las plagioclasas, se observa como parches 4) Biotita Cloritizada. En la fotografía adjunta (A), se observan fracturas sin relleno, con capacidad de transportar un fluido, se encuentran presentes especialmente sobre la superficie de contacto entre los diferentes cristales. Se aprecia la muestra en nicols paralelos A) y cruzados B), tomada con el objetivo de 10X.**

**Foto 2; Fracturamiento sobre contactos mineralógicos. Se aprecia una aproximación donde se identifican como las fracturas se desplazan sobre la superficie de contacto entre los minerales anteriormente descritos, además se observa como los silicatos ferrómagnesianos (Biotita) están siendo alterados a clorita, posiblemente como resultado de la interacción con algún fluido.**

**La sección posee una porosidad Secundaria de 2,07%. Tomada con el objetivo de 5X y 40X respectivamente.**

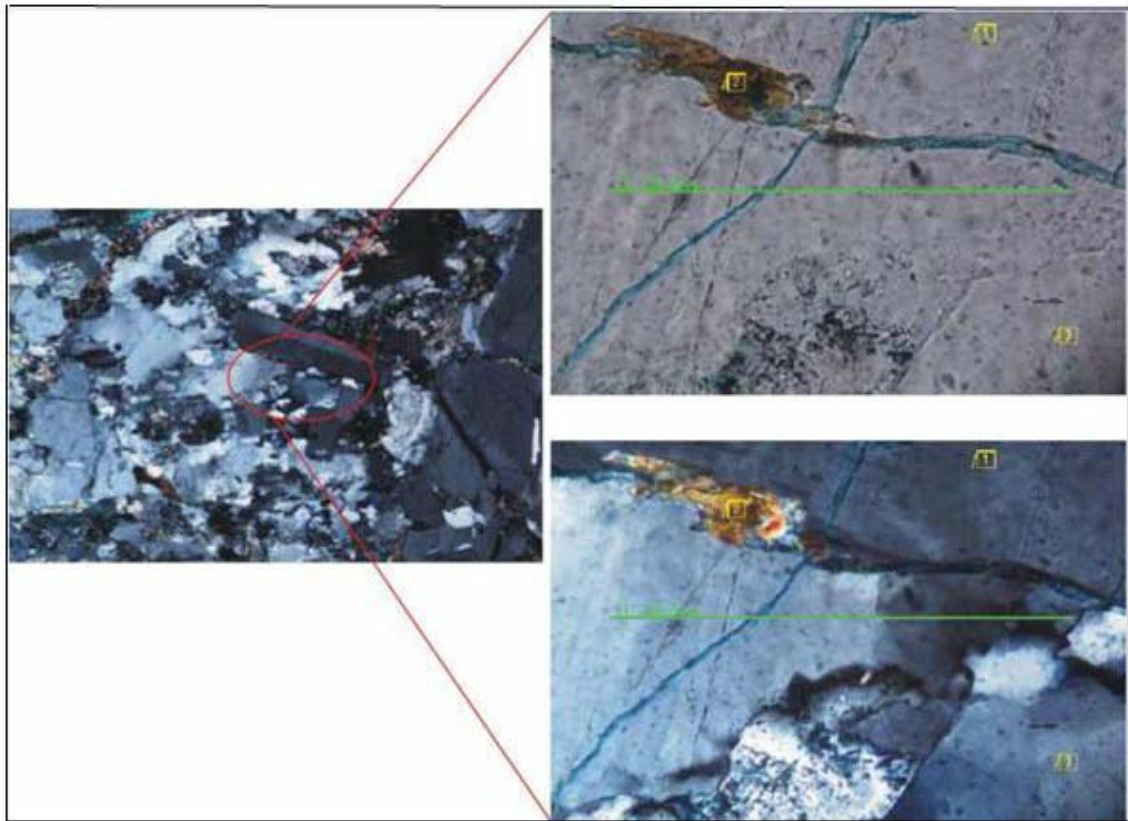


Foto 2.

### DELTA 3

Minerales Principales	%	Minerales Menores	%	Minerales Accesorios	%	Minerales secundarios
Feldespatos	35	Biotita	5	Moscovita	1	Caolín
Cuarzo	30			Turmalina	1	Sericita
Plagioclasa	27			Epidota	1	Clorita

#### Coordenadas:

X: 1268489

Y: 1117543

Z: 2112

ORIGEN: Metamórfico

Clasificación: GNEIS

## **DESCRIPCION COMPOSICIONAL:**

### **FELDESPATOS:**

#### **Microclina:**

En nicoles paralelo se presenta como cristales incoloros de bajo relieve con colores de interferencia bajos de primer orden, heteroblásticos con cristales de grandes tamaños, subideoblásticos-xenoblásticos, sus bandas se encuentran deformadas, algunos minerales se encuentran fracturados lo que permite la penetración de agua y conexión a través de los cristales, presenta alteraciones significativas a Caolín (ver foto 3) en especial sobre los bordes del cristal.

#### **CUARZO**

En nicoles paralelos se presentan como cristales incoloros de birrefringencia baja, Homeoblástico forma xenoblástica con algunos de estos cristales se encuentran muy fracturados, muestran como el agua puede fluir por las fracturas, presenta extinción ondulosa el cual nos muestra que fue sometido a una deformación, el contacto es neto con algunos cristales de Plagioclasa e irregular con aquellos minerales en estado de alteración al igual con los feldespatos.

#### **PLAGIOCLASA**

En nicoles paralelos se presentan como cristales incoloros de bajo relieve, heteroblásticos, forma subideoblástica xenoblástica su contacto es neto con biotita, presenta una alteración moderada a Sericítica (ver foto 3), se presenta una alta densidad de fracturas que permite la filtración de agua, en ocasiones se formaron paralelas al maclado característico; se encuentran modernamente alteradas a sericita.

#### **BIOTITA**

En nicoles paralelos se presenta como agregados con su pleocroísmo característico su contacto es irregular con los cristales de Plagioclasa y en contacto neto con los cristales de cuarzo, clorita como producto de alteración de la biotita (ver foto 4), presenta cantidad considerable de manchas de oxidación por la presencia de minerales de hierro, estos óxidos se encuentran rellenado algunas fracturas donde se observa que también el agua penetra.

#### **MOSCOVITA**

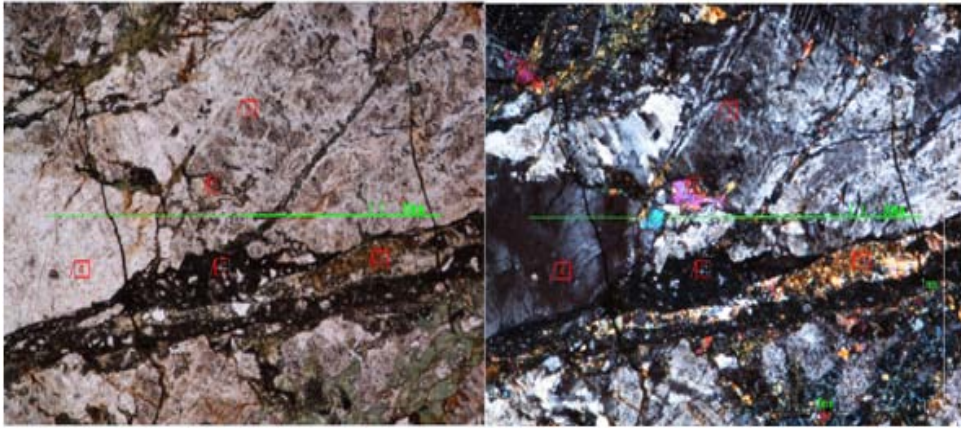
En nicoles paralelos se presentan como agregados incoloros hojosos de hábito laminar sus colores de interferencia son altos excediendo a los del segundo orden, su relieve es bajo con terminaciones irregulares ligadas al contacto con los feldespatos, cuarzo en contacto neto, la distribución en la muestra poca.

#### **OPACOS**

Son oscuros en luz reflejada escasa en la muestra no presenta una homogeneidad sus formas xenoblásticos, presentan contacto neto cóncavo con algunos cristales de cuarzo.

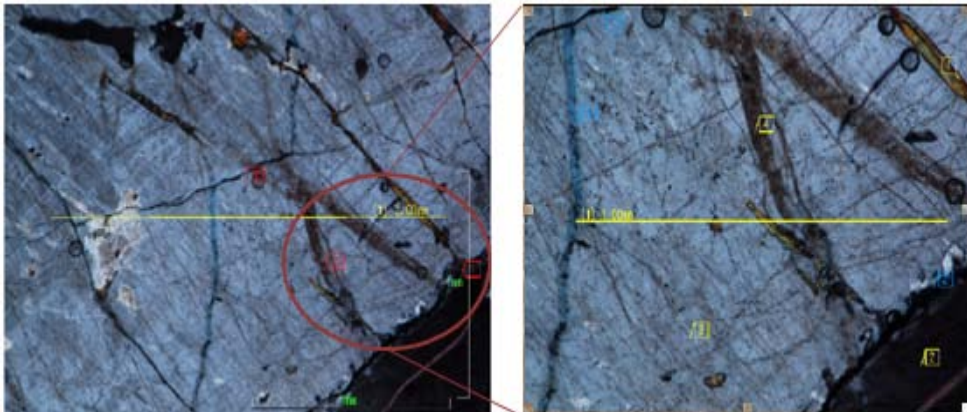
## EPIDOTA.

En nicoles paralelos se presentan como individuos incoloros, de alto relieve, homeoblástico, subideoblásticos, en nicoles paralelos se observa un leve pleocroísmo, y un alto fracturamiento (pero no es significativo para el transporte de un fluido), presenta colores de birrefringencia altos entre segundo y tercer orden, se encuentra en contacto neto con cristales e cuarzo y Plagioclasa.



