

**CARTOGRAFIA GEOLÓGICA Y CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DE LA
SUBCUENCA DEL RIO TONA, MACIZO DE SANTANDER, CON FINES
HIDROGEOLOGICOS**

**LINA LILIANA OSORIO SANABRIA
OSCAR MAURICIO SALAZAR CASTELLANOS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICO QUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2006**

**CARTOGRAFIA GEOLÓGICA Y CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DE LA
SUBCUENCA DEL RIO TONA, MACIZO DE SANTANDER, CON FINES
HIDROGEOLOGICOS**

**LINA LILIANA OSORIO SANABRIA
OSCAR MAURICIO SALAZAR CASTELLANOS**

**Proyecto de Grado presentado como requisito para optar al titulo de
Geólogo**

**Director
JUAN DIEGO COLEGIAL GUTIERREZ
Geólogo Ph.d**

**Codirectora
SULLY GOMEZ ISIDRO
Ing. Civil Ph,d**

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

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mi familia, mi madre, mi padre y mi hermano quienes se han sacrificado para que yo llegue hasta aquí y porque a ellos le debo mucho de lo que soy. Muy especialmente a Lina Lilitiana por ser la alegría de mi vida y porque sin ella hubiese sido imposible la realización de este proyecto.

Oscar Maurício

A mi familia, en especial a mi madre por su apoyo constante y por haberse convertido en mi modelo a seguir, a mi hermanito por ayudarme a cumplir este sueño.

Y con todo mi corazón a Mauricio por ser el hombre de mi vida.

Lina Lilitana

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este libro agradecen a:

La Geóloga Alexandra Milena Ulloa, por su apoyo y dedicación en este proyecto.

El Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático por su colaboración.

Nuestros directores de este proyecto Juan Diego Colegial y Sully Gómez Isidro por sus recomendaciones.

El Geólogo Rafael Duarte y todo el equipo de trabajo de INGEOMINAS cuyas experiencias fueron un aporte importante para la realización de este trabajo.

Los profesores Ricardo Mier Umaña, Jairo Clavijo y Luis Carlos Mantilla por sus invaluable recomendaciones en la elaboración de este trabajo.

La gente del Municipio de Tona, por la gran hospitalidad y amabilidad que nos brindaron en la fase de campo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1.OBJETIVOS	21
1.1 OBJETIVO GENERAL	21
1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
2. GENERALIDADES	22
2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	22
2.2 VÍAS DE ACCESO	23
2.3 POBLACIÓN	23
2.4 CLIMA, RECURSO HIDRICO Y VEGETACIÓN	24
2.4.1 Clima	24
2.4.1.1 Precipitación	25
2.4.2 Hidrografía	26
2.4.3 Vegetación en la SRT	27
2.4.4 Suelos	29
2.5 UBICACIÓN GEOLÓGICA	30
2.6 ANTECEDENTES	30
2.7 METODOLOGIA	33
3. CARTOGRAFIA GEOLOGICA	36
3.1 REVISIÓN DE CARTOGRAFÍA EXISTENTE	36
3.2 ANALISIS MORFOESTRUCTURAL A PARTIR DE MAPAS TOPOGRÁFICOS Y DEM'S	41
3.2.1 Metodología.	42
3.3 CAMPO	44
3.4 FASE DE LABORATORIO	45
3.4.1. Descripción Macroscópica de Muestras.	45
3.4.2. Preparación de muestras de Arcillas.	45
3.5 PROCESAMIENTO DE DATOS	46
4. GEOMORFOLOGIA	47
4.1 FISIOGRAFIA	47
4.2 GEOFORMAS	48
4.2.1 Análisis e interpretación morfoestructural	48
3.2.4 Análisis e interpretación de lineamientos	51
4.2.2 Formas estructurales. (SE)	53
4.2.3 Relieves residuales. (SR)	58

4.2.4 Formas debidas a procesos Kársticos. (SK)	59
4.2.5 Formas debidas a la dinámica de vertientes. (SV)	60
4.2.6 Formas debidas al escurrimiento superficial. (SL)	63
4.2.7 Formas que resultan de acciones particulares. (SP)	65
4.3 MAPA DE PENDIENTES	66
5. GEOLOGIA	69
5.1 ESTRATIGRAFIA	69
5.1.1 Neis de Bucaramanga. (pEb)	71
5.1.2 Formación Silgará. (ECs)	75
5.1.3 Ortoneis de Berlín. (NOo)	76
5.1.4 Cuarzomonzonita de Santa Bárbara (Js).	78
5.1.5 Granodiorita-Tonalita (Jg).	80
5.1.6 Cuarzomonzonita De La Corcova (Jc).	80
5.1.7 Formación Girón. (J3K1g)	82
5.1.8 Formación Lo Santos o Tambor (K1ls)	84
5.1.9 Formación Rosablanca (K1r)	87
5.1.10 Formación Paja (K1p)	89
5.1.11 Formación Tablazo (K1t)	90
5.1.12 Depósitos recientes.	92
5.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.	95
5.2.1 FALLAS	95
5.2.2 Pliegues	
103	
6. MORFOGÉNESIS	105
6.1 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA	105
7. METEORIZACION	110
7.1 ETAPAS DEL PROCESO DE METEORIZACIÓN	110
7.1.1 Metodología de campo	112
7.2 CARACTERIZACION DE ZONAS DE METEORIZACIÓN	114
8. MINERALOGIA DE ARCILLAS	120
8.1 ESTRUCTURA DE LOS MINERALES ARCILLOSOS	122
8.1.1 Filosilicatos bilaminares	122
8.1.2 Filosilicatos Trilaminares	124
8.1.2.2 Familia de las micas	125
8.1.3 Cloritas	126
8.2 METODOLOGÍA DE LABORATORIO	127
8.2.1 Muestreo y tratamiento de las muestras	127
8.2.2 Muestreo y descripción.	127
8.2.3 Fase de laboratorio.	128
8.2.3.1 Procedimiento.	130
8.3 DIFRACTOGRAMAS	135

9. ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS ESTRUCTURALES.	139
9.1 ANALISIS ESTEREOGRAFICO DE DIACLASAS	140
9.1.1 Interpretación de Datos	140
10. CONCLUSIONES	155
RECOMENDACIONES	158
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	159

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del área de estudio	22
Figura 2. Demografía del municipio de Tona.	23
Figura 3. Variación anual de la precipitación meteórica del Tona Alto.	25
Figura 4. Principales afluentes del río Tona.	26
Figura 5. Zonas de vida según Holdridge.	27
Figura. 6 Diagrama de flujo de fases de trabajo	35
Figura 7. Mapa geológico del Macizo de Santander	37
Figura 8. Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander.	38
Figura 9. Mapa Geológico del municipio de Tona	39
Figura 10. Cartografía Geológica.	40
Figura 11. Mapa geológico de la Cuenca Experimental de Río Sucio.	40
Figura 12. Modelo digital de elevación de la Cuenca Superior del Río Lebrija, enmarcando el área de estudio.	42
Figura 13. Clasificación de las formas anómalas de drenaje.	43
Figura 14. División de la subcuenca del Río Tona	51
Figura 15. Lineamientos a partir de patrón de drenajes en imagen Dem.	53
Figura 16. Sinclinal el Alto	54
Figura 17. Finca el Carrizal, Escarpes rocosos de la Formación Rosablanca	
Figura 18. Loma El Tombo, lomo de obturación en el sector La Plazuela producto de la falla La Cocalina.	55
	56
Figura 19. Muestra el lomo de Obturación en la zona del río Tona	56
Figura 20. Laguna de falla observada en la finca El Carrizal	57
Figura 21. Gancho de flexión	58
Figura 22. En el sector el espino apreciamos un valle colgado	59
Figura 23. Pendiente estructural de la Formación Rosablanca	60

Figura 24. Cicatrices de desprendimiento	61
Figura 25. Deslizamientos en cárcavas del suelo debido a la alta meteorización.	62
Figura 26. Coladas de lodo observadas en el cerro Limoncito	62
Figura 27. Procesos de reptación, finca Agua Blanca.	63
Figura 28. Zona de fenómenos de remoción en masa, sobre la Formación Paja	64
Figura 29. Terraza Aluvial del río Tona	66
Figura. 30 Tabla de inclinación de pendientes	67
Figura 31. Mapa de Pendientes a partir del modelo de Elevación	67
Figura 32. Neis cuarzo feldespático	72
Figura 33. Neis Anfibolítico	73
Figura 34. Neis con textura lepidogranoblastica.	73
Figura 35. Neis biotítico con alto plegamiento	74
Figura 36. Plegamiento tipo KINK sobre el Neis de Bucaramanga	74
Figura 37. Formación Silgara, En la quebrada La Mesa	76
Figura 38. Afloramiento y detalle de Ortoneis de Berlín sector el Alto.	78
Figura 39. Cuarzomonzonita de Santa Barbara, Sector altiplano de Berlín.	79
Figura 40. Cuarzomonzonita de Santa Bárbara, sector de Río sucio	80
Figura 41. Cuarzomonzonita de la Corcova	81
Figura 42. Microfalla que desplaza una vena de cuarzo	82
Figura 43. Niveles de areniscas conglomeráticas	83
Figura 44. Plegamiento en niveles de limolitas y areniscas	84
Figura 45. Escarpe de Tambor en el sector de la finca la esperanza	85
Figura 46. Areniscas presentan alto grado de oxidación.	86
Figura 47. Niveles de arenisca con alternancia de limonitas	87
Figura 48. Cerro Las Cruces.	88
Figura 49. Caliza micrítica fosilífera de la formación Rosablanca.	89

Figura 50. Intercalaciones de limolitas y arcillolitas negras de la formación Paja.	80
Figura 51. Plegamiento de la Formación Tablazo	91
Figura 52. Terraza Aluvial	94
Figura 53. Trazo de la falla La Cristalina	97
Figura 54. Fallas del sector Este de la cuenca	98
Figura 55. Nacimiento de la quebrada La López	99
Figura 56. Falla de cabalgamiento La Colmillona	100
Figura 57. Falla de cabalgamiento La Colmillona	100
Figura 58. Contacto fallado entre las formaciones Silgara y Ortoneis.	101
Figura 59. Falla la Cocalina de tipo Normal en el sector de la Plazuela	101
Figura 60. Trazos de las fallas Miramanga y Morrórico en el barrio Miraflores	103
Figura 61. Etapas y procesos de formación del suelo	111
Figura 62. Detalle del Perfil	113
Figura 63. Meteorización en ortoneis de Berlín.	115
Figura 64. Perfil de suelo desarrollado sobre la formación Rosablanca.	116
Figura 65. En el sector de Cerro Ventanas	118
Figura 66. Zonas de Meteorización en la SRT.	119
Figura 67. Esquema de los procesos de formación de minerales arcillosos	120
Figura 68. Estructura interna de los filosilicatos	121
Figura 69. Una lámina T-O.	122
Figura 70. Estructura elemental de la Caolinita.	123
Figura 71. Una lámina T-O-T.	124
Figura 72. Estructura elemental de la Montmorillonita, illita y caolinita.	125
Figura 73. Estructura interna del grupo de las cloritas.	126
Figura 74. Diagrama de flujo del procedimiento	129
Figura 75 Macerado y tamizado de la muestra	130
Figura 76 empacado y etiquetado de cada una de las muestras.	130
Figura 77. Adición de la muestra en un vaso de precipitado para ser neutralizada con agua destilada.	131

Figura 78. Proceso de neutralización	132
Figura 79. Extracción de 25ml de muestras	133
Figura 80. Centrifuga y balanza electrónica	133
Figura 81. Proceso de embasado de la muestra	134
Figura 82. Difractogramas. Muestra CJF002	135
Figura 83. Difractogramas normal, etilenglicol, 500°C	136
Figura 84. Tabla de datos de cada uno de los minerales.	137
Figura 85. Diagrama de contornos y Estereograma de planos de diaclasas de la subcuenca del río Tona.	140
Figura 86. Diagrama de rosetas de la subcuenca del río Tona.	141
Figura 87. Diagrama de rosetas zona 1	142
Figura 88. Diagrama de contornos y estereograma de planos de diaclasas de la zona 1.	142
Figura 89. Estereograma de Contornos y Estereograma de Planos de diaclasas Zona 2	143
Figura 90. Diagrama de Rosetas Zona 2.	144
Figura 91. Estereograma de Contornos y Estereograma de Planos Zona 3	145
Figura 92. Diagrama de Rosetas. Zona 3	145
Figura 93. Estereograma de Contornos y Estereograma de planos de diaclasas Zona 4	146
Figura 94. Diagrama de Rosetas zonas 4	147
Figura 95. Calculo de diedros y tensores de la subcuenca del río Tona.	148
Figura 96. Diagrama de tensor único y esfuerzos pt del área de estudio	148
Figura 97. Calculo de diedros y tensores de la zona 1.	149
Figura 98. Diagrama de tensor único y esfuerzos pt de la zona 1.	149
Figura 99. Calculo de diedros y tensores de la zona 2.	150
Figura 100. Diagrama de tensor único y esfuerzos pt de la zona 2.	151
Figura 101. Calculo de diedros y tensores de la zona 3.	152
Figura 102. Diagrama de tensor único y esfuerzos pt de la zona 3	152

Figura 103. Calculo de diedros y tensores de la zona 4.	153
Figura 104. Diagrama de tensor único y esfuerzos pt de la zona 4.	153

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Mapa de Estaciones a Escala 1:25000	165
ANEXO B. Mapa Geológico a Escala 1:25000	166
ANEXO C. Mapa Estructural a Escala 1:25000	167
ANEXO D. Mapa de Meteorización a Escala 1:25000	168
ANEXO E. Columna litoestratigráfica a escala 1:500	169
ANEXO F. Cortes Geológicos	170
ANEXO G. Difractogramas	172
ANEXO H. Datos diaclasas y Estrías	183

RESUMEN

TITULO: CARTOGRAFIA GEOLÓGICA Y CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DE LA SUBCUENCA DEL RIO TONA, MACIZO DE SANTANDER, CON FINES HIDROGEOLOGICOS.*

Autores: Lina Liliana Osorio Sanabria y Oscar Mauricio Salazar Castellanos**

PALABRAS CLAVES: SRT, Complejidad Estructural, Morfogénesis, Mineralogía de Arcillas, Zonas de Meteorización, Análisis Estadístico de Diaclasas.

La subcuenca del río Tona hace parte del complejo Macizo de Santander y está enmarcada dentro de la Cuenca Superior del río Lebrija. Su compleja geología muestra rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias que abarcan edades desde el Precámbrico (Proterozoico) hasta el Cretácico (Barremiano - Albiano inferior). Las rocas metamórficas (Complejo de Bucaramanga, Silgará y Ortoneis de Berlín) se encuentran a lo largo de toda la subcuenca, especialmente en la parte occidental y central con edades que varían desde el Proterozoico hasta el Paleozoico inferior; las rocas ígneas (Cuarzomonzonita de La Corcova y Santa Bárbara) se localizan en la parte central de la zona de estudio y comprenden edades del jurásico inferior a medio, las rocas sedimentarias (formaciones Girón, Lo Santos, Rosablanca, La Paja, y Tablazo) se encuentran concentradas en el sector Oriental de la subcuenca abarcando casi un tercio del área, con edades del Jurásico al Barremiano - Albiano.

Su complejidad estructural está enmarcada por la tectónica del Macizo de Santander cuya falla principal (Falla de Bucaramanga – Santa Marta) le imprime una dinámica activa a la zona produciendo geoformas que modelan el paisaje y delimitan muchos de los drenajes del área. Los esfuerzos que afectan la zona producen un fuerte fracturamiento en la roca a lo largo de toda la cuenca lo que permite el almacenamiento y transporte del recurso hídrico.

Este proyecto expone el trabajo realizado en la Subcuenca del río Tona, el cual, basado en las características litológicas, geomorfológicas y estructurales presentes, permitirá dar las bases fundamentales para crear un modelo hidrogeológico.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Escuela de Geología. Juan Diego Colegial, Zully Gómez.

ABSTRACT

TITLE: GEOLOGIC CARTOGRAPHY AND STRUCTURAL BEHAVIOR OF RIO TONA SUB-BASIN, SANTANDER MASSIF, WITH HYDROGEOLOGIC PURPOSES*

AUTHORS: Lina Liliana Osorio Sanabria y Oscar Mauricio Salazar Castellanos**

KEY WORDS: Cartography, structural complexity, morphogenesis, clay mineralogy, weathering zones, Fractures

The Río Tona sub-basin is a part of Santander massif complex and is framed inside of Rio Lebrija upper basin. Its complex geology shows igneous, metamorphic and sedimentary rocks with ages from Precambrian (Proterozoic) to Cretaceous (Barremian-lower Albian). Metamorphic rocks (Bucaramanga complex, sillgará and Ortoneis de Berlin) are through out the entire sub-basin, mainly in western and central sides with ages from Proterozoic to lower Paleozoic; igneous rocks (Cuarzomonzonita de La Corcova and Santa Barbara) are located in central side of study area and include ages from lower Jurassic to middle Jurassic, sedimentary rocks (formaciones Giron, Los Santos, Rosablanca, La Paja, and Tablazo) are located together in the sub-basin eastern side covering one third of area, with ages from Jurassic to Barremian-Albian.

Its structural complexity is framed by Santander Massif tectonics whose major fault (Bucaramanga-Santa Marta fault) provides the zone an active dynamic that gives rise geoforms which model landscape and outline many drainages of the area. Stresses affecting the zone produce a strong fracture pattern in rocks through out the entire basin so it allows storage and transport of hydrical resource.

This report exposes the job made in the Rio Tona sub-basin which based on lithologic, geomorphologic and structural characteristics will give fundamental bases for creating a hydrogeologic model.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico Químicas, Escuela de Geología. Juan Diego Colegial, Zully Gómez.

INTRODUCCIÓN

El estudio Geológico de la Subcuenca del Río Tona, presentado en este informe, se desarrolló en el marco del Decreto 252 de 2004, donde el Instituto Colombiano de Geología y Minería, (INGEOMINAS) tiene como función, realizar el inventario y la caracterización de las zonas más favorables para la acumulación de minerales, fuentes de aguas subterráneas, recursos geotérmicos e hidrocarburos en el subsuelo del territorio colombiano. Para el cumplimiento de este objetivo, INGEOMINAS cuenta con el Programa de Exploración de Aguas Subterráneas a cargo de la Dirección del Servicio Geológico, que pretende generar nuevo conocimiento hidrogeológico en áreas con déficit de abastecimiento de agua potable.

Este proyecto de investigación se realizó a partir del programa de exploración de Aguas Subterráneas en Santander, que lleva a cabo INGEOMINAS en convenio de cooperación, suscrito a la Universidad Industrial de Santander a través del Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático (GPH) a principios del año 2006, con el nombre de Investigación Geológica e Hidrogeológica en la Región Central del Departamento de Santander. Iniciándose así estudios encaminados a la localización, delimitación y caracterización de las zonas favorables para acumulación de aguas subterráneas en macizos rocosos como lo es en este caso el Macizo de Santander.

Con base en lo anterior se presenta el siguiente trabajo de proyecto de grado en la subcuenca del Río Tona caracterizando su geología, análisis de meteorización y su comportamiento estructural con la finalidad de obtener la información base para el modelo geológico tridimensional y el modelo conceptual hidrogeológico de esta zona del Macizo de Santander, siguiendo la línea de investigación en hidrogeología en donde la base geológica juega un papel fundamental en el análisis del transporte y almacenamiento de agua subterránea.

La metodologías utilizadas permitieron realizar un estudio de la litología, estructuras en superficie y zonas de meteorización cartografiables a una escala 1:25000 en una zona de 150km² de extensión, analizando elementos estructurales importantes como tipos de fallas y análisis estadísticos de diaclasas, cuyo comportamiento permitirá definir vías de migración del agua meteórica por medio de redes subterráneas, a partir de la interconexión de las diaclasas.

Desde el punto de vista Geológico, el área se encuentra en el Macizo de Santander; las rocas constituyentes del área de trabajo abarcan registro del tiempo geológico que va desde el Proterozoico, hasta depósitos no consolidados del cuaternario. Entre los rasgos geológicos más revelantes se destacan: La Falla Bucaramanga- Santa Marta al oeste, la falla Río Frío y Tona al centro, Falla la Cristalina hacia el este; la zona montañosa comprende la totalidad del área de estudio, correspondientes a rocas del Complejo Neis de Bucaramanga, Formación Silgara, Formación Ortoneis de Berlín, Cuarzomonzonita de Santa Bárbara, Corcova, La secuencia sedimentaria se ubica en la zona este, Grupo Girón, Formaciones Cretácicas: Los Santos, Rosablanca, La Paja y Tablazo.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una cartografía general de la Subcuenca del Río Tona ubicado en el Macizo de Santander, encaminada hacia una caracterización estructural para definir los patrones de fracturamiento asociados a las fallas existentes.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

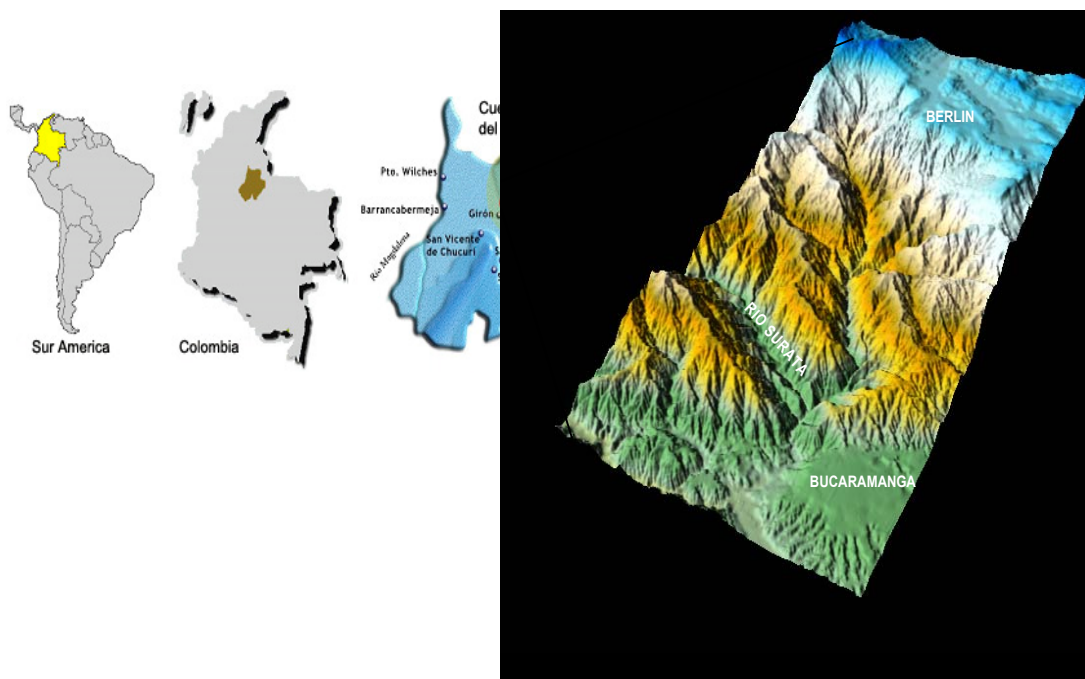
- Realizar la cartografía geológica y estructural a escala 1: 25000 mediante reconocimiento de campo del área de estudio cuya extensión es 150 Km².
- Determinar las características geomorfológicas, lineamientos y fracturas a partir de sensores remotos del área de Estudio, así como proponer un prototipo morfoestructural.
- Caracterizar genéticamente los diferentes elementos estructurales (fallas, estrías y diaclasas) en la zona de interés.
- Realizar un estudio petrográfico de descripciones macroscópicas de las muestras recolectadas en campo.
- Crear una base de datos de fracturas y diaclasas de la subcuenca del río Tona.
- Realizar un estudio geoestadístico de diaclasas y fracturas que permitan determinar la orientación principal y densidad en las diferentes unidades litológicas, profundizando en un análisis estructural de esfuerzos a partir de estos patrones de fracturamiento asociados a las fallas presentes en el área de estudio.
- Realizar un muestreo sistemático de rocas meteorizadas encaminadas a la caracterización de unidades geológicas a partir del grado de meteorización que presenten.

2. GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende la Subcuenca del Río Tona (SRT) (figura 1.), ubicada al noreste de la ciudad de Bucaramanga, la cual hace parte de la cuenca Superior del Río Lebrija. Limitada al este por el Altiplano de Berlín, hacia el oeste por la cuenca del Río Charta, hacia el norte por el municipio de Vetas y hacia el sur por la ciudad de Bucaramanga, limitado por el Sistemas de Fallas Bucaramanga-Santa Marta. Cubre una extensión de 150km² y hace parte de las planchas 110-IIIC con coordenadas, 1.120.000 – 1.1135.000 y 1.280.000 – 1.290.000, la plancha 110-IIIA con coordenadas 1.120.000 -1.135.000 y 1.290.000- 1.300.000, la plancha 109-IVD- con coordenadas 1.105.000-1.120.000 y 1.280.000-1.290.000 a escala 1:25000 cuyas coordenadas tienen origen en Santa Fe de Bogotá.

Figura 1. Localización del área de estudio



Fuente: Tomado del GPH, 2006.

2.2 VÍAS DE ACCESO

Para llegar a la zona de estudio se puede utilizar dos vías principales: tomando el desvío de la carretera Bucaramanga – Cúcuta en el Km. 18 que conduce al municipio de Tona, o utilizando la carretera que atraviesa toda la parte superior del área de estudio saliendo desde Berlín en el Km. 99 hacia la vereda El Gramal; un ramal carretable en regular estado que comunica a las Veredas Vegas, El Quemado, Arnanía en una longitud aproximada de 15 kilómetros; Alterno a estas dos vías, se encuentran caminos de herradura que acortan el tiempo de acceso a la zona, además, comunican con diferentes fincas de la región.

2.3 POBLACIÓN

La población del municipio de Tona, incluyendo las veredas, esta constituida por 2288 habitantes aproximadamente El 77.98% de la población habita en el sector rural, mientras que el 22.02% restante, se ubica en la cabecera municipal. Su actividad económica base está representada por el procesamiento de productos lácteos, actividad que se realiza en la Cooperativa de lácteos del Gramal COALAGRA LTDA cuyo principal objetivo es la transformación de leche en quesos y comercializarlos directamente. También se encuentra la agricultura como otro medio de subsistencia. Entre los cultivos más importantes se destacan los de papa, cebolla, maíz, arveja, café y otros productos en menor proporción.

Figura 2. Demografía del municipio de Tona.

POBLACIÓN	TOTAL
TOTAL	2.288
POBLACIÓN CABECERA	529
POBLACIÓN RESTO	4.759

Fuente: Tomado de DANE 2000

2.4 CLIMA, RECURSO HIDRICO Y VEGETACIÓN

La orografía (abrupta y variable), condiciona la temperatura, microclimas y el entorno biótico. Las elevaciones en la cuenca oscilan entre los 920 y los 3550 msnm. al cierre de la cuenca en el Río Surata y en la parte Alta de la Subcuenca del Río Vetas, respectivamente, originando climas variados tales como templado, frío y subpáramo bajo (Gómez y Santana, 1995), observándose un nivel alto de humedad, principalmente en las zonas de mayor altitud.

En las cercanías a la ciudad de Bucaramanga se encuentran latitudes que varían de los 1600 hasta 920 m.s.n.m observándose climas de tipo subtropical a templado. Las variables principales que condicionan el clima en la Subcuenca del Río Tona, (SRT) son la orografía propia de la zona y las masas de humedad que interactúan con el sistema físico de la SRT.

En esta cuenca se puede apreciar las dos zonas topográficas principales con pendientes moderadas en la parte baja (altas a muy fuertes en la parte nororiental de la cuenca al oriente de la falla Bucaramanga - Santa Marta).

2.4.1 Clima. En la SCRT el cambio de elevación es la variable primaria que condiciona el comportamiento espacial de la temperatura y precipitación en la cuenca. Holdridge en 1947 al igual que otros autores han relacionado la precipitación media y la temperatura como las variables que controlan la distribución geográfica de la vegetación y por tanto de la evapotranspiración. Woodward en 1987 concluyó que el clima es el control dominante de la distribución geográfica de la vegetación, sin embargo los mecanismos del clima que actúan específicamente como control son objeto de estudio; Eagleson en 1982 desarrollo una teoría en la cual el suelo, el tipo de vegetación y el clima evolucionan en un proceso de sinergia propias de cada uno.

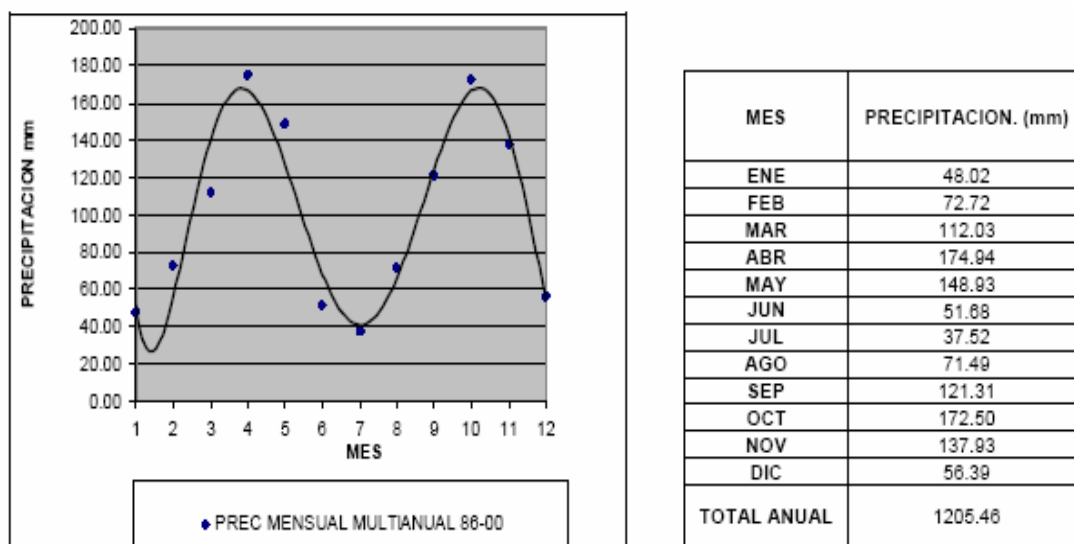
El segundo factor que condiciona el clima en la Subcuenca del Río Tona son masas de humedad que precipitan en la zona. Estas masas son producto de los vientos alisios que descargan la humedad preferencialmente en tres núcleos: el primero localizado en las proximidades de la Galvicia y la Corcova (1800-2000 msnm) en donde se localizan los nacimientos de los Ríos Frío, Lato y Oro. El segundo núcleo de descarga se localiza en la zona montañosa que divide las cuencas de Charta y Tona sobre los 2100 msnm. El tercer núcleo se localiza en mediaciones del sector occidental de la mesa de Berlín sobre los 3200 msnm.

La humedad relativa media mensual en la SRT varía entre 84% y 87% en la parte alta, con un valor medio multianual del 85.5% de acuerdo a la información de las estaciones climatológicas ordinarias de Berlín, Vivero Surata (IDEAM) y Charta (CDBM). En la zona baja la humedad fluctúa entre 82% y 85.1%, de acuerdo a las estaciones UIS (IDEAM) y Palonegro (IDEAM) con un valor medio multianual de 83.6%.

2.4.1.1 Precipitación. La precipitación es un factor que influye en los procesos de meteorización y por lo tanto en los fenómenos de remoción en masa, por otra parte también determina la densidad de la vegetación.

La precipitación meteórica toma parte en los periodos de invierno en Marzo, Abril, Mayo, Septiembre, Octubre y Noviembre en los cuales se acentúan los procesos erosivos y se presenta la contaminación natural en las quebradas que vierten el río Tona; los meses de menor precipitación son: Diciembre, Enero, Febrero, Junio, Julio y Agosto que corresponden a verano. La figura 3. Muestra la variación multianual de la precipitación durante el periodo 1986-2000.

Figura 3. Variación anual de la precipitación meteórica del Tona Alto.



Fuente: Tomada del GPH (2005)

2.4.2 Hidrografía. La principal corriente de agua del área de estudio corresponde al Río Tona, y nace en la unión de las quebradas los Arcos y Río Sucio a una altitud de 2 000 metros que corre en dirección NE – SW cambiando su curso hacia el límite de la ciudad de Bucaramanga en sentido E-W al unirse al Río Surata. Un factor importante en el aporte hídrico es la morfología de la cuenca en su parte oriental en Tona Medio, ya que presenta pendientes fuertes que favorecen la escorrentía en una zona caracterizada por una alta precipitación.

Figura 4. Principales afluentes del río Tona.

MICROCUENCA	VEREDA	AFLUENTE	AREA (Ha) ¹
TONA ALTA	ALIZAL TEMBLADAL	La Chorrera	4.547
		Los Arcos	
		Río sucio	
		Solasquilla	
		Capilla	
		El Palmar	
TONA MEDIO	PALMAR PITONES PIRGUA CHISCAPÁ	Bernabé	3.247
		Lúcura	
		Pirgua	
		Guayabal	
		Marcela	
		San Cayetano	
TONA BAJO	BABILONIA CARAGUA MONTECHQUITO PALMAS	Chorrerón	1.726
		Hoyo Frío	
		La Honda	
		Monserate	
		El Volante	
GOLONDRINAS	GUARUMALES	Golondrinas	5.006
		La Mesa	
		Montecristo	
		Guarumales	
ARNANIA	EL QUEMADO VEGAS ARNANIA	La Plazuela	2.905
		Nueva York	
		Cara Blanca	
		Calichana	
		Morrochiquito	
RIO JORDAN	JUAN RODRÍGUEZ AGUA CLARA SALADITO UCATA CUESTABOBA	El Salto	16.200
		Cuestaboba	
		Lúcura	
		Arenales	
		El Salado	
Parra			

Fuente: Tomado de POT (Tona – Santander), año 2005

2.4.3 Vegetación en la SRT. El desarrollo de la vegetación en la SRT esta fuertemente condicionado por el clima. A partir de un estudio en el año 1981 la CDMB publico el estudio Desarrollo Integral de la Cuenca Superior del Río Lebrija, (Ramírez, 1981) en donde se describe las zonas de vida de la CSRL de acuerdo al diagrama de Holdridge. De acuerdo a este estudio se ubica en la SRT se encuentran los siguientes pisos térmicos.

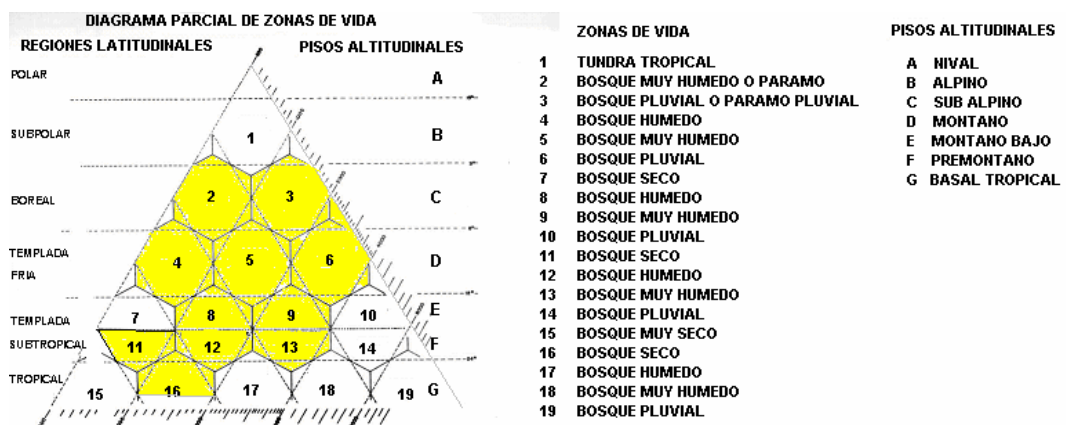
Piso montano bajo: Corresponde a la parte media de la cordillera oriental, incluyendo los municipios de Charta, Tona y California. El bosque muy húmedo montano bajo en zonas localizadas en el extremo norte de la cuenca y alrededor de la Corcova y la Mariana.

Piso montano: Se localizada en el oriente de la cuenca, en las partes altas del municipio de Vetas y el extremo oriental de la cuenca entre el páramo de la Corcova y así como en el extremo norte de la cuenca y el área cerca al Picacho.

Piso subalpino: Se localiza al oriente de la cuenca en la mesa de Berlín.

Las anteriores zonas climáticas homogéneas se ven representadas en el diagrama de zonas de vida de Holdridge, Figura 5.

Figura 5. Zonas de vida según Holdridge. Clasificación de formaciones vegetales del mundo o zonas de vida.



Fuente: Tomado de Ramírez 1999.

Los pisos térmicos y la precipitación media multianual en la CSRL permiten hacer una clasificación de zonas de vida, para la cuenca subcuenca del Río Tona:

- **Páramo Subalpino (p-SA) y Páramo Pluvial Subalpino (pp-SA):** corresponde a la zona de páramo. Temperaturas entre 3 y 6°C, promedio anual de lluvias entre 500 y 1000 mm para el subalpino y entre 1000 y 2000 mm para el pluvial subalpino. Elevaciones entre 3650 y 4110 msnm aproximadamente y evapotranspiración real menores a 820 mm/año.
- **Bosque Pluvial Montano (bp-M):** temperaturas entre 6 y 12°C, pluviosidad anual promedio superior a 2000 mm; elevaciones entre 3650 y 2720 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 820 mm/año y 990 mm/año.
- **Bosque muy Húmedo Montano (bmh-M):** temperaturas entre 6 y 12°C, pluviosidad anual promedio entre 1000 y 2000 mm. Elevaciones entre 3650 y 2720 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 820 mm/año y 990 mm/año.
- **Bosque Húmedo Montano (bh-M):** temperaturas entre 6 y 12°C, promedio anual de lluvias entre 500 y 1000 mm. Elevaciones entre 3650 y 2720 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 820 mm/año y 990 mm/año.
- **Bosque muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB):** temperaturas entre 12 y 17°C, pluviosidad anual promedio superior a 2000 mm Elevaciones entre 1950 y 2720 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 1150 mm/año y 990 mm/año.
- **Bosque Húmedo Montano Bajo (bh-MB):** temperaturas entre 12 y 17°C, pluviosidad anual promedio entre 1000 y 2000 mm. Elevaciones entre 1950 y 2720 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 1150 mm/año y 990 mm/año.
- **Bosque Húmedo Premontano (bh-P):** temperaturas entre 17 y 24°C, pluviosidad anual promedio entre 1000 y 2000 mm. No se presentan deficiencias de agua. Elevaciones entre 1950 y 880 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 1150 mm/año y 1430 mm/año.

- **Bosque muy Húmedo Premontano (bmh-P):** temperaturas entre 17 y 24°C, pluviosidad anual promedio superior a 2000 mm. La lluvia excede la evapotranspiración. Elevaciones entre 1950 y 880 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 1150 mm/año y 1430 mm/año.
- **Bosque Seco Premontano (bs-P):** temperaturas entre 17 y 24°C, pluviosidad anual promedio entre 500 y 1000 mm. En verano pueden presentarse deficiencia de agua para los cultivos. Elevaciones entre 1950 y 880 msnm aproximadamente y evapotranspiración real entre 1150 mm/año y 1430 mm/año.
- **Bosque Seco Tropical (bs-T):** temperaturas superiores a 24°C, pluviosidad anual promedio entre 1000 y 2000 mm. La evapotranspiración es menor que el agua de lluvia. Elevaciones menores a 880 msnm aproximadamente y evapotranspiración real mayores a 1430 mm/año.

2.4.4 Suelos. En el estudio Plan de manejo Ambiental (CDMB, 2003) se clasifican los suelos en forma general y su distribución según:

- **Zona Andina, Alto Andina y Páramos:** Los suelos ubicados en la parte nororiental, corresponden al macizo ígneo-metamórfico, sobre el cual se encuentran los suelos de los páramos, de clima frío y medio. Hacia el municipio de Vetas y el corregimiento de Berlín, predominan suelos en relieve ondulado, profundos y con buen contenido de materia orgánica. En el municipio de California, y partes altas de Suratá, Charta, Tona, Bucaramanga, Floridablanca y Piedecuesta, predominan suelos en relieve quebrado, superficiales a profundos y de mediana fertilidad; hacia las partes bajas los suelos son de relieve ondulado.
- **La Selva Subandina.** La selva Sub andina en el municipio se extiende desde la cotas de 700 y hasta la 2000 m.s.n.m; dentro de esta área las características fisiognómicas de este tipo de vegetación se manifiesta en las raíces tabulares, presentes en una proporción baja. El municipio primordialmente representa la parte baja del valle del Río Tona caracterizada por sus altas pendientes y terrenos utilizados en la agricultura.

- **La Selva Andina.** Ubicada en Tona dentro de los 2.200 y 2.800 m.s.n.m; las características fisiognómicas de este tipo de vegetación se manifiestan en la disminución en los tamaños de las hojas y un estrato abundante con una gran abundancia de plantas entre Helechos, Musgos, Hepáticas, Orquídeas.
- **Páramo.** En el área principalmente dominan las unidades de vegetación abierta como los Frailejonales, Pajonales y Matorrales, en las áreas cercanas a los asentamientos humanos constituidas por un estrato rasante donde las formas de crecimiento como las gramíneas en Macollas, Hierbas en roseta decoradas por el amarillo en su floración. Los frailejones se encuentran limitados a las partes más distanciadas o áreas de descanso que han vuelto a ocupar por su amplia posibilidad de dispersión, el área en donde mejor permanecen estas unidades es el Páramo de Santurban.

2.5 UBICACIÓN GEOLÓGICA

Geológicamente la cuenca del río Tona se ubica en la parte oriental del macizo de Santander, en la cordillera oriental del sistema orogénico de los Andes colombianos.

Litológicamente afloran rocas ígneas (cuarzomonzonita de la Corcova y Santa Bárbara), rocas metamórficas (Ortoneis y Paraneis y silgará) y rocas sedimentarias de las formaciones Tambor, Rosablanca, Paja, Girón y Tablazo. Las edades de estas rocas oscilan entre el Paleozoico inferior y Cretácico medio.

Los rasgos estructurales mas sobresalientes son: la falla de Bucaramanga - Santamarta, la falla La Cristalina, la falla de Río Sucio, falla Solasquilla, las fallas presentes en la zona de la vereda El Alisal y pliegues sinclinales.

2.6 ANTECEDENTES

A nivel internacional encontramos el trabajo de Juan Gil Montes, (2002), quien en su estudio “Abastecimiento de Aguas Subterráneas en Extremadura, España” reporta caudales mínimos de 0.5 litros/segundo y caudales máximos, en la confluencia de varias fracturas, de 5 litros/segundo en rocas graníticas. Las rocas metamórficas en Extremadura, España; se encuentran normalmente muy

fracturadas a grande profundidades y las consideran como semipermeables, llegando a producir caudales hasta de 10 litros/segundo. Las rocas filonianas, si están muy fracturadas, pueden actuar como donantes respecto a las rocas encajantes y producir caudales elevados de uno a cinco litros/segundo.

En el año 2002 Xavier, J., Rosa Filho, E., Hindi, E., publicaron en la Revista Latino Americana de Hidrogeología un artículo, donde se estudia la geometría de un sistema acuífero fracturado identificando esencialmente fracturas abiertas las cuales pueden ser portadoras potencialmente de agua, esto se puede determinar mediante estudios directos o indirectos; los estudios directos se basan en la tectónica mediante la fotointerpretación y medición del espacio entre las fracturas y determinación de su porosidad.

Los medios indirectos se basan en estudios geoelectricos obteniendo datos de profundidades y forma de las fracturas lo cual da un aproximado de la capacidad de almacenamiento. Así también identifican el grado de vulnerabilidad basados en el estudio químico de los suelos.

El Macizo de Santander ha sido tema de central en muchos estudios geológicos, sin embargo, la investigación hidrogeológica allí es poca, así encontramos por ejemplo una zonificación hidrológica del país realizada por planeación nacional y la compañía Mejía, Millon, Perry Ltda., en 1983-84, quienes sectorizaron el país en 28 zonas hidrogeológicas, dos de las cuales toman sectores del Macizo como son la zona del Catatumbo y la zona de Sogamoso en donde caracterizan el tipo de permeabilidad de la zona identificando cada formación.

En 1973 por INGEOMINAS, Cartografía Geológica del Macizo de Santander que comprende los cuadrángulos H12 Bucaramanga y H13 Pamplona a escala 1:100000 en el Departamento de Santander. Publicada en el Boletín Geológico Vol. XX, N° 13.

En 1990 González ,G. y Quintero,G. en tesis de pregrado UIS realizan un análisis de fracturamiento asociada a la falla de Bucaramanga en el sector de Piedecuesta-Río Suratá haciendo un análisis estadístico de espaciamiento entre familias de diaclasas con o sin relleno en cada una de las formaciones que afloran en esta zona y un análisis estereográfico de las mismas cuyo finalidad es la definición de esfuerzos tectónico actuantes y patrones de fracturamiento que contribuye al programa de prevención y atención de desastres.

En 1995, Gómez, L. y Santana., en la zona del Tembladal en el municipio de Tona en tesis de grado UIS realizan un análisis geológico, geomorfológico y geoquímica de la microcuenca de la quebrada Río Sucio en un área de 20 Km. aproximadamente patrocinados por el acueducto de Bucaramanga en donde se analizó los fenómenos de remoción en masa, contaminación de la zona y la influencia de los deslizamientos sobre la comunidad, además de lo anterior, Gómez y Santana realizan un análisis estructural enfocado al estudio detallado de las fallas de la zona.

En el 2001, Beltrán, R. y Rey, A., realizan un estudio estructural del sistema falla Bucaramanga - Santa Marta y sus fallas satélites con el fin de definir un patrón de drenaje en el Macizo de Santander en la zona comprendida entre Piedecuesta y el Río Suratá; este patrón de drenaje es definido por medio del análisis de los patrones de diaclasamiento (espaciamiento, relleno, profundidad, dirección) obteniendo como resultados diagramas de roseta y de polos que permitieron realizar posteriormente un análisis geoestadístico por sectores previamente seleccionados, cuyo comportamiento puede definir vías de migración del agua meteórica por medio de redes subterráneas, a partir de la interconexión de las diaclasas.

En el año 2003, Vergara, O., realizó como tesis de pregrado UIS una prospección geológica para aguas subterráneas en el Macizo de Santander en el sector oriental elaborando un estudio de la relación espacial entre fallas y diaclasas con el fin de identificar un acuífero fracturado meteorizado, así, se valió de métodos geoestadísticos que luego fueron corroborados por el método de resistividad aplicando la técnica de sondeos eléctricos verticales (SEV), para finalmente realizar la perforación para ubicar un piezómetro; así analizó y estudió la conductividad hidráulica de las rocas cristalinas presentes en el área y pudo evaluar la posibilidad de transporte y almacenamiento de aguas subterráneas en estas rocas.

En el año 2003 Zambrano y Rey brindan una asesoría geológica en el área metropolitana de Bucaramanga, al Acueducto Metropolitano de Bucaramanga para la exploración de aguas subterráneas, basada en la diferenciación hidroestratigráfica por medio de Sev's que muestra el comportamiento que existe en el subsuelo, especialmente por la variable resistividad y relacionada con la información litológica de superficie. Teniendo en cuenta lo manifestado, se toma la información pertinente de los reportes señalados como base primordial donde diferencian capas permeables e impermeables, su capacidad de almacenar y transmitir agua, para así integrar de mejor manera la investigación general en dicha área.

La empresa Ingeniería de Suelos Ltda., ha realizado gran cantidad de sondeos eléctricos en la zona, aunque todos encaminados a las rocas sedimentarias. En algunos de los sondeos interpreta rocas metamórficas fracturadas y saturadas.

En el año 2004 el Instituto Colombiano de Geología y Minería publica un programa de exploración de aguas subterráneas en donde se resalta la necesidad de la exploración de aguas subterráneas dando estrategias para su búsqueda y una de ellas es en zonas de fracturamiento y especifican que la porosidad generada en un medio fracturado está ligada a la densidad de la fractura y al grado de alteración de la roca lo que favorece su permeabilidad y capacidad de almacenamiento, haciendo énfasis en la necesidad de que estas fracturas estén intercomunicadas ya que así aumenta la permeabilidad de la roca.

El trabajo más reciente, llevado a cabo en la zona de estudio, corresponde a la subcuenca de la quebrada de Río Sucio, orientado a definir un modelo hidrogeológico conceptual por Ulloa A. y Rojas N. 2005 Tesis de pregrado UIS, quienes realizan un estudio estructural y geofísico basados en sondeos eléctricos Verticales y tomografías con el fin de recopilar la suficiente información geológica e hidrogeológica del subsuelo, con el fin de determinar zonas de recarga de la subcuenca. Se presenta en este trabajo una columna estratigráfica generalizada que comprende la parte sedimentaria que aflora en este sector.

2.7 METODOLOGIA

Para el cumplimiento a cabalidad de los objetivos propuestos se desarrollaron sistemáticamente 5 fases, utilizando materiales disponibles, cumpliendo actividades específicas y obteniendo resultados preliminares y finales. Cada fase estuvo integrada por los siguientes elementos:

