

**ANALISIS ESTRUCTURAL Y CARTOGRAFIA GEOLÓGICA DE LA PARTE  
ALTA DE LA CUENCA DEL RIO FRIO, MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA,  
SANTANDER, ORIENTADO A DEFINIR UN FUTURO MODELO  
HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL**

**CARLOS ALBERTO QUINTERO ORTIZ  
JOSE PEDRO MORA ORTIZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA  
2006**

**ANALISIS ESTRUCTURAL Y CARTOGRAFIA GEOLÓGICA DE LA PARTE  
ALTA DE LA CUENCA DEL RIO FRIO, MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA,  
SANTANDER, ORIENTADO A DEFINIR UN FUTURO MODELO  
HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL.**

**CARLOS ALBERTO QUINTERO ORTIZ  
JOSE PEDRO MORA ORTIZ**

**Proyecto de Grado presentado como requisito  
para optar el Título de:  
Geólogos**

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

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

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA  
2006**

*“Porque Jehová da la sabiduría y de su boca proceden el  
conocimiento y la inteligencia”*

*Proverbios 2:6*

Este trabajo lo dedico a mi Dios y Padre, pues es El mi razón para existir y vivir, este triunfo esta dedicado en primer lugar a El.

A mis Padres, por ser mi apoyo incondicional y por depositar tanta confianza en mí, todo esto no hubiera sido posible sin ustedes.

A mis Abuelos y toda mi familia, por su perseverancia en la oración y por su continua intercesión por mí.

A mis amigos y a todas las personas que creyeron en mí y en mi trabajo.

**José Pedro**

Dedico este producto a DIOS y a mis padres que me acompañaron durante todo este proyecto y que me brindaron todo su apoyo, a mis amigos del Volley y de manera especial a Yesid Gómez “El Loro” q.e.p.d. amigo y compañero muy querido. También esta dedicado a esa persona que desde que entró a mi vida le dio mucha energía a todo lo que hago. Un beso y un abrazo a todos.

**Carlos Alberto**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus sinceros agradecimientos a:

Nuestros padres por su continuo apoyo en esta etapa de nuestra formación personal y profesional, de igual forma a nuestras familias y amigos por sus constantes palabras de aliento.

Grupo de predicción hidroclimática (GPH) y a todas las personas que nos ayudaron en esta etapa de la carrera.

Juan Diego Colegial, director del proyecto, por su apoyo y dirección en el trabajo.

Ingeniera Sully Gómez Isidro por darnos la oportunidad de trabajar en el grupo de investigación.

Ingenieros Giovanni y Adriana por su ayuda en temas relacionados con la tesis pero de dominio de ingenieros civiles.

Profesores de la escuela de geología, a los cuales debemos nuestra pasión por nuestra profesión y nuestro espíritu de superación.

Escuela de geología por el préstamo de salones y laboratorios de estereoscopia y microscopia utilizados para el desarrollo del proyecto.

Personal de INGEOMINAS involucrado en el programa de aguas subterráneas, por sus consejos y conceptos críticos.

Compañeros de la zona guanentina, David, Jhon Fabián, Jaime y Sandra, por estar al tanto de nosotros durante este proyecto.

Compañeros del macizo, Lina, Mauricio, Wilder y Camilo, por servir de apoyo, consejo y compañía, tanto en la fase de campo como en la fase de oficina.

Alexandra Ulloa, persona cuya presencia fue indispensable en esta tesis y a la cual le debemos mucho más que todas las palabras que podamos escribir en estos agradecimientos.

Luisa por su ayuda en la fase final del proyecto.

Marta Morris Dibujante de la CDMB por su desinteresada colaboración y la gente del grupo de ordenamiento hídrico de la CDMB.

Todos nuestros amigos y conocidos en la zona de trabajo, Berlín, Tona y demás municipios del área, gracias por su ayuda y presencia en este proyecto.

Y a la persona mas importante del universo, a nuestro Dios...

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCION	1
1. OBJETIVOS	3
1.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
2. METODOLOGÍA	5
2.1 FASE PRECAMPO	5
2.1.1 Recopilación y Revisión de Información	5
2.1.2 Interpretación de Sensores Remotos	5
2.2 FASE DE CAMPO	6
2.3 FASE DE LABORATORIO	7
2.3.1 Descripción Macroscópica de Muestras.	7
2.4 METODOLOGÍA PARA ANALISIS DE ARCILLAS	8
2.4.1 Consideraciones preliminares	8
2.5 FASE DE INTERPRETACIÓN DE DATOS	22
2.6 ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL	22
3. GENERALIDADES	24
3.1 LOCALIZACIÓN	24
3.2 VÍAS DE ACCESO	26
3.3 CLIMATOLOGÍA	26
3.3.1 Régimen de vientos	27

3.3.2	Temperatura	27
3.3.3	Precipitaciones	27
3.3.4	Humedad	29
3.3.5	Zonas climáticas	29
3.4	HIDROGRAFÍA	29
4.	ANTECEDENTES	29
4.1	ESTUDIOS ANTERIORES	32
5.	RESULTADOS	43
5.1	TELEDETECCION Y GEOMORFOLOGIA	43
5.2	ESTRATIGRAFÍA	58
5.2.1	Consideraciones preliminares	58
5.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	71
5.3.1	Consideraciones Preliminares	74
5.4	ANALISIS ESTRUCTURAL	82
5.4.1	Consideraciones preliminares.	82
5.5	ZONAS DE METEORIZACIÓN	95
5.5.1	Consideraciones preliminares	95
5.5.2	Análisis de Arcillas	104
5.6	EVOLUCIÓN GEOLÓGICA	105
	CONCLUSIONES	111
	RECOMENDACIONES	114
	BIBLIOGRAFÍA	115

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología generada.	13
Figura 2. Etapa de macerado	14
Figura 3. Etapa de tamizado	14
Figura 4. Etapa de embalado y etiquetado	15
Figura 5. Etapa de descarbonatización.	16
Figura 6. Etapa de pesado en la balanza de precisión.	17
Figura 7. Etapa de centrifugación.	17
Figura 8. Preparación de solución original con adición de agua destilada hasta 25 ml.	18
Figura 9. Botellas con solución original	19
Figura 10. Muestra esparcida en portaobjetos.	19
Figura 11. Desechado de muestras.	20
Figura 12. Proceso general para el desarrollo del proyecto.	23
Figura 13. Ubicación General. Parte alta de la cuenca Río Frío y sus Microcuencas Mensuli y Zapamanga	25
Figura 14. Zona de Estudio, el área mostrada corresponde a las cuencas a estudiarse, Cuenca Parte Alta del Río Frío, Mensuli y Zapamanga	25
Figura 15. Variación de la precipitación anual en la zona de estudio Modificado de Mendoza, C., y Sandoval, R. 2002	28
Figura 16. Localización de los Sectores y Zonas de la Franja de estudio) (tomada de Beltrán, Rey 2002)	38

Figura 17. Diagrama de Rosetas para el sector oriental de Bucaramanga. (Tomada de Otoniel y Vergara 2003)	41
Figura 18. Imagen de satélite con algunos lineamientos trazados y fallas identificadas en la Cuenca alta del Río Frío y sus alrededores. Se aprecian las Fallas: Bucaramanga, Mensuli, Río Frío, Casiano y La Corcova. Imagen Landsat 7 ETM+.	44
Figura 19. Fotografía aérea de la Vereda Aguablanca, se muestran drenajes, lineamientos y unidades fotogeológicas.	45
Figura 20. Modelo digital de elevaciones generado en Surfer 8.	46
Figura 21. Neis de Bucaramanga cerca del sistema de fallas de Bucaramanga, foto tomada en la Universitaria de Santander (UDES). Se observa lomo de obturación y cambio brusco de pendiente	48
Figura 22. Neis de Bucaramanga en la vía que conduce de Piedecuesta hacia la Vereda el Granadillo. Se observan sillas de montar y facetas triangulares. Los cultivos agrícolas son comunes en esta zona.	49
Figura 23. Filos rocosos, formas sobresalientes estrechas y alargadas. Sillas de montar y una faceta triangular, claros indicios de actividad de falla. Foto tomada en la parte alta del cauce de la Quebrada Guyana, cerca de los carretables veredales de la Vereda del mismo nombre.	50
Figura 24. Lomo de obturación en el barrio pan de azúcar bajo, limitado por las fallas Morrórico y falla Bucaramanga	51
Figura 25. Geoforma de Lago de falla en el Barrio lagos del cacique que muestra la dirección del trazo de la falla de Bucaramanga.	51
Figura 26. Al fondo, geoformas del Neis de Bucaramanga (PeBm). Pendientes abruptas mayores del 60% y sillas de montar. Tomada desde la Escuela Helechales en la vereda del mismo nombre.	53
Figura 27. Cerro Morronegro vía a Bucaramanga- Cucuta. Muestra lineamientos en el cerro que se compone de rocas de la unidad Neis Bucaramanga con parches de Ortoneis.	54

- Figura 28. Lugar denominado Cerro Ventanas por la Carretera Bucaramanga –Cúcuta a 2 Km. de la Corcova. Con pendientes mayores del 50%. Se aprecia la meteorización de la Cuarzomonzonita y formas triangulares en el cerro. 55
- Figura 29. Terrazas en el cauce del Río Frío. Se observan niveles gravosos de clastos con bordes semiangulares hacia la base y niveles arenoarcillosos en el techo. Foto tomada en cercanía intersección del cauce Río Frío y la zona de Falla Bucaramanga. 56
- Figura 30. Contacto de la Unidad Neis de Bucaramanga muy alterado y Cuarzomonzonita de la Corcova moderadamente alterada. Se observa en el nivel superior desarrollo de suelo en el neis. La foto fue tomada sobre la vía que comunica la vereda Casiano Alto con el Cerro la Judia. 60
- Figura 31. Detalle de afloramiento de Neis Cuarzofeldespático en el vía de la vereda Casiano a la vereda Alsacia, nótese los tonos rosados en la parte superior de la foto y las venas de cuarzo concordantes con la filiación. 61
- Figura 32. Xenolito de la Unidad Neis Bucaramanga anfibólico (Peb) dentro de la Cuarzomonzonita de la Corcova (Jrcg), sobre carretables en la vereda Casiano Alto. Venas de Cuarzo de 15 cm. de espesor atraviesan las dos Unidades perpendicularmente. 62
- Figura 33. Afloramiento de Neis de composición mafica. Ubicado en los caminos que comunican la vereda Casiano Alto. Se puede observar la alta meteorización y una vena de cuarzo de 15 cm. que lo atraviesa perpendicularmente 63
- Figura 34. Migmatitas en la Unidad Neis de Bucaramanga, localizada en el cauce de la Quebrada Agua Blanca en la Vereda Agua Blanca. Se puede Observar la textura fluidal que indica una plasticidad extrema durante la deformación. 64
- Figura 35. Dique de cuarzo concordante con la foliación, camino Floridablanca- Km12 65

Figura 36. Neis con masas de ortoNeis Cuarzo-Feldespático de color blanco con alta meteorización, afloramiento localizado por la carretera que conduce del Km. 12 de Bucaramanga-Pamplona, al Municipio de Floridablanca. Se aprecian bandas concordantes maficas.	66
Figura 37. Cuarzomonzonita de la corcova moderadamente alterada, nótese el tamaño medio de los granos, fotografía tomada en la zona cercana al corregimiento de la corcova.	67
Figura 38. Cuarzomonzonita de la Corcova (colores claros en la parte inferior) en contacto con el Neis de Bucaramanga. Se observa la meteorización moderada y el desarrollo de suelo en el neis. Foto tomada en los carretables que conducen de la Vereda Casiano a Alsacia.	68
Figura 39. Afloramiento de Cuarzomonzonita de la Corcova en el cauce de la Quebrada Agua Blanca en la Vereda Agua Blanca. En este afloramiento se encontraron estrías de falla y se aprecia un alto diaclasamiento que propicia la entrada de agua a partes mas profundas.	69
Figura 40. Deposito de ladera (Ql) y deposito de flujo de escombros (Qfe) localizados en el valle de Mensuli, sobre el cambio de pendiente entre el macizo y el valle, asociado con la falla de Bucaramanga	71
Figura 41. Trazo de la falla de Río Frío vista de los carretables que conducen del Municipio de Tona a la vereda Armania, al norte del cerro ventanas.	73
Figura 42. Intenso diaclasamiento en la quebrada Casiano, cerca del sitio de descanso "Montefiori"	77
Figura 43. Intenso diaclasamiento en la quebrada Casiano, cerca del sitio de descanso "Montefiori"	78
Figura 44. Diaclasamiento en Neis de Bucaramanga, afloramiento cerca del barrio pan de azúcar.	79
Figura 45. valle lineal entre la mesa de Ruitoque y el macizo de Santander. Foto tomada desde la Escuela de la Vereda Alto Mantilla.	86

Figura 46. Graficas originadas para la zona 1. A. Diagrama de polos. B. Diagrama de Contornos. C. Diagrama de Rosetas.	85
Figura 47. Graficas originadas para la zona 2. A. Diagrama de polos. B. Diagrama de Contornos. C. Diagrama de Rosetas,	87
Figura 48. Graficas originadas para la zona 1. A. Diagrama de tensor de esfuerzos B. Resultados del diedro recto C. Diagrama de ejes de presión y tensión	93
Figura 49. Graficas originadas para la zona 2. A. Diagrama de tensor de esfuerzos B. Resultados del diedro recto C. Diagrama de ejes de presión y tensión	94
Figura 50. Distribución espacial de precipitación media multianual. Cuenca Río Frío Alto. Fuente: Arenas y Ruiz (2005).	97
Figura 51. Al fondo se observa el lugar conocido como “Morro Negro” y en amarillo el trazo de la Falla del mismo nombre. Se caracteriza por tener fuertes pendientes y espesa vegetación. En el lugar afloran rocas del Neis de Bucaramanga con parches de Ortoneis.	98
Figura 52. Perfil de Meteorización en la zona 1, se aprecia una delgada capa de material orgánico de 10 cm y un grado de meteorización moderado de la Cuarzomonzonita de la Corcova.	99
Figura 53. Bosques espesos se localizan en las zonas del nacimiento del Río Frío, los cuales actúan como zona de recarga de la cuenca y propician la actividad de meteorización.	100
Figura 54. Derrumbes en taludes de material no consolidado en la zona 3 de meteorización (Anexo C), el espesor tomado en este lugar es de 3m, aunque se encuentran hasta 4 m. Foto tomada cerca de la escuela de la Vereda Alto Mantilla. a 2000 msnm.	101
Figura 55. Coloración parda naranja con textura areno arcillosa en material no consolidado, 500 m abajo de la Escuela de la Vereda Alto Mantilla en la zona 3.	102
Figura 56. Zona cercana a la falla Bucaramanga, se observa la roca triturada y altamente diaclasada. Se puede apreciar el espesor de los niveles de meteorización, los más altos registrados.	103

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Cuencas del municipio de Floridablanca.	30

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo A. Mapa Geológico. Escala: 1:25.000

Anexo B. Mapa Estructural. Escala 1:25.000.

Anexo C. Mapa de Meteorización. Escala 1:25.000.

Anexo D. Corte generalizado de la zona.

Anexo E. Catálogo de Libretas de Campo.

## RESUMEN

### TITULO:

ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LA PARTE ALTA DE LA CUENCA DEL RÍO FRÍO, MUNICIPIO DE FLORIDABLANCA, SANTANDER, ORIENTADO A DEFINIR UN FUTURO MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL\*

### AUTORES:

JOSÉ PEDRO MORA ORTIZ  
CARLOS ALBERTO QUINTERO ORTIZ\*\*

### PALABRAS CLAVES

Cartografía, Cuenca Alta del Río Frío, Análisis Estructural, Estrías, Diaclasas, Zonas de Meteorización.

### DESCRIPCION

En el presente estudio se presenta la cartografía geológica a escala 1:250000 de la cuenca alta del Río Frío, incluyendo las microcuencas de la quebrada Mensuli y Zapamanga. Se realizó un análisis estructural de 2 zonas generales definidas en el campo. Los resultados obtenidos se enlazaron y generaron distintas zonas de meteorización para facilitar la definición de un futuro modelo hidrogeológico conceptual.

En la cuenca se encontraron Unidades geológicas que corresponden a rocas metamórficas predevónicas del Neógeno de Bucaramanga, rocas ígneas de edad triásico jurásico de la cuarzomonzonita gris de la corcova y cuaternarios coluviales y aluviales; rocas afectadas principalmente por la falla Bucaramanga. Con datos de estrías se definieron fallas como Río Frío y Casiano. El análisis estructural muestra una clara tendencia compresiva en el área cercana a la falla Bucaramanga, además de una tendencia transpresional en la zona cercana a la falla de Río Frío. De acuerdo al análisis de diaclasas, el fracturamiento de las rocas en estas zonas es alto y favorece el almacenamiento de agua y en menor proporción su transporte.

Se definieron 4 zonas de meteorización teniendo en cuenta el análisis de las arcillas recolectadas y factores tales como la pluviosidad, densidad de vegetación y tipo de litología.

Adicionalmente se presenta una metodología para el análisis de arcillas, que disminuye el tiempo en el proceso y optimizan los resultados de estos estudios.

---

\* Tesis

\*\* Facultad de Ciencias Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director Juan Diego Colegia

## ABSTRACT

### TITLE:

STRUCTURAL ANALYSIS AND GEOLOGIC CARTOGRAPHY OF FRÍO RIVER DRAINAGE BASIN HIGH PART, FLORIDABLANCA MUNICIPALITY, SANTANDER, AIMING TO DEFINE A FUTURE CONCEPTUAL HYDROGEOLOGICAL MODEL\*

### AUTHORS:

JOSÉ PEDRO MORA ORTIZ  
CARLOS ALBERTO QUINTERO ORTIZ\*\*

### KEY WORDS:

Cartography, Río Frío high drainage basin, Structural analysis, Estriae, Joint, Weathering zones.

### DESCRIPTION:

This study presents the geologic cartography of the Frío river drainage basin high part to scale 1:250000, also including the micro drainage basins of the Mensuli and Zapamanga streams. Two general zones defined in the field were structurally analyzed. The given results were fastened together and they produced different weathering zones to facilitate the definition of a future conceptual hydrogeological model.

Geologic units were found in the drainage basin; these correspond to predevonian metamorphic rocks from the Bucaramanga gneiss, triassic jurasic igneous rocks from the grey quartz monzonite of the corcova, and alluvial as well as colluvial quaternaries. All of them are affected by the Bucaramanga fault. The estriae data helped to define faults as those of Río Frío and Casiano. The structural analysis shows a clear compressive tendency in the area near to the Bucaramanga fault, likewise a transpresional tendency in the zone near to the Río Frío fault. According to the joint analysis, the rock breaking process in these areas is high and it favors the storage of water as well as its transport in a smaller proportion.

Taking into account the sample clay analysis and some other causes such as rainfall, density of vegetation and type of lithology, four weathering zones were defined.

Additionally this study provides the reader with a methodology for clay analysis which saves time during the process and optimizes the results.

---

\* Thesis

\*\* Facultad de Ciencias Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director Juan Diego Colegial

## **INTRODUCCION**

El estudio cartográfico-geológico que aquí se presenta, se desarrolló en el marco del proyecto de investigación titulado “ INVESTIGACIÓN GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA EN LA REGIÓN CENTRAL DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER”, Este proyecto de investigación se realizó gracias a un convenio de cooperación científica suscrito entre la Universidad Industrial de Santander (UIS) y el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS), y motivado por la necesidad de evaluar el potencial del recurso hídrico del subsuelo colombiano en cumplimiento de sus funciones como entidad del Estado y con la generación de conocimiento que aporte a la satisfacción de necesidades de la sociedad en cuanto agua potable, especialmente.

La necesidad de mejorar el conocimiento de los factores que afectan el abastecimiento de agua para el desarrollo de la comunidad, en nuestro caso el área metropolitana de Bucaramanga, hace necesario estudiar y entender las fuentes de este recurso y tener nuevos abastecimientos para la ciudad, conocer los procesos asociados a la geología e hidrología constituye uno de los objetivos para realizar un manejo integrado del recurso hídrico para la conservación, renovación y recuperación de la oferta hídrica en la zona.

En este proceso se requiere definir parámetros entre los cuales se encuentran variables geológicas, ya sean litológicas, geotécnicas, geomorfológicas, hidrológicas y estructurales, Siendo la Cuenca del Río Frío una de las fuentes del acueducto, se realizó una validación de la cartografía geológica existente, enfatizando en la complejidad estructural del área, además se realizaron muestreos de arcillas y análisis estadísticos de diaclasas y estrías, para conocer las direcciones preferenciales de las

fracturas, para generar la base para un futuro modelo hidrogeológico conceptual.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar una cartografía geológica y una caracterización estructural a escala 1:25000, de la parte alta de la cuenca del Río Frío en el municipio de Floridablanca, Santander, con el fin de definir los aspectos estructurales, litológicos y geomorfológicos, que caracterizan el comportamiento de la cuenca, definiéndose este trabajo como herramienta para la definición de una red de drenaje subterráneo en la cuenca, en la futura elaboración del modelo hidrogeológico conceptual de la zona.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Revisar la Geología estructural y las unidades aflorantes en la cuenca del Río Frío y su relación con la hidrología de la zona.
- Revisar y Realizar la cartografía geológica a una escala 1:25.000 mediante reconocimiento de campo del área de estudio, cuya extensión es de 83 Km<sup>2</sup>.
- Tomar datos estructurales de diaclasas, fracturas y estrías de falla en cartografía 1:25.000.
- Colectar y preparar muestras de arcillas en la cuenca, generando una metodología confiable para un futuro análisis en difractogramas de DRX.
- Realizar un muestreo sistemático de los diferentes afloramientos en la zona para definir los diferentes tipos de roca aflorantes en la cuenca.

- Realizar un estudio geoestadístico de diaclasas, fracturas y estrías de falla que permitan determinar las principales zonas de fracturas y proponer direcciones de esfuerzos actuantes en la zona, para un análisis de redes de drenaje de agua subterránea.
- Determinar y evaluar las posibles zonas de recarga de la cuenca, de acuerdo con características geomorfológicas, litológicas, hidrológicas y estructurales.
- Realizar un mapa de distribución de zonas de meteorización, a partir de aspectos litológicos, geomorfológicos y climáticos.

## **2. METODOLOGÍA**

En este capítulo se mencionaran y se explicaran cada una de las fases desarrolladas durante la realización de este proyecto de grado.

### **2.1 FASE PRECAMPO**

Durante esta fase del proyecto, se realizaron trabajos previos de búsqueda de información existente sobre el área de interés, información de tipo geológico e hidrológico, además se realizaron ejercicios de capacitación y actualización en técnicas para obtención de datos, además de organizar las actividades a desarrollar durante las jornadas de campo y finalmente se interpreto la imagen satelital de la zona y algunas fotografías aéreas del área objeto de estudio. Una descripción más detallada de algunas de estas actividades se presenta a continuación.

**2.1.1 Recopilación y Revisión de Información.** Esta etapa se realizó con el fin de conocer aspectos generales de la zona, en cuanto al problema establecido, especialmente en el tratamiento dado a los problemas estructurales e hidrológicos; y consistió básicamente en recopilar y analizar la información geológica disponible (documental y gráfica) sobre el área de trabajo.

Esto permitió generar un conocimiento preliminar de la zona, mostrando de esta forma un panorama general de la zona en cuanto a estudios de cartografía geológica y estudios con fines hidrológicos, evidenciando así la necesidad de generar en lo posible una cartografía geológica mas precisa que la existente en la actualidad, sin olvidar la prospección de aguas subterráneas en el macizo.

**2.1.2 Interpretación de Sensores Remotos.** La interpretación o análisis morfoestructural se realizó para establecer las relaciones entre las figuras geomorfológicas y los rasgos estructurales y geológicos que puedan definir parte de la cartografía geológica y la evolución tectónica.

A partir de las cartas topográficas, se digitalizó la red de drenaje teniendo como ayuda las fotografías aéreas de cada zona. Una interpretación morfoestructural consiste en el reconocimiento de patrones de drenaje, anomalías de drenaje y sus rasgos rectilíneos (alineamiento de drenajes) y, finalmente, a partir de estos elementos se lleva a cabo el trazado de flexiones del terreno.

En primera instancia se obtuvieron las imágenes satelitales del área, correspondientes al tipo LANDSAT 7 (ETM +), las cuales fueron proporcionadas por INGEOMINAS; manejando el Software SPRING 4.1. Se utilizaron filtros en diferentes direcciones que nos permitieran diferenciar los lineamientos y estructuras más representativas de la zona.

También se recolectó el material aerofotográfico a diferentes escalas, obtenidos de vuelos que cubrieran parcial o totalmente la zona a estudiar, incluyendo en especial el área comprendida por la cuenca del río frío (zona a trabajar en este Proyecto de Grado). Posteriormente se realizó la interpretación de estas fotografías aéreas con los estereoscopios (Marca Carl Zeiss Jena) disponibles de la Escuela de Geología con el fin diferenciar las geoformas del terreno y sus unidades litológicas. Para tal fin se diferenciaron unidades fotogeológicas presentes en las fotografías basándonos en los tonos, texturas, patrones de drenajes y rasgos geomorfológicos característicos en cada una de ellas. También se identificaron algunos lineamientos estructurales siguiendo la alineación de las geoformas y drenajes presentes en las rocas.

Con la base topográfica de la zona en estudio, se generó un modelo digital de elevaciones (MDE) con el software SURFER 8. Con ayuda de este software se generaron modelos con exageraciones verticales para resaltar cambios en la topografía, mostrando lineamientos y fallas en la zona de estudio. Después de observar estos lineamientos y fallas en la zona, se trazaron posteriormente en la cartografía del IGAC.

## **2.2 FASE DE CAMPO**

Durante esta fase se realizó fundamentalmente un reconocimiento geológico del área de estudio, muestreo de las unidades litológicas identificadas previamente mediante fotointerpretación; muestreo de los suelos presentes en el área, para un posterior análisis de arcillas y la toma de datos de estrías de falla. Toda esta información se colectó bajo los estándares del proyecto.

La localización de las muestras recolectadas estuvo referenciada con ayuda de GPS (GARMIN Etrex Vista) y con GPS (GARMIN Etrex Summit) además se realizó el correspondiente control mediante la verificación de lo representado en el plano topográfico y las unidades del paisaje. Así mismo, se tomaron datos estructurales y fotografías de afloramientos y panorámicas.

## **2.3 FASE DE LABORATORIO**

Esta fase corresponde a los diferentes análisis macroscópicos realizados a las muestras de roca recolectadas en campo y a la preparación de muestras de arcillas y que son descritos a continuación.

**2.3.1 Descripción Macroscópica de Muestras.** Esta descripción se realizó utilizando una lupa binocular (Marca Stemi DV4. Zeiss), que pertenece al laboratorio de preparación de muestras de la Escuela de Geología.

Las descripciones corresponden a la identificación de las diferentes características macroscópicas presentadas en la roca (color, textura, estructura, composición y clasificación), las cuales fueron registradas en una base de datos elaborada para tal fin.

## **2.4 METODOLOGÍA PARA ANALISIS DE ARCILLAS**

En este capítulo se presenta la metodología obtenida a para el análisis en difractogramas de DRX, esta metodología fue realizada con la dirección del Geólogo Ph.D Rafael Duarte, experto en arcillas de INGEOMINAS.

**2.4.1 Consideraciones preliminares.** Se recolectaron muestras en trece puntos a lo largo de la zona de estudio, en diferentes zonas de mayor meteorización en las unidades aflorantes, se toman perpendiculares al rumbo general del afloramiento, ubicando cada sitio con coordenadas GPS. Los puntos que se utilizaron para muestrear fueron seleccionados de acuerdo a las características litológicas, climatológicas y topográficas.

Las litologías dominantes fueron analizadas mediante lupa binocular, y difracción de rayos X (DRX), para lo cual se realizaron procedimientos adecuados para cada análisis de difracción de rayos X. Las muestras de neis, y cuarzomonzonita fueron analizadas mediante difracción de rayos X (método de polvo), para lo cual las rocas fueron reducidas a polvo con un mortero de ágata. Para todas las muestras se separó la fracción con tamaño de arcilla (<2  $\mu\text{m}$ ) siguiendo las recomendaciones de Kisch (1991) y Moore y Reynolds (1997) para realizar el estudio de los minerales del grupo de las arcillas sobre agregados orientados.

- **Muestreo y descripción.** Este se hace por medio de un control sistemático de arcillas en el área de trabajo; teniendo en cuenta la

cartografía geológica hecha previamente en campo podemos determinar los puntos mas aconsejables para la recolección de muestras; esto depende principalmente del grado de incidencia que puedan tener estas arcillas en el desarrollo hidrogeológico de la zona y bajo el criterio del geólogo de campo.

Primero se describe la muestra en el afloramiento; esta descripción se hace tomando rasgos particulares del deposito arcilloso, como lo es, estructura, textura, color y composición; para luego clasificarla en cuatro tipos diferentes.

Los grados de clasificación son:

*Arcilla tipo 1:* presenta una estructura relativamente bien definida y poco alterada indicando la relación con la roca madre, en donde se pueden apreciar rasgos como la laminación interna; presenta una textura bien compactada, bien calibrada, aunque el grado de cimentación es muy bajo o no tiene; colores relativamente definidos aunque afectados por el grado de oxidación y meteorización que tenga; su composición es propia de la roca parental, aunque alterado debido a la influencia de la meteorización que esta haya sufrido.

*Arcilla tipo 2:* No presenta estructura y su parentesco con la roca fuente es difícil de definir a no ser que no haya sufrido mucho transporte; presenta una textura moderada a bien compactada, se encuentra bien calibrada debido a que ha sufrido un grado de lixiviación que ayuda a mejorar la selección de los granos que la componen, no presenta prácticamente grado de cimentación; colores relativamente definidos aunque afectados por el grado de oxidación y meteorización que tenga; su composición es propia de la roca parental, aunque alterado debido a la influencia de la meteorización que esta haya sufrido y la formación de nuevos minerales.

*Arcilla tipo 3:* No presenta estructura y su parentesco con la roca fuente es difícil de definir a no ser que no haya sufrido mucho transporte, (en muchos casos, sobre la zona de trabajo se observó una estructura típica de meteorización denominada duripan, ligada a las condiciones climáticas en donde se desarrolló); presenta una textura donde el grado de compactación, depende de la asociación de los minerales arcillosos presentes (sean expansivos o no expansivos), se encuentra bien calibrada debido a que ha sufrido un grado de lixiviación moderado que ayuda a mejorar la selección de los granos que la componen, no presenta ningún grado de cementación; colores poco definidos a manera de tonalidades abigarradas (en el caso en que su mayor componente sea materia siliciclástica) o definidos (en el caso en que su mayor componente sea la materia orgánica), afectados por el grado de oxidación y meteorización que tenga; su composición está ligada en parte a la roca parental, muy alterado debido a la influencia de la meteorización que esta haya sufrido por lo que se observa la formación de nuevos minerales.

*Arcilla tipo 4:* No presenta estructura y su parentesco con la roca fuente es difícil de definir, (se puede asociar fácilmente con suelo residual); presenta una textura donde el grado de compactación, depende de la asociación de los minerales arcillosos presentes (sean expansivos o no expansivos), se encuentra bien calibrada debido a que ha sufrido un grado de lixiviación alto que ayuda a mejorar la selección de los granos que la componen, no presenta ningún grado de cementación; colores poco definidos a manera de tonalidades abigarradas (en el caso en que su mayor componente sea materia siliciclástica) o definidos (en el caso en que su mayor componente sea la materia orgánica), afectados por el grado de oxidación y meteorización que tenga; su composición está ligada en parte a la roca parental, muy alterado debido a la influencia de la meteorización que esta haya sufrido por lo que se observa la formación de nuevos minerales.

En la descripción se guardo el parámetro de que estamos trabajando sobre una columna estratigráfica, de tal manera que se determino base y techo de las capas, y se guardo la relación de estos en caso tal que no estuvieran en contacto.

Después de realizada la descripción del deposito, se procedió a recolectar una muestra significativa de 500 gr aproximadamente in situ, indicando su localización en la columna estratigráfica, y se almaceno en una bolsa hermética con el fin de no contaminar la muestra.

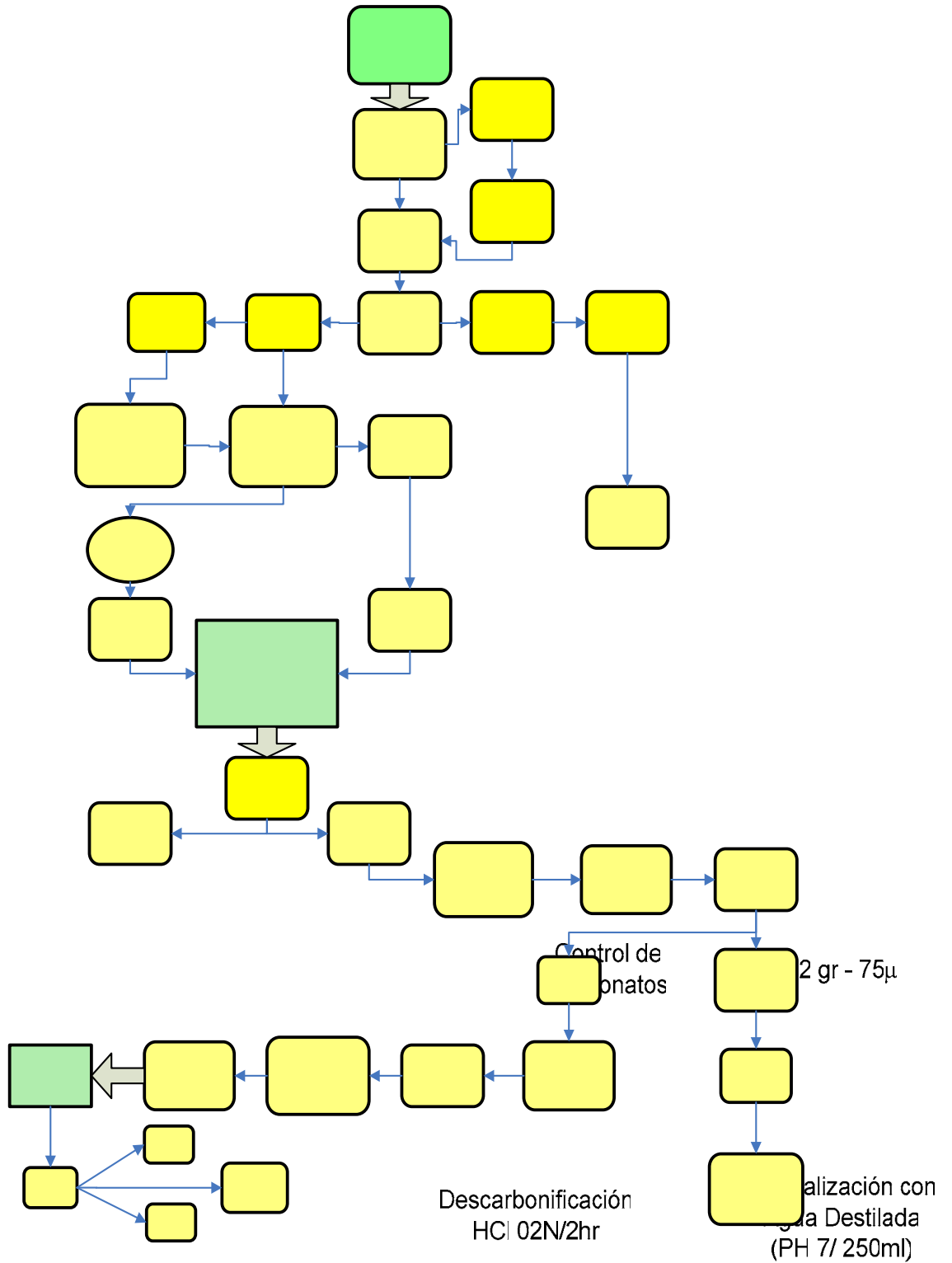
**Fase de Laboratorio.** Después de tomada la muestra se llevo al laboratorio para un posterior tratamiento, con el fin de seleccionar la fracción limo y arcilla, que corresponden a los minerales silicatados, los cuales nos darán información esencial sobre la relación que estos tienen con los procesos hidrogeológicos en la zona de estudio.

- Materiales.
  - Mortero de agata.
  - Tamiz (malla 100 y malla 200).
  - Bolsas para muestras (capacidad 12 gr).
  - Bolsas para testigos (capacidad 50 gr).
  - Frasco lavador.
  - Vaso de precipitado.
  - Pipeta de 25 ml.
  - Pipeta de 50 ml.
  - HCl (0.2 N).
  - Agua destilada (pH-7).
  - Amoníaco (NH<sub>4</sub>).
  - Botella de 30 plástica ml.

- Botella de 60 plástica ml.
  - Centrifuga.
  - Horno.
  - Portaobjeto petrográfico.
  - Etilenglicol.
  - Desecador.
  - Difractometro de RX.
  - Balanza de precisión.
- 
- Procedimiento.

El registro y la descripción de la muestra ya fue efectuado previamente durante la fase de campo, a partir de este punto el paso a seguir es tomar 50 gr de muestra; si la muestra no esta lo suficientemente seca se procede a realizar el secado de la misma en el horno a 80° C durante 2 horas (la temperatura y el tiempo de secado son los mas indicados para no alterar la composición original de la muestra). Con la muestra ya en optimas condiciones se procede a macerar en un mortero de agata para facilitar el proceso de tamizado (Figura 3); en el proceso de tamizado se emplean la malla de 100 para obtener 12 gr de muestra con un tamaño de 150  $\mu\text{m}$ , y la malla de 200 para obtener 12 gr de muestra con un tamaño de 75  $\mu\text{m}$ , estas muestras se etiquetaran y se empacaran en bolsas sellables, el sobrante de muestra durante este proceso es igualmente empacado y etiquetado como testigo en bolsas sellables con capacidad de 50 gr (figura 4). La muestra llevada a un tamaño de 150  $\mu\text{m}$ , se llevan al laboratorio de RX para realizar el tratamiento denominado “polvos desorientados”, donde la muestra será evaluada por el difractómetro, en un rango de longitud de onda establecido (2 $\theta$  - 30 $\theta$ ), con el fin de determinar mineralogías específicas como, el cuarzo, los feldspatos, y las arcillas; que representaran de manera semicuantitativa los diferentes tamaños de grano que hay en la muestra.

Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología generada



RE  
DES  
DE L

TO

MA

TA  
15

Figura 2. Etapa de macerado



Figura 3. Etapa de tamizado



Figura 4. Etapa de embalado y etiquetado



A la muestra llevada a un tamaño de 75  $\mu\text{m}$ , se le practica un control de carbonatos, el cual consiste en adicionar HCl con el fin de observar la reacción que esta tenga con el acido (efervescencia); si esta reacciona efervesciendo con el acido procedemos a realizar el tratamiento de descarbonificación con HCl (0.2N durante 24 horas).

Con la muestra en ausencia de carbonatos procedemos a la neutralización con agua destilada (pH – 7). (Figura 8)

Figura 5. Etapa de decarbonatización.



Para la neutralización con agua destilada, adicionamos los 12 gr de muestra en un vaso de precipitado y posteriormente agregamos agua destilada hasta completar 250 ml (Figura 8); seguido de esto mezclamos el contenido constantemente con un agitador hasta obtener una solución homogénea; en caso que la solución flocule, se deberá adicionar 3 o 4 gotas de  $\text{NH}_4$ , el cual se encargara de cambiar la polaridad de las partículas, para que se mantengan en suspensión. Esta solución se debe mantener en reposo durante 25 minutos, con el fin que por medio de la ley de Stoke se forme una columna de agua en donde las partículas de grano fino se concentren en la parte superior de la columna por simple sedimentación.

Transcurrido el tiempo de reposo se procede a pipetear los 25 ml superiores de la solución y se embasan en dos frascos de plástico con tapa. El restante se embasa en un frasco con tapa de 50 ml, el cual funcionara como testigo de la muestra. En caso que la muestra tenga materia orgánica se le debe adicionar 1 gramo de clifosfato de sodio y se debe agitar durante 20 minutos,

el cual se encargara de precipitar la materia orgánica y separarla del resto de la muestra, luego se debe seguir el proceso normal de suspensión de arcillas por sedimentación (ley de Stoke).

Los dos frascos con 25 ml de muestra se llevan a un proceso de centrifugación, (previamente se pesan en una balanza de precisión y se equilibran mediante la adición de agua destilada), a 40 RPM durante 10 minutos, en este proceso se selecciona la muestra en donde se extrae y se prepara una solución original de 50 cc, reduciéndose el tamaño de los granos en suspensión a  $15\ \mu\text{m}$  (Figuras 8, 9 y 10).

Figura 6. Etapa de pesado en la balanza de precisión



Figura 7. Etapa de centrifugación.



Figura 8. Preparación de solución original con adición de agua destilada hasta 25 ml.



Las dos botellas con solución original son empleadas para diferentes propósitos (Figura 9). Una será almacenada para post-tratamientos (saturaciones, ataque de ácidos, etc.). La botella restante se somete nuevamente a un proceso de sedimentación (ley de Stoke), durante 50 minutos. Luego de transcurrido el tiempo de suspensión, se extrae la fracción mas fina la cual presenta un tamaño de  $2 \mu\text{m}$ , y se encuentra acumulada en la parte superior de la columna de agua (los primeros 4 cc); esta será extraída con una pipeta de 25 ml, y esparcida de manera homogénea sobre un portaobjeto petrográfica el cual deberá encontrarse esmerilado para captar la muestra de manera uniforme (Figura 10). Esta se deja secar durante 7 horas a temperatura ambiente y de esta manera obtenemos una lámina con agregado orientado, la cual se analizara mediante una rutina básica para determinar el contenido mineralógico de las arcillas que la componen.

Figura 9. Botellas con solución origina



Figura 10. Muestra esparcida en portaobjetos.



La rutina básica consiste en manipular la lámina orientada mediante 3 procesos de la siguiente manera. El primer proceso se denomina tratamiento normal; consiste en someter la lámina original a la irradiación de RX por medio de un difractómetro con un rango de longitud de onda que varía entre  $2\theta$  y  $30\theta$ . El segundo proceso consiste en hidratar la muestra con etilenglicol; esto se realiza mediante la introducción de la muestra en un desecador y posteriormente llevándolo a un horno donde será sometido a una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$  durante 8 horas (el alcohol evaporado se incorpora dentro de los intersticios de las arcillas hidratándose y separándose). transcurrido este tiempo la lámina será sometida nuevamente a irradiación de RX con un rango que varía entre  $2\theta$  y  $20\theta$ .

El tercer y último proceso consiste en quemar la lámina con etilenglicol en el horno a una temperatura de  $500^{\circ}\text{C}$  durante 4 horas, con el fin de eliminar por completo la humedad que hay en la muestra para luego ser sometida a irradiación de RX en un rango variable de longitud de onda entre  $2\theta$  y  $20\theta$ .

Figura 11. Desecado de muestras.



El resultado de la rutina básica son 3 difractogramas diferentes, los cuales serán comparados entre si para determinar la mineralogía de la muestra, y así conocer sus características esenciales.

- **Análisis de resultados.** Dentro de los resultados obtenidos después de que las muestras son irradiadas con rayos X, se generan tres difractogramas (natural, etilenglicol y 500°).

Posteriormente se procede a realizar el análisis de estos difractogramas que consiste en definir los picos más sobresalientes, los cuales ayudan a

determinar los principales minerales de fracción arcilla presentes en la muestra tomada en campo de los diferentes perfiles de meteorización. Luego se procede a hacer la semicuantificación para lo cual se utiliza el difractograma de etilenglicol, ya que es allí donde se pueden determinar tanto las arcillas que son expansivas como las que no lo son; después los resultados de cada muestra se agrupan en un formato en el que se puede ver además de los porcentajes de los minerales arcillosos aspectos tales como: el número de la muestra, la ubicación geográfica, el tipo de roca parental y otras características que tienen que ver con la descripción realizada en campo.

Esta fase del proyecto se realizó con la dirección del Geo. Ph.D Rafael Duarte, experto en arcillas de INGEOMINAS y bajo los estándares de dicha institución. La preparación de las muestras se realizó en las instalaciones del edificio de hidráulica y en los laboratorios de la escuela de Geología.

Los análisis químicos e identificación de la mineralogía de las arcillas de cada muestra se desarrollaron usando una combinación de análisis granulométricos y difracción de rayos x.

Los análisis XRD serán realizados por el Grupo de Investigación en Química Estructural, Laboratorio de Difracción de Rayos X, adscrito a la Escuela de Química de la Universidad Industrial de Santander, que cuenta con un equipo Rigaku modelo D – MAX – III/B, usando una radiación  $\text{CuK}\alpha$  y una velocidad de  $1.2^\circ$  por minuto, la identificación cualitativa de las fases presentes en las muestras, se realizará mediante comparación de las reflexiones del perfil observado con las reflexiones de los perfiles de difracción reportados en la base de datos Powder Diffraction File del International Center for Diffraction Data (ICDD) utilizando el software respectivo.

En este proyecto se generó una metodología confiable para la preparación de estas muestras. El análisis preliminar de los resultados, establece ciertas características de meteorización de la cuenca.

## **2.5 FASE DE INTERPRETACIÓN DE DATOS**

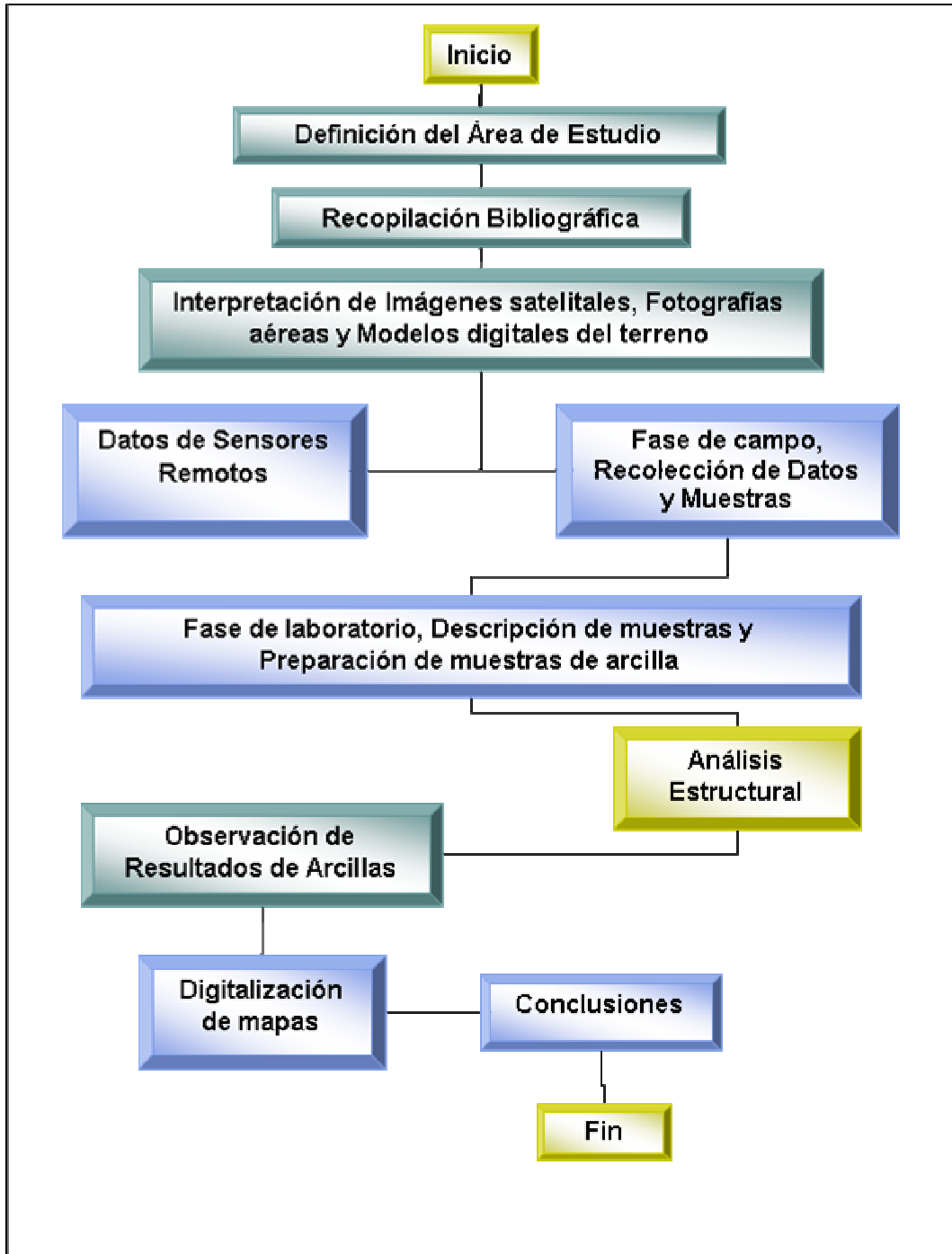
Durante esta fase se analizaron todos los datos geológicos recolectados, tales como datos estructurales, muestras de material no consolidado, estrías de falla, etc., con el propósito de generar la cartografía geológica del área de estudio y su correspondiente modelo preliminar de evolución geológica, además se llevaron a cabo estudios de diaclasas y estrías de falla en un software geoestadístico.

## **2.6 ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL**

Esta fase consistió en la edición y entrega del informe final del proyecto de grado, para lo cual se contó con toda la información recolectada por todo el equipo de campo (libretas de campo, catalogo de muestras, fotografías) y con la asesoría de los diferentes profesionales que participaron en el proyecto, además se generaron los diferentes mapas digitales de la zona, en el software AUTOCAD.

La metodología usada en el proyecto ha sido integrada en un diagrama de flujo, el cual se presenta a continuación (Figura 12).

Figura 12. Proceso general para el desarrollo del proyecto.



### **3. GENERALIDADES**

**CUENCA DE RIO FRIO PARTE ALTA, QUEBRADA MENSULI PARTE ALTA Y QUEBRADA ZAPAMANGA PARTE ALTA.** El presente capítulo muestra de manera general, aspectos de la zona como la ubicación, infraestructura vial, rasgos naturales.

#### **3.1 LOCALIZACIÓN**

El área de estudio está ubicada en la región de la Cordillera Oriental de los Andes, en el Nororiente de Colombia, hace parte del Macizo de Santander, la zona en estudio hace parte del grupo de microcuencas que conforman la Cuenca del Río de Oro, esta última pertenece a la cuenca superior del Río Lebrija (C.S.R.L), en el departamento de Santander (Colombia) (Figura 13).

El presente estudio se centra en la parte alta de la cuenca del Río Frío, la parte alta de la cuenca de la Quebrada Mensuli y la parte alta de la cuenca de la quebrada Zapamanga; La figura 13 presenta la ubicación de la zona de estudio dentro del contexto de la cuenca del Río de Oro y a su vez del departamento y del País, lo que permitirá tener una idea más completa de su ubicación geográfica, dicha zona está delimitada por las coordenadas 1.283.000 a 1.268.000 Norte y 1.120.000 a 1.108.000 Este (Figura 14). Esta zona corresponde en su mayor parte al municipio de Florida y en menor proporción a los municipios de Bucaramanga y Piedecuesta, la zona a estudiar limita al sur oeste con la meseta de Bucaramanga; al norte con la cuenca del Río Tona y limita al oriente y sur oriente con la Cuenca del Río Lato. Sus alturas sobre el nivel del mar varían entre los 1050 y 3075m.

Figura 13. Ubicación General. Parte alta de la cuenca Río Frío. Y sus Microcuencas Mensuli y Zapamanga.

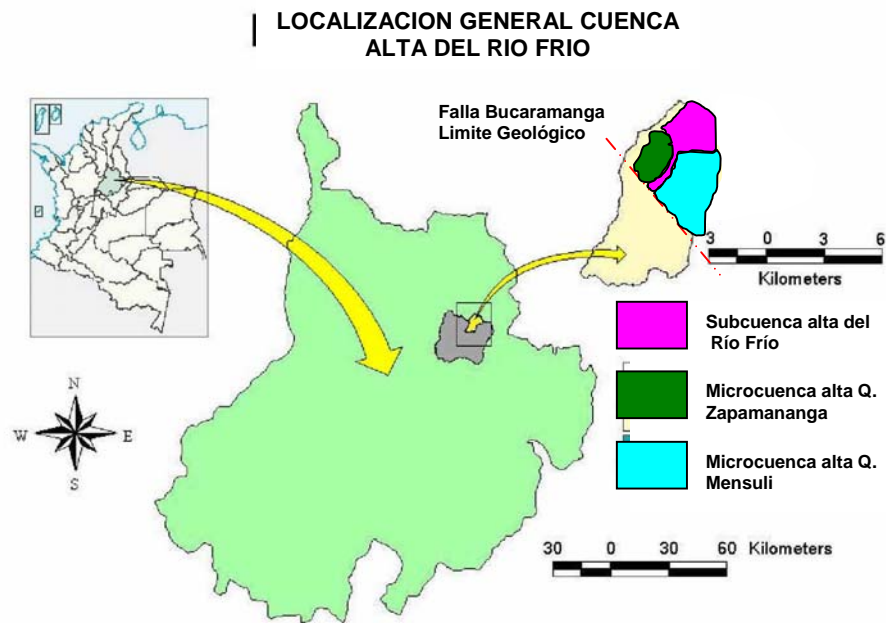
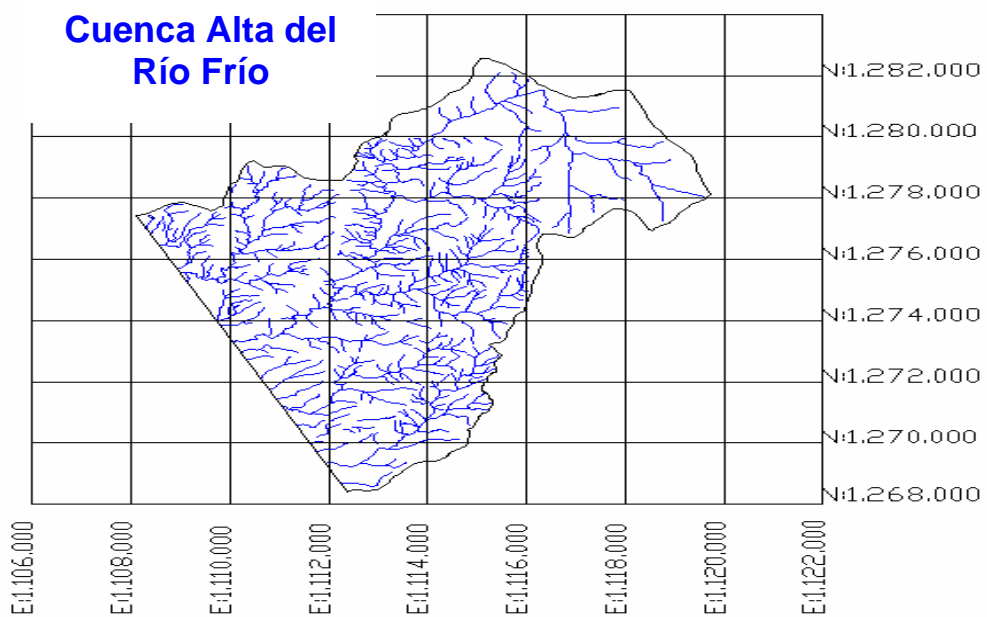


Figura 14. Zona de Estudio, el área mostrada corresponde a las cuencas a estudiarse, Cuenca Parte Alta del Río Frío, Mensuli y Zapamanga



### **3.2 VÍAS DE ACCESO**

El área se ubica al Oriente de la Ciudad de Bucaramanga (Santander), y la principal vía de acceso es la carretera que conduce de Bucaramanga a Cúcuta (Norte de Santander) y cruza el área en estudio por el costado noroccidental.

Los carretables que se desprenden de la vía Bucaramanga a Cúcuta son también usados en este estudio, algunos lugares de la parte oriental montañosa se estudiaron por caminos de herradura, especialmente en reservas forestales o en zonas de bosques primarios, que constituyen zonas de difícil acceso.

Los carretables que conducen del área Metropolitana a veredas como Casiano alto, Casiano bajo, Aguablanca, La judía, Vericute, Guayana, Alsacia y Helechales, constituyen los principales accesos a la zona.

### **3.3 CLIMATOLOGÍA**

Debido a la posición fisiográfica y a la topografía quebrada de la zona montañosa, cuya altitud oscila entre los 800 y 3.000 metros sobre el nivel del mar (msnm), la altura es un factor determinante en las condiciones climáticas del Area. Este aspecto contribuye a la formación de diferentes pisos térmicos, cuya distribución porcentual de área es Variada.

En general el clima de la zona, es catalogado como cálido moderado, con una temperatura promedio de 23 °C, con dos periodos lluviosos y dos secos: el lluvioso comprende los meses de marzo, abril y mayo, para la primera época, y septiembre, octubre y noviembre para la segunda. Las épocas

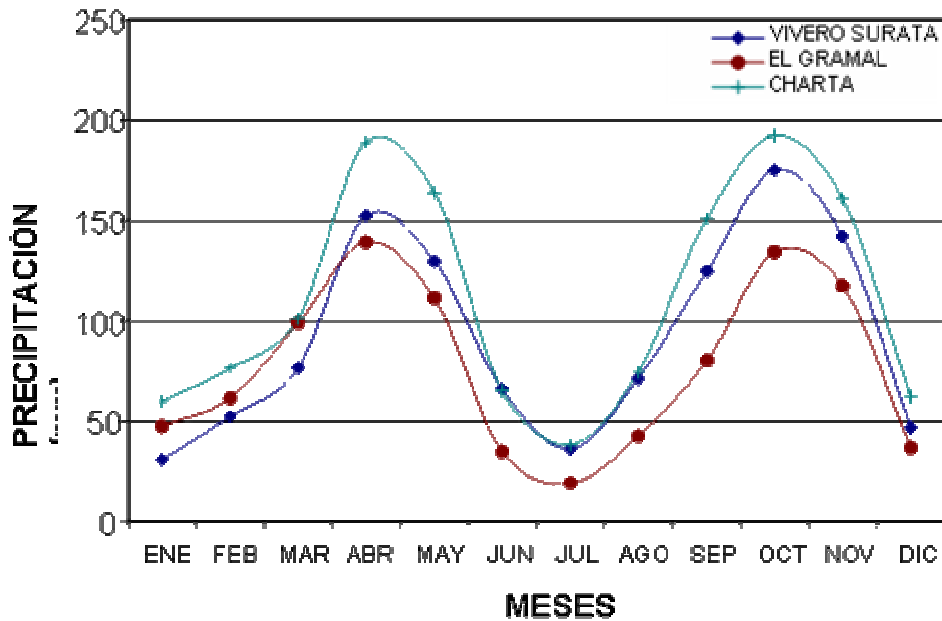
secas están determinadas por los meses de diciembre, enero y febrero y los meses de junio, julio y agosto.

**3.3.1 Régimen de vientos.** Los vientos en esta zona son influenciados por los vientos Alisios del noroeste, que descargan su humedad sobre el macizo de Santander. Durante el día los vientos soplan del valle hacia la montaña y en las noches se invierte la dinámica. La velocidad promedio del viento en el Area es de 0.7 km/h, con máximas de 1.68 km/h registradas en 1982.

**3.3.2 Temperatura.** La temperatura promedio anual es de 22.8°C, el gradiente de temperatura (variación de la temperatura según la altura) es de 0.7°C por cada 100 metros que se asciende; aunque los factores como el tipo de suelo, la vegetación y la proximidad de centros poblados afectan también la temperatura.

**3.3.3 Precipitaciones.** Las precipitaciones máximas mensuales para la zona en estudio son de 175.1 milímetros (mm) y se registran en el mes de abril, en tanto que los meses de menor precipitación son agosto y diciembre cuando alcanza sólo los 86.7 mm (Figura 15) . En resumen, el promedio anual de precipitación para el Municipio es de 1.568 mm. Las precipitaciones varían con la altura: pasan de convectivas, en el piedemonte, a orográficas en los climas medios, y posteriormente pasan a precipitaciones horizontales en la zona más alta (3.000 msnm), con un decaimiento sustancial del volumen.

Figura 15. Variación de la precipitación anual en la zona de estudio Modificado de Mendoza, C., y Sandoval, R. 2002.



**3.3.4 Humedad.** La humedad relativa en promedio para el Area es de 87.9% de acuerdo con los registros de las estaciones meteorológicas del área. La evapotranspiración en el área varía entre los 59,14 y los 61,29 mm/ mensual con un promedio de 726,28 mm/ año, lo cual define un balance de agua a favor del suelo.

El promedio de brillo solar es de 38.3%, éste permanece por más horas en los meses correspondientes al periodo seco (diciembre y enero) y se reduce en los periodos lluviosos (abril y mayo); en los cuales aumenta la productividad de las especies vegetales, debido a la mayor disponibilidad de agua en el suelo.

**3.3.5 Zonas climáticas.** En el Area se encuentran las zonas bioclimáticas en el cual se observan isoyetas e isotermas. Las isoyetas ubican sitios de igual precipitación y las isotermas, sitios de igual temperatura. El área de mayor precipitación está ubicada sobre el cerro La Judía y disminuye hacia la zona del valle de Río Frío. En cuanto a las isotermas, éstas marcan las tres zonas climatológicas de la zona son: piso cálido, piso premontano templado y piso montano bajo frío. Según la clasificación climática de Holdridge, en Floridablanca se presentan las siguientes zonas:

**Tropical cálido.** Esta zona climática se ubica en el piedemonte del macizo de Santander, entre los 750 y >1.250 msnm y corresponde a las zonas de los valles de Río Frío bajo, Aranzoque – Mensulí, el casco urbano del Municipio de Floridablanca y la mesa de Ruitoque. Es la zona de transición entre el valle del Magdalena medio y la Región Andina propiamente dicha y se caracteriza por ser ondulada o quebrada. Su temperatura varía entre los 23 y 36 °C, es la zona de transición de las lluvias de tipo convectivo a orográfico; el brillo solar está comprendido entre las isolíneas 1.000 y 1.400 hora/año; la humedad relativa es superior al 80% y los índices de aridez son cercanos a cero.

**Premontano Templado.** Esta región contiene el piso térmico medio, se localiza entre los 1.250 y los 2.250 msnm, en la zona rural de Floridablanca, sobre la parte baja y media del macizo de Santander. Las precipitaciones son de carácter orográfico y oscilan entre los 1.800 y 2.300 mm; los valores de brillo solar son bajos y oscilan entre las isolíneas 1.000 y 1.400 hora/año.

**Montano bajo-Frío.** Esta zona está conformada por el piso térmico frío, se localiza entre los 2.250 y los 3.000 msnm, corresponde a los cerros más elevados en el Macizo como son la Judía, Morro Negro y Ventanas. Se caracteriza por presentar precipitaciones horizontales, las cuales forman las

lluvias de bosques nublados y guardan una alta humedad en la atmósfera que alcanza valores de humedad relativa superiores al 85%. Su baja evapotranspiración potencial determina el índice de aridez cercano a cero, lo que demuestra una disposición alta de agua en el suelo. La temperatura promedio varía entre los 15 y 6°C.

### 3.4 HIDROGRAFÍA

Floridablanca pertenece a la cuenca superior del río Lebrija, la cual, en el Municipio, se encuentra dividida en dos cuencas que son Río Frío y Río de Oro bajo medio. La primera está conformada por las microcuencas de Río Frío bajo, Río Frío alto, Zapamanga y Aranzoque Mensulí; y la segunda, por parte de la microcuenca de Ruitoque. De las cuencas, la de Río Frío es la principal fuente hídrica del Municipio( Tabla 1.1.).

**Tabla 1.** Cuencas del municipio de Floridablanca.

<b>Cuenca</b>	<b>Microcuenca</b>	<b>Caudal (l/sg)</b>	<b>Área infl.(ha)</b>	<b>Afluentes</b>	<b>Uso</b>
Río Frío	Río Frío alto	0.40	3.658	Dos Aguas Agua Blanca	Acueducto Acueducto
	Río Frío bajo	0.15	2.088	La Bejuca	Agropecuario
				La Carbona Ruitoque	Agropecuario Agropecuario
	Zapamanga	0.19	1.214	San Antonio La Cascada	Acueducto– Agropec.
Aranzoque - Mensulí	0.19	1.540	La Despensa Suratoque	Agropecuario Agropecuario	
Río de Oro bajo medio	Ruitoque	-	3.284	La Guayana El Roncador	Acueducto – Agropec. Acueducto- Agropec.

Fuente: CDMB – UMATA, Floridablanca 1996.

La fisiografía del Municipio ocasiona dos comportamientos diferentes de las corrientes principales; uno de bajos caudales y altas energías, con formación de cascadas, hacia los nacimientos por efecto de la pendiente en el Macizo; y otro de corrientes más caudalosas de menor energía hacia las partes bajas en el valle.

En el paso de corriente de un sistema al otro se presenta la zona de descarga donde se deposita la mayor parte del material que es arrastrado desde el Macizo.

La mayor parte del municipio de Floridablanca se encuentra enmarcado por la cuenca del río Frío, que lo provee de importantes fuentes del recurso hídrico, el cual es subutilizado debido a su uso indiscriminado. El Municipio posee un área de infiltración y de acuíferos, definida como un ecosistema estratégico y denominada la "Estrella Fluvial del Pico la Judía" según la CDMB. Este sitio geográfico se caracteriza por presentar relictos de bosque de niebla, correspondientes a la formación Andina, que se encargan de la captación del agua y de la conservación y protección del suelo (CDMB, julio 8, 1999).

El cauce de Río Frío nace en una elevación de 3050 msnm en el sitio conocido Como La Corcova en las divisorias de agua con los ríos Tona y Lato recorriendo una longitud total de 30.1 Km. uniéndose con el Río de Oro en la zona sur occidental de la meseta de Bucaramanga, siendo la parte alta de Río Frío la zona con mayor receptibilidad de agua sobre la cuenca y posiblemente una zona de un alto valor de recarga subterránea.

## **4. ANTECEDENTES**

En este capítulo se presenta un resumen de los artículos, libros y textos recopilados en la fase pre-campo. Con esta misma información como referencia, se presenta igualmente el marco geológico regional del área de estudio, además de estudios cartográficos a escala detallada, y otros estudios relacionados con el objetivo principal del presente proyecto.

### **4.1 ESTUDIOS ANTERIORES**

Los estudios hidrogeológicos en Colombia se inician a partir de 1950 con el fin de plantear soluciones de abastecimiento de agua potable en algunas poblaciones del país. Durante esta primera década los principales trabajos hidrogeológicos se llevaron a cabo en los departamentos de Valle del Cauca, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Huila, Córdoba y Antioquia. En los años 60, se continuó con este tipo de estudios en algunas poblaciones de los departamentos de Tolima, Bolívar, Santander y Caldas, así como otros complementarios en Boyacá y Valle del Cauca. A partir de la década del 70 y mediante convenios y contratos interinstitucionales y de cooperación técnica internacional entre los gobiernos de Holanda (The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research - TNO) y Colombia (Departamento Nacional de Planeación (DNP)), el INGEOMINAS empezó a realizar estudios sistemáticos de carácter regional. Se llevó a cabo la exploración de aguas subterráneas en el Departamento del Valle del Cauca, en el Valle Medio del Magdalena y en la zona noroccidental de la Sabana de Bogotá.

En los años 80, continuaron los estudios regionales con la cooperación de la TNO y se realizó la exploración de aguas subterráneas en Cúcuta, en los Valles de Ubaté y Chiquinquirá, en la Media y Alta Guajira, en los

departamentos de Atlántico y Bolívar, en el noreste de Urabá y en la Isla de Mompós. A través de convenios interinstitucionales se adelantaron estudios hidrogeológicos en algunos municipios de los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Tolima. Adicionalmente, se llevaron a cabo estudios locales para perforar pozos de abastecimiento en los departamentos de Córdoba, Magdalena, Guajira y Bolívar. En los años 90, a través de convenios con el Corpes-Costa Atlántica, las corporaciones autónomas regionales, los entes territoriales y algunas empresas de servicios públicos, se realizaron evaluaciones hidrogeológicas en el Valle del Patía, la Sabana de Bogotá, el Urabá antioqueño, los departamentos del Huila, Cesar, Tolima, Magdalena, Sucre, Córdoba y la isla de San Andrés.

A partir de la necesidad de desarrollar nuevas técnicas de exploración y explotación del recurso hídrico se han realizado estudios para definir diferentes tipos de modelos hidrogeológicos, entre ellos, modelos conceptuales que tienen como base fundamental la geología y los aspectos hidrológicos. Algunos de los trabajos más representativos en este campo realizados en Colombia se comentan a continuación:

Durante 1999 se hizo una propuesta de un modelo hidrogeológico conceptual a partir de la caracterización física de la cuenca del Río Pamplonita con énfasis en las áreas de Cúcuta y Villa del Rosario por Argemiro Ramírez, como tesis de maestría de la Universidad Industrial de Santander, donde se evaluó dentro de un modelo conceptual los elementos físicos que influyen en la cobertura vegetal, permeabilidad de los suelos, de los sistemas hidrológicos superficiales y de las unidades hidrogeológicas que conforman el comportamiento dinámico del régimen hídrico en la cuenca del Río Pamplonita.

En el año 2001, se realizó una tesis de postgrado de la Universidad Nacional de Colombia, donde se delimitan las zonas hidrogeológicas de Colombia a escala 1:1.200.000 por Nelson Omar Vargas Martínez, a partir de un modelo geológico del subsuelo, siguiendo las normas y estándares fijados por la Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Se definen 16 cuencas hidrogeológicas que alojan sistemas acuíferos multicapas con condiciones favorables para su explotación las cuales abarcan el 74% de la extensión total del territorio nacional. Los mapas obtenidos se acompañan de cortes hidrogeológicos que le dan tridimensionalidad a las representaciones e ilustran la geometría y potencialidad acuífera de las unidades propuestas.

En 2004 se presentó el trabajo de un modelo conceptual del sistema acuífero del bajo Cauca antioqueño, realizado por Teresita Betancur V. Et al, estudio con el cual se logró definir un modelo conceptual de los acuíferos de la región a partir de la evaluación hidrogeológica entre los municipios de Caucasia y Cáceres en el bajo Cauca antioqueño (Corantioquia, Universidad de Antioquia 2003). La construcción de este primer modelo para esta zona utilizó metodologías de evaluación hidrológicas tradicionales y validadas en todo el mundo, también para el procesamiento de la información se hizo uso de las mejores herramientas geoinformáticas y se desarrollaron módulos de aplicación dentro del software para Sistemas de Información Geográfica, SIG, ArcView.

En los últimos dos años se han realizados trabajos como: “Modelación de acuíferos para el aprovechamiento sostenible del agua subterránea”, estudio realizado por EIDENAR- Grupo de Aguas Subterráneas, Universidad Nacional de Colombia, donde se presenta un modelo de simulación hidrogeológica para el acuífero comprendido en la zona plana de los municipios de Tuluá, San Pedro y Buga (Valle del Cauca – Colombia).

Inicialmente se partió de un modelo conceptual ajustado a las características y condiciones del acuífero, construido con base en información real tomada de campo. La modelación se realizó mediante la utilización del programa Visual Modflow, el cual utiliza el método de diferencia finita, consiguiendo un buen ajuste en la diferencia entre los niveles piezométricos medidos y calculados, y a su vez un bajo error de calibración. Y el estudio titulado “Un modelo conceptual de recarga en acuíferos de Bucaramanga a partir de rasgos hidrogeológicos y uso de isótopos estables del agua” por la doctora Sully Gómez, en donde se plantea un primer modelo conceptual de recarga a acuíferos a partir del estudio de los rasgos geológicos estructurales e hidrológicos mas importantes.

Los trabajos geológicos a detalle realizados en el área de estudio son pocos. A continuación se resumen los aspectos más relevantes de aquellos trabajos que guardan relación directa con los objetivos de la presente investigación.

En la zona de estudio se han realizado trabajos, principalmente relacionados con estudios geotécnicos y petrográficos, de los cuales para este documento se puede resaltar el informe realizado por González, G., y Quintero, M., (1990), quienes identificaron patrones de fracturamiento asociados a la Falla de Bucaramanga en el sector de Piedecuesta - Río Suratá, para determinar riesgos geológicos en el área.

Otro informe importante de resaltar es el realizado por Pinto, J., y Téllez, G.,(1999), en donde se interpretan los rasgos geotectónicos asociados al Sistema de Fallas Bucaramanga – Santa Marta en el Departamento de Santander, mediante el procesamiento digital de imágenes de radar y satélite con Sistemas de Información Geográfica (SIG).Uno de los estudios geotécnico llevado a cabo en la zona de estudio, corresponde a la

Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga, realizado por la Subdirección de Amenazas Geoambientales del Ingeominas (INGEOMINAS, 2001).

Teniendo en cuenta la influencia directa del Sistema de Fallas Bucaramanga-Santa Marta en la zona de estudio, se ha relacionado toda actividad neotectónica a este sistema de fallas, cuya caracterización se ha basado principalmente en el análisis morfotectónico de rasgos morfológicos de las unidades pre-cuaternarias, por medio de fotografías aéreas e Imágenes Satelitales y conscientes de la necesidad de definir y refinar información que sea útil a la hora de proponer direcciones de esfuerzo, la escuela de Geología de la UIS ha venido desarrollando desde 1990 una serie de trabajos de grado que servirán como base a este proyecto, sumados a trabajos de carácter mas regional de los cuales se han hecho aproximaciones a las direcciones de los esfuerzos principales generadores de todas las estructuras de la zona.

En 1990, Gonzáles y Quintero desarrollaron el proyecto “Patrones de Fracturamiento Asociado a la Falla de Bucaramanga Sector Piedecuesta – Río Suratá”, obteniendo un análisis estructural de la zona, a partir del cual definieron un patrón subparalelo y ramificado con fallas conjugadas sintéticas, además una geometría de franja alargada, característica de fallas de rumbo. Parte de la metodología de trabajo incluía la construcción de diagramas de rosetas e histogramas de las direcciones principales de fracturamiento, agrupando cada 10° estas trazas, se obtuvieron 1332 medidas de fracturas.

Por otra parte, Beltrán y Rey 2002 en su trabajo de grado titulado “Comportamiento Estructural Asociado a La Falla Bucaramanga – Santa Marta Y Fallas Satélites, Localizados En La Sección Piedecuesta – Río

Suratá” donde se procedió a estudiar el comportamiento estructural en la zona de estudio, como se explica a continuación: Se graficaron 896 de 960 datos de diaclasas, en un diagrama de polos a partir del Georient versión 7.2 , para identificar la dirección de buzamiento preferencial en la zona, también se representaron gráficos circulares de frecuencia en Excel 97, del total de datos de diaclasas con relleno y sin relleno, y de dirección de buzamiento, así como histogramas de frecuencia en donde se representó el espaciamiento entre diaclasas

Con el fin de encontrar orientaciones locales del buzamiento, a partir de pequeños grupos de familias de diaclasas, se llevó a cabo la sectorización del área de trabajo. Los sectores se definieron como las áreas dentro del Neis, delimitadas hacia el Norte y hacia el Sur, por fallas dextrales, su numeración aumenta de Norte a Sur con un total de 5 sectores; cada uno fue definido en zonas separadas entre sí por las Fallas paralelas y conjugadas, cuya numeración aumenta de Oeste a Este, completando hasta 5 zonas en un Sector. A su vez algunas zonas se separaron en grupos, debido a la densidad de datos de diaclasas presentes como se presenta a continuación (figura 16).



Por otro lado, en el año 2003 y siguiendo con la línea de investigación en recursos hídricos del Grupo en Predicción y Modelamiento Hidroclimático, el estudiante de la escuela de Geología, Otoniel Vergara desarrolló el proyecto de grado “Prospección Geológica Para Aguas Subterráneas En Rocas Cristalinas Fracturadas Del Macizo De Santander, Sector Oriental De Bucaramanga” cuyo principal interés se basó principalmente en el conocimiento de la forma, extensión y distribución de las fracturas presentes en el área, dejando de lado los aspectos mecánicos y causantes de la deformación. Para cumplir con este objetivo inicialmente se realizó un estudio fotogeológico y posteriormente un análisis estadístico de lineamientos fotogeológicos y de la red de drenaje, así como un análisis de la topografía, tanto teóricamente, como con datos tomados directamente en afloramientos.

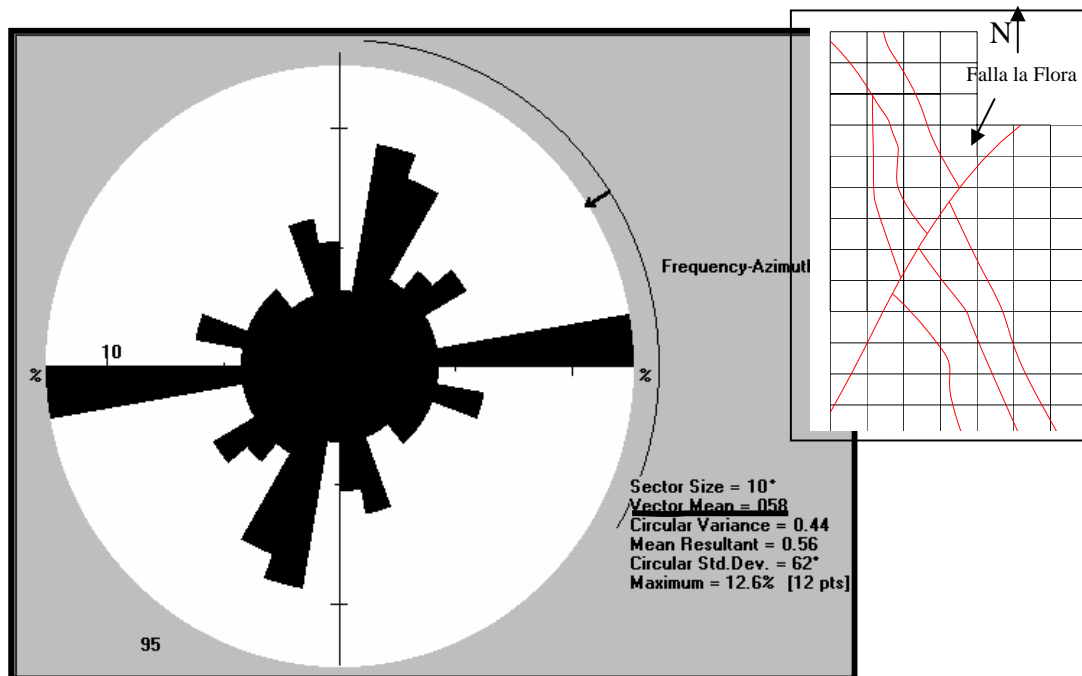
Como primera fase del trabajo de grado se efectuó un análisis topográfico del cual se pudo concluir que las curvas de nivel presentan dos direcciones predominantes, NNE-SSW y NW-SE. La topografía está controlada estructuralmente por la dirección general de la Cordillera Oriental (NNE-SSW) y localmente está desplazada por fallas de rumbo. Las direcciones de los ejes de los cerros son dos, una dirección principal NW-SE, que se observa claramente en el sector de mayores alturas al este del área, en el filo donde se ubican los Barrios Buenos Aires y Buena vista, estas direcciones también se observan hacia la parte central del área en las estribaciones de los cerros. Esta dirección es paralela a la falla de Bucaramanga y la falla de Miramanga. La otra dirección de los ejes de los cerros es NE-SW, paralela a la dirección de la falla la Flora y por último se define un avanzado estado de deformación estructural, con cambios bruscos en la dirección de los cerros, intersección de direcciones y un visible control en el drenaje, con diferentes direcciones preferenciales.

A partir del estudio estereoscópico de fotografías aéreas también se definieron rasgos claves como lo son las tres direcciones principales de lineamientos fotogeológicos, dos de las cuales se correlacionaron con fallas principales durante la etapa de campo y la tercera dirección se dejó como lineamiento fotogeológico. La primera dirección es aproximadamente NS, la cual coincide con las fallas paralelas al trazo de la falla principal Bucaramanga-Santa Marta, estas fallas paralelas (Bucaramanga-Santa Marta, Morrórico y Miramanga) se reconocen fotogeológicamente por los escarpes de falla, drenajes rectos, cambios de pendiente, colinas alineadas, sillas de falla y charcas de falla. La segunda dirección es la NE-SW y corresponde al trazo de la falla la Flora, la cual se reconoce fotogeológicamente por la angularidad de la red fluvial, ganchos de falla, valles lineales, lomos de presión. Es importante resaltar, el desplazamiento sinextral de la falla La Flora, cuyo movimiento afecta a las fallas paralelas. Más hacia el sur, el trazo de la quebrada La Iglesia se identifica como un lineamiento fotogeológico de dirección NE-SW. La tercera dirección (SE-NW) no fue correlacionada en campo con ninguna falla principal, fotogeológicamente se identifica por valles lineales, algunos escarpes de falla y algunos deslizamientos.

La fase de campo se desarrolla con el fin de realizar el análisis geoestadístico de las diaclasas aflorantes en la zona y generar una relación estructural con las fallas presentes en el área, además se calcula un valor aproximado de densidad de fracturas que permite visualizar el grado de fracturamiento presente, y por último, se grafica un diagrama de frecuencia de los diferentes rellenos encontrados en la zona.

Los datos que se procesaron fueron tomados directamente en la etapa de campo sobre los cuerpos ígneos y metamórficos presentes en la zona de estudio. A partir del análisis geoestadístico de todos los datos se proponen los siguientes campos de distribución de las fracturas:

Figura 17. Diagrama de Rosetas para el sector oriental de Bucaramanga. (Tomada de Otoniel y Vergara 2003)



Además se define que las diaclasas en la zona presentan una inclinación de buzamiento de 59°, orientados hacia el SE (Figura 6). Este dato revela la capacidad que tienen las diaclasas para retener el agua que se infiltra por los planos de las mismas y además, este ángulo de inclinación permite proyectar a profundidad la intersección entre diaclasas, las cuales hacen factible la interconexión entre planos, facilitando una conexión hidráulica.

Como conclusión general se puede definir que la región del Macizo de Santander en contacto con los Municipios de Tona, Piedecuesta, Floridablanca y Bucaramanga, presenta rasgos geomorfológicos característicos de zonas con actividad tectónica reciente, causada por el movimiento del Sistema de Fallas Bucaramanga – Santa Marta. Dicha actividad ha producido un importante replegamiento y diaclasamiento sobre el Macizo, generando en la zona un alto grado de fracturamiento y por tanto

un aumento en la porosidad secundaria. Esta característica es importante, si se toma en cuenta que el Macizo constituye un relieve montañoso aledaño a las rocas Mesozoicas y Cenozoicas ubicadas hacia el Oeste del área de estudio y por tanto puede considerarse como una roca cristalina conductora de agua subterránea, que conforma sistemas de flujo, por lo tanto, el desarrollo de este proyecto se constituye como pieza fundamental a la hora de vincular toda la información aquí consignada junto con los resultados de el programa de exploración básica que se llevaran a cabo en las próximas fases y que servirán como soporte técnico a las autoridades ambientales y territoriales en sus planes de exploración detallada y abastecimiento a la comunidad.

Trabajos realizados por la escuela de ingeniería civil y a cargo del GPH analizan la zona desde el punto de vista hidrológico, Gómez y López (2005) analizaron el comportamiento de la recarga mensual por medio del modelo conceptual de tanques distribuido SHIA calculando las diferentes componentes del ciclo hidrológico en cada una de las celdas del modelo digital de elevaciones de la cuenca incluyendo el cálculo de transferencia a las celdas vecinas y al sistema de drenaje superficial. Este modelo se aplico en la parte alta de la cuenca de Río Frío la cual hace parte de la cuenca de Río de Oro.

## **5. RESULTADOS**

En el presente capítulo presentamos los datos obtenidos en este estudio, separando estos en subcapítulos de la siguiente forma: Teledetección y Geomorfología, Estratigrafía, Geología Estructural, Análisis Estructural y Arcillas.

### **5.1 TELEDETECCION Y GEOMORFOLOGIA**

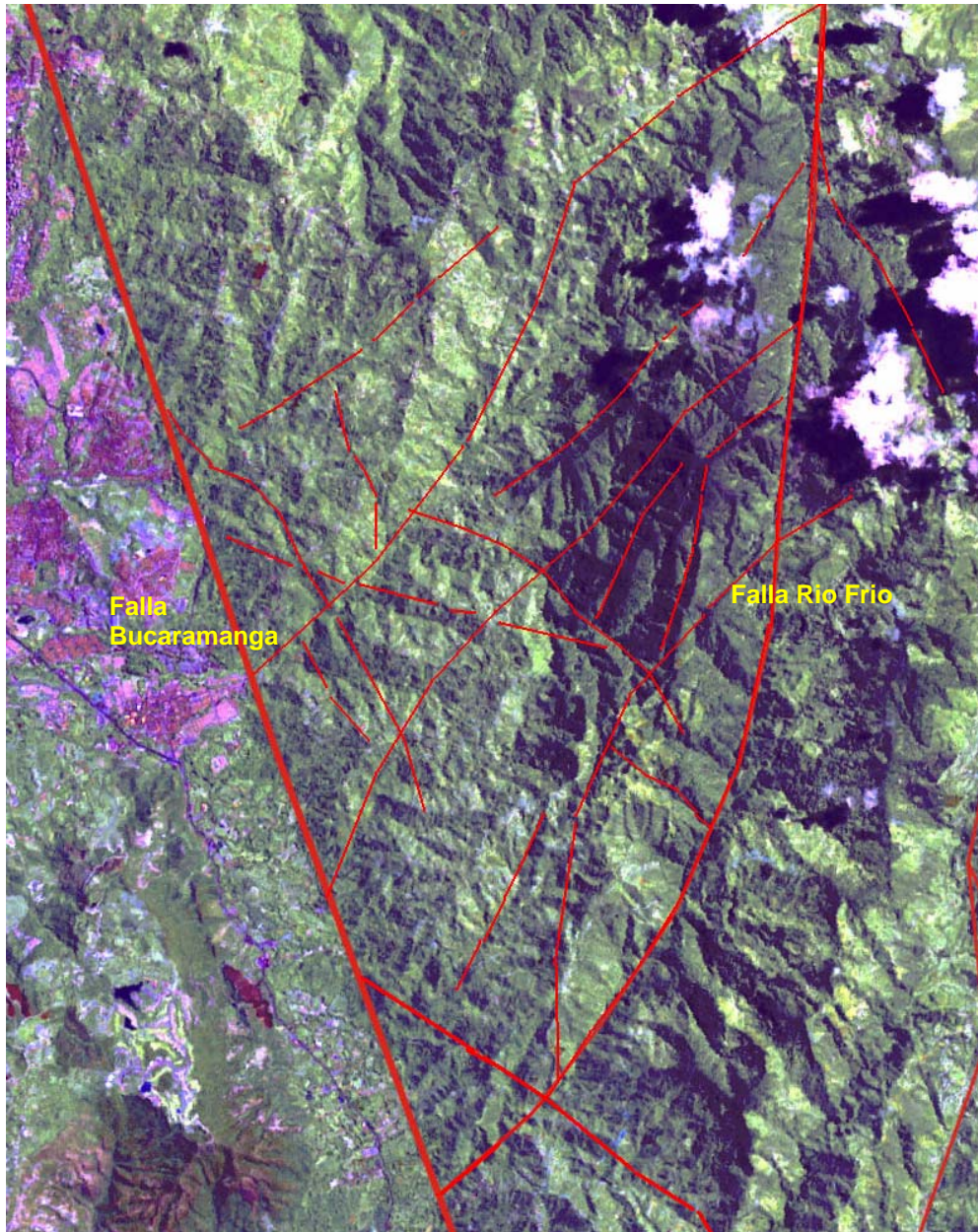
En esta sección se presentan los datos obtenidos mediante el análisis de fotografías aéreas disponibles para la zona de estudio, imágenes satelitales y modelos digitales del terreno y su integración.

En primer lugar se realizó el análisis fotogeológico del área de trabajo con el fin de identificar y delimitar unidades de roca, rasgos estructurales y en este caso la caracterización de las diferentes unidades presentes en la zona.

Para la determinación de las unidades fotogeológicas y lineamientos existentes en la zona de estudio, se utilizaron fotografías aéreas a diversas escalas y de diferentes vuelos que cubren parcialmente el área. Para la interpretación de imágenes satelitales se usaron imágenes tipo Landsat 7 ETM+, también se procesó la cartografía digital de la zona de estudio y se generó un modelo digital del terreno en el software SURFER 8.

Para interpretar las imágenes de satélite y obtener los lineamientos estructurales más representativos del área de la plancha se aplicaron a las imágenes filtros en las direcciones NS, EW, NE y NW. La aplicación de estos filtros permitió resaltar direcciones de lineamientos presentes en el área (Figura 18).

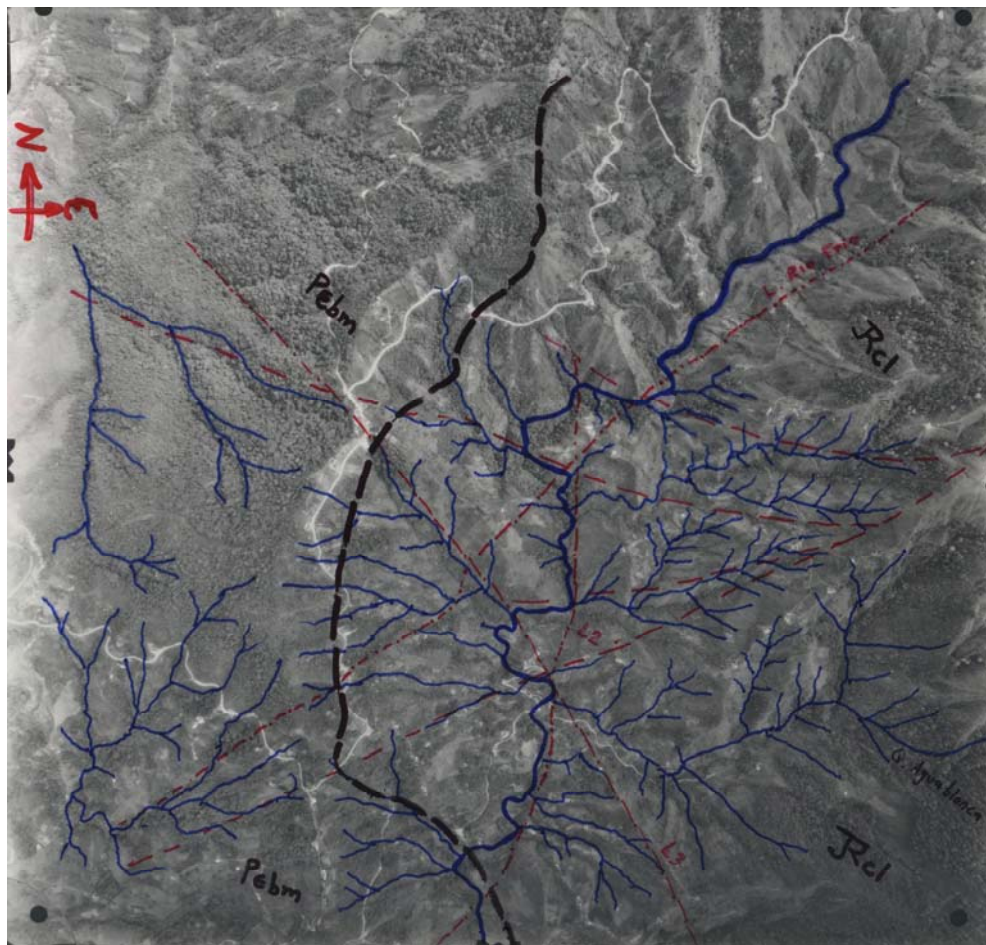
Figura 18. Imagen de satélite con algunos lineamientos trazados y fallas identificadas en la Cuenca alta del Río Frío y sus alrededores. Se aprecian las Fallas: Bucaramanga, Mensuli, Río Frío, Casiano y La Corcova. Imagen Landsat 7 ETM+.



La identificación de las diferentes unidades fotogeológicas y de rasgos geomorfológicos presentes en las fotografías se realizaron basados en los tonos, texturas, patrones de drenajes y rasgos geomorfológicos

característicos en cada una de ellas (VILLOTA, 1991) También se identificaron algunos lineamientos estructurales siguiendo la alineación de colinas, drenajes y pequeños cuerpos de agua presentes en el área de la cuenca alta del Río Frío (Figura 19).

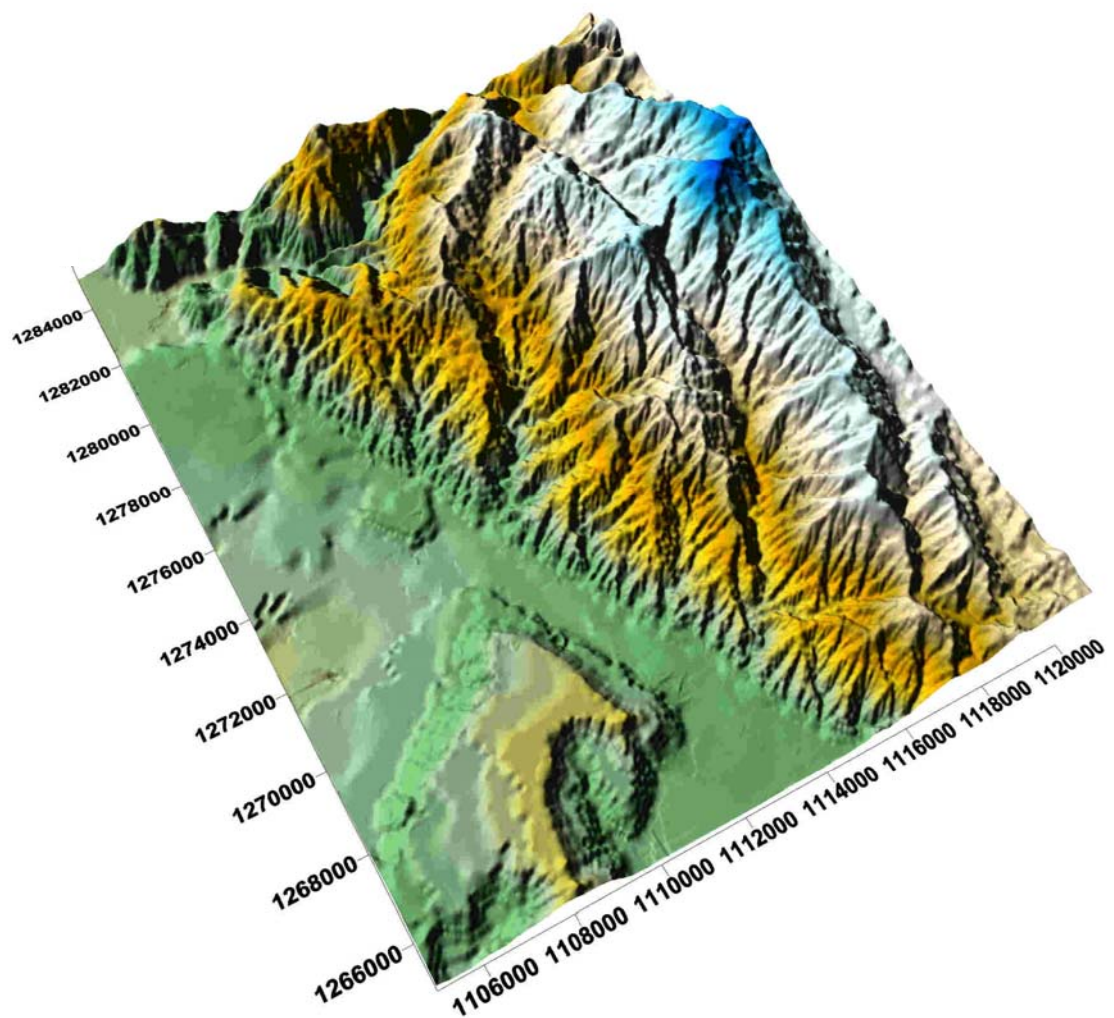
Figura 19. Fotografía aérea de la Vereda Aguablanca, se muestran drenajes, lineamientos y unidades fotogeológicas.



Con base en las planchas topográficas digitalizadas de la zona se genero un modelo de elevaciones del terreno (figura 9) (FELICÍSIMO, A. 1994), este Modelo Digital del Terreno (MDT) al ser generado, puede ser modificado, ya sea con exageraciones verticales o vistas desde diferentes ángulos, lo cual

permite generar lineamientos o detectar cambios drásticos en la topografía, así se generan datos de lineamientos y fallas en el área. Además mediante recorridos en campo por diferentes sectores de la zona de estudio y vistas panorámicas en zonas estratégicas del área se pudieron establecer los estilos geomorfológicos principales que dominan la expresión en superficie de las rocas que afloran en el terreno estudiado.

**Figura 20.** Modelo digital de elevaciones generado en Surfer 8.



- **Neis de Bucaramanga (PeB).** Esta unidad se encuentra diferenciada hacia el occidente de la zona formando una faja de dirección N-S. Los rasgos geomorfológicos característicos de esta unidad litológica se diferencian en la zona por su topografía abrupta (Pendientes entre 25° y 60°), con un patrón de drenaje dendrítico a subdendrítico. En las fotografías aéreas muestran tonos grises claros y medios con texturas moteadas por la escasa vegetación. Los lineamientos estructurales más representativos de esta unidad tienen direcciones NW-NE y NS. Los lineamientos con direcciones NW se encuentran relacionados con el cambio abrupto de la pendiente en la parte oeste de la zona y se relacionan con el sistema de falla de Bucaramanga. Los lineamientos de dirección NE son los más extensos y controlan los drenajes de la quebrada Zapamanga, Mensuli y el cauce del Río Frío. Los lineamientos de dirección NE son los más predominantes, posiblemente indican fallas en el terreno. Estos son fáciles de reconocer debido a que la mayoría de los drenajes se encuentran alineados, cambiando su curso algunas veces en esta dirección. Los lineamientos de dirección NS se identifican en el límite de la zona por la alineación del Río Frío en su nacimiento y la alineación de algunos cerros y drenajes en esta dirección.

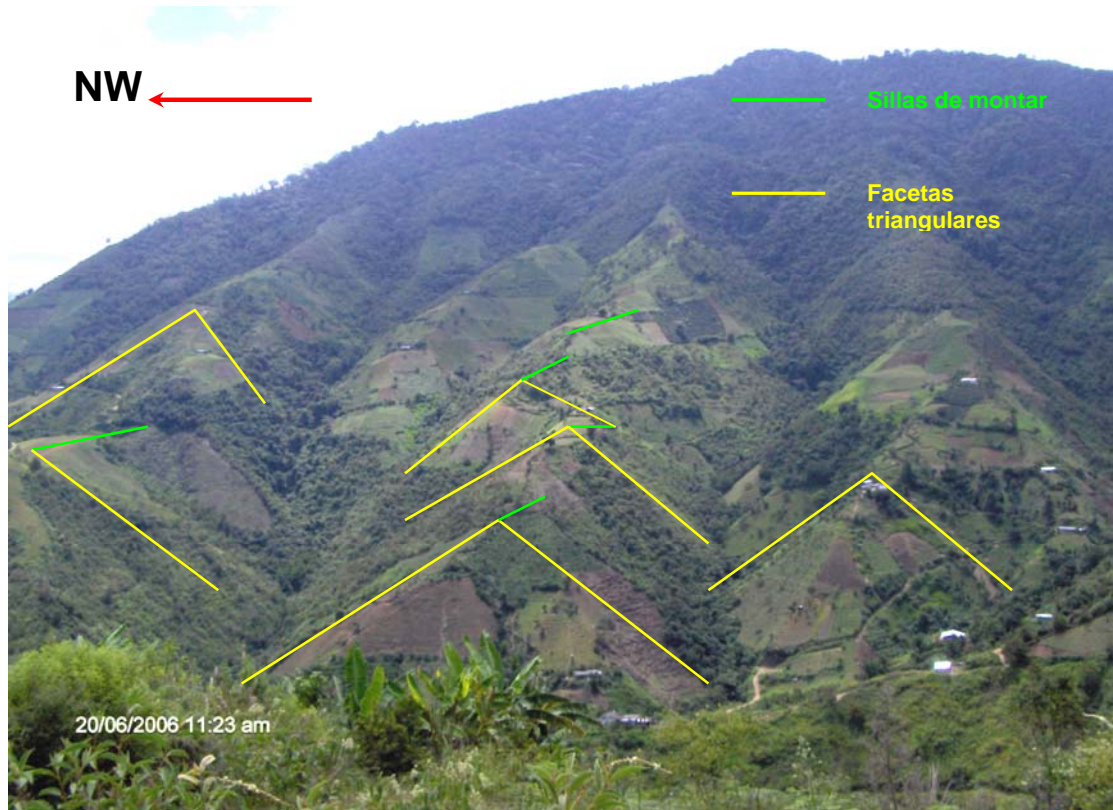
Se presentan estructuras relacionadas con escarpes de falla, escarpes de línea de falla y lomos de obturación (Figura 21)

**Figura 21.** Neis de Bucaramanga cerca del sistema de fallas de Bucaramanga, foto tomada en la Universitaria de Santander (UDES). Se observa lomo de obturación y cambio brusco de pendiente



En zonas de mayor altura y a mayor distancia de la falla de Bucaramanga-Santa Marta se encuentra diferentes estructuras formadas por el Neis, aquí se presenta topografía ondulante o rizada con sistemas de drenaje relacionados con fracturamiento, diaclasamiento o patrones de foliación, las pendientes generadas son normalmente suaves a moderadamente disectadas, los perfiles de suelo generados en esta zona no son muy espesos, debido a las pendientes mayores del 50% (Figura 22).

**Figura 22.** Neis de Bucaramanga en la vía que conduce de Piedecuesta hacia la Vereda el Granadillo. Se observan sillas de montar y facetas triangulares. Los cultivos agrícolas son comunes en esta zona.



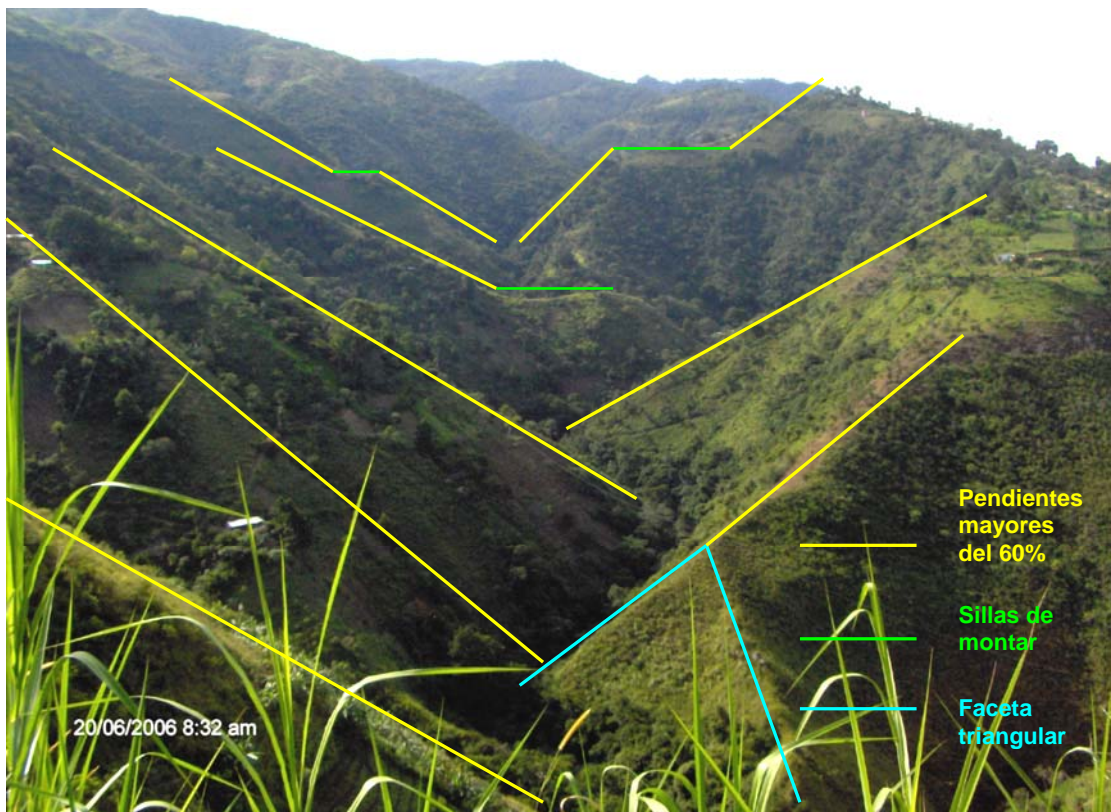
En algunos lugares de la zona se presentan otras estructuras, filos rocosos y formas sobresalientes estrechas y alargadas, orientadas por el rumbo de las rocas o limitadas por fallas (Figura 23). Además se observan facetas triangulares y sillas de montar; indicadores de actividad de fallamiento.

Las fallas en este lugar están asociadas al movimiento de las fallas principales en la zona de estudio como la de Bucaramanga.

Se presentan geoformas como lomos de obturación, lagos de falla y facetas triangulares (Figura 25) estas geoformas se encuentran normalmente en la zona mas baja cerca del sistema de fallas de Bucaramanga, evidencia de estas geoformas se manifiestan en barrios del municipio de Bucaramanga

como pan de azúcar bajo donde se hallan lomos de obturación (Figura 24) y en el barrio lagos del cacique donde se halla un lago de falla (Figura 25).

**Figura 23.** Filos rocosos, formas sobresalientes estrechas y alargadas. Sillas de montar y una faceta triangular, claros indicios de actividad de falla. Foto tomada en la parte alta del cauce de la Quebrada Guyana, cerca de los carreteables veredales de la Vereda del mismo nombre.



**Figura 24.** Lomo de obturación en el barrio pan de azúcar bajo, limitado por las fallas Morrórico y falla Bucaramanga



**Figura 25.** Geoforma de Lago de falla en el Barrio lagos del cacique que muestra la dirección del trazo de la falla de Bucaramanga.



- **Neis de Bucaramanga con masas de ortoneis (PeBm).** Esta unidad se encuentra diferenciada hacia el nor-occidente de la zona. Los rasgos geomorfológicos característicos de esta unidad litológica se diferencian en la zona por su topografía abrupta (Pendientes entre 25° y 40°), con un patrón de drenaje dendrítico a subdendrítico. En las fotografías aéreas muestran tonos grises claros y medios con texturas moteadas por la escasa vegetación, se diferencia del neis sin intrusiones, por los tonos claros puntuales. Se encuentra en contacto discordante en la parte central occidental con la Cuarzomonzonita de la Corcova. Al occidente de la zona se presentan estructuras relacionadas con Escarpes de falla y escarpes de línea de falla, formando pendientes severamente disectadas. En esta zona el paisaje es influenciado fuertemente por el sistema de fallas de Bucaramanga. Los perfiles de suelos poco desarrollados.

Los lineamientos identificados en esta unidad tienen dirección NE y NS. Los lineamientos de dirección NE controlan parte del cauce del Río Frío en esta unidad; y los lineamientos de dirección NS se encuentran alineando algunas de las quebradas afluentes del Río Frío.

En la parte norte de la zona se encuentran diferentes estructuras, aquí el neis se presenta con topografía ondulante o rizada y con sistemas de drenaje relacionados con fracturamiento, diaclasamiento o patrones de foliación. Las pendientes generadas son normalmente suaves a moderadamente disectadas, los perfiles de suelo generados en esta zona no son muy espesos, aunque el fracturamiento de las rocas posibilita la formación de estos, a pesar de las pendientes mayores del 60% (Figura 26).

**Figura 26.** Al fondo, geformas del Neis de Bucaramanga (PeBm). Pendientes abruptas mayores del 60% y sillas de montar. Tomada desde la Escuela Helechales en la vereda del mismo nombre.



En el límite de la cuenca en estudio, donde se encuentra el nacimiento del Río Frío, están en contacto fallado la cuarzomonzonita y el neis de Bucaramanga por lo cual el terreno muestra pendientes escalonadas debido a la influencia de la falla de Río Frío. En esta zona mencionada se observa una Topografía con pendiente moderadamente empinada a muy empinada con patrón lineal y en la zona de la falla Morronegro se observan Filos rocosos y formas sobresalientes estrechas y alargadas orientadas por el rumbo de las rocas, limitadas por fallas (Figura 27).

**Figura 27.** Cerro Morronegro vía a Bucaramanga- Cucuta. Muestra lineamientos en el cerro que se compone de rocas de la unidad Neis Bucaramanga con parches de Ortoneis.



Existe además una Depresión estructural formada principalmente por la acción o influencia de la falla Río Frío, la cual se observa desde el nacimiento del Río Frío hasta el corregimiento de la corcova donde el cauce cambia drásticamente, en estas zonas la Topografía se encuentra fuertemente quebrada con pendientes mayores al 75%.

**Cuarzomonzonita de la Corcova (JRcg).** Esta unidad esta localizada hacia la parte nor-este de la zona de estudio, y corresponde en su mayor parte al cerro de la Judía. Los rasgos geomorfológicos de esta unidad son drenajes dendríticos y dendríticos rectangulares, según la profundidad de la meteorización y la incidencia del diaclasamiento. Se diferencia de las unidades anteriores por los tonos mostrados en las fotografías aéreas, los cuales son texturas que varían de gruesas a granulares por la presencia de espesa vegetación. Esta unidad forma cauces ensanchados y sinuosos, profundos, con laderas empinadas. La unidad presenta lineamientos de

dirección NE y NS controlando las geformas de cerros aislados y nacimiento de drenajes, que junto con el nacimiento del Río Frío se alinean en esta dirección hacia el norte. La cuarzomonzonita de la Corcova se encuentra en contacto discordante con el neis (**PeB** y **PeBm**) en el costado centro occidental de la zona y con un trazo de contacto en dirección norte sur. Hacia el norte de la zona la cuarzomonzonita se encuentra con una topografía ondulante o rizada con sistemas de drenaje relacionados a fracturas, fallas o lineamientos. Las pendientes en esta zona son suaves a moderadamente disectadas con pendientes mayores de 50%(Figura 28).

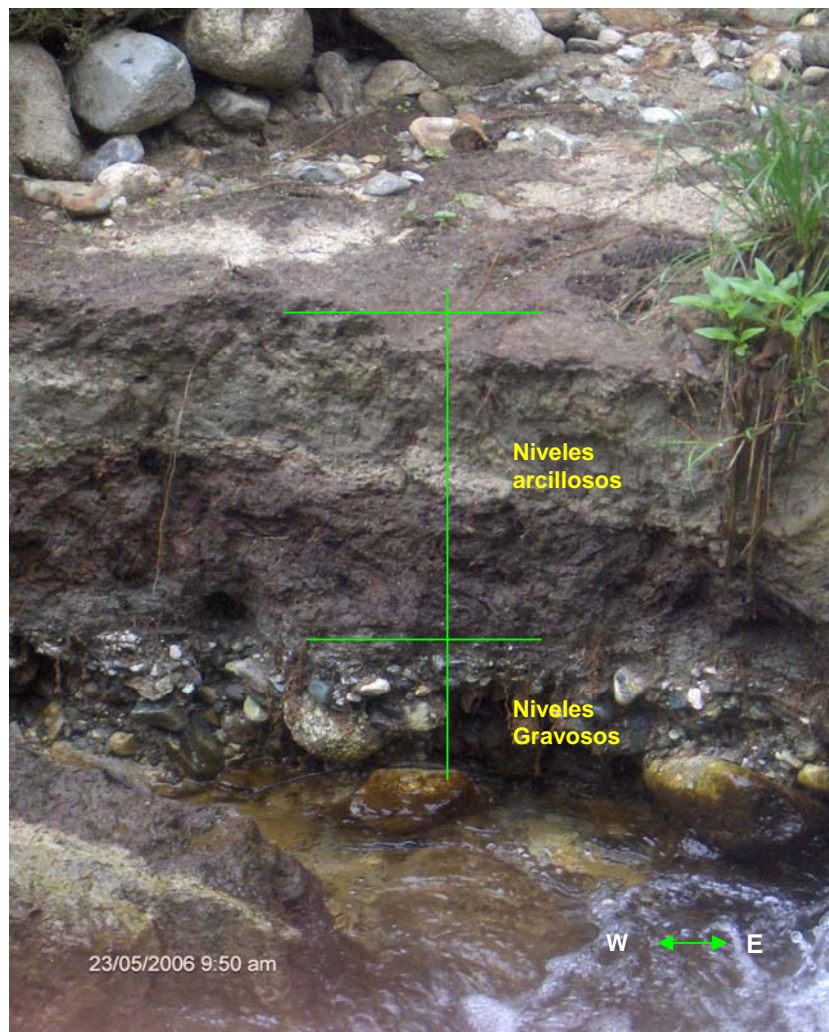
**Figura 28.** Lugar denominado Cerro Ventanas por la Carretera Bucaramanga –Cúcuta a 2 Km. de la Corcova. Con pendientes mayores del 50%. Se aprecia la meteorización de la Cuarzomonzonita y formas triangulares en el cerro.



En sectores como el Cerro la judía y sus alrededores se encuentra topografía rizada a colinada con sistema de drenajes predominantemente

relacionados a fracturas o fallas. La geomorfología se distingue por Pendientes empinadas o en algunos casos de Moderadamente a severamente disectadas. En el cauce del Río Frío y en algunos lugares en la vereda Casiano se pueden observar algunos Filos rocosos o formas sobresalientes estrechas y alargadas orientadas por el fracturamiento de la roca.

**Figura 29.** Terrazas en el cauce del Río Frío. Se observan niveles gravosos de clastos con bordes semiangulares hacia la base y niveles arenoarcillosos en el techo. Foto tomada en cercanía intersección del cauce Río Frío y la zona de Falla Bucaramanga.



Los cuaternarios cartografiables presentes en la zona se encuentran cerca del sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta, estos cuaternarios corresponden principalmente a terrazas fluviales las cuales son originadas por la depositación de material transportado por el Río Frío debido al cambio de la pendiente, depositándose así estos Cuaternarios. Estas terrazas se ubican principalmente en la cuenca del Río Frío, en el límite de la zona de trabajo (Figura 29).

Existen Cuaternarios de origen coluvial que se encuentran entre la quebrada palmichal y la quebrada Mensuli estos cuaternarios presentan una topografía y pendientes aproximadamente planas a suavemente empinadas además Ligeramente o moderadamente disectadas; se encuentran asociados a la acción de la gravedad y a la acción de el agua en las cercanías de la falla de Bucaramanga.

- **Cuaternario Aluvial (Qal).** Estos depósitos se encuentran formando terrazas que resultan del material transportado por los ríos y quebradas de las zonas montañosas. En la zona se encuentran en el límite occidental, en el cauce del Río Frío, Los tonos característicos de esta unidad son grises claros con texturas finas.
- **Depósitos de Coluvión (Qco).** Se encuentran distribuidos como geoformas irregulares hacia el sur occidente de de la zona dentro de la Unidad Neis de Bucaramanga. Estos depósitos presentan tonos grises medios a claros con texturas moteadas, formando superficies acumuladas en las partes más bajas de las laderas de la montaña durante procesos erosivos y regímenes de alta energía.
- **Depósitos de Flujo de Escombros (Qfe).** Se presentan sobre el Piedemonte oriental del Área Metropolitana, entre el casco urbano de

Floridablanca y Piedecuesta, donde se reconocen materiales cuyos depósitos al pie de ladera montañosa, forman abanicos y conos de deyección y superficie suavemente ondulada, con drenaje paralelo a subparalelo.

## **5.2 ESTRATIGRAFÍA**

En el área de estudio afloran rocas ígneas, metamórficas y depósitos sedimentarios recientes. Las unidades metamórficas corresponden al Neis de Bucaramanga y son las rocas más antiguas en el área con una edad paleozoica inferior, las rocas ígneas son representadas en la zona por la Cuarzomonzonita de la Corcova con una edad de Triásico a Jurásico, y los depósitos cuaternarios corresponden principalmente a terrazas de río o a coluviones generados por la acción de la gravedad en la zona de influencia del sistema de Fallas de Bucaramanga- Santa Marta. (Anexo A)

**5.2.1 Consideraciones preliminares.** En esta sección se hará una descripción generalizada de las unidades estratigráficas vistas en la fase de campo del proyecto. La descripción de estas unidades se basa en descripciones macroscópicas en muestras colectadas y en observaciones realizadas en la fase preliminar del proyecto. Las unidades Neis de Bucaramanga y Cuarzomonzonita de la Corcova son descritas y definidas, en la Geología del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga y H-13, por Ward y Goldsmith (1973), en este trabajo la unidad Neis de Bucaramanga se divide en dos y se definen como Neis de Bucaramanga y otra unidad como Neis de Bucaramanga con masas de ortoneis, la diferencia entre estas dos unidades está basada principalmente en las abundantes masas de ortoneis observadas en los recorridos de campo.

- **Paleozoico Inferior.** En el área de estudio el Paleozoico inferior esta representado por rocas Metamórficas de alto grado de metamorfismo de la Unidad definida como Neis de Bucaramanga. (Anexo A)

**Neis de Bucaramanga (Peb).** Su nombre fue dado por Ward y Goldsmith, 1973 y consiste en rocas metasedimentarias de alto grado de metamorfismo comprendiendo principalmente Neis biotítico y anfibólico y en menor proporción Neis cuarzofeldespático y migmatitas. Esta unidad aflora en tres fajas que aparecen cartografiadas entre los cuadrángulos H-12 y H-13. El área de estudio se encuentra ubicada en una de las tres fajas, la faja mas occidental, y que recibe el nombre de faja de Bucaramanga, Ward et al, 1973. Esta faja esta limitada al oeste por la falla del mismo nombre, y en la vecindad de la ciudad. La faja se extiende hacia el Norte hasta el batolito de Río Negro. Hacia el NE esta unidad se encuentra cubierta rocas metamórficas de grado mas bajo de la Formación Silgará. El lado oriental esta limitado por el batolito de Santa Bárbara y termina en punta hacia el sur entre este batolito y la falla de Bucaramanga en el área de Cepita. El Neis de esta faja consiste en meta-pelitas, semi-pelitas y meta-areniscas intercaladas con capas delgadas locales de rocas calcosilicatadas y mármol, esta unidad consta de rocas de alto grado de metamorfismo y edad precámbrica. Las zonas de migmatitas que contienen para Neis mezclado con Neis augen y Neis granítico son abundantes en el Neis de Bucaramanga adyacente al Plutón de la Corcova, pero estas rocas están profundamente meteorizadas. Las zonas donde los diques son masas pequeñas de cuarzo monzonita o granodiorita de la Corcova son poco abundantes. Ward et al, 1973.

En la zona de estudio se puede encontrar la unidad Neis de Bucaramanga al oeste, en general el Neis se encuentra moderadamente alterado y los afloramientos de roca fresca son escasos, esta unidad litológica se

diferencia en la zona por su topografía abrupta (Pendientes entre 25° y 40°), con un patrón de drenaje dendrítico a subdendrítico.

Este Neis se encuentra en el límite occidental de la zona, en contacto fallado con rocas sedimentarias del paleozoico, mesozoico y cenozoico, este contacto es generado por la acción de la falla Bucaramanga. En la Zona central y norte se encuentra en contacto transicional con el Neis con abundantes masas de ortoneis y en la parte sur y central, se encuentra en contacto intrusivo con la cuarzomonzonita de la corcova (Figura 20).

**Figura 30.** Contacto de la Unidad Neis de Bucaramanga muy alterado y Cuarzomonzonita de la Corcova moderadamente alterada. Se observa en el nivel superior desarrollo de suelo en el neis. La foto fue tomada sobre la vía que comunica la vereda Casiano Alto con el Cerro la Judía.



En el área de estudio el Neis se encuentra como una faja con dirección NW, aflorando con diferentes composiciones, en primer lugar se encuentra el Neis Cuarzofeldespático que aflora al este de Bucaramanga y en algunos caminos

que conducen del barrio pan de azúcar al Km. 5 vía Bucaramanga- Cúcuta y en algunos lugares de la vereda Aguablanca. Se distingue por su color blanco o rosado y con una composición promedio de plagioclasa 47%, cuarzo 30%, feldespato potásico hasta 20%; minerales accesorios moscovita 3% y minerales secundarios como la epidota (figura 31).

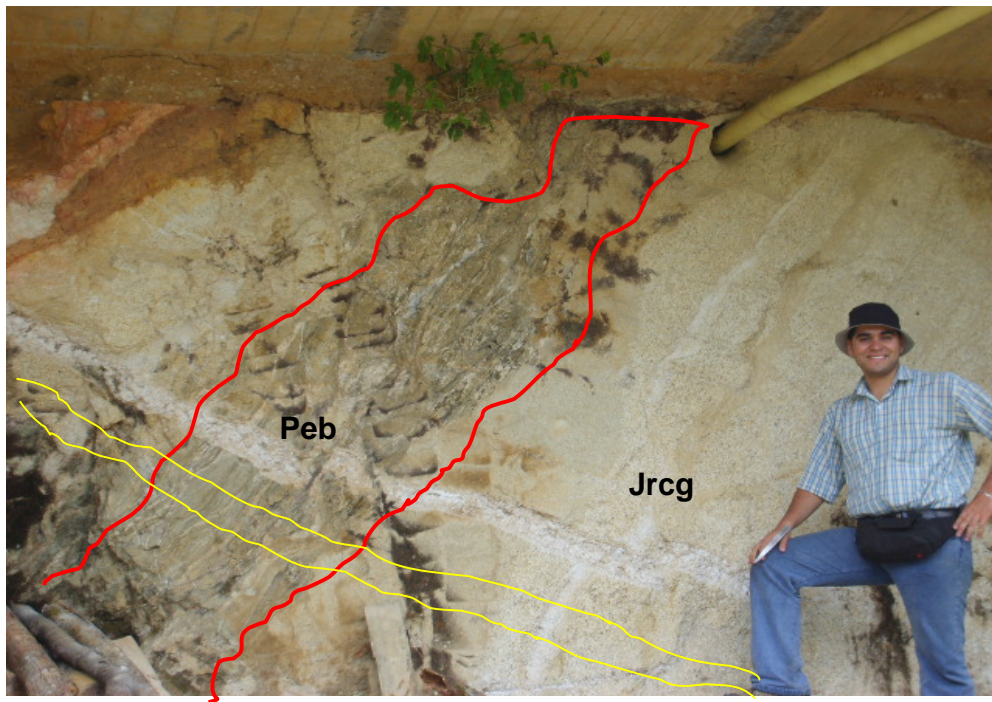
**Figura 31.** Detalle de afloramiento de Neis Cuarzofeldespático en el vía de la vereda Casiano a la vereda Alsacia, nótese los tonos rosados en la parte superior de la foto y las venas de cuarzo concordantes con la filiación.



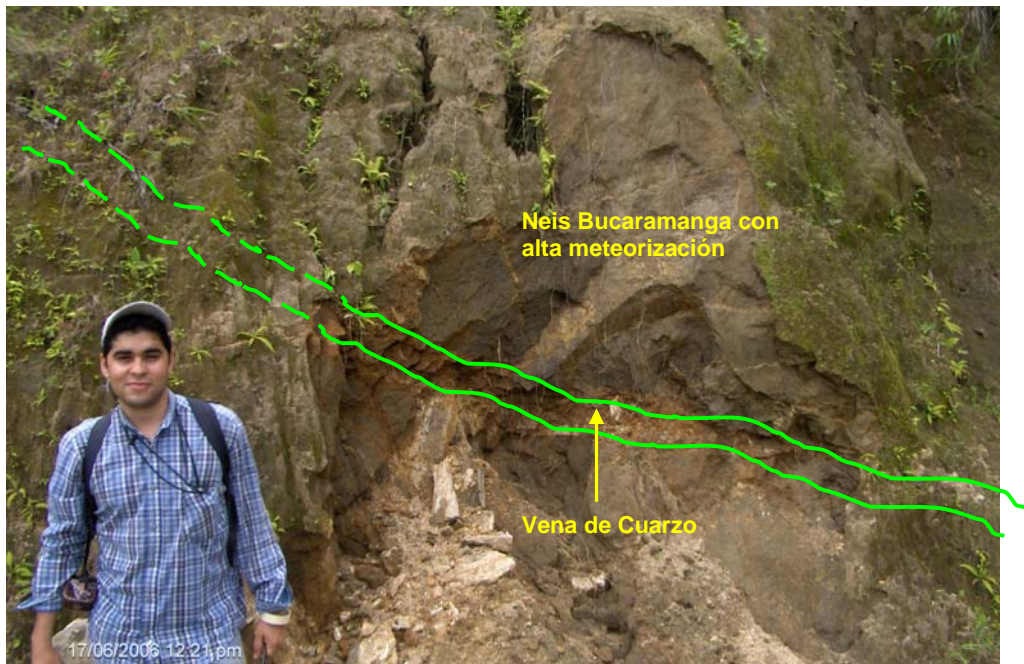
El Neis anfibólico se presenta en la mayor parte de la zona, cuerpos de composición mafica, que se caracterizan por presentar una textura néisica muy bien definida, con alternancia de bandas anfibólicas y bandas cuarzofeldespáticas de espesor variable. Su composición promedio es de

Anfíbol 43%, plagioclasa 35%, cuarzo 15% y algunos piroxenos proporciones menores (5%); como mineral accesorio esta la biotita 2% y como secundarios la epidota y clorita. Las mejores exposiciones de esta roca se encuentran ubicadas en la carretera Bucaramanga – Pamplona, además de pequeños afloramientos en las veredas de Casiano alto, y en los cauces de las quebradas Casiano y Zapamanga, que atraviesan esta unidad, en general los afloramientos se observaron en un estado de meteorización de moderado a alto (Figura 32 y Figura 33).

**Figura 32.** Xenolito de la Unidad Neis Bucaramanga anfibólico (Peb) dentro de la Cuarzomonzonita de la Corcova (Jrcg), sobre carreteables en la vereda Casiano Alto. Venas de Cuarzo de 15 cm. de espesor atraviesan las dos Unidades perpendicularmente.



**Figura 33.** Afloramiento de Neis de composición mafica. Ubicado en los caminos que comunican la vereda Casiano Alto. Se puede observar la alta meteorización y una vena de cuarzo de 15 cm. que lo atraviesa perpendicularmente.



En otros lugares se encontraron afloramientos localizados de rocas migmatíticas en el Neis de Bucaramanga (Figura 34), estos afloramientos están localizados en el cauce de la quebrada Agua Blanca a 300 m de la unión con el Río Frío, en estas zonas se encontró la roca moderadamente alterada debido a la acción erosiva de la quebrada. Estas rocas están compuestas por bandas leucocráticas y melanocráticas, con una predominancia de los minerales leucocráticos, que corresponden en su mayor parte a minerales cuarzofeldespáticos con bandas micáceas muy plegados y de bajo contenido de máficos, estas migmatitas se relacionan con el grado de metamorfismo del Neis. Según Ward, D., et al. (1973) muchas de las pequeñas características del Neis migmatítico, pueden tener origen anatético y la Estructura fluidal en algunos de estos Neises indican una plasticidad extrema durante la deformación.

**Figura 34.** Migmatitas en la Unidad Neis de Bucaramanga, localizada en el cauce de la Quebrada Agua Blanca en la Vereda Agua Blanca. Se Puede Observar la textura fluidal que indica una plasticidad extrema durante la deformación.



**Neis con Masas de Ortoneis (Pebm).** Este tipo de Neis aflora en la parte oriental de la zona en lugares como el morro negro y al costado oriental del Neis anteriormente explicado, los contactos con la anterior litología son normalmente gradacionales. Los contactos de este Neis con la cuarzomonzonita son intrusivos, y el contacto con la cuarzomonzonita en la inspección de policía de la Corcova es fallado gracias a la acción de la falla Río Frío.

Como se explico en apartados anteriores, la composición de estos dos Neises es similar y el Neis con masas se diferencia de la unidad anterior por las masas de ortoneis observadas en la fase preliminar de campo. Hacia la

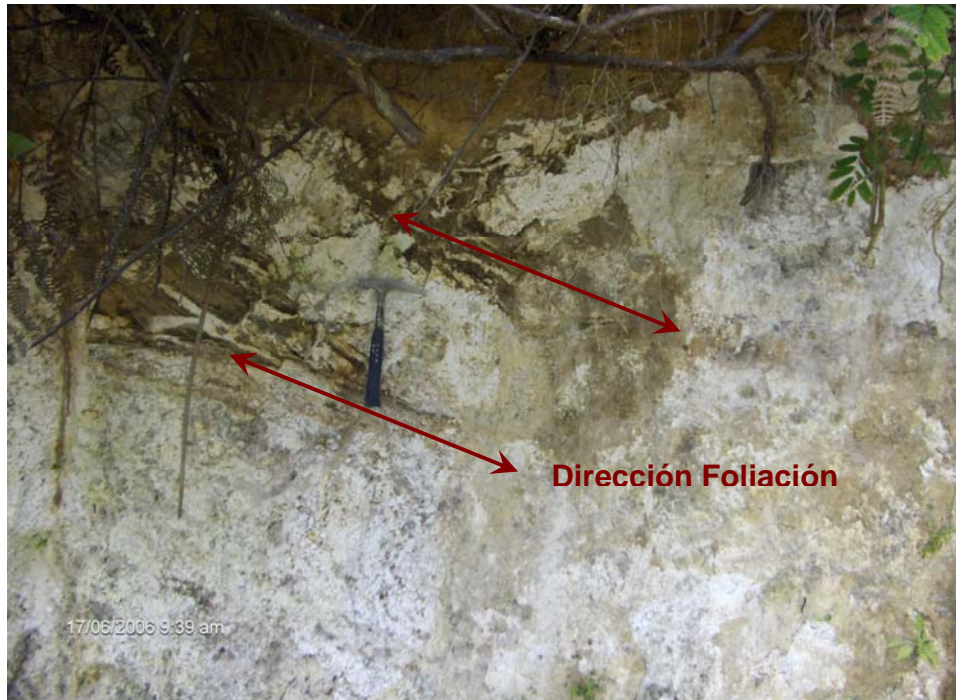
parte norte y central de la zona, en el lugar conocido como Km 12 o “La Suiza” y en la vía Bucaramanga- Cúcuta se encuentran Neises cuarzofeldespáticos y anfibólicos. En general la composición de los Neises es similar pero se diferencian en afloramiento debido a las masas localizadas de ortoneis, que se distinguen por ser parches leucocráticos con composición cuarzofeldespática.

En algunos lugares del Neis anteriormente descrito y en el actual se encuentran diques de cuarzo concordantes con la foliación y en algunos casos con evidencias de metamorfismo. (Figura 35 y 36)

**Figura 35.** Dique de cuarzo concordante con la foliación, camino Floridablanca- Km12



**Figura 36.** Neis con masas de ortoNeis Cuarzo-Feldespático de color blanco con alta meteorización, afloramiento localizado por la carretera que conduce del Km. 12 de Bucaramanga-Pamplona, al Municipio de Floridablanca. Se aprecian bandas concordantes maficas.



- **Triasico-Jurasico.** En el área de estudio el Mesozoico (Triasico-Jurasico) esta representado por rocas plutónicas de la Unidad Cuarzomonzonita de la Corcova.

**CuarzoMonzonita de la Corcova (JRcg).** Esta unidad fue definida por Ward, D., et al., (1973) y propone para estas rocas el nombre de Grupo Plutónico de Santander, en un término que incluye los batolitos mayores del Macizo de Santander y puede dividirse en dos series, una de Granito rosado y Cuarzomonzonita y la otra de Cuarzomonzonita gris y Granodiorita-Diorita, además sugiere una edad relativa asignada al Jurásico y/o Triásico-Jurásico, con base en relaciones de campo y determinaciones radiométricas.

La cuarzomonzonita de la corcova es una roca ígnea equigranular de grano fino a medio con biotita uniformemente diseminada de color gris, y se extiende como una faja alargada de aproximadamente 4 Km. de ancho con dirección Norte-Sur, intruyendo a las unidades anteriormente descritas del Neis de Bucaramanga.

La roca está compuesta de 30 a 35% de cuarzo, 25 a 45% de plagioclasa, 30 a 45% de feldespato potásico; un 3% de biotita y trazas hasta de 2% de moscovita, en algunas ocasiones el contenido de maficos genera tonos mas oscuros en la cuarzomonzonita, esto se evidencia en la parte sur de la zona, donde la cuarzomonzonita se encuentra de color gris claro y en partes cercanas al corregimiento de la corcova se presenta en colores mas oscuros (Figura 37 ).

**Figura 37.** Cuarzomonzonita de la corcova moderadamente alterada, nótese el tamaño medio de los granos, fotografía tomada en la zona cercana al corregimiento de la corcova.



Teniendo en cuenta que la cuarzomonzonita posee tamaños de grano que varían de fino a grano medio, se puede observar un cambio en la textura del cuerpo ígneo de norte a sur, así en lugares como la vereda Casiano o Montefiori, se pueden encontrar una cuarzomonzonita de grano fino y con colores claros mientras en la corcova, en el cerro ventanas y en el cerro la Judía se puede encontrar una cuarzomonzonita de grano medio y con colores más oscuros debido a la presencia de minerales maficos.

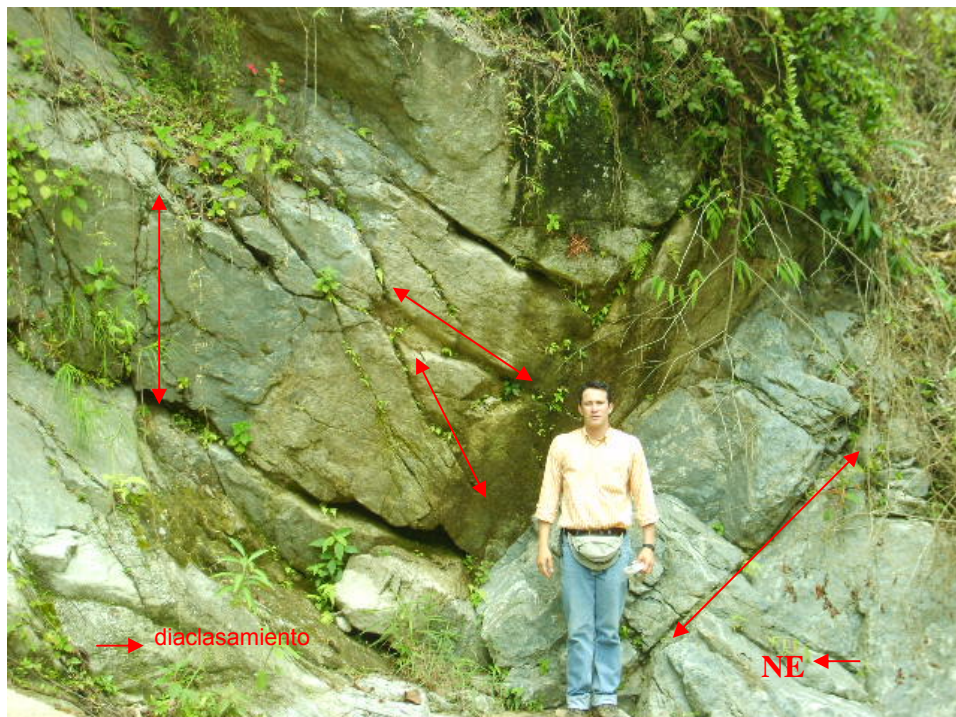
**Figura 38.** Cuarzomonzonita de la Corcova (colores claros en la parte inferior) en contacto con el Neis de Bucaramanga. Se observa la meteorización moderada y el desarrollo de suelo en el neis. Foto tomada en los carreteables que conducen de la Vereda Casiano a Alsacia.



En la zona de estudio los afloramientos de roca fresca son escasos, pero se encuentra roca poco alterada en los cauces de los ríos y quebradas, en la quebrada Casiano, cerca al sitio Turístico “Monte Fiori”, la cuarzomonzonita

encontrada corresponde a una cuarzomonzonita de grano fino y de color gris claro, en este lugar se encuentran diques maficos (Figura 39), los cuales cortan la cuarzomonzonita, evidenciando así un evento intrusivo posterior a emplazamiento del cuerpo plutonico de la corcova.

**Figura 39.** Afloramiento de Cuarzomonzonita de la Corcova en el cauce de la Quebrada Agua Blanca en la Vereda Agua Blanca. En este afloramiento se encontraron estrías de falla y se aprecia un alto diaclasamiento que propicia la entrada de agua a partes mas profundas.



**Cuaternario.** En el área de estudio el Cuaternario está representado por depósitos aluviales y coluviales, que están situados en la parte occidental y corresponden a la Zona de Falla de Bucaramanga, tomada como el límite oeste del estudio.

**Depósitos de Flujo de Escombros (Qfe).** Son depósitos de Piedemonte de origen aluvio torrencial y aluvio gravitacional, provenientes de la denudación

de los materiales alterados que componen el Macizo de Santander los cuales son transportados a lo largo de los cauces de corrientes de agua que nacen en éste. Estos depósitos están constituidos por fragmentos de rocas ígneas y metamórficas, tamaño grava y bloque, principalmente Neises y granodiorita, esporádicamente anfibolitas y esquistos, en matriz arenolimsa.

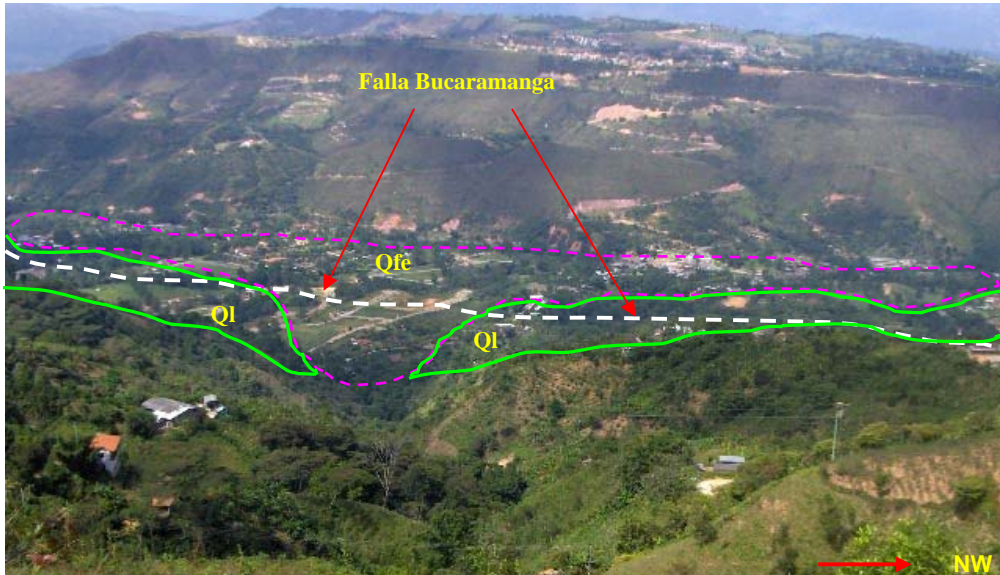
Se presentan sobre el Piedemonte oriental del Área Metropolitana, entre el casco urbano de Floridablanca y Piedecuesta (Anexo A), donde se reconocen materiales cuyos depósitos al pie de ladera montañosa, forman abanicos y conos de deyección con pendientes de 2,5° a 3,5° y superficie suavemente ondulada, con drenaje paralelo a subparalelo

**Depósitos Aluviales de Terrazas Bajas (Qal).** En el municipio de Floridablanca este nivel se presenta como un depósito de forma alargada, de superficie más o menos plana, donde se ubican los barrios Bucarica y limoncito. Este nivel se distribuye aguas abajo por el Río Frío.

Está compuesto de gravas arenosas y arenas gravosas, de forma angular a subangular, con algunos bloques de roca de tamaño métrico, de Neis y Cuarzomonzonita provenientes del Macizo de Santander

**Depósitos Coluviales o de Ladera (QI).** Son depósitos acumulados, por lo general, en la base de escarpes, y provienen del desprendimiento de materiales de laderas adyacentes, por la acción de la fuerza de gravedad. La mayoría se originan por fenómenos de remoción en masa de tipo caída de rocas, deslizamientos y volcamientos. Estos depósitos se encuentran dispersos, relacionados con rocas muy fracturadas del Neis de Bucaramanga.

**Figura 40.** Deposito de ladera (**Ql**) y deposito de flujo de escombros (**Qfe**) localizados en el valle de Mensuli, sobre el cambio de pendiente entre el macizo y el valle, asociado con la falla de Bucaramanga.



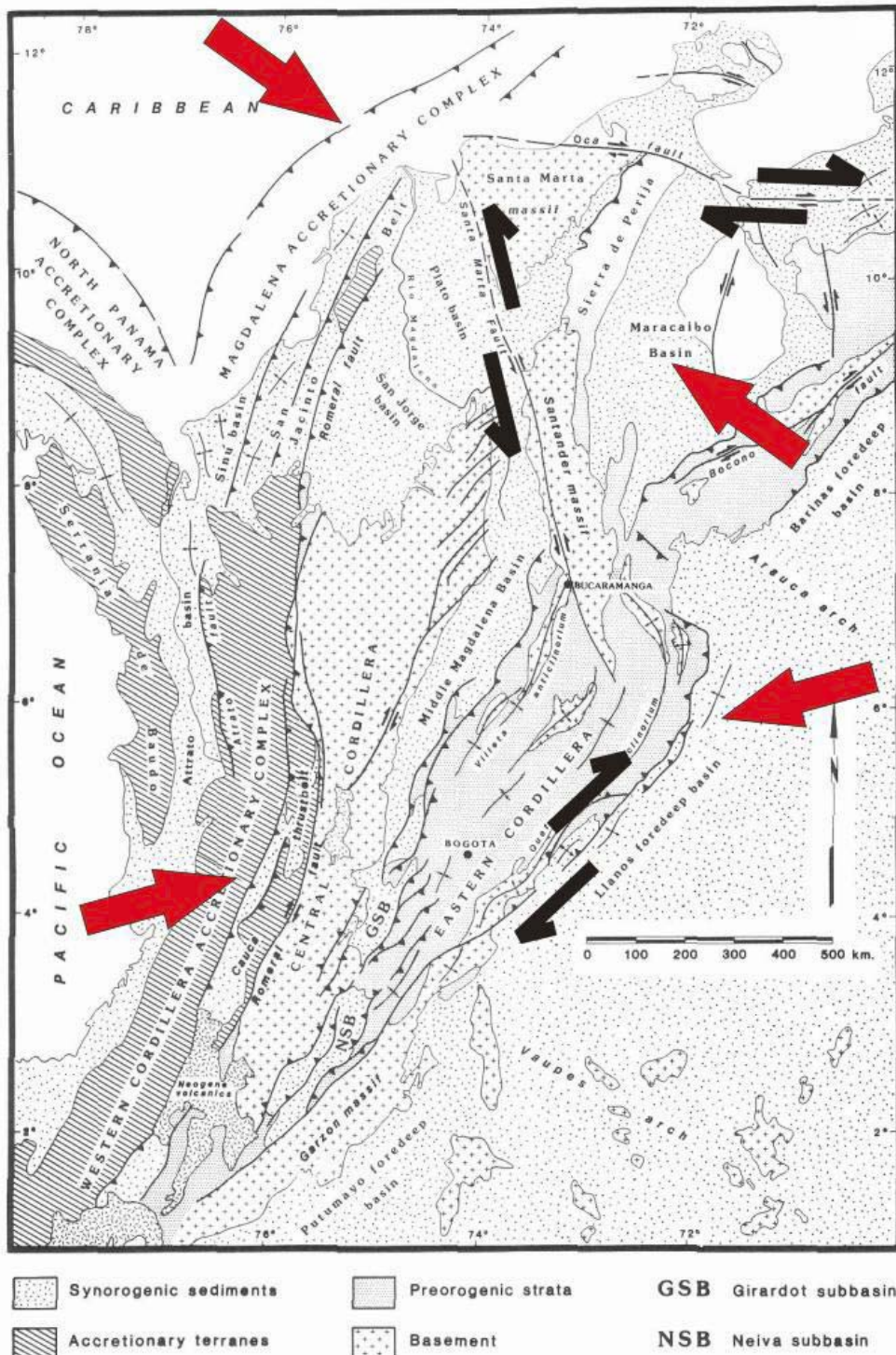
### 5.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La zona de estudio se encuentra afectada estructuralmente por el Sistema de la Falla Bucaramanga, la cual es producto del ambiente tectónico compresivo regional, resultado del choque entre las placas del Caribe y Suramericana, movimiento que genera desplazamientos rumbo-deslizantes en el Noroeste de Suramérica (Figura 41). Este ambiente compresivo ha generado también el Sistema de Fallas de Boconó y el Pilar en Venezuela, Palestina y Otú-Pericos en Colombia.

Esta región, que comprende el Macizo de Santander, y donde predomina un sistema de fallamiento en bloques, de rumbo Norte-Sur a Noreste, en esta región se destaca principalmente de noroccidente a suroriente la falla de

Bucaramanga. Es el rasgo estructural más evidente y de gran extensión que cruza la región centro-oriental del Departamento de Santander, en dirección aproximada N20°W y cuyo trazo rectilíneo se expresa claramente en imágenes de satélites y fotografías aéreas. Es considerada un sistema de fallas de rumbo (CAMPBELL, 1965; VARGAS y NIÑO 1992; CLAVIJO, et al., 1993), con movimiento sinestral, cuyo desplazamiento es calculado por Campbell (1965) y Tschanz, et al. (1969, 1974) en unos 100 a 110 km; tiene una componente vertical importante, según Julivert (1958, 1961), Ward, et al. (1973), Royero (1994), que hace que esta falla se comporte en algunos sectores como inversa y en su extremo meridional aún de cabalgamiento (BOINET, 1985, En CLAVIJO y ROYERO, 2000;). La historia geológica de la Falla Bucaramanga-Santa Marta es bastante compleja y en cuanto a la edad máxima de su actividad tectónica, se puede establecer que es posterior al Neis de Bucaramanga; es decir, se encuentra cortado por esta falla en los sectores entre Río de Oro (Cesar) y El Carmen (Norte de Santander) dentro de la Plancha 76, Ocaña (DACONTE y SALINAS, 1980, En CLAVIJO y ROYERO, 2000). Boinet, et al. (1989) considera que durante el Cretácico inferior hasta el Paleoceno no hubo actividad tectónica de la falla; además los mismos autores, señalan que la importancia de la mayor actividad de esta falla es el desplazamiento de rumbo sinestral, el cual ocurrió a partir del Mioceno superior, simultáneamente con la Orogenia Andina.

**Figura 41.** Esquema geológico regional. Las flechas rojas indican las direcciones de convergencia tectónica y las flechas negras indican la posición de las componentes transcurrentes (basada en Schamel, 1991).



**5.3.1 Consideraciones Preliminares.** La toma de datos estructurales en campo se realizaron siguiendo con los parámetros propuestos por el INGEOMINAS, con la toma del azimut del rumbo y la cantidad del buzamiento (Ej. 254/25), para superficies estructurales como planos de estratificación, planos de diaclasas, planos de falla, dirección de estrías de falla, cabeceo, seguimiento de pliegues y etc. Algunas de las estructuras vistas en campo han sido descritas o mencionadas como lineamientos en trabajos anteriores; en este trabajo se validaron estas estructuras y se proponen fallas nuevas.

- **Fallas con componente Dextral.** En la zona se reconocen 5 trazos que tienen dentro de su cinemática el movimiento Dextral; denominados en éste trabajo como Las fallas: Suratoque, Zapamanga, Río Frío, Lato, Casiano (Anexo B).

**Falla Suratoque y Falla Zapamanga.** La Falla de Suratoque se encuentra en el cauce de la quebrada de este mismo nombre, y tiene una dirección promedio de N50°E, la Falla Zapamanga se denomina a la estructura que se encuentra en la cuenca de la quebrada Zapamanga y tiene una dirección promedio de S60°E, estas estructuras se hallan al este de la falla Bucaramanga (Anexo B). Las fallas aquí mencionadas tienen componentes normales y Los criterios geomorfológicos para el trazo de estas fallas son los cambios de direcciones de las quebradas y la saliente de los cerros con litología del Neis de Bucaramanga hacia la zona de Abanicos, el cual denota el movimiento normal con componente dextral. Estas fallas desplazan la falla principal, y a las fallas paralelas y conjugadas.

**Falla Río Frío.** Es una estructura normal con una pequeña componente dextral, de más de 15 km. de longitud, que se une a la Falla del Lato cerca del nacimiento del Río con el mismo nombre. Tiene una dirección

aproximada de N5°W, sigue el curso del Río Frío desde su nacimiento, hasta la Corcova, en este sitio las quebradas de la cuenca del río Tona se alinean llevando la dirección de esta falla (Figura 34) y continúa con dirección N20°E hasta la Microcuenca del Río Charta, esta falla atraviesa rocas del Neis de Bucaramanga y de la Cuarzomonzonita de La Corcova. (Figura 41)

La falla de Río Frío pone en contacto unidades del Neis de Bucaramanga y de la Cuarzomonzonita de la Corcova en la parte oriental de la zona. Estrías de falla y roca altamente fracturada pueden verse en la carretera Bucaramanga- Cúcuta y en el cauce del Río Frío y sus afluentes, por lo general las estrías de falla de esta roca muestran direcciones promedio de 170/ 70.

**Figura 41.** Trazo de la falla de Río Frío vista de los carretables que conducen del Municipio de Tona a la vereda Armania, al norte del cerro ventanas.



**Falla del Lato.** Esta falla comienza en el valle alineado y continuo por el cauce del Río Lato, hasta unirse con la Falla Río Frío en las cercanías del nacimiento del Río Lato, esta falla puede ser vista en el modelo digital de elevaciones y en los recorridos de campo.

Los datos de estrías cercanas a esta falla concuerdan con un movimiento normal con una componente dextral, el plano de promedio de estos datos es 50/80° o N50°E con el plano buzando a aproximadamente 80° hacia el este.

En su primer trayecto afecta rocas del Neis de Bucaramanga y la Cuarzomonzonita de la Corcova, luego toma una dirección norte hacia el río frío.

**Falla Casiano.** La falla Casiano se encuentra en la Vereda que lleva este mismo nombre, los indicios de esta falla se hallan en las fotografías aéreas, satelitales y en el modelo digital de elevaciones, en la zona se halla también topografía abrupta y una alta densidad de fracturamiento (Figura 42).

En los recorridos por la zona se encontraron también varias estrías de falla con la misma tendencia 100/46 en promedio, con una cinemática Normal Dextral. Las rocas en esta zona se encuentran alteradas y fracturadas; esto favorece la infiltración de agua que ayuda a la meteorización de las rocas afectadas por la falla.

**Figura 42.** Intenso diaclasamiento en la quebrada Casiano, cerca del sitio de descanso "Montefiori"



**Fallas con componente Sinistral.** En la zona se reconocen 7 trazos que tienen dentro de su cinemática el movimiento Sinistral; denominados en éste trabajo como Las fallas: Bucaramanga, El Carmen, Morrórico, Mensuli, Miramanga, Corcova y Morronegro ( Anexo B).

**Falla Bucaramanga.** Esta estructura puede distinguirse en panorámicas (Figura 43), fotografías aéreas e imágenes de satélite y enfrenta dos litologías diferenciadas morfológicamente por su resistencia a la erosión, al Este, el Macizo de Santander y al Oeste, la zona de Abanicos de Bucaramanga y el valle de el valle de Río Frío, quebrada Zapamanga y Aranzoque - Mensulí. Este trazo es representado por la Falla Bucaramanga (Anexo A). Los cerros desplazados hacia el SE sobre el Macizo (al Este de la traza principal), y el predominio del cambio de drenaje hacia el SE sobre la traza de falla son rasgos que muestran el movimiento sinistral. Los

principales rasgos geomorfológicos para el trazo de esta falla corresponden a: Escarpes de falla, Sillas de Falla (este rasgo se observa en la parte alta de la quebrada La Granja, sobre el Macizo). Lomos de Obturación como el observado en el cerro la Cumbre (Figura 34). Lomos de Presión como el observado en Lagos del Cacique y altos de Pan de Azúcar. Lagunas de Falla representadas en la zona por los lagos Miramanga y El Cacique.

En datos de campo se encuentran estrías de falla con componentes sinistral- inversa y con una dirección aproximada de  $N30^{\circ}W$  además se encuentra alta densidad de diaclasas en la zona cercana a la falla (Figura 44).

**Figura 43.** Trazo de la falla Bucaramanga en el barrio lagos del cacique, barrio la cumbre. Foto tomada desde los cerros ubicados al este de la Universitaria de Santander (UDES)



**Figura 44.** diaclasamiento en Neis de Bucaramanga, afloramiento cerca del barrio pan de azúcar.



La Deflexión de Drenajes en la zona es evidente pues la mayoría de la quebradas toman un rumbo SE, y en el área de la quebrada Zapamanga este control tectónico es más evidente. Los ganchos de falla se pueden identificar en la parte montañosa, que se ubica detrás del cerro de la Cumbre y al Este del Barrio San Carlos en Piedecuesta; la disposición de los cerros, indican el movimiento sinextral de la falla Bucaramanga. En la parte oriental del sector el limoncito se encuentra pequeños lomos aislados, dispuestos casi en forma paralela y continua, cerca al sistema montañoso del Macizo. Y finalmente los Valles lineales (Figura 45) con trazo continuo, durante cierta distancia. Se observan desde la cabecera del Macizo, en el sector Este del ICP.

**Figura 45.** valle lineal entre la mesa de Ruitoque y el macizo de Santander. Foto tomada desde la Escuela de la Vereda Alto Mantilla.



**Falla El Carmen y Falla Morrórico.** Estas fallas se encuentran Paralelas a la Falla Bucaramanga (Anexo B). La Falla El Carmen y Morrórico se ubican al Este de la Falla Bucaramanga- Santa Marta, y al igual que esta, presentan un desplazamiento sinistral. Algunas de estas fallas han sido descritas anteriormente por GONZÁLEZ y QUINTERO (1990), BELTRAN y REY (2002), VERGARA (2003). Estas fallas presentan un patrón subparalelo, además de una geometría de franja alargada, característica de fallas de rumbo. Los cerros y los drenajes desplazados hacia el sureste, como ocurre en varios sectores de la quebrada la flora, denotan el movimiento sinistral de estas fallas, al igual que la falla Bucaramanga estas estructuras presentan lomos de obturación, lomos de presión, y valles lineales.

Dentro de los rasgos intrínsecos, se observaron en campo espejos de fallas y estrías en los planos de las fallas, principalmente a lo largo del trazo de la falla de Bucaramanga y la falla de Morrórico. Así como brechas de falla a lo largo de las fallas mencionadas anteriormente y también sobre la falla de Miramanga.

**Falla Mensulí y Falla Miramanga.** Estas Fallas se trazan teniendo en cuenta criterios geomorfológicos como lineamientos fotogeológicos, cambios de dirección de drenajes, facetas triangulares (Figura 24) y alineación de quebradas. Para la falla Mensulí se encontraron estrías de falla con datos de 120/47, en la vía de Piedecuesta a la vereda el granadillo. Estas fallas son fallas sintéticas por presentar un ángulo bajo al unirse con la falla principal Bucaramanga-Santa Marta, este término describe fallas, cuyo movimiento se da, en el mismo sentido de la falla a la cual se relacionan.

**Falla La Corcova.** La Falla la Corcova esta definida en la parte norte de la zona, siguiendo el cauce del río frío, en la parte sur de la zona se encuentra como lineamiento debido a la dificultad de seguir la falla, La estructura coincide con el cauce del Río Frío hasta la inspección de policía de la Corcova, donde se une a la falla del Río Frío, esta falla fue definida con criterios geomorfológicos y con datos de campo, como estrías de falla con datos como 200/65 en promedio y con una componente sinistral inversa.

**Falla Morronegro.** La Falla de Morronegro se localiza en el cauce de la quebrada dos aguas, en las cercanías del morro negro, al nororiente de la zona de estudio, Esta falla se obtiene principalmente del modelo digital de elevaciones, donde se encuentran quebradas con un fuerte control estructural en las cercanías del morro negro, Los datos colectados en la fase de campo para esta falla corresponden a estrías 140/65 con una cinemática normal sinistral.

**Lineamientos.** Fotogeológicamente se reconocieron algunos lineamientos, estos fueron observados por flexiones en los cauces de quebradas o por anomalías en el terreno, así se definieron en la zona oriental lineamientos como Mensulí, Casiano alto y aguablanca, y en la zona occidental se trazaron los lineamientos Judia, Judia chiquita y Zapamanga, el gran número de lineamientos se debe al alto fracturamiento en la zona de estudio.

## **5.4 ANALISIS ESTRUCTURAL**

En el capítulo actual se realiza un análisis de datos estructurales tales como diaclasas y estrías de falla, con el fin de encontrar su relación con la geología estructural de la zona.

**5.4.1. Consideraciones preliminares.** Los datos que se procesaron fueron tomados directamente en la etapa de campo, esta toma de datos se realizó siguiendo los parámetros propuestos por el INGEOMINAS, con la toma del azimut del rumbo y la cantidad del buzamiento (Ej. 254/25). Para las estrías se tomaron los datos de pitch, sentido del movimiento y certeza de la estría; todos estos datos fueron tomados sobre cuerpos ígneos y metamórficos presentes en la zona de estudio.

La interpretación de las diaclasas se desarrolló con el Software Tectonicsfp versión 1.6.2., el cual genera gráficos estereográficos de orientación de datos (grandes círculos, polos y lineaciones), datos de fallas pueden ser graficados en proyecciones estereográficas (Gráficos Angelier y Hoepfner), diagramas de rosetas y de contornos (en donde se observa la densidad de datos en una determinada dirección, y la dirección principal del buzamiento) generando así mediante análisis estadísticos, direcciones principales de esfuerzo.

El análisis de datos se realizó dividiendo el área en cuatro zonas que se definen así:

Zona 1: Esta zona corresponde a la parte occidental del área de estudio, corresponde a la cuenca de la quebrada Zapamanga, parte de la vereda Aguablanca, y algunos barrios del oriente de Bucaramanga y está afectada estructuralmente por las fallas de Bucaramanga, Falla de Morrórico y la Falla de Miramanga, además del lineamiento Zapamanga. Los límites están dados por:

X: 1114000 Y: 1269000

X: 1114000 Y: 1277000

X: 1112000 Y: 1277000

X: 1112000 Y: 1282000

X: 1105000 Y: 1282000

X: 1105000 Y: 1269000

Zona 2: Esta zona corresponde a la parte oriental del área de estudio, corresponde a la zona del morro negro, cerro la judía, cerro ventanas y está afectada estructuralmente por las fallas de Río Frío, falla de Morro Negro y la falla de la Corcova, además de algunos lineamientos como la Judía, Casiano alto y Aguablanca. Los límites están dados por las siguientes coordenadas:

X: 1114000 Y: 1269000

X: 1114000 Y: 1277000

X: 1112000 Y: 1277000

X: 1112000 Y: 1282000

X: 1118000 Y: 1282000

X: 1118000 Y: 1269000

**Análisis de Diaclasas.** En esta sección se analizan las graficas de diagrama de polos, diagrama de Contornos y Diagrama de Rosetas. Teniendo en cuenta los conceptos de graficas estereográficas, se procede a analizar la relación espacial entre las diferentes diaclasas y su comportamiento con respecto a las fallas del área de estudio.

**Zona 1:** En total se procesaron 76 datos y a continuación se presentan los respectivos diagramas junto con su interpretación. En esta zona afloran Rocas principalmente de la Cuarzomonzonita de la corcova y en menor proporción rocas del Neis de Bucaramanga.

En la Figura 46A, vemos el diagrama de polos, este diagrama muestra de manera practica los planos de diaclasas presentes en la zona, el Diagrama de rosetas, generado con intervalos de  $10^\circ$ , (figura 46B) muestra una tendencia en las direcciones del buzamiento de  $20^\circ$  a  $30^\circ$ , estas direcciones marcan la mayor población de datos.

En dirección de diaclasas, una tendencia aproximada de  $110^\circ$  a  $120^\circ$  que se pueden relacionar con cauces y ciertos afluentes de la quebrada Zapamanga y otras quebradas de la escarpa oriental del área metropolitana de Bucaramanga, además concuerda con el trazo de la falla Zapamanga.

El grafico a la derecha del diagrama de rosetas genera una distribución total de los ángulos de buzamientos, mostrando así una tendencia entre los  $70^\circ$  y los  $50^\circ$ .

En el diagrama de contornos (Figura 46C) podemos ver una tendencia general de los datos de diaclasas, en este caso la tendencia es de  $9^\circ/59^\circ$ , comprobando la disposición general de los buzamientos hacia el NE y confirmando la dirección de las diaclasas en dirección SE.



Los datos obtenidos revelan la capacidad que tienen las diaclasas para retener el agua que se infiltra por los planos de las mismas y además, este ángulo de inclinación permite proyectar a profundidad la intersección entre diaclasas, las cuales hacen factible la interconexión entre planos, proporcionando una conexión hidráulica.

**Zona 2:** Para la zona 2 se procesaron en total, 80 datos para esta zona.

El diagrama de polos (Figura 47A), muestra de manera práctica los planos de diaclasas presentes en la zona, el diagrama de rosetas, generado con intervalos de  $9^\circ$  (Figura 47B) origina dos tendencias en las direcciones del buzamiento la primera entre  $110^\circ$  y  $130^\circ$ , que es la tendencia dominante, y la segunda entre  $25^\circ$  y  $35^\circ$ . En direcciones de diaclasa se tienen dos orientaciones, para los primeros datos se tienen direcciones de  $20^\circ$  y  $40^\circ$  dirección en la cual se encuentran lineamientos como Casiano alto y agua blanca y la falla la Corcova. Para las diaclasas siguientes se tiene una dirección preferencial de  $295^\circ$  y  $305^\circ$ , esta dirección concuerda con el trazo de la quebrada Aguablanca y drenajes afluentes del Río Frío en esta zona, al igual que la falla Casiano.

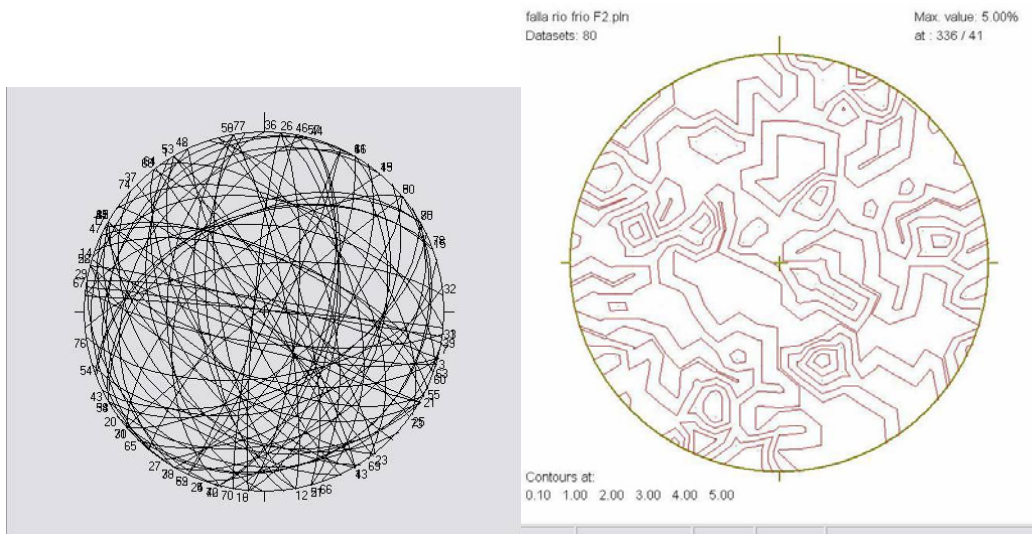
.El gráfico a la derecha del diagrama de rosetas genera una distribución total de los ángulos de buzamientos con una tendencia entre los  $70^\circ$  y los  $90^\circ$ .

En el diagrama de contornos (Figura 47C) podemos ver la predisposición general de los datos de azimut de buzamiento, para el caso de la zona 2, la tendencia es de  $336/41^\circ$ , mostrando la dirección general de los buzamientos hacia el NE y las direcciones de las diaclasas están generalmente hacia el NW.

El análisis de diaclasas permite obtener una aproximación a la dirección por la cual el agua puede fluir y su cantidad de buzamiento, los datos obtenidos revelan la capacidad que tienen las diaclasas para almacenar el agua debido

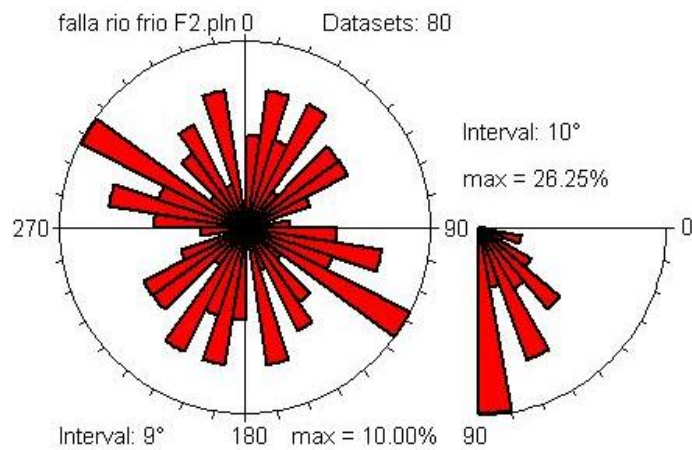
a los valores obtenidos para el buzamiento, aunque hay una tendencia a retener el agua que se infiltra por los planos de las mismas.

**Figura 47.** Graficas originadas para la zona 2. A. Diagrama de polos. B. Diagrama de Contornos. C. Diagrama de Rosetas



**A.**

**B.**



**C.**

**Densidad de Diaclasas.** Para obtener este parámetro, se procedió a encontrar un valor aproximado, que representará la densidad de fracturamiento en la zona, así se determinó la densidad aproximada de las diaclasas. Se tomaron las distancias en las dos zonas y se agruparon en tres rangos de espaciamiento, que facilitaron su análisis estadístico. Estos rangos son: 0-20 cm, 20–50 cm y >50 cm

Para la zona 1 de la falla de Bucaramanga, el rango con mayor frecuencia es el que varía entre 0 a 20 cm, es decir, el 80% de las Diaclasas de la zona de estudio se encuentran en promedio a una distancia no mayor de 20 cm. Seguido del espaciamiento de 20 cm. a 50 cm, con un porcentaje de 15% y un 5% restante, mayor a 50 cm. A partir de este dato, se concluye, que si se tiene una diaclasa cada 20 cm en el terreno, entonces en el área existe un promedio de 25 diaclasas por metro cuadrado ( $25d/m^2$ ). Este cálculo refleja el alto grado de fracturamiento producto del fallamiento que se encuentra en la zona y por lo tanto la susceptibilidad del terreno a la infiltración de agua lluvia.

Es muy importante tener en cuenta, que este dato de densidad solo nos da una idea general del fracturamiento que se presenta en el área, ya que estos cálculos dependen en gran forma de los datos que fueron tomados en campo y estos a su vez de la presencia de afloramientos en el área. Sin embargo hay que tener en cuenta que en las zonas donde existen tramos de fallas son más susceptibles a un mayor fracturamiento, por ejemplo el Neis de Bucaramanga cerca del trazo de la Falla de Bucaramanga. Así podemos asumir el dato obtenido de 25 diaclasas por metro cuadrado como una buena aproximación de la densidad de diaclasas existentes en el área de estudio.

El estudio de esta característica, es de especial interés, pues, aporta información con respecto a la susceptibilidad o capacidad de la roca, para dejar fluir el agua lluvia hacia el subsuelo, es decir, el grado de fracturamiento o porosidad secundaria sobre las rocas cristalinas del sector.

En la zona 2 o cerca de la falla de Río Frío se presenta la roca mas alejada de la zona de la Falla Bucaramanga, por lo cual esta mas fresca, aunque el desarrollo de vegetación espesa genera fracturamiento por la acción de raíces etc. En esta zona el rango con mayor frecuencia es el que varía entre 0 a 20 cm, es decir, el 70% de las Diaclasas de la zona de estudio se encuentran en promedio a una distancia no mayor de 20 cm. Seguido del espaciamiento de 20 cm. a 50 cm, con un porcentaje de 20% y un 10% restante mayor a 50 cm.

**Relleno de Diaclasas.** Las diaclasas se presentan limpias o rellenas, la primera, cuando la pared de la diaclasa se encuentran limpias y la segunda cuando se encuentra algún mineral que esté sellando estas paredes, este último no es favorable ya que disminuiría la porosidad secundaria en las rocas de la zona y por tanto la infiltración de agua en el terreno.

En la zona total del presente proyecto, se identificaron 3 tipos de rellenos: minerales arcilla precipitados y sedimento fino.

Como resultado de este análisis se obtiene que el 70% de las Diaclasas se encuentran sin relleno; esto se debe, a que las fracturas están afectando rocas compuestas por minerales poco alterables, lo que indica que las diaclasas permanecerán limpias, maximizándose el almacenamiento y la conducción del agua subterránea.

Para el 30% restante, se tiene que el sedimento fino es el relleno predominante, y los minerales arcillosos, poco se presentan rellenando las diaclasas.

Se puede concluir que la porosidad de la zona se ve reducida en un 30%, debido a los rellenos de las Diaclasas, sin embargo, el fracturamiento presente sigue siendo un factor muy importante para la capacidad de infiltración de las rocas.

**Drenaje subterráneo.** En este proyecto se propone la red de drenaje subterráneo, como un sistema de familias de diaclasas interconectadas en el subsuelo, con una dirección determinada, que conduciría eventualmente un fluido. Las direcciones de drenaje, es planteada con base en las siguientes observaciones de la zona:

1. Al realizar el análisis de los diagramas de rosetas y de polos se pueden observar dos comportamientos generales, en la zona 1, se tienen diaclasas con predominancia que las familias de diaclasas de la franja de estudio, tienen un comportamiento en común, a saber, la mayoría de datos presentan buzamientos mayores de  $60^\circ$ , es decir, subverticales, lo que indica que la circulación del agua captada de la superficie, ocurrirá principalmente en forma subvertical y seguirá la dirección de los planos de las diaclasas dominantes en cada sector. La presencia de estas familias subverticales tiene una implicación importante, ya que pueden funcionar como colectoras del flujo circulante desde las fracturas verticales.

2. En la zona 2 de influencia de la falla de Río frío se tienen dos orientaciones, para los primeros datos se tienen direcciones de  $20^\circ$ - $40^\circ$  y  $295^\circ$ - $305^\circ$  donde la cantidad de buzamiento es mayor de  $70^\circ$ . En este caso,

la circulación ser vertical, generando una infiltración del líquido que llegue a la superficie.

4. La captación de agua lluvia en las rocas Igneas y Metamórficas de la zona de estudio, se favorece debido a que la mayoría de las familias de diaclasas se encuentran abiertas, sin relleno y se conservan dentro del perfil de meteorización casi hasta superficie; además la densidad de fracturamiento de la zona permite asegurar la interconexión de las diaclasas. Esta situación hace posible que las diaclasas en el Macizo, sirvan como conductoras, o bien, como almacenadoras de agua.

5. En la zona se encuentran familias de diaclasas que se interceptan (diaclasas conjugadas), formando ejes de intersección con grandes espacios o cavidades que permiten almacenamientos de grandes volúmenes de agua.

6. En la zona las familias de diaclasas presentan fronteras estructurales (falla de Bucaramanga) en fallas rumbo deslizantes, cuyo movimiento genera gran trituración de la roca a la cual afecta aumentando la porosidad de la zona.

7. Todo este comportamiento estructural en superficie debe conservarse en profundidad, permitiendo así definir una red de drenaje subterráneo en el área.

**Análisis de Estrías.** En esta sección se analizan las graficas de tensor de esfuerzos y graficas de ejes de presión y tensión, además se grafican los resultados del diedro recto.

Teniendo en cuenta los conceptos de graficas estereográficas, se procede a analizar la relación espacial entre las diferentes diaclasas y su comportamiento con respecto a las fallas del área de estudio.

### **Zona 1:**

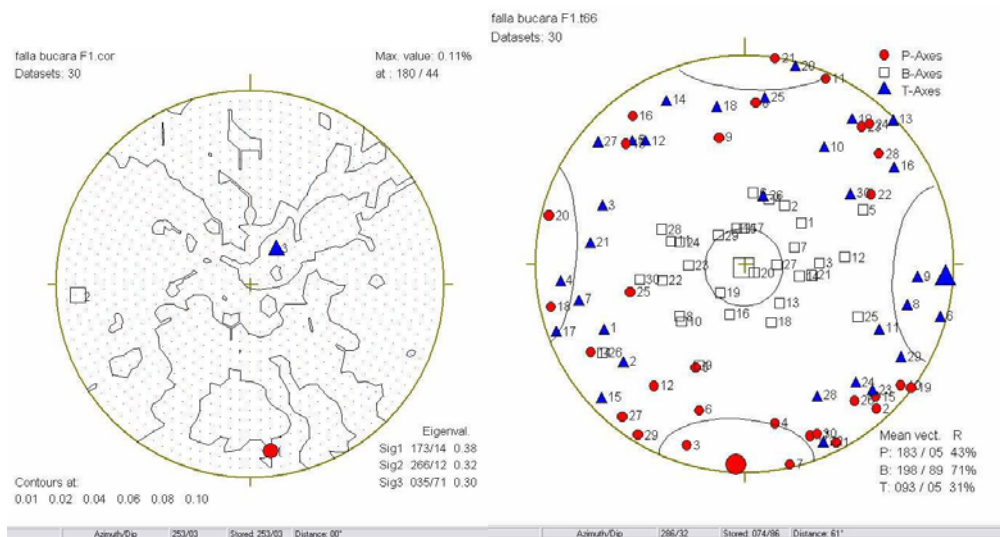
Para el sector 1 Figura 48A de la falla de Bucaramanga se obtiene un tensor de esfuerzos Compuesto por un esfuerzo principal horizontal ( $\sigma_1$ )  $173^\circ/14^\circ \pm 0.38$ , un esfuerzo intermedio horizontal ( $\sigma_2$ )  $266^\circ/12^\circ \pm 0.32$  y un esfuerzo mínimo vertical ( $\sigma_3$ )  $35^\circ/71^\circ \pm 0.30$ .

El mejor ajuste de los ejes de presión (P) y tensión (T) (Figura 48B) se encuentra con un ángulo ( $\Theta$ ) de  $66^\circ$ , el cual corresponde al ángulo entre el plano de falla y el eje principal de esfuerzos ( $\sigma_1$ ). El eje P tiene una orientación de  $183^\circ/05^\circ$  con un factor de correlación  $R = 43\%$ , el eje T se orienta  $093^\circ/05^\circ$  con  $R = 31\%$  y el eje B se orienta a  $198^\circ/89^\circ$  con  $R = 71\%$ . Teniendo en cuenta los regímenes tectónicos puros, en función de la orientación de los ejes de esfuerzos se obtienen los siguientes resultados.

En el sector se obtuvo un tensor de esfuerzos compuesto por uno principal horizontal ( $\sigma_1$ ) aproximado NS, un esfuerzo intermedio horizontal ( $\sigma_2$ ) y un esfuerzo mínimo vertical ( $\sigma_3$ ). Predomina un tensor de esfuerzos compresivo. Los resultados del diedro se encuentran en la Figura 48 C.

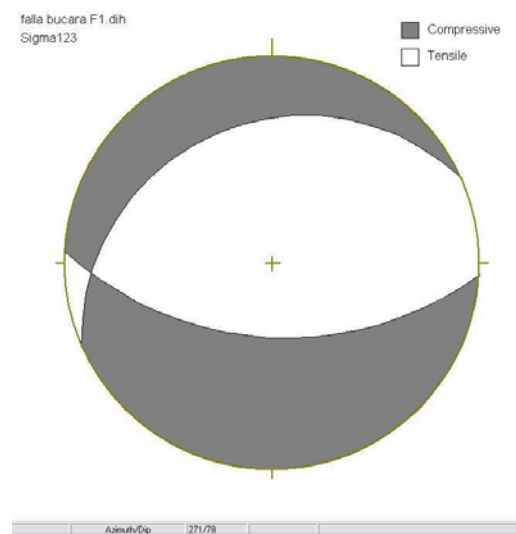
La correlación entre los valores de estría y el campo de esfuerzos se interpreta como el resultado de esfuerzos locales generados por la acción de un sistema de esfuerzos compresivos debido a la falla Bucaramanga.

**Figura 48.** Graficas originadas para la zona 1. A. Diagrama de tensor de esfuerzos B. Resultados del diedro recto C. Diagrama de ejes de presión y tensión



**A.**

**B.**



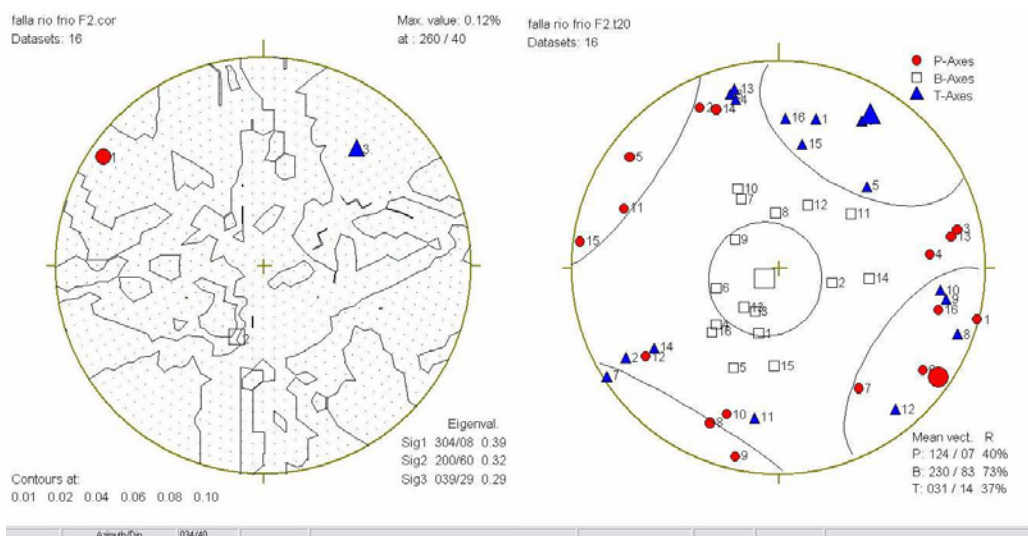
**C.**

**Zona 2:**

Para el sector 2 (Figura 49A) de la falla de Río Frío se obtiene un tensor de esfuerzos Compuesto por un esfuerzo principal horizontal ( $\sigma_1$ )  $304^\circ/08^\circ \pm 0.39$ , un esfuerzo intermedio horizontal ( $\sigma_2$ )  $200^\circ/60^\circ \pm 0.32$  y un esfuerzo

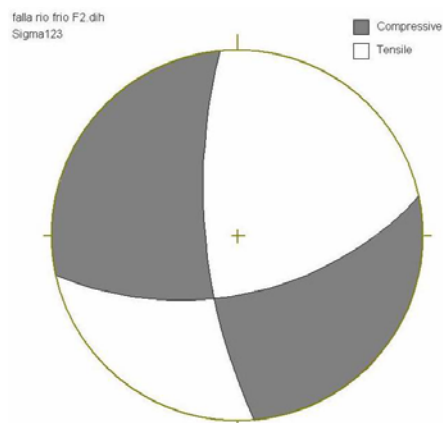
mínimo horizontal ( $\sigma_3$ )  $39^\circ/29^\circ \pm 0.29$ . El mejor ajuste de los ejes de presión (P) y tensión (T) (Figura 49B) se encuentra con un ángulo ( $\Theta$ ) de  $20^\circ$ , el cual corresponde al ángulo entre el plano de falla y el eje principal de esfuerzos ( $\sigma_1$ ).

Figura 49. Graficas originadas para la zona 2. A. Diagrama de tensor de esfuerzos B. Resultados del diedro recto C. Diagrama de ejes de presión y tensión



A.

B.



C.

El eje P tiene una orientación de  $124^{\circ}/07^{\circ}$  con un factor de correlación  $R = 40\%$ , el eje T se orienta  $031^{\circ}/14^{\circ}$  con  $R = 37\%$  y el eje B se orienta a  $230^{\circ}/83^{\circ}$  con  $R = 37\%$ . La correlación entre los valores de estría y el campo de esfuerzos se interpreta como resultado de la acción de un sistema de esfuerzos transpresionales originados probablemente por la influencia regional de la falla Bucaramanga.

De acuerdo a los gráficos y a las relaciones entre los tensores el campo de esfuerzos generales se ajusta a un cizallamiento rumbo deslizante con componente inverso. Los resultados del diedro se encuentran en la Figura 49 C.

## **5.5 ZONAS DE METEORIZACIÓN**

En el capítulo actual se realiza un análisis de los materiales no consolidados encontrados en la zona de estudio, con el fin de diferenciar zonas de meteorización en el área de estudio (Anexo C)

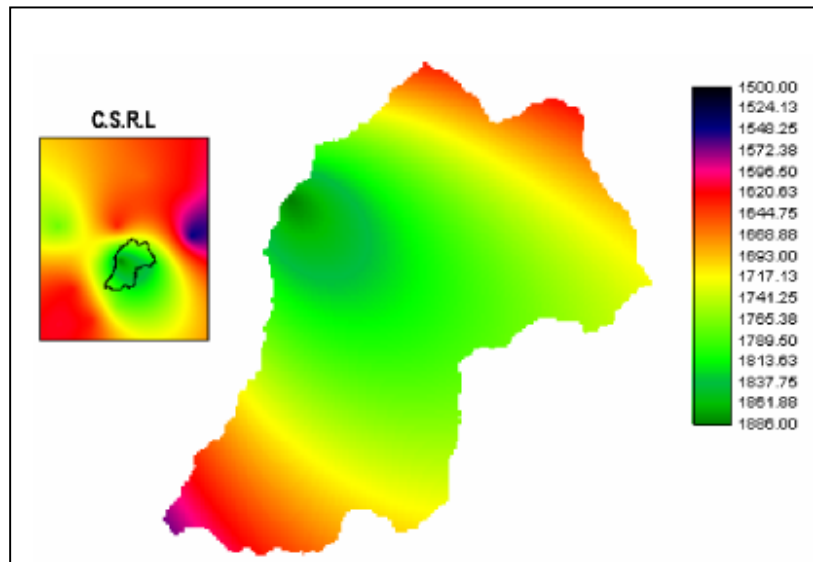
**5.5.1 Consideraciones preliminares.** Las áreas a definir para caracterización y muestreo se ubicaron con base a afloramientos con buena exposición del perfil de meteorización el cual puede relacionarse directamente con la roca parental. Estos perfiles se ubicaron a diferentes alturas topográficas y cada horizonte fue definido dentro de cada perfil teniendo en cuenta las características macroscópicas tales como coloración, compactación, textura y mineralogía. Los análisis químicos e identificación de la mineralogía de las arcillas de cada horizonte se desarrollaron usando una combinación de análisis granulométricos y difracción de rayos x,

**Ubicación geográfica.** Descripción detallada del sitio donde se tomó la muestra con coordenadas, además se define la unidad litoestratigráfica, los horizontes observados y el espesor de todo el perfil, tomando una muestra 0.5 – 1 Kg. Debidamente empacada para evitar contaminación.

**Características Macroscópicas de los niveles de roca meteorizada.** Se define el grado de desarrollo de la meteorización (bajo, medio, alto basado en BS 5930,1981), describiendo las forma de disgregación del material litológico, su coloración, cantidad de materia orgánica, mineralogía y granulometría, indicando la evolución de cada nivel respecto al horizonte en general.

**Características Petrográficas del protolito o roca parental.** Descripción de las fases minerales, tamaño de los cristales, texturas, alteración; a partir de lupas binoculares. La cuenca alta del río Frío, correspondiente al Macizo de Santander esta conformado por rocas de tipo ígneo, metamórfico y depósitos detríticos recientes, caracterizados por una compleja distribución estructural, estos aspectos sumados a factores climáticos han generado una distribución heterogénea de perfiles de meteorización, los cuales presentan una mezcla de características físicas, composicionales y texturales. Debido a que uno de los principales objetivos del proyecto era analizar el aspecto hidrogeológico de la cuenca, se hizo necesario en este proyecto definir zonas de meteorización presentes en la zona de estudio. Posteriormente en estas zonas de meteorización se tomaron muestras de material no consolidado que fueron tratadas y analizadas por medio de la técnica de difracción de rayos X (Ver Capítulo 5.6), por medio del cual se determinaron los minerales arcillosos y sus respectivos porcentajes.

Figura 50. Distribución espacial de precipitación media multianual. Cuenca Río Frío Alto. Fuente: Arenas y Ruiz (2005).

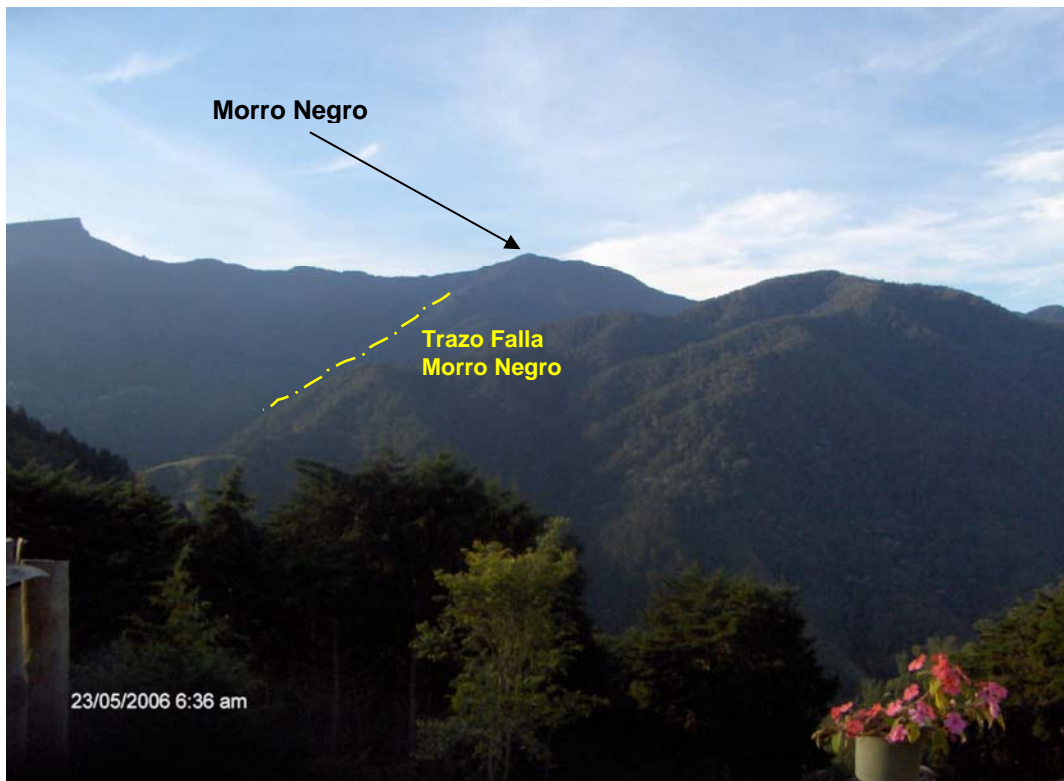


Para determinar las zonas de meteorización (Anexo C) se tuvieron en cuenta factores como: Temperatura, pluviosidad, textura del material no consolidado, litología, cobertura vegetal, altura sobre el nivel del mar y espesores del regolito, identificados en la fase de campo.

Para la pluviosidad como factor de incremento en la meteorización se tuvo en cuenta la distribución espacial de precipitación media multianual de la cuenca del río Frío Alto. Las precipitaciones medias multianuales nombradas, son basadas en el estudio de Maradei y Rojas (2002). Las estaciones de precipitación utilizadas en tal estudio fueron: La estación pluviométrica La Galvicia monitoreada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, La estación Climatológica Ordinaria La Esperanza y La Mariana, monitoreadas por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB.

## ZONA 1

Figura 51. Al fondo se observa el lugar conocido como “Morro Negro” y en amarillo el trazo de la Falla del mismo nombre. Se caracteriza por tener fuertes pendientes y espesa vegetación. En el lugar afloran rocas del Neis de Bucaramanga con parches de Ortoneis.



Es la zona, con una meteorización de *moderada a alta*, comprende rocas del Neis de Bucaramanga con parches de Ortoneis (Pemb). Topográficamente es la más elevada de la cuenca y alcanza los 3050 msnm. Se localiza al noreste en el lugar conocido como “Morro Negro” y llega hasta la divisoria con el río Hato o Lato. Su topografía es de pendientes moderadas empinadas a muy empinadas con patrón lineal, que facilita la desunión de las rocas por gravedad. Esta condición es la de mayor incidencia, aunque la pluviosidad y la densa vegetación que existe facilitan la meteorización al igual que en la zona 1. Los perfiles de suelo que allí se generan son de textura arcillo-arenosa y los espesores de meteorización alcanzan una profundidad efectiva

de 1 a 1.5 m. y los colores de este material son marrones oscuros y naranjas brillantes.

## ZONA 2

**Figura 52.** Perfil de Meteorización en la zona 1, se aprecia una delgada capa de material orgánico de 10 cm y un grado de meteorización moderado de la Cuarzomonzonita de la Corcova.



Esta se localiza entre las veredas El Mortiño y Aguablanca sobre la carretera que conduce de Bucaramanga al corregimiento de la Corcova. El nivel de meteorización es *moderado*, la roca que aflora es Cuarzomonzonita de la Corcova que por su composición y estructura es resistente. Sin embargo factores como la pluviosidad promedio de 1717 a 1886 mm. por año (Fig.), la más alta en los alrededores, la densa vegetación y organismos vivos, tales como bacterias ayudan en el proceso de meteorización química. Otros elementos ambientales pueden incidir en la meteorización, pero sobre todo

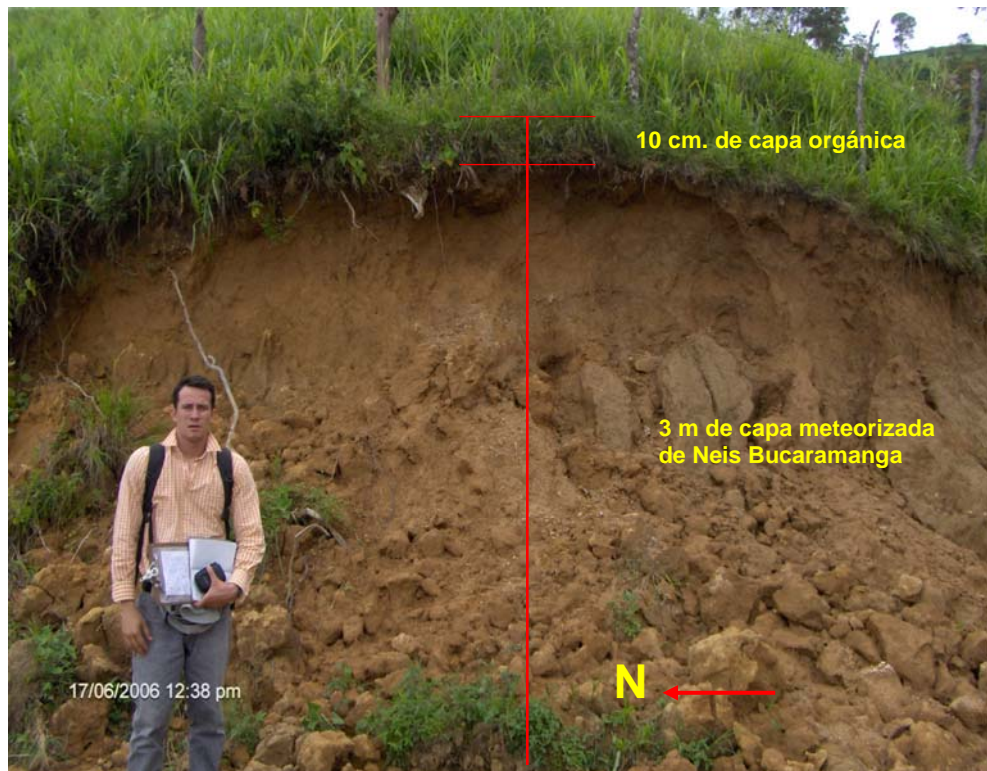
las condiciones de humedad y pluviosidad son las más representativas, aunque predominan los procesos de meteorización mecánica, especialmente por acción del alivio a descargue, en zonas de alta pendiente. En los niveles superficiales que corresponden a material orgánico, se observan espesores delgados de 20cm hasta 50cm. Lo que en total, junto con el material no consolidado del perfil representan espesores promedios para esta zona que alcanzan 3 m en pendientes fuertes y en zonas de pendiente del 5% hasta 6 m.

**Figura 53.** Bosques espesos se localizan en las zonas del nacimiento del Río Frío, los cuales actúan como zona de recarga de la cuenca y propician la actividad de meteorización.



### ZONA 3

Figura 54. Derrumbes en taludes de material no consolidado en la zona 3 de meteorización (Anexo C), el espesor tomado en este lugar es de 3m, aunque se encuentran hasta 4 m. Foto tomada cerca de la escuela de la Vereda Alto Mantilla. a 2000 msnm.



Se localiza al sureste del are de estudio, de topografía abrupta con sistema de drenajes predominantemente dendrítico a subdendrítico con fracturas y fallas. Pendientes que van del 10 al 75 % severamente disectadas.

Esta densamente cubierto por vegetación nativa y existe además una invasión de cultivos de café, plátano y cultivos limpios, que dejan al descubierto la *alta meteorización* del lugar.

Las unidades rocosas que componen esta zona son la Cuarzomonzonita de la Corcova y el Neis de Bucaramanga en menor proporción. Los productos

de meteorización son de textura arcillo arenosa de color pardo naranja en lugares donde la roca parental es el neis y de textura areno arcillosa de colores que van del rosa al blanco, en donde hay cuarzomonzonita. Los espesores medidos en el campo van desde 2m en zonas de pendientes altas y de 4m en pendientes moderadas.

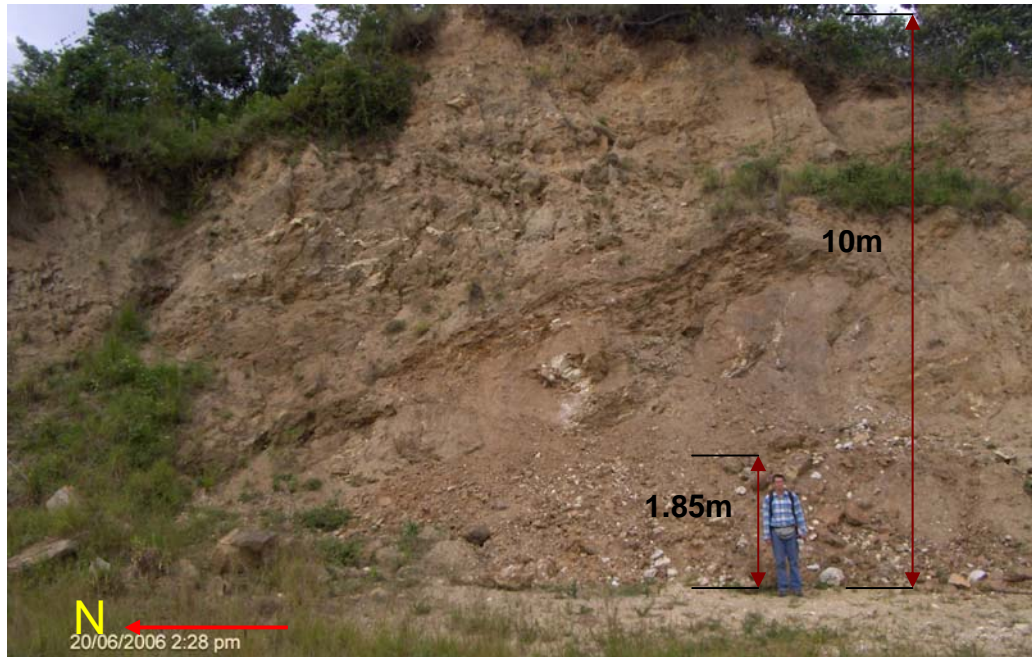
La meteorización en este lugar esta afectado principalmente por fracturamiento, provocado por cercanía a las fallas de Casiano, Río Frío y Lato; por la humedad generada por la densa vegetación y la existencia de los nacimientos de las diferentes quebradas que llegan al cauce principal del Río Frío.

Figura 55. Coloración parda naranja con textura areno arcillosa en material no consolidado, 500 m abajo de la Escuela de la Vereda Alto Mantilla en la zona 3.



## ZONA 4

Figura 56. Zona cercana a la falla Bucaramanga, se observa la roca triturada y altamente diaclasada. Se puede apreciar el espesor de los niveles de meteorización, los más altos registrados.



Su meteorización es muy alta. Se localiza en el occidente del área de estudio a lo largo de la Falla Bucaramanga, la cual se caracteriza por tener pendientes disectadas que van del 5 al 75%. Topográficamente se ubica entre los 1000 y 1600 msnm. Comprende rocas de la unidad Neis de Bucaramanga, la cual ha sufrido trituramiento y alto diaclasamiento. Existe una diversidad de textura y colores de los perfiles del material no consolidado en esta zona, debido a la heterogeneidad de la roca parental, no obstante todos ellos se agruparon dentro de una clasificación de textura arcillo arenosa de colores que van del blanco a naranja y rojo intenso. Las profundidades de la meteorización en lugares de alta pendiente rondan los 6m de profundidad medidos en taludes de carretables veredales. En lugares

mas cercanos a la Falla y de pendientes moderadas, las profundidades se incrementan hasta los 10 m y es posible que tengan mucha mas profundidad.

**5.5.2 Análisis de Arcillas.** Debido a la alta meteorización en la cuenca alta del Río Frío y en mayor proporción en la zona 4, de meteorización que corresponde al sistema de Falla Bucaramanga, las arcillas encontradas en el campo, no presentan estructura y en las muestras colectadas, su parentesco con la roca fuente es difícil de definir. Estas características se reflejan en los difractogramas de Difracción de Rayos X (DRX).

En la Unidad Cuarzomonzonita de la Corcova, los feldespatos se meteorizan inicialmente a Kaolinita, Óxidos de Hierro y Óxidos de Aluminio y los compuestos más resistentes como las partículas de Mica y Cuarzo permanecen.

A medida que el proceso de meteorización continúa los contenidos de Caolinita disminuyen y se alteran los demás compuestos a  $Fe_2O_3$  y  $Al_2O_3$ . Existen investigaciones que demuestran la disminución de los contenidos de Caolinita, con el aumento del promedio anual de lluvias (Lohnes y Demirel, 1973). De manera que en una zona con alta pluviosidad como la Cuenca Alta del Río Frío es un factor significativo.

Haciendo un promedio de la relación Pico-Valle de los DRX para la Caolinita; esta manifiesta un pobre desarrollo cristalino a lo largo de la zona 4, en donde se abren las discontinuidades y se desintegra la roca, formándose nuevas discontinuidades por fracturación y las partículas se parten, aumentando la relación de vacíos y la permeabilidad, lo que va disminuyendo la cohesión.

Esto confirma la intensa meteorización a la que se encuentra sometido el lugar.

En la zona 2 y 3 de meteorización correspondiente a la parte central de la zona de estudio, se incrementa el contenido de arcilla y de suelo en general y se disminuye la fricción. La descomposición puede ser ocasionada por procesos químicos o biológicos. Los procesos químicos incluyen la hidrólisis y el intercambio cationico. Los procesos biológicos pueden incluir efectos de las raíces, oxidación bacteriológica y reducción de hierro, debido a la alta densidad de vegetación de bosques en el estas zonas. Se observo una estructura típica de meteorización denominada duripan, ligada a las condiciones climáticas del lugar con pluviosidad promedio de 1700 mm por año. De manera que se clasificaron las arcillas de este lugar como arcillas de tipo 3 (Ver Capitulo 5.5.2).

El total de muestras colectadas en la zona fueron 60 y la interpretación que se le dieron a los DRX apoya la zonificación de meteorización que se realizó. Aunque los datos climatológicos, espesores del material meteorizado y en general los tomados en el campo son complemento para la identificación de estas zonas que pueden significar en el futuro una base para un modelo hidrogeológico que se quiera definir.

## **5.6 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA**

En la zona del macizo de Santander se encuentran diferentes unidades geológicas y de diferentes edades así se analizara le evolución tectónica desde las unidades mas antiguas hasta los depósitos recientes en la zona.

Las rocas mas antiguas del Macizo de Santander son neises biotíticos, cuarzo feldespáticos y horbléndicos; anfibolitas y migmatitas agrupadas en la

unidad Neis de Bucaramanga, con metamorfismo regional. Se le ha asignado al Neis de Bucaramanga una edad proterozoica Debido a que puede reflejar el ciclo de Orogenia del Precámbrico. (WARD et al. 1973),

A mediados del Proterozoico, el basamento que comprende actualmente al Macizo de Santander se encontraba conectado probablemente al Escudo de Guayana (IRVING, 1971; KROONENBERG, 1982) durante diversas orogenias o bien existía como un basamento alóctono con respecto a dicho escudo (TOUSSAINT y RESTREPO, 1989).

En este tiempo se desarrolla una cuenca marina en la que se depositan sedimentos clásticos con importantes aportes ígneos alcalinos. A finales del Proterozoico (945 - 680 m.a.) esta secuencia es deformada, intruida por cuerpos de composición granodiorítica - cuarzomonzonítica y es sometida a metamorfismo de alto grado como es el caso del Neis de Bucaramanga, alcanzando las condiciones de facie anfíbolita zona de silimanita superior (GARCÍA Y RÍOS, 1999; GARCIA Y CAMPOS, 2000). El basamento del precámbrico en el Macizo de Santander, representa el zócalo más antiguo de todo el oriente colombiano, lo que explica las características andinas o intracontinentales de las orogenias que afectaron esta región. Durante el Paleozoico temprano se depositó, sobre paleorrelieves erosionados del Proterozoico, una megasecuencia grano -decreciente cíclica de ambientes de talud submarino (ETAYO, et al., 1983). La Orogenia Caledoniana afectó los depósitos cambriano-ordovícicos, produciendo fuertes plegamientos y un metamorfismo de muy bajo a localmente bajo grado, hasta las facies esquistos verdes, conformándose la Formación Silgará y la unidad de la secuencia metasedimentaria en el Macizo de Santander, que consiste en, esquistos micáceos, estaurolíticos, granatíferos, anfíbolíticos, calcareos; cuarcitas muscovíticas y biotíticas; mármoles, filitas . En algunos sectores del Macizo de Santander, las rocas del Neis de Bucaramanga y la Formación

Silgara fueron intruidas por el protolito de la Unidad Ortoneis de Berlín, sin embargo, en algunos lugares esta relación no es clara. (GARCÍA Y URIBE, 2003)

Después del hiato estratigráfico en el intervalo Devónico superior-Carbonífero inferior, se sucede el avance de un mar transgresivo (Pensilvaniano-Pérmico). Se inicia una tectónica de fallamiento en respuesta a movimientos epirogénicos que forman relieves de mesas y valles; los avances y retrocesos del mar se suceden en un paisaje árido como lo evidencia la alternancia de sedimentitas rojas y calizas biogénicas. A comienzos del Triásico se inicia la apertura del Paleocaribe por formación de fosa tectónica de hundimiento (graben), con actividad volcánica más o menos intensa que separa a Norte y Suramérica. El “megaterreno ancestral” comienza a fraccionarse, algunas áreas empiezan a hundirse y en las cuales sólo se depositaron algunos abanicos aluviales (TOUSSAINT y RESTREPO, 1989). En las fases finales del Triásico y comienzos del Jurásico, se inicia la ruptura de La Pangea mediante un proceso de formación de cuenca intercontinental, cuyas ramificaciones afectan gran parte del Cratón Suramericano (se forman aulacógenos, cuencas de tracción), (MAZE,1984 en CLAVIJO y ROYERO,2000).

A principios del Jurásico se inicia un proceso de formación de cuencas en lo que hoy son los valles Medio del Magdalena y del Cesar (MACÍA, et al., 1985; MOJICA y FRANCO, 1992). Este proceso se inicia en una franja estrecha dando origen a sedimentitas jurásicas, que por esfuerzos distensivos empieza a hundirse en bloques escalonados, provocado por un fallamiento normal, formándose de esta manera el graben primario. En lo referente al actual nororiente colombiano, se forman algunas cuencas (Valle Medio del Magdalena, Cesar, Perijá, Mérida, Maracaibo), que fracciona la corteza superficial por hundimiento en bloques escalonados siguiendo un

patrón en zig-zag, limitado por dos sistemas de falla, uno N-NE y otro NW-SE que lo desplaza, cuyo elemento principal es la Falla de Bucaramanga-Santa Marta. Se suceden breves incursiones marinas (Formación Bocas), seguidas de una sedimentación fluviolacustre, acompañada de un incipiente vulcanismo explosivo (Formación Jordán) que aporta en parte material de relleno de estas cuencas; simultáneamente ocurre la intrusión de cuerpos granodioríticos en el Macizo de Santander (190-160 m.a). Varios batolitos y plutones cuya composición varía de granito a diorita fueron intruidos durante el jura - triásico y ocasionaron desarrollo local de migmatitas. Con este ciclo magmatico se relacionan pequeños stocks de porfidos dacíticos-andesítico y diques de basalto, diabasas y dacitas. Cuerpos intrusivos de afinidad calcoalcalina se emplazaron en las unidades metamórficas durante el triásico tardío – jurásico temprano. Sin embargo, algunas dataciones K\Ar y Rb-Sr en batolitos indican una edad paleozoica. Goldsmith et al. 1971; Boinet et al. 1985.

A finales del Jurásico y comienzos del Cretácico se deposita la potente secuencia fluvial del Grupo Girón.

En el Cretácico temprano la sedimentación continental da paso de manera gradual a la transgresión marina, que inicialmente inunda las entradas de las ramificaciones del Paleorift del Magdalena y luego invade áreas mayores (ETAYO, et al., 1989), depositándose una espesa secuencia de areniscas, lutitas y calizas de las formaciones cretácicas en las provincias del Valle Medio del Magdalena, Maracaibo y áreas menores en las provincias de Santander y Mérida. En el Cretácico tardío y comienzos del Terciario, se produce el retiro del mar, acompañado de un levantamiento diferencial. En este tiempo termina la larga etapa distensiva y se produce una inversión de esfuerzos, que desde el Paleoceno da inicio a la etapa compresiva. En el Paleoceno medio ocurre el levantamiento de la provincia del Macizo de

Santander. La Cordillera Oriental de Colombia se ha formado en este periodo como consecuencia de la inversión tectónica de cuencas Mesozoicas. Durante esta inversión las antiguas fallas normales, que limitaban las cuencas de rift se reactivaron en compresión frontal u oblicua dependiendo de la posición que ellas guardan con los esfuerzos generados por los movimientos de las placas oceánicas nazca, cocos y caribe con respecto a la placa continental Sudamérica. (Taboada et al. 2000).

Durante este lapso la erosión remueve gran parte de la megasecuencia cretácica, y aporta el material que forma las diversas y potentes unidades terciarias. Durante el Mioceno medio se inicia el levantamiento generalizado de la Cordillera Oriental colombiana. En el Mioceno medio-tardío se produce una fase de compresión más intensa, y se forma en la parte occidental de la Cordillera Oriental, una cadena plegada cabalgante con vergencia al occidente (FABRE, 1983) y un sistema de cabalgamiento con vergencia hacia el oriente en la región oriental (Bloque de Pamplona).

Esto hace que gran parte del macizo de Santander se comporte como un horst cuyos flancos oriental y occidental cabalgan sobre el “terreno Valle Medio del Magdalena” al occidente y “terrenos Maracaibo y Llanos” al oriente (FABRE, 1983; TOUSSAINT y RESTREPO, 1989; TOUSSAINT, et al., 1992). Durante el Mioceno tardío y el Plioceno, la Falla Bucaramanga-Santa Marta, tuvo su desplazamiento de rumbo sinistral de aproximadamente 100 km (BOINET, et al., 1989).

La última fase compresiva en la Cordillera Oriental se produce desde el Mioceno tardío y se continúa hasta el presente (BOINET, et al., 1985), generada por el desplazamiento de la placa Suramericana hacia el occidente. En el Mioceno temprano-Plioceno- Pleistoceno se deposita la secuencia molásica del Grupo Real. Entre el Pleistoceno y el Holoceno, se producen

grandes depósitos fluviales semiconsolidados y pequeños depósitos glaciares; se destacan los que cubren el Valle Medio del Magdalena y los que constituyen la Meseta de Bucaramanga y el altiplano de Berlín, entre otros.

## CONCLUSIONES

La cartografía a escala 1:25000 realizada para el área de la cuenca alta del Río Frío en las planchas 120-II-B y 109-IV-D permitió identificar tres (3) unidades de roca que tienen edades del Paleozoico inferior y del Triásico-Jurásico y depósitos no consolidados del Cuaternario: 1) Unidad Neis Bucaramanga (Peb) constituida por un neis de composición cuarzo feldespática de color blanco o rosado y neis de composición mafica con alternancia de bandas anfibolicas y cuarzo feldespaticas, bien definidas. 2) la segunda unidad se define como neis de Bucaramanga con masas abundantes de ortoneis. 3) Cuarzomonzonita de la Corcova, la cual es de grano fino a medio.

Los depositos cuaternarios representan el 4% de la estratigrafia en la zona y se encuentran al costado de este de la Falla Bucaramanga.

En este proyecto se determinaron nuevas fallas como la Casiano que es una Falla inversa con un plano 100/46, la falla la Corcova que es inversa sinistral con un plano general de falla de 200/65 y La falla Morronegro que es una falla normal con dirección NW, estas fallas son definidas con base en criterios litologicos, geomorfológicos y de estrías, que fijaron el rumbo y el sentido del movimiento al que están sujetas.

Algunas de estas fallas estaban definidas como lineamientos en estudios anteriores y otras de estas no habían sido mencionadas.

La orientación preferencial de las diaclasas en el área esta definida por tres orientaciones generales, NE, que es la dirección que predomina, SE y SW. Estos datos de diaclasa tienen buzamientos entre 60° y 80° lo que facilita el almacenamiento y en menor proporción un transporte de agua entre las diaclasas.

Debido al avanzado estado de meteorización continuo en la Cuenca Alta del Río Frío, los contenidos de Caolinita disminuyeron. Existen investigaciones que demuestran la disminución de los contenidos de Caolinita, con el aumento del promedio anual de lluvias (Lohnes y Demirel, 1973). De manera que en una zona con pluviosidad promedio de 1700 mm por año, como en esta cuenca es un factor significativo.

Las rocas que conforman la cuenca alta del Río Frío, Cuarzomonzonita de la Corcova y Neis de Bucaramanga, presentan condiciones de alta meteorización y fracturamiento, generadas por la acción de las fallas de Río Frío, la falla de Bucaramanga entre otras, llegan a generar alta permeabilidad secundaria que permiten la infiltración y el transporte del agua subterránea. Además, las condiciones de humedad por la abundante vegetación en los múltiples nacimientos de agua que conforman el cauce principal del Río Frío ubicados en la zona alta con precipitación que supera en promedio los 1700 mm por año, hacen que esta cuenca presente condiciones de significativa recarga.

La metodología generada para realizar análisis de difractogramas de DRX, es considerada pionera en el país, y sirve como herramienta fundamental para la detección del estado en el que se encuentran las arcillas colectadas. Además la metodología optimiza los procesos en el laboratorio reduciendo el tiempo y la inversión en estos estudios.

En el sector occidental de la zona estudiada se obtuvo un tensor de esfuerzos principal horizontal aproximado NS, Predominantemente compresivo con disposición general de los buzamientos hacia el NE y confirmando la dirección de las diaclasas en dirección SE. Para la zona del cerro la judía y la parte oriental de la zona de estudio, se obtuvo un tensor transpresivo, debido a la acción de la falla Bucaramanga, las diaclasas tienen

direcciones de buzamientos predominantes hacia el NE y las direcciones de las diaclasas están generalmente hacia el NW.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda efectuar un estudio petrográfico de las muestras colectadas en campo, para analizar las diferentes características de las rocas aflorantes, teniendo en cuenta aspectos relacionados con la hidrológica y meteorización.

Efectuar campañas geofísicas cerca de la falla de Río Frío y las que se definieron como Mensuli, Morro Negro, Casiano y la Corcova; para comprobar datos y relaciones geológicas propuestas en esta tesis, además de realizar campañas geofísicas en las partes altas de la cuenca y otros lugares donde existen zonas de almacenamiento hídrico.

Se debe profundizar en la identificación y verificación del estado de las arcillas en relación con las zonas de meteorización diferenciadas en este trabajo. Es necesario conocer su estado ya que pueden mostrar en los perfiles de meteorización la evolución en los comportamientos climáticos de la zona estudiada e ir a un nivel más regional.

Se logró tomar una cantidad de datos estructurales significativa para poder definir fallas. Sin embargo la cobertura de datos en zonas de alta densidad de vegetación limitó la toma de datos estructurales. Es recomendable que en trabajos se tomen datos suficientes con una disposición mayor de tiempo para poder definir posibles movimientos de los lineamientos que se localizan en estas zonas.

## BIBLIOGRAFÍA

BELTRAN, Ruth y REY, Alexander. Comportamiento estructural asociado al sistema de fallas Bucaramanga – santa marta y diaclasas, para definir una red de drenaje subterráneo en el macizo de Santander, sección entre piedecuesta (río de oro) y Bucaramanga (río suratá). Departamento de Santander, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, Bucaramanga, 2002.

BOINET, T., et al., 1989. La Falla de Bucaramanga (Colombia), su función durante La Orogenia Andina. *Geología Norandina* (11): 3-10. Bogotá.

BOINET, T., et al., 1985. Le Poicon de Pamplona (Colombie): Un jalon de la frontiere meridionale de la plaque Caraibe. *Societe Geologique France. Bol.* 8, I (3): 403-413. París.

BUENAHORA, Carlos y OSORIO, Henry. Desarrollo del modelo digital de elevaciones de la cuenca de Río Sucio, Municipio de Tona. Departamento de Santander, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, Bucaramanga, 2005

CASSIRAGA, Eduardo. Incorporación de Información blanda para la cuantificación de la incertidumbre: aplicación a la hidrogeología. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 1999.

CAMPBELL, C.J., 1965. The Santa Marta wrench fault of Colombia and its regional setting. *Fourth Caribbean Geological Conference. Memoir* : 247-261. Trinidad.

CDMB. Estudio de Plan de Ordenamiento Ambiental de la Cuenca del Río de Oro, Área de Jurisdicción de la CDMB. INFORME FINAL: Caracterización Biofísica y Socioeconómica, Evaluación, Prospectiva, Zonificación Ambiental Formulación y Proyecto de Acuerdo. Bucaramanga, 2003

CLAVIJO, Jairo; ROYERO G. 2000. Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander (Escala 1:400.000) Memoria Explicativa, INGEOMINAS, 2000, Bucaramanga

CLAVIJO, J., et al., 1993. Contribución al conocimiento de la geología de los Santanderes. Cuarto Simposio de Geología Regional. Ingeominas. Documento interno, 99 p. Bucaramanga.

ETAYO, F. et al., 1983. Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. Publicaciones Geológicas Especiales Ingeominas, (14-I). 1- 235 Bogotá

ETAYO, F. et al., 1989. Análisis facial del inicio del avance marino del Cretácico en la región SW del Macizo de Santander. V Congreso Colombiano de Geología. Guía de Excursión Técnica, 41 p. Bucaramanga

FABRE, A., 1983. La subsidencia de la Cuenca del Cocuy, Cordillera Oriental de Colombia durante el Cretácico y Terciario. Geología Norandina, (8): 21-27, 49-61. Bogotá.

FELICÍSIMO, A. 1994. Modelos Digitales del Terreno. Asturias (España), [Online] <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli/>.

FILI, Mario F, et. Al. Modelo hidrogeológico conceptual de la relación entre los acuíferos pampeano y puelche en un sector del sur de la provincia de

santa fe. Republica Argentina, PROINSA - Proyectos de Ingeniería S.A.  
Santa Fe, Argentina

GARCIA, C y CAMPOS, N., 2000. Composición Química y mineralógica de las biotitas metamórficas del sector central del macizo central de del macizo de Santander, Colombia. Boletín de Geología UIS, Vol 22, N° 37, pp. 18-27.

GARCIA, C., RIOS, C., 1999. Metamorfismo y Metalogenia Asociada del Macizo de Santander, Cordillera Oriental, Colombia. Informe Final Proyecto de investigación 1102-05-083-95 Colciencias- Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 191p.

GARCIA, C y URIBE, E, 2003. Los Delirios: un Yacimiento Hidrotermal de oro y plata en la región de Vetas, Santander. Colombia. Boletín de Geología UIS, Vol 25, N° 40, pp. 91-103.

GOLDSMITH, R., et al. 1971. Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombian Andes. U.S. Geological Survey Professional Paper (750): 44-49. Washington.

GOMEZ, Edinson y LÓPEZ, Carlos. Estimación de la recarga mensual en la parte alta de la cuenca del Río Frío por medio de un modelo hidrológico distribuido. Departamento de Santander, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, Bucaramanga, 2005.

GONZÁLEZ, G. y QUINTERO, M. Patrones de fracturamiento asociados a la falla de Bucaramanga sector Piedecuesta – Río Suratá. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, Bucaramanga, 1990.

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, INGEOMINAS. 2004. Programa de exploración de aguas subterráneas. Bogotá D.C.

INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA, INGEOMINAS, 2001. Zonificación Sismogeotectónica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga. Bucaramanga.

IRVING, E.M., 1971. La evolución estructural de los Andes más septentrionales de Colombia. Ingeominas. Boletín Geológico, 19 (2) : 1-89. Bogotá.

JULIVERT, M., 1958. La morfoestructura de la zona de Mesas al SW de Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Boletín de Geología, (1) : 7-44. Bucaramanga.

JULIVERT, M., 1961. Las estructuras del Valle Medio del Magdalena y su significación. Universidad Industrial de Santander. Boletín de Geología, (6): 33-52. Bucaramanga.

LAHEE, Frederic. Geología Práctica. Ediciones Omega, S. A. ; Barcelona, 1962

KROONENBERG, S., 1982. Litología, metamorfismo y origen de las granulitas del Macizo de Garzón, Cordillera Oriental (Colombia). Geología Norandina, (6). 39-46. Bogotá.

MACÍA, C., MOJICA, J. y COLMENARES, F., 1985. Consideraciones sobre la importancia de la paleogeografía y las áreas de aporte precretácicas en la prospección de hidrocarburos en el Valle Superior del Magdalena, Colombia. Geología Colombiana, (14) Bogotá.

MENDOZA, C., y SANDOVAL, R. Un Estudio de Oferta Hídrica en la Cuenca Superior del Río Lebrija. 2002, 78 p. Proyecto de Grado (Ingeniero Civil). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil.

MOJICA, J. y FRANCO, R., 1992. Estructura y evolución tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena. Universidad Nacional de Colombia. Geología Colombiana, (17) : 41-64. Bogotá.

PINTO, J y TELLEZ, G, Interpretación de los Rasgos Neotectónicos Asociados al Sistema de Fallas Bucaramanga-Santa Marta en el Departamento de Santander Mediante el Procesamiento Digital de Imágenes de Radar y Satélite. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, Bucaramanga, 1999.

RAMÍREZ, Argemiro. Propuesta de un modelo hidrogeológico conceptual a partir de la caracterización física de la cuenca del Río Pamplonita – Énfasis áreas de Cúcuta y Villa del Rosario – Departamento Norte de Santander, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, Bucaramanga, 1999.

ROJAS, Nadia y ULLOA, Alexandra. Cartografía geológica y caracterización estructural de la cuenca de la quebrada río sucio, municipio de tona, Santander, orientado a definir un modelo hidrogeológico conceptual. Departamento de Santander, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, Bucaramanga, 2005.

ROSSELLO, E. A, La sintaxis tectónica neógena de las Cordilleras Oriental y Santander: Aportes de modelos analógicos y controles regionales sobre los sistemas petroleros. 3RA. CONVENCIÓN TÉCNICA DE LA ACGGP.

ROYERO, J.M., 1994. Geología de la Plancha 65, Tamalameque (Departamentos del Cesar y Bolívar). Ingeominas. Memoria Explicativa, 76 p. Bucaramanga.

SCHAMEL, S. Middle and upper Magdalena basins. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 52, 283-303. 1991.

TABOADA, A. et al., 2000. Geodynamics of the northern Andes: subductions and intracontinental deformation (Colombia). *Tectonics*, 19 (5), 787-813.

TOUSSAINT, J.F., y RESTREPO, J.J., 1989. Acreciones sucesivas en Colombia: Un nuevo modelo de evolución geológica. V Congreso Colombiano de Geología. Memoria, : 127-146. Bucaramanga

TOUSSAINT, J.F., RESTREPO, J.J. y GÓNZALEZ, H., 1992. Corte geológico cortical en Los Andes Colombianos. Universidad Nacional de Colombia. Boletín Ciencias de la Tierra No. 11, p. 1-14. Medellín.

TSCHANZ, CH., et al., 1969. Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta área Colombia. Ingeominas. Informe 1829. Preliminary report, 288 p. Bogotá.

TSCHANZ, CH., et al., 1974. Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, North Eastern Colombia. *Bulletin Geological Society of America*, (85): 273-284. Colorado.

VARGAS, Nelson Omar. Zonas Hidrogeológicas Homogéneas De Colombia, Escala 1:1.200.000. Postgrado en Recursos Hidráulicos, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Bogotá D.C. 2001.

VARGAS, G. y NIÑO, A., 1992. Patrones de fracturamiento asociados a la Falla de Bucaramanga. UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Tesis, 95 p. Bucaramanga.

VERGARA, Otoniel. Prospección geológica para aguas subterráneas en rocas cristalinas fracturadas del macizo de Santander, sector oriental de Bucaramanga. Departamento de Santander, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, Bucaramanga, 2003.

VILLOTA, Hugo. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación Física de las tierras. Primera Parte, Geomorfología de Zonas montañosas, colinadas y onduladas. INSTITUTO GEOGRAFICO "AGUSTÍN CODAZZI", Bogotá D.C. 1991.

WARD, W., et al., 1973. Geología del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander y Norte de Santander. Ingeominas. Boletín Geológico, 21 (1-3): 1-32. Bogotá.

MANUAL DEL USUARIO SURFER. 2004. Golden Software, Inc.