**Foto 3**

Venas con material de alteración; se observan venas con aproximadamente 8 mm de longitud, rellenas por sericita y clorita en mayor proporción, 1) Caolín, 2) Sericita, 3) Moscovita, 4) Cuarzo, 5) Feldespatos. Tomada con el objetivo de 5X.



**Foto 4**

Relleno de las fracturas con Biotita, además se observa que la Biotita que ha sufrido cloritización el feldespato (Ortoclasa) se encuentra en contacto neto con el cuarzo (parte inferior derecha). La muestra anteriormente descrita presenta una *porosidad secundaria* de 0,56%. Tomada con el objetivo de 5X (izquierda) y 10X (derecha).

## DELTA 4

Minerales Principales	%	Minerales Menores	%	Minerales Accesorios	%	Minerales secundarios
Cuarzo	70	Feldespatos	5	Moscovita	1	Caolín
Biotita	13			Turmalina	1	Sericita
Plagioclasa	10					Clorita

### Coordenadas:

X: 1269645

Y: 1118415

Z: 2463

**ORIGEN:** Metamórfico

### CUARZO

Individuos incoloros presentan birrefringencia de blanco a gris de primer orden extinción ondulosa, heteroblásticos (el tamaño de grano varía con relación al delta 2 y 3, siendo estos últimos de mayor tamaño), formas xenoblásticas su contacto es irregular, cóncavo con algunos cristales de Plagioclasa y biotita.

Estos cristales se encuentran muy fracturados (ver foto 5) lo que nos permite la penetración y el flujo de agua distribuyéndose por toda la muestra dando una buena efectividad de interconexión entre las fracturas presentes.

### BIOTITA

Agregados de color Marrón pleocroicos, presenta hábito hojoso en algunos individuos se observa la exfoliación, heteroblásticos y formas xenoblásticas y su contacto con los cristales de cuarzo es irregular, se encuentra moderadamente alterada a clorita, este tipo de alteración se presenta de color verde con un leve pleocroísmo, los cristales de Biotita se encuentran distribuidos homogéneamente en toda la muestra, generando algunas manchas de oxidación.

### PLAGIOCLASA

Individuos incoloros debajo relieve, tamaños homeoblástico forma subideoblástica-xenoblástica, algunos individuos presenta geometría alargada con maclas polisintéticas, se encuentran asociados al cuarzo donde su contacto es neto; estos minerales empieza a sufrir alteración a sericita (, observable hacia los bordes del cristal.

## FELDESPATOS

### Ortoclasa:

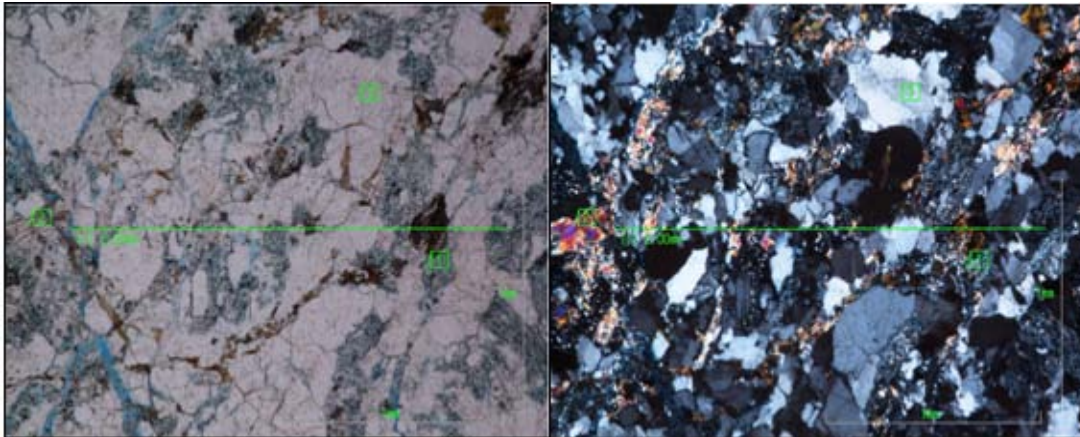
Cristales incoloros de bajo relieve, colores de interferencia que varían de blanco a gris concernientes al primer orden, homeoblástico, idioblásticos, se encuentran en contacto neto con el cuarzo, presenta su maclado característico de carlsbad, los cristales se encuentran facturados observándose los espacios vacíos y otras por material de relleno derivados de óxidos de hierro y alteración de los mismos cristales de feldespatos (caolín).

### MOSCOVITA

Agregados incoloros, de relieve bajo con colores de birrefringencia medio a alto, se presentan con formas homeoblásticas, xenoblásticas; su distribución en la muestra es escasa (ver foto 5), su contacto es irregular con los cristales de cuarzo y presentan una dirección preferencial.

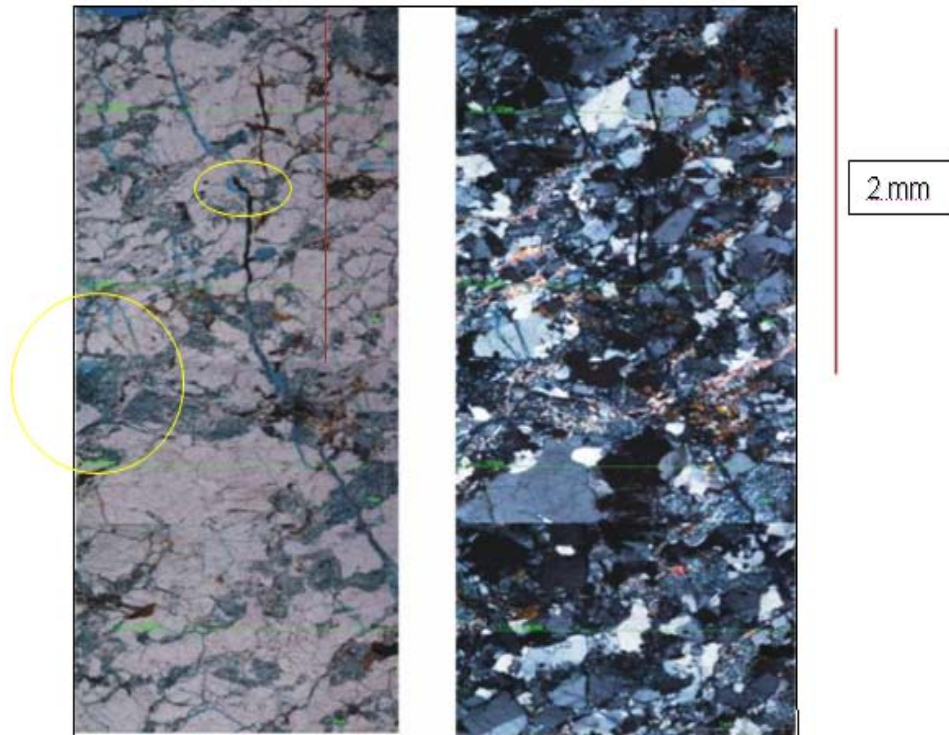
### OPACOS

Son escasos en la muestra pero se encuentran muy bien distribuidos, forma xenoblásticas y tamaño homeoblástico, en contacto neto con los cristales presentes en la muestra.



**Foto5**

Distribución de minerales, se observan cristales de cuarzo y Plagioclasa de diferentes tamaños y una distribución significativa de minerales de alteración “sericita y clorita”. Tomada con el objetivo de 5x.



**Figura 6**

Mosaico de fracturamiento, interconexión de fracturas distribuidas a lo largo de la sección delgada, comunicando cristales de Cuarzo, Plagioclasa y feldespatos, nótese los parches de color azul evidencia de la existencia de la gran cantidad de minerales de alteración sericita y caolín. La muestra anterior posee una *porosidad secundaria de 2.21%*. Tomada con el objetivo de 5X.

**DELTA 5**

<b>Minerales Principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Menores</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales secundarios</b>
Cuarzo	<b>60</b>	Biotita	<b>5</b>	Sillimanita	<b>1</b>	Caolín
Plagioclasa	<b>32</b>			Moscovita	<b>1</b>	Sericita
				Opacos	<b>1</b>	Clorita

**Coordenadas:**

**X:** 1270122; **Y:** 1118461; **Z:** 2359

**CUARZO:**

Individuos incoloros con bajo relieve, sus colores de interferencia varían de gris a gris oscuro de primer orden heteroblásticos, forma xenoblásticos, extinción ondulosa, su distribución es homogénea en la muestra, sus contactos son irregulares con los demás cristales, estos se encuentran fracturados y rellenos por óxidos de hierro, como manchas de oxidación en los cuarzos sobre los contactos con otros cristales.

**PLAGIOCLASAS**

Los cristales se presentan incoloros de bajo relieve con colores de interferencia de primer orden; los cristales de cuarzo se presentan más pequeños comparados con los cristales de cuarzo algunos presenta formas xenoblásticos, heteroblásticos, la mayoría de los cristales se encuentran alterando moderadamente a sericita con una distribución homogénea en casi toda la muestra, algunos cristales de Plagioclasa muestran una superficie terrosa debido a la alteración presente.

**BIOTITA**

Agregados de color marrón pleocroicos de café claro a oscuro, en algunos cristales se observa la exfoliación característica basal, el contacto es convexa y cóncavo con algunos cristales de cuarzo y Plagioclasa, presenta alteración a clorita tomando un verde cuya característica más significativa es un notado pleocroísmo en paralelo y en cruzados toma los colores de interferencia fuertes.

**SILLIMANITA**

Mineral incoloro de alto relieve, presenta colores de birrefringencia altos se observa de aspecto fibroso este es muy escaso en la muestra se encuentra distribuido parcialmente, sus contactos son irregulares con los cristales de cuarzo.

**MOSCOVITA.**

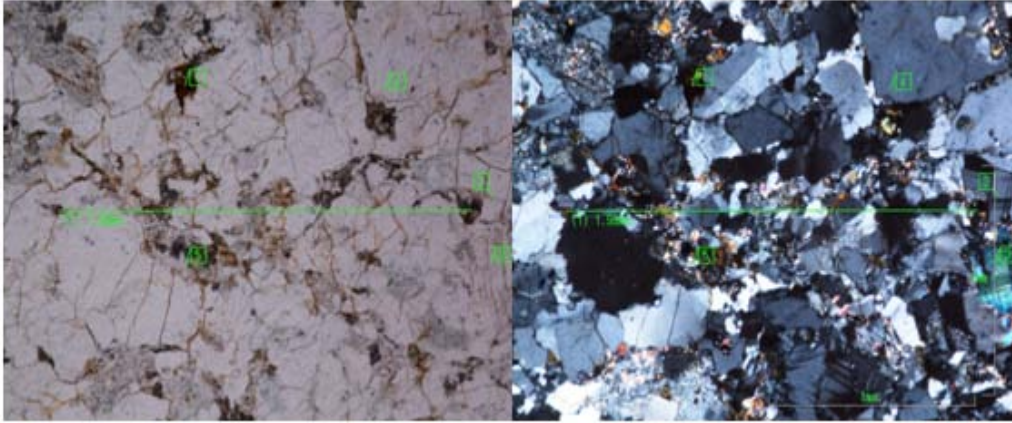
Agregados incoloros de forma homeoblástico, xenoblástica su relieve es bajo con colores de birrefringencia medio a alto su distribución en la muestra es escasa, su contacto es irregular, con cristales de cuarzo presentan una dirección preferencial.

**OPACOS**

Son escasos en la muestra pero se encuentran muy bien distribuidos, son de forma xenoblásticas y tamaños homeoblásticos, su contacto es neto con los minerales presentes, en la muestra se caracterizan por ser isotrópicos oscuros en paralelos y cruzados

**OBSERVACIÓN**

En la mayoría de la muestra se encuentra los cuarzos fracturados rellenas de óxidos de hierro estos óxidos penetran en los cristales de Plagioclasa alterados observándose como costras o manchas de oxidación.



**Figura 7**

Distribución Mineralógica, se aprecia la variedad mineralógica de la sección y sus diferentes tamaños.

**DELTA 6**

<b>Minerales Principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Menores</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales secundarios</b>
Cuarzo	<b>44</b>	Plagioclasa	<b>5</b>	Opacos	<b>1</b>	clorita
Moscovita	<b>30</b>					Sericita
Biotita	<b>20</b>					Oxidos de hierro

**Coordenadas:**

**X:** 1272150; **Y:** 1118934; **Z:** 2384

**ORIGEN:** Metamórfico

**Clasificación:** Gneis

**Textura:** porfidoblástico

**CUARZO**

Individuos incoloros con bajo relieve, heteroblásticos, xenoblásticos sus colores de interferencia son grises claro a oscuro, de primer orden. Presenta extinción ondulosa, con lo que nos indica que este mineral ha sufrido deformación, los cristales se encuentran con fracturas rellenas algunos por oxido de hierro y otras fracturas muestran la penetración de agua el cual se interconectan, estos cristales son los más representativos de la muestra comparados con los de biotita, moscovita y opacos, su contacto es irregular por las manchas d oxidación en la muestra.

**MOSCOVITA**

Agregados incoloros hojosos de formas xenoblásticas y tamaños homeoblásticos de hábito laminar contactos irregulares ligados al cuarzo, su distribución en la muestra es homogénea

pero no tan abundante, estos agregados son pequeños en su mayoría comparados con los de cuarzo.

### **BIOTITA**

Agregados de color café pleocroicos de café oscuro a café claro algunos agregados presenta la exfoliación basal características de estos minerales de habito hojosos, heteroblásticos, subideoblásticos de habito laminar, su contacto es irregular con los cristales de cuarzo y moscovita se encuentra distribuida de forma parcial en la muestra, se encuentra moderadamente alterada a clorita pleocroica, donde presenta colores verdosos característicos.

### **PLAGIOCLASA.**

Cristales incoloros de bajo relieve, colores de interferencia del primer orden, heteroblástica y forma xenoblástica, heteroblástica y formas subideoblásticos, se observan algunos cristales muy fracturados mostrando en algunos sectores fracturamiento. Se encuentra moderadamente alterada a sericita. A partir de esta alteración permite la penetración y el flujo de agua.

### **OXIDOS DE HIERRO**

Presenta un color rojizo se encuentran distribuidos homogéneamente en la muestra algunos cristales presentan un textura de forma coloidal, se observa rojizo el cual nos indica que la interacción de estos minerales ferro magnesianos a tenido gran contacto con agua de lo contrario nos presentaría un color verdoso, estos óxidos se encuentran rellenado las fracturas dentro de la muestra el cual se esparcen homogéneamente en toda la muestra. (Goethita?).

### **OPACOS**

Son isotrópicos presenta formas xenoblásticas, heteroblásticos su contacto es neto con los cuarzos e irregular con los óxidos de hierro se encuentra parcialmente distribuidos en la muestra.

### **OBSERVACIONES**

Esta sección muestra gran cantidad de oxidación el cual nos representa contacto con agua debido a su color rojizo esto se debe a la presencia de minerales ferromagnesianos como biotita esta oxidación se penetra entre las fracturas de cuarzo y contacto entre los cristales, los agregados de biotita que se encuentran alterado también presentan manchas de oxidación, en algunos sectores de la sección se pudo apreciar que los minerales en estado de alteración como clorita permite la filtración de agua al igual que los óxidos de hierro presentes en e la muestra.

## DELTA 8

<b>Minerales Principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Menores</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>
Cuarzo	45	Biotita	2	Opacos	1	clorita
Plagioclasa	20					Sericita
Feldespatos	25					Caolín

### Coordenadas:

X: 1274920; Y: 1119523; Z: 2588

**ORIGEN:** IGNEO

**Clasificación:** CUARZOMONSONITA

**Textura:** EQUIGRANULAR HIPIDIOMORFICAS

### MINERAL DE CUARZO

Individuos incoloros de bajo relieve Subhedral, Anhedral; los colores de interferencia son de primer orden con extinción ondulosa el cual nos indica que ha sufrido una deformación posee un contacto neto con las plagioclasas y feldespatos, los cristales se encuentran muy fracturados por el cual permite la filtración y el transporte de algún fluido, posee buena interconexión con las demás fracturas de la sección, la distribución en la muestra es homogénea.

### MINERAL PLAGIOCLASA

Individuos incoloros de bajo relieve, subhedrales, con sus colores de interferencia de primer orden, estos cristales son de mayor tamaño que los cristales de cuarzo, contacto neto con el cuarzo y feldespatos; su distribución es homogénea en toda la muestra, se encuentra moderadamente alterada a sericita este tipo de alteración está permitiendo la penetración de agua dando paso a una porosidad secundaria el cual se conecta con fracturas de los cristales de cuarzo donde el flujo de agua sigue corriendo la muestra.

### MINERAL DE FELDESPATOS

#### Microclina:

Se presenta incoloros de bajo relieve en paralelos, sus colores de interferencia de gris claro a oscuro de primer orden, algunos cristales presentan superficie ferrosa a causa de la alteración presente en el cristal estos son subhedricos, anhedralicos, homeoblasticos, poseen birrefringencia de primer orden con maclas en forma de enrejado estas presentan una deformación, su contacto es neto con los cuarzos y plagioclasa su distribución es homogénea en toda la muestra.

Algunos cristales se encuentran fracturados siguiendo la dirección de las maclas y otras cortan las dos direcciones de maclado de esta manera permite la penetración de agua ya que no se encuentran rellenas con ningún material, esta alteración permite que el flujo de agua se

conecte con fracturas de los cristales de cuarzo y entre algunos contactos entre cristales. Permitiendo de esta manera el transporte de agua por toda la muestra.

#### **ORTOCLASA.**

Individuos incoloros de bajo relieve en paralelos, sus colores de interferencia en cruzados son gris oscuro a gris claro de primer orden se observa contacto neto con el cuarzo de formas anhédricos y tamaños homeoblasticos , algunos cristales se observan oscuros en cruzados debido a la alteración moderada a la que están sometidos, se encuentran fracturas algunas rellenas por óxidos de hierro y material de altarción (caolinización) la alteración de estos cristales está permitiendo la filtración de agua e interconexión con las fracturas de las cristales de cuarzo.

#### **MINERAL DE BIOTITA.**

Agregados de color marrón con pleocroísmo de café oscuro ha claro, de hábito hojoso constituido por cristales de formas xenoblásticos y tamaños heteroblasticos, se observa en algunos cristales la dirección de exfoliación, su contacto cóncavo neto con los minerales de plagioclasas y cuarzo el tamaño de estos agregados son de menor tamaño comparados con las plagioclasa y cuarzoes, por medio de la foliación permite la penetración de agua interconectándose con algunas fracturas en la muestra, presenta alteración moderada a clorita observándose en paralelos verde claro.

#### **MINERALES OPACOS.**

Estos cristales se observan tanto en paralelos y cruzados oscuros, su contacto es irregular con los cristales de biotita y neto cóncavo con los minerales de cuarzo, feldespatos.

#### **OBSERVACIONES**

Se observo una muy buena interconexión entre las fracturas de los cristales de cuarzo con la alteración de plagioclasa, biotita, feldespatos, algunos óxidos de hierro se encuentran relleno algunas fracturas

#### **DELTA 9.**

<b>Minerales Principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Menores</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>
Plagioclasa	<b>50</b>	Biotita	<b>4</b>	opacos	<b>1</b>	sericita
Cuarzo	<b>25</b>					clorita
feldespatos	<b>20</b>					caolín

**ORIGEN:** IGNEO

**Clasificación:** CUARZOMONSONITA

**Textura:**

#### **MINERALES DE PLAGIOCLASA.**

Se presentan como Individuos incoloros debajo relieve en paralelos, sus colores de interferencia de gris oscuro a claro de primer orden en cruzados. Presentan formas

subhedrales, contactos netos cóncavos con los cristales de cuarzo y Plagioclasa e irregulares con aquellos minerales que se encuentran en estado de alteración. Presentan maclado polisintético, se encuentran moderadamente alterando a sericita su distribución en la muestra es homogénea se observan algunas manchas de oxidación en los cristales.

Los minerales alterados presentan una apariencia terrosa en paralelos su distribución es predominante en toda la muestra.

**MINERAL DE CUARZO**

Se presentan como individuos incoloros de bajo relieve en paralelos, sus colores de interferencia varían de blanco a gris de primer orden en cruzados con formas anhedrales, hipiomórficos, contacto neto con algunos feldespatos, cóncavos con plagioclasas su distribución es homogénea pero no tan abundante, presentan extinción ondulosa el cual indican deformación.

**MINERALES DE FELDESPATOS.**

**ORTOCLASA.**

Cristales incoloros de bajo relieve en paralelos sus colores de interferencia varían de gris claro a oscuro de primer orden, son idiomórficos, su distribución es homogénea en la muestra presenta contactos irregulares con algunos cristales de plagioclasa y cóncavos con algunos cristales de cuarzo, se encuentran moderadamente alterando a caolinitización, algunos cristales de alteración se encuentran fracturados permitiendo la penetración de agua.

**MINERALES DE BIOTITA.**

Se presenta como agregados de color marrón de baja birrefringencia con su pleocroismo característico de marrón oscuro a claro en paralelos, sus colores de interferencia son de segundo orden en cruzados, algunos agregados presentan exfoliación, se encuentra moderadamente alterando a clorita con manchas de oxidación.

**MINERALES OPACOS.**

Se presentan como cristales oscuros tanto en paralelos como en cruzados presenta formas triangulares su distribución es parcial y escasa se encuentran alterando a leucoxeno.

**DELTA 10**

<b>Minerales Principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Menores</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>
Cuarzo	<b>60</b>	Biotita	<b>2</b>	opacos	<b>1</b>	sericita
Plagioclasa	<b>29</b>					clorita
feldespatos	<b>8</b>					

**ORIGEN:** IGNEO

**Clasificación:** CUARZOMONSONITA

**Textura:** Equigranular Hipomórfico.

## **CUARZOS.**

Se presentan como cristales incoloros de bajo relieve en paralelos, sus colores de interferencia son de primer orden variando de gris oscuro a claro, presentan formas anhedrales, sus contactos netos cóncavos con los cristales de feldespatos, algunos cristales presentan extinción recta y en su mayoría ondulada entre los contactos con los demás minerales presentan oxidación, la intensidad de fracturas en estos cristales es muy notable y se encuentran sin ningún material de relleno el cual permiten la filtración de agua.

## **PALGIOCLASAS.**

Se presenta como cristales incoloros de bajo relieve en paralelos, sus colores de interferencia de primer orden variando de gris claro a oscuro presentan formas anhedrales, subhedrales, fanerítica, se encuentran moderadamente alterados a sericita, estos cristales alterados forman una especie de porosidad permitiendo la penetración de agua.

## **MINERALES DE FELDESPATOS**

### **MICROCLINA.**

Se presentan como cristales incoloros de bajo relieve en paralelos, sus colores de interferencia de primer orden variando de gris claro a oscuro en cruzados la mayoría son subhedrales su distribución en la muestra es escasa laudos fracturados y sin relleno.

### **MINERALES DE BIOTITA.**

Se presentan como agregados hojosos de color marrón con pleocroismo de marrón oscuro a claro, sus colores e interferencia son de segundo orden, tabulares presenta exfoliación basal.

### **OPACOS**

Se presentan como minerales oscuros tanto en cruzados como en paralelos no son tan relativos en la muestra su distribución es parcial, el contactos con cristales de cuarzo es neto recto.

## **OBSERVACIONES**

Se presenta buena intensidad de fracturas abiertas sin ninguna clase de relleno ya que permite la filtración del agua en los cristales de cuarzo y feldespatos, la alteración en los minerales de plagioclasa juegan un papel importante ya que permiten la penetración de agua de esta manera se podría decir que existe buena interconexión entre las fracturas.

## **DELTA 11**

<b>Minerales Principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Menores</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>
<b>Cuarzo</b>	<b>50</b>	<b>Moscovita</b>	<b>4</b>	<b>Epidota</b>	<b>1</b>	<b>sericita</b>
<b>Plagioclasa</b>	<b>20</b>	<b>Biotita</b>	<b>3</b>	<b>opacos</b>	<b>1</b>	<b>clorita</b>
<b>feldespatos</b>	<b>11</b>					

**ORIGEN:** Metamórfico

**Clasificación:** Gneis

**Textura:** Lepidogranoblastica.

### **MINERALES DE CUARZO.**

Se presentan dos generaciones:

1. Se presentan como individuos incoloros de bajo relieve en paralelos, sus colores de interferencia son de primer orden que varían de blanco a gris con formas xenoblasticas, homeoblasticas con extinción ondulosa los cristales se encuentran orientados en la dirección de la foliación su distribución en la muestra es homogénea.
2. Se presenta formando venas de cuarzo siendo homeoblasticos, xenoblasticos.

### **MINERALES DE PLAGIOCLASAS.**

Se presentan como individuos incoloros de bajo relieve en paralelos sus colores de interferencia de primer orden que varían de gris oscuro a claro con su maclado polisintético formas homeoblasticos algunos orientados en la dirección de la foliación presenta una alteración moderada a sericita su distribución en la muestra es homogénea.

### **MINERALES DE FELDESPATOS.**

#### **MICROCLINA**

Se presentan como cristales incoloros de bajo relieve en paralelos sus colores de interferencia de primer orden que varían de gris oscuro a claro con su maclado en forma de enrejado con formas homeoblasticos contactos rectos netos su distribución es media.

#### **MINERALES DE MUSCOVITA.**

Se presentan como individuos incoloros de bajo relieve en paralelos hojosos de forma homeoblasticos, subidioblasticos formando bandas en la dirección de la foliación su distribución es homogénea su contacto irregular con los demás cristales de la muestra.

#### **MINERALES DE BIOTITA.**

Se presentan como agregados de color marrón pleocroicos de marrón oscuro a claro en paralelos orientados en la dirección de la foliación de forma homeoblasticas, subidioblasticos de habito laminar la mayoría concordante con la dirección de la foliación su distribución en la muestra es homogénea.

#### **MINERALES OPACOS.**

Se presentan como minerales oscuros tanto en cruzados como en paralelos no son tan relativos en la muestra su distribución es parcial, el contactos con cristales de cuarzo es neto recto presentan formas homeoblasticas.

#### **OBSERVACIONES**

Los planos de la foliación de la muestra permite la penetración de agua y algunas fracturas que se encuentran con óxidos permiten la penetración de este fluido

## DELTA 13

<b>Minerales Principales</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Menores</b>	<b>%</b>	<b>Minerales Accesorios</b>	<b>%</b>	<b>Minerales de alteración</b>
<b>Biotita</b>	<b>52</b>	<b>opacos</b>	<b>3</b>	<b>Rutilo</b>	<b>1</b>	<b>clorita</b>
<b>Moscovita</b>	<b>35</b>			<b>Granate</b>	<b>1</b>	
<b>cuarzo</b>	<b>8</b>					

**ORIGEN:** Meta mórfico

**Clasificación:** Gneis biotítico

**Textura:** Granolepidoblasticos.

### **MINERALES DE BIOTITA.**

Agregados de color marrón con pleocroismo de marrón oscuro a claro en paralelos de habito hojoso, exfoliación basal presentes en algunos cristales constituidos de formas heteroblasticas, subidioblasticas de habito laminar su contacto es neto con otros minerales de cuarzo su distribución en la muestra es muy representativa y homogénea, se encuentra alterando moderadamente a sericita presenta color verde y algunas manchas de óxidos.

### **MINERAL DE MUSCOVITA.**

Se presentan como individuos incoloros de bajo relieve con colores de interferencia fuertes su distribución es homogénea en la muestra se encuentran orientados en sentido a la foliación se encuentran alterando moderadamente a caolinitización.

### **MINERALES DE CUARZO.**

Se presentan como individuos incoloros de bajo relieve en paralelos, sus colores de interferencia son de primer orden que varían de blanco a gris con formas xenoblasticas, homeoblasticas con extinción ondulosa los cristales se encuentran orientados en la dirección de la foliación su distribución en la muestra es homogénea.

### **MIERALES OPACOS.**

Se presentan como minerales oscuros tanto en cruzados como en paralelos no son tan relativos en la muestra su distribución es parcial, el contactos con cristales de cuarzo es neto recto presentan formas cúbicas se encuentran asociados a cuarzos estos presenta una alteración llamada leucoxenos.

### **MINERAL DE GRANATE**

Se presenta como individuos incoloros de alto relieve en paralelos y en cruzados son oscuros su distribución en la muestra es escasa sus contactos son netos con los cristales de cuarzo.

**OBSERVACIONES.**

Presenta un grado de oxidación media su color es rojizo nos muestra que los minerales compuestos por hierro han tenido constante contacto con algún flujo, el agua penetra por los planos de foliación de la biotita y por fracturas que atraviesan algunos cristales de biotita,

**ANEXO: C.**

**Análisis de datos estadísticos en porosidad de fracturas.**

**PRYA E2**

**Frecuencia acumulada:**

Longitud del Scanline: 480cm

Abertura mm	Numero Acumulado	Frecuencia Acumulada mm
5	4	0.083
3	8	0.187
1	11	0.25

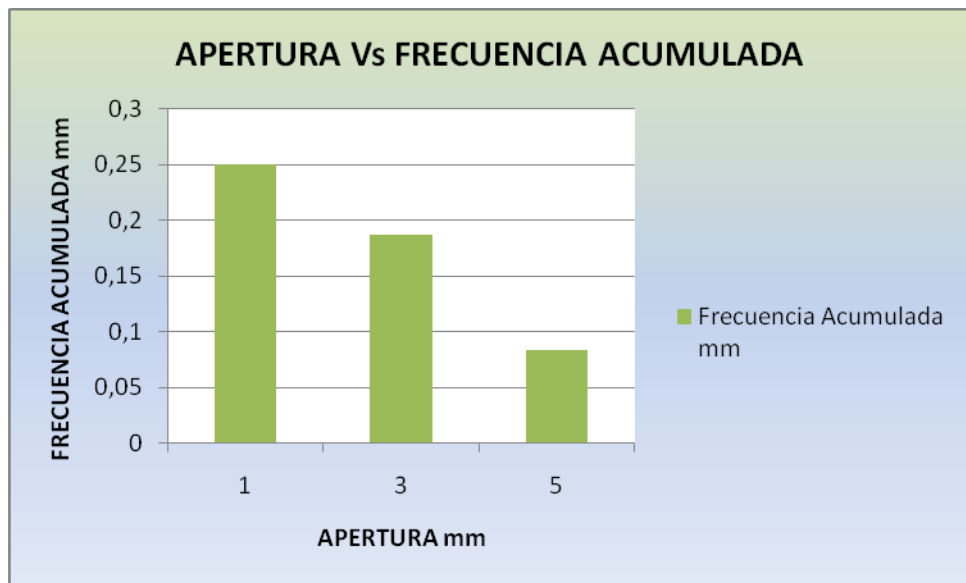


Figura.1

**Índice de fracturamiento:  $11/ 480 = 0.229$**

$\Phi = 0.229 \cdot 5/4800 = 0.023\%$ . Apertura mayor

$\Phi = 0.229 \cdot 3/4800 = 0.14\%$  Apertura media

$\Phi = 0.229 \cdot 1/4800 = 0.0047\%$  Apertura menor

PRYA E3

Frecuencia Acumulada:  
Longitud de Scanline: 340cm

Abertura mm	Numero Acumulado	Frecuencia Acumulada mm
30	3	0.088
10	10	0.23
2	23	0.53
1	30	0.69

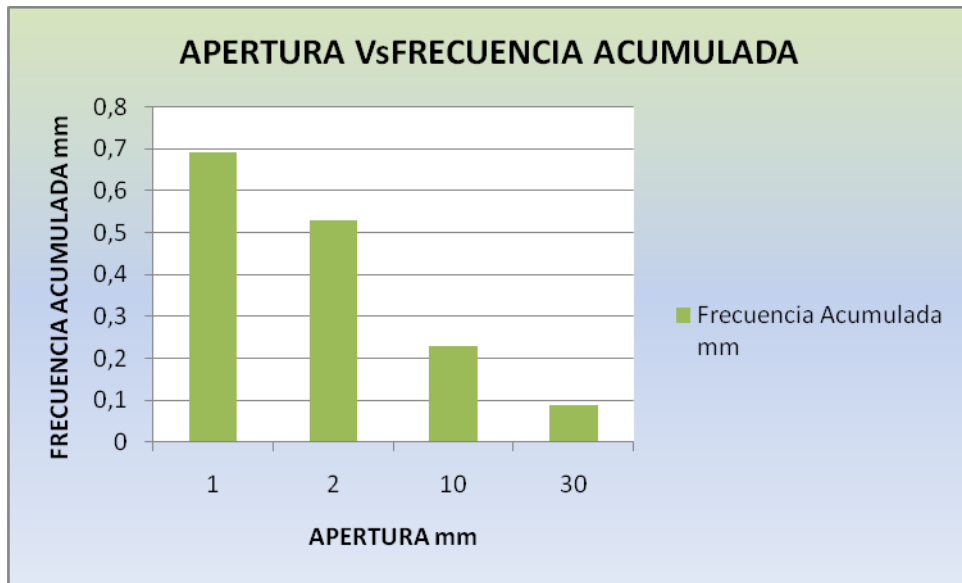


Figura.2

Indice de Fracturamiento:  $30/340 = 0.088$

$\Phi = 0.088 \cdot 30/3400 = 0.077\%$  Apertura mayor

$\Phi = 0.088 \cdot 10.75/3400 = 0.027\%$  Apertura media

$\Phi = 0.088 \cdot 2/3400 = 0.278\%$  Apertura menor.

### PRYA E4.

**Frecuencia Acumulada:**  
Longitud de Scanline: 580cm

Abertura mm	Numero Acumulado	Frecuencia Acumulada mm
5	3	0.051
4	7	0.120
3	12	0.206
1	16	0.275

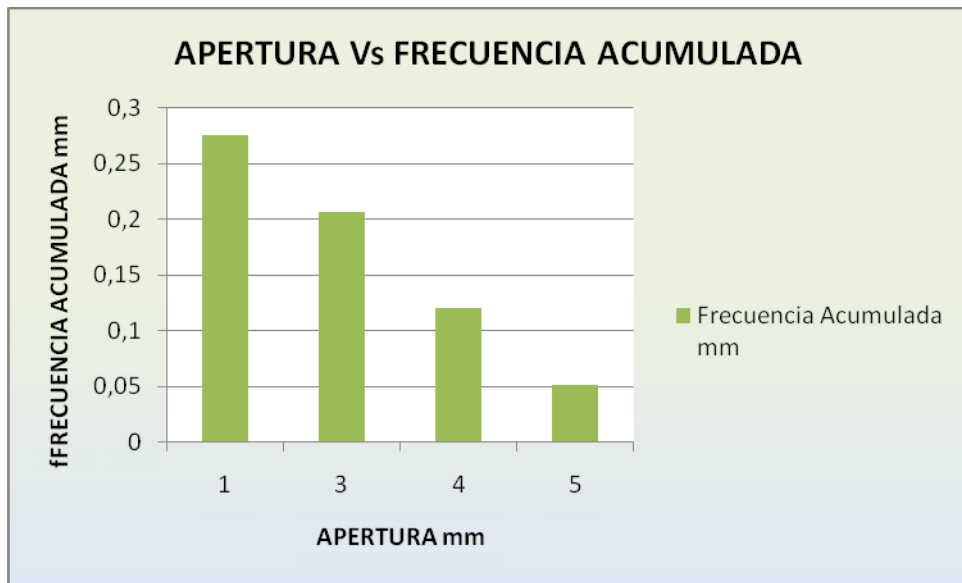


Figura.3

**Índice de fracturamiento:  $16/580 = 0.275$**

**$\Phi = 0.275 \cdot 5/5800 = 0.023\%$  Apertura mayor**

**$\Phi = 0.275 \cdot 3.25/5800 = 0.015\%$  Apertura media**

**$\Phi = 0.275 \cdot 1/5800 = 0.0047$  Apertura menor.**

PRYA E5.

Frecuencia Acumulada:  
Longitud del Scanline: 666cm

Abertura mm	Numero Acumulado	Frecuencia Acumulada mm
30	2	0.030
20	5	0.075
10	7	0.105
3	8	0.120

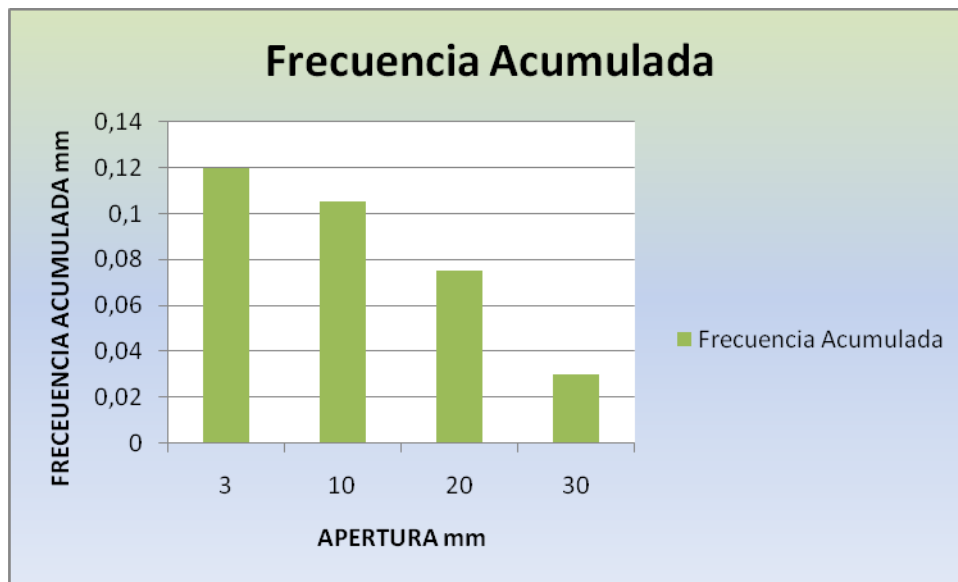


Figura.4

Índice de fracturamiento:  $8/666 = 0.120$

$\Phi = 0.120 \cdot 30 / 6660 = 0.054\%$  Apertura mayor

$\Phi = 0.120 \cdot 15.25 / 6660 = 0.027\%$  Apertura media

$\Phi = 0.120 \cdot 3 / 6660 = 0.0054\%$  Apertura menor

PRYA E6.

Frecuencia acumulada:  
Longitud del Scanline: 263cm

Abertura mm	Numero Acumulado	Frecuencia Acumulada mm
15	4	0.152
10	9	0.342
5	20	0.760
1	30	1.140

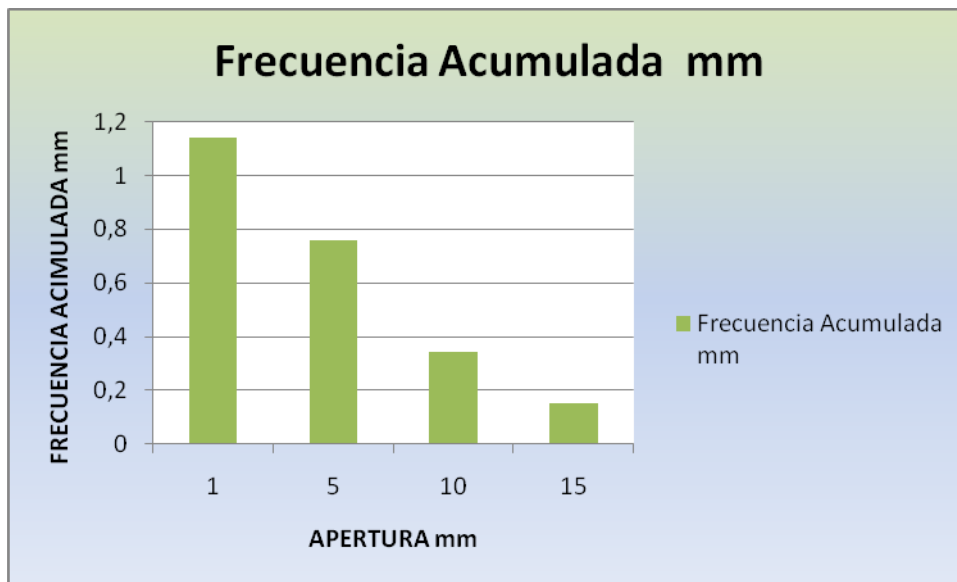


Figura.5

Índice de fracturamiento:  $30/263 = 1.14$

$\Phi = 1.14 * 15 / 2630 = 0.650$ . % Apertura mayor

$\Phi = 1.14 * 7.75 / 2630 = 0.33\%$  Apertura media

$\Phi = 1.14 * 1 / 2630 = 0.043$  Apertura menor

PRYA E7.

Frecuencia acumulada:  
Longitud del Scanline: 450cm

Abertura mm	Numero Acumulado	Frecuencia Acumulada mm
40	2	0.044
30	5	0.111
20	9	0.2
1	14	0.311

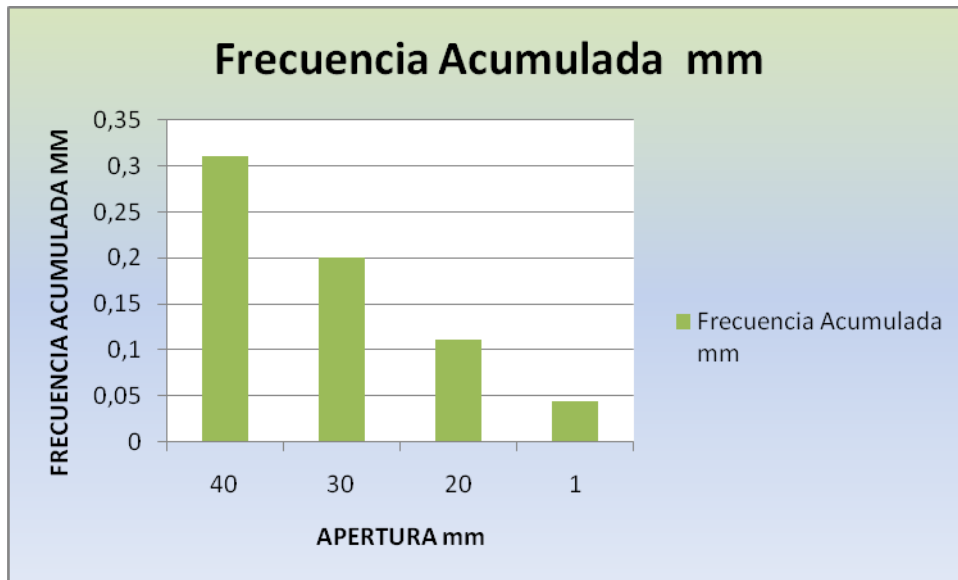


Figura.6

Índice de fracturamiento:  $14/450 = 0.311$

$$\Phi = 0.311 \cdot 15 / 4500 = 1.0 \%$$

$$\Phi = 0.311 \cdot 22.75 / 4500 = 1.5 \%$$

$$\Phi = 0.311 \cdot 1 / 4500 = 0.069 \%$$

PRYA E8.

Frecuencia acumulada:  
Longitud del Scanline: 400cm

Abertura mm	Numero Acumulado	Frecuencia Acumulada mm
3	20	0.5
1	50	1.25
0.6	60	1.5
0.5	70	1.75

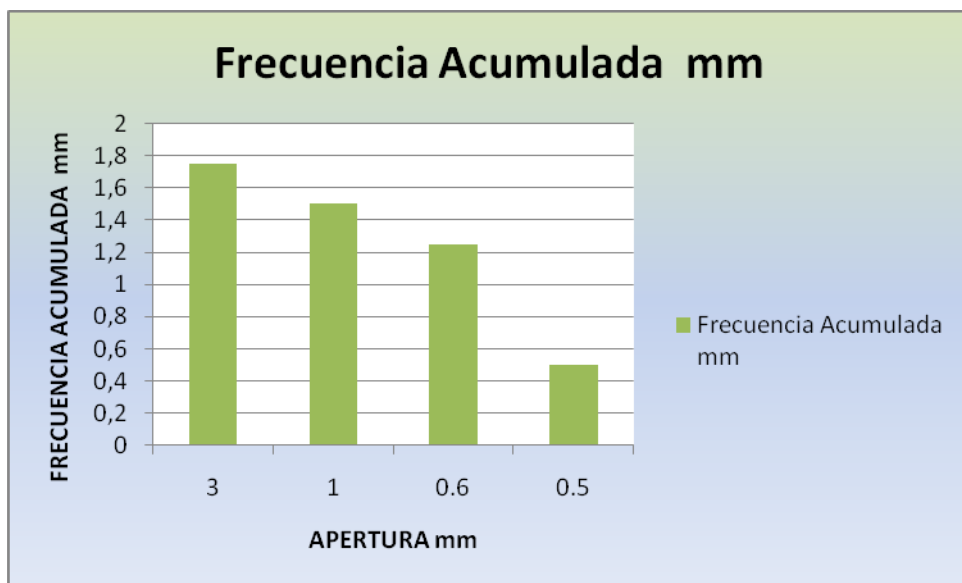


Figura.7

Índice de fracturamiento:  $70/400 = 0.175$

$$\Phi = 0.175 \cdot 3 / 40000 = 0.013 \%$$

$$\Phi = 0.175 \cdot 1.275 / 4000 = 0.055 \%$$

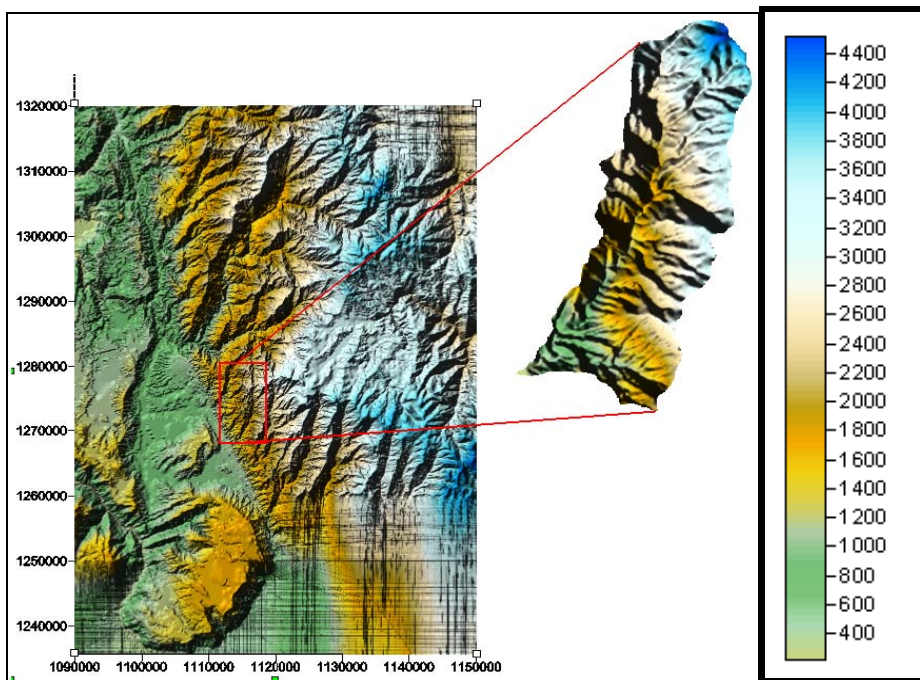
$$\Phi = 0.175 \cdot 0.5 / 4000 = 0.04375 \%$$

## ANEXO D.

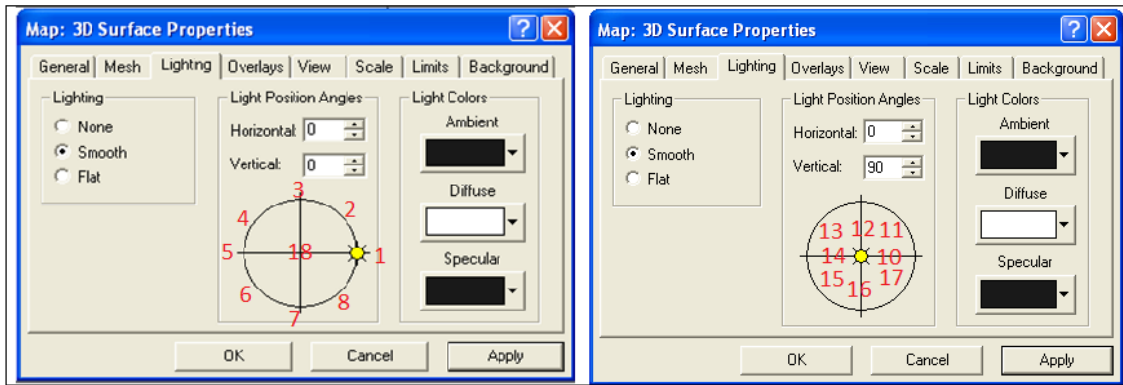
### Construcción del mapa de sombras y lineamientos en base al MDT.

A partir del modelo de elevación del terreno (Suministrado por el grupo GPH), se obtuvo un mapa de lineamientos. Empezando por el modelo digital (figura 2) en Golden Surfer generamos el mapa de sombras, cambiando las diferentes posiciones del sol sobre un hemisferio (norte) se forma una continua rotación del sol, corriendo en intervalos de  $45^\circ$  tanto en la vertical como en la horizontal (figura 2). A continuación se ilustran las diferentes posiciones de rotación del sol, enumeradas de 1 a 18, dando una mejor apreciación y enfoque a la hora de generar los lineamientos.

Una vez empezamos a cambiar las posiciones del sol, sobre el mismo modelo digital se marcan los posibles lineamientos existentes en el terreno; la densidad de líneas correspondientes a cada modelo son guardadas y posteriormente exportadas a Autocad donde sobre la imagen de la cuenca son apiladas y diferenciadas con colores representativos con el objetivo de encontrar zonas con mayores índices de lineamientos.

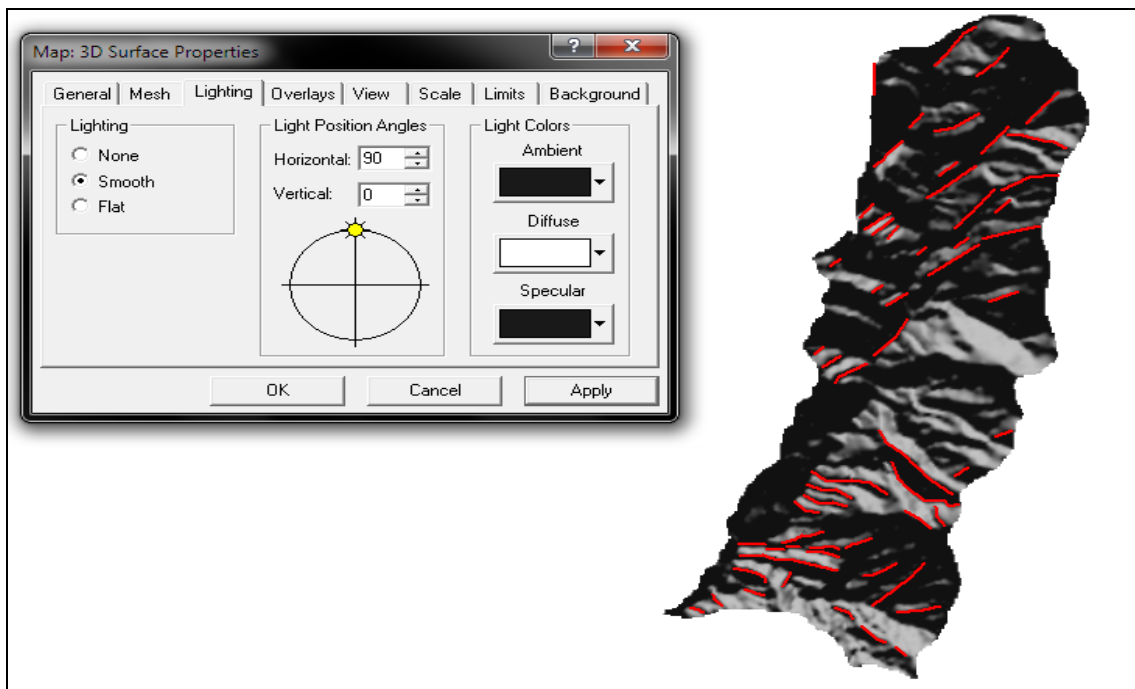


**Figura:** Ubicación de la cuenca del río Lato, esquema que ilustra la ubicación que tiene la cuenca en el macizo de Santander.

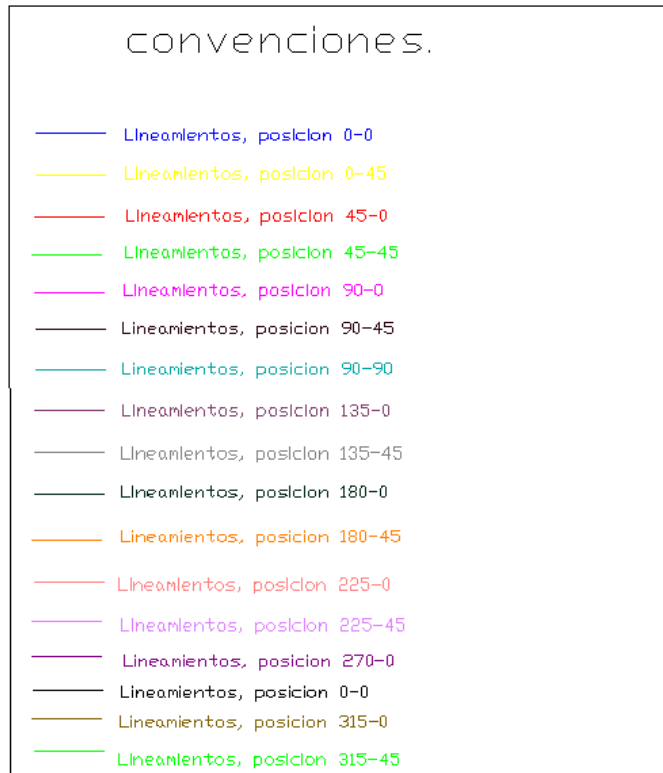


**Posiciones de rotación del Sol; se ilustra en la figura como el sol se mueve en un rango de 45° tanto en la horizontal, como en la vertical.**

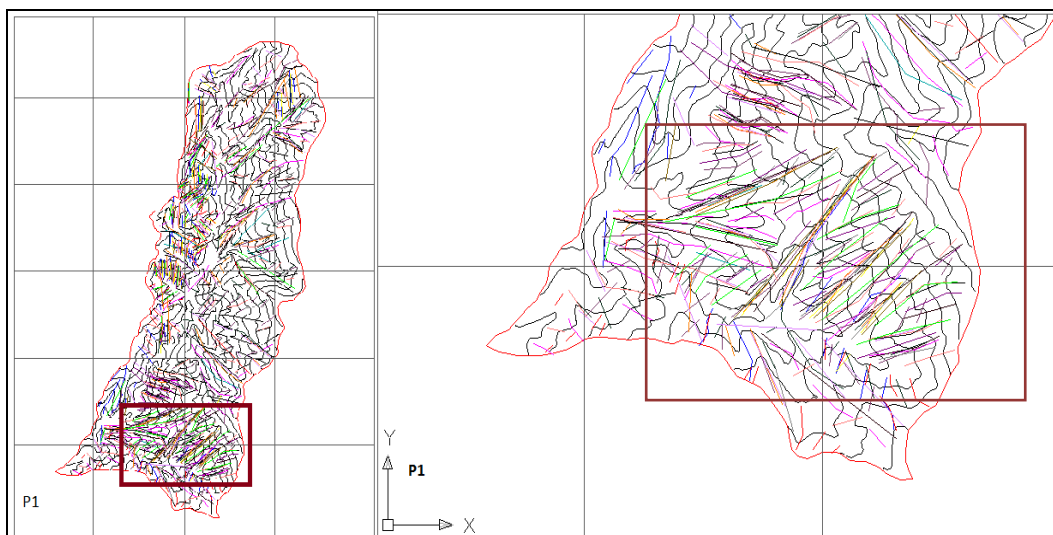
El diagrama ilustra los lineamientos generados en un mapa 3D sobre la superficie de la cuenca del río Iato, la posición del sol en un ángulo horizontal de 90° y vertical de 0°; estas líneas son apiladas en Autocad generando un mapa de lineamientos.



**Diagrama de lineamientos de la cuenca, muestra los diferentes lineamientos observables a una posición del sol determinada.**



**Esquema que ilustra los diferentes lineamientos sobre la cuenca obtenidos con el mapa de sombras y con diferentes posiciones del sol.**



**P1: X: 1266000 - Y: 1112000**

**Figura :** Direccion de lineamientos, parte baja de la cuenca, flaco E sobre la falla de Bucaramanga, se muestra una gran densidad de lineamientos con direccion preferente hacia el NE.



Coordenadas:

P: X: 1272000 - Y: 1112000

**Esquema que ilustra los diferentes lineamientos sobre dos sectores de la cuenca, mostrando direcciones preferentes, debido a procesos deformativos en la zona de influencia.**

## ANEXO E

Los siguientes modelos ilustran el esquema realizado en campo para la adquisición de la línea 1,2,3.

LINEA 1					
17 de Octubre.					
Mark Black	Source	Station	X	Y	Z
1	X1	1	0	0	2266,9
2	X2	3	3	3	2267,74
3	X3	5	6	6	2268,14
4	X4	7	9	9	2264,35
5	X5	9	12	12	2273,04
6	X6	11	15	15	2285,09
7	X7	13	18	18	2285,09
8	X8	15	21	21	2277,12
9	X9	17	24	24	2267,07
10	X10	19	27	27	2267,34
11	X11	21	30	30	2266,84
12	X12	23	33	33	2272,05
13	X13	25	36	36	2274,56
14	X14	27	39	39	2281,56

LINEA 1							
17 de Octubre							
	Estaca 1			Estaca 2		Estaca 3	
Posición	1	2	3	4	5	6	7
Coordenada	0	1,5	3	4,5	6	7,5	9
Receptores		▼					
Fuentes	X1 ◊		X2 ◊		X3 ◊		X4 ◊
Receptores				▼			
Fuentes	X1 ◊		X2 ◊		X3 ◊		X4 ◊
Receptores						▼	
Fuentes	X1 ◊		X2 ◊		X3 ◊		X4 ◊
H	2266,9	2266,90	2267,74	2268,58	2268,14	2267,7	2264,35

Mark Black	Receiver	Station	X	Y	Z
1	1	2	1.5	1.5	2266,90
2	1	4	4.5	4.5	2268,58
3	1	6	7.5	7.5	2267,7

Estaca 4		Estaca 5		Estaca 6		Estaca 7		Estaca 8
8	9	10	11	12	13	14	15	16
10,5	12	13,5	15	16,5	18	19,5	21	22,5
	X5 ◊		X6 ◊		X7 ◊		X8 ◊	
	X5 ◊		X6 ◊		X7 ◊		X8 ◊	
	X5 ◊		X6 ◊		X7 ◊		X8 ◊	
2261	2273,04	2285,09	2285,09	2285,09	2285,09	2285,09	2277,12	2269,15

	Estaca 9		Estaca 10		Estaca 11		Estaca 12	
17	18	19	20	21	22	23	24	25
24	25,5	27	28,5	30	31,5	33	34,5	36
X9 ◊		X10 ◊		X11 ◊		X12 ◊		X13 ◊
X9 ◊		X10 ◊		X11 ◊		X12 ◊		X13 ◊
X9 ◊		X10 ◊		X11 ◊		X12 ◊		X13 ◊
2267,07	2265	2267,34	2269,68	2266,84	2274,01	2272,05	2270	2274,56

Estaca 13		Estaca 14		Estaca 15		Estaca 16
26	27	28	29	30	31	32
37,5	39	40,5	42	43,5	45	46,5
	X14 ∅					
	X14 ∅					
	X14 ∅					
2279,13	2281,56	2284	2284,3	2284,6	2284,6	2284,6

	Estaca 17		Estaca 18		Estaca 19
33	34	35	36	37	38
48	49,5	51	52,5	54	55,5
2279,55	2274,71	2273,14	2271,58	2271,58	2271,58

LINEA 1					
9 de Noviembre					
Mark Black	Source	Station	X	Y	Z
1	X1	1	0	0	2266,9
2	X2	3	3	3	2267,74
3	X3	5	6	6	2268,14
4	X4	7	9	9	2264,35
5	X5	9	12	12	2273,04
6	X6	11	15	15	2285,09
7	X7	13	18	18	2285,09
8	X8	15	21	21	2277,12
9	X9	17	24	24	2267,07
10	X10	19	27	27	2267,34
11	X11	21	30	30	2266,84
12	X12	23	33	33	2272,05
13	X13	25	36	36	2274,56
14	X14	27	39	39	2281,56
Mark Black	Receiver	Station	X	Y	Z
1	1	8	10.5	10.5	2261
2	2	10	13.5	13.5	2285,09
3	3	12	16.5	16.5	2285,09
4	4	14	19.5	19.5	2285,09
5	1	16	22.5	22.5	2269,15
6	2	18	25.5	25.5	2265
7	3	20	28.5	28.5	2269,68
8	4	22	31.5	31.5	2274,01

		Estaca 1		Estaca 2		Estaca 3	
Posición	1	2	3	4	5	6	7
Posición	1	2	3	4	5	6	7
Coordenada	0	1,5	3	4,5	6	7,5	9
Receptores							
Fuentes	X1 ◊		X2 ◊		X3 ◊		X4 ◊
Receptores							
Fuentes	X1 ◊		X2 ◊		X3 ◊		X4 ◊
Receptores							
Fuentes	X1 ◊		X2 ◊		X3 ◊		X4 ◊
Receptores							
Fuentes	X1 ◊		X2 ◊		X3 ◊		X4 ◊
H	2266,9	2266,90	2267,74	2268,58	2268,14	2267,7	2264,35

Estaca 4		Estaca 5		Estaca 6		Estaca 7	
8	9	10	11	12	13	14	15
10,5	12	13,5	15	16,5	18	19,5	21
▼		▼		▼		▼	
	X5 ◊		X6 ◊		X7 ◊		X8 ◊
	X5 ◊		X6 ◊		X7 ◊		X8 ◊
	X5 ◊		X6 ◊		X7 ◊		X8 ◊
	X5 ◊		X6 ◊		X7 ◊		X8 ◊
2261	2273,04	2285,09	2285,09	2285,09	2285,09	2285,09	2277,12

Estaca 8		Estaca 9		Estaca 10		Estaca 11	
16	17	18	19	20	21	22	23
22,5	24	25,5	27	28,5	30	31,5	33
	X9 ◊		X10 ◊		X11 ◊		X12 ◊
▼		▼		▼		▼	
	X9 ◊		X10 ◊		X11 ◊		X12 ◊
	X9 ◊		X10 ◊		X11 ◊		X12 ◊
	X9 ◊		X10 ◊		X11 ◊		X12 ◊
2269,15	2267,07	2265	2267,34	2269,68	2266,84	2274,01	2272,05

Estaca 12		Estaca 13		Estaca 14		Estaca 15	
24	25	26	27	28	29	30	31
34,5	36	37,5	39	40,5	42	43,5	45
	X13 ◊		X14 ◊				
	X13 ◊		X14 ◊				
▼		▼		▼		▼	
	X13 ◊		X14 ◊				
	X13 ◊		X14 ◊				
2270	2274,56	2279,13	2281,56	2284	2284,3	2284,6	2284,6

<b>Estaca 16</b>		<b>Estaca 17</b>		<b>Estaca 18</b>		<b>Estaca 19</b>
32	33	34	35	36	37	38
46,5	48	49,5	51	52,5	54	55,5
▼		▼		▼		▼
2284,6	2279,55	2274,71	2273,14	2271,58	2271,58	2271,58

<b>Línea 2</b>					
15 de Noviembre 2009.					
Primera Parte					
<b>Mark Black</b>	<b>Source</b>	<b>Station</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
1	X1	1	0	0	2335
2	X2	6	25	25	2336
3	X3	5	20	20	2336
4	X4	11	50	50	2343
5	X5	10	45	45	2338
<b>Mark Black</b>	<b>Receiver</b>	<b>Station</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
1	1	2	5	5	2335
2	2	3	10	10	2335
3	3	4	15	15	2336
4	4	5	20	20	2336
5	1	6	25	25	2336
6	2	7	30	30	2337
7	3	8	35	35	2337
8	4	9	40	40	2337

<u>Mark Black</u>	<u>Receiver</u>	<u>Station</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>
1'	1	2'	5'	5'	2343
2'	2	3'	10'	10'	2343
3'	3	4'	15'	15'	2343
4'	4	5'	20'	20'	2344
5'	1	6'	25'	25'	2344
6'	2	7'	30'	30'	2344
7'	3	8'	35'	35'	2344
8'	4	9'	40'	40'	2345

<b>Línea 3.</b>					
<b>Segunda Parte</b>					
<u>Mark Black</u>	<u>Source</u>	<u>Station</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>Z</u>
1'	X6	1'	0'	0'	2343
2'	X7	6'	25'	25'	2344
3'	X8	5'	20'	20'	2344
4'	X9	10'	45'	45'	2345

Para la línea dos disponemos de un arreglo geométrico diferente, partiendo de cuatro receptores ubicados sobre una línea de estacas distanciadas cada 5 metros, un T0 y una fuente

<b>LINEA 2</b>											
Posición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Coordenada	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Receptores		▼	▼	▼	▼						
Fuentes	X1 ◊					X2 ◊					
					X3 ◊	▼	▼	▼	▼	X5 ◊	X4 ◊
H	2335	2335	2335	2336	2336	2336	2337	2337	2337	2338	2343

<b>LINEA 3</b>											
Posición	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'	10'	11'
Coordenada	0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'
Receptores		▼	▼	▼	▼						
Fuentes	X6 ◊					X7 ◊					
					X8 ◊	▼	▼	▼	▼	X9 ◊	
H	2343	2343	2343	2343	2344	2344	2344	2344	2345	2345	

<b>LINEA 4.</b>					
<b>Mark Black</b>	<b>Source</b>	<b>Station</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
1	X10	1	0	0	2352
2	X11	2	5	5	2351,5
3	X12	7	30	30	2349
4	X13	8	35	35	2348,5

<b>Mark Black</b>	<b>Receiver</b>	<b>Station</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
1	1	3	10	10	2351
2	2	4	15	15	2350,5
3	3	5	20	20	2350
4	4	6	25	25	2349,5

<b>LINEA 4</b>								
<b>Posición</b>	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Coordenada</b>	0	5	10	15	20	25	30	35
<b>Receptores</b>			▼	▼	▼	▼		
<b>Fuentes</b>	X10 ◊	X11 ◊					X12 ◊	X13 ◊
<b>H</b>	2352	2351,5	2351	2350,5	2350	2349,5	2349	2348,5

**ANEXO F : Datos afloramiento de Scanline.**

Scanline						
X:1267515	Y:1117387	Z:2015		X:1270130	Y:1118473	Z:2334
N35W;50NE				N70W;85NE		
N10E;20NW				N25W;85SW		
N40W;55NE						
X:1268489	Y:1117543	Z:2112		X:1269831	Y:1118453	Z:2309
N70W;85NE				N4W;85SW		
N55W;65NE				N45W;62NE		
N65W;65NE				N85W;88SW		
N65W;50NE				X:1269752	Y:1118440	Z:2283
X:1275880	Y:1118920	Z:2876		N27W;60SW		
N42W;88NE				N17W;86SW		
N54W;56SW				N69E;72NW		
X:1276612	Y:1119054	Z:2884		X:1269125	Y:1118115	Z:2280
N38E;85SE				EW;55N		
				S10W;40NW		
X:1276725	Y:1119395	Z:2727		X:1268518	Y:1117528	Z:2116
N55W;84NE				N25W;85SW		
				N55W;88SW		
X:1276485	Y:11191887	Z:2824				
N38E;83SE				X:1266859	Y:1116615	Z:1850
N5W;82SW				N11E;67NW		
				N72W;54SW		
X:1277217	Y:1117844	Z:2810		X:1268410	Y:1117520	Z:
N50W;35SW				S10W;85NW		
N65E;77SE				N80W;80NE		
N64W;66NE				S80E;80SW		
				S75E;87SW		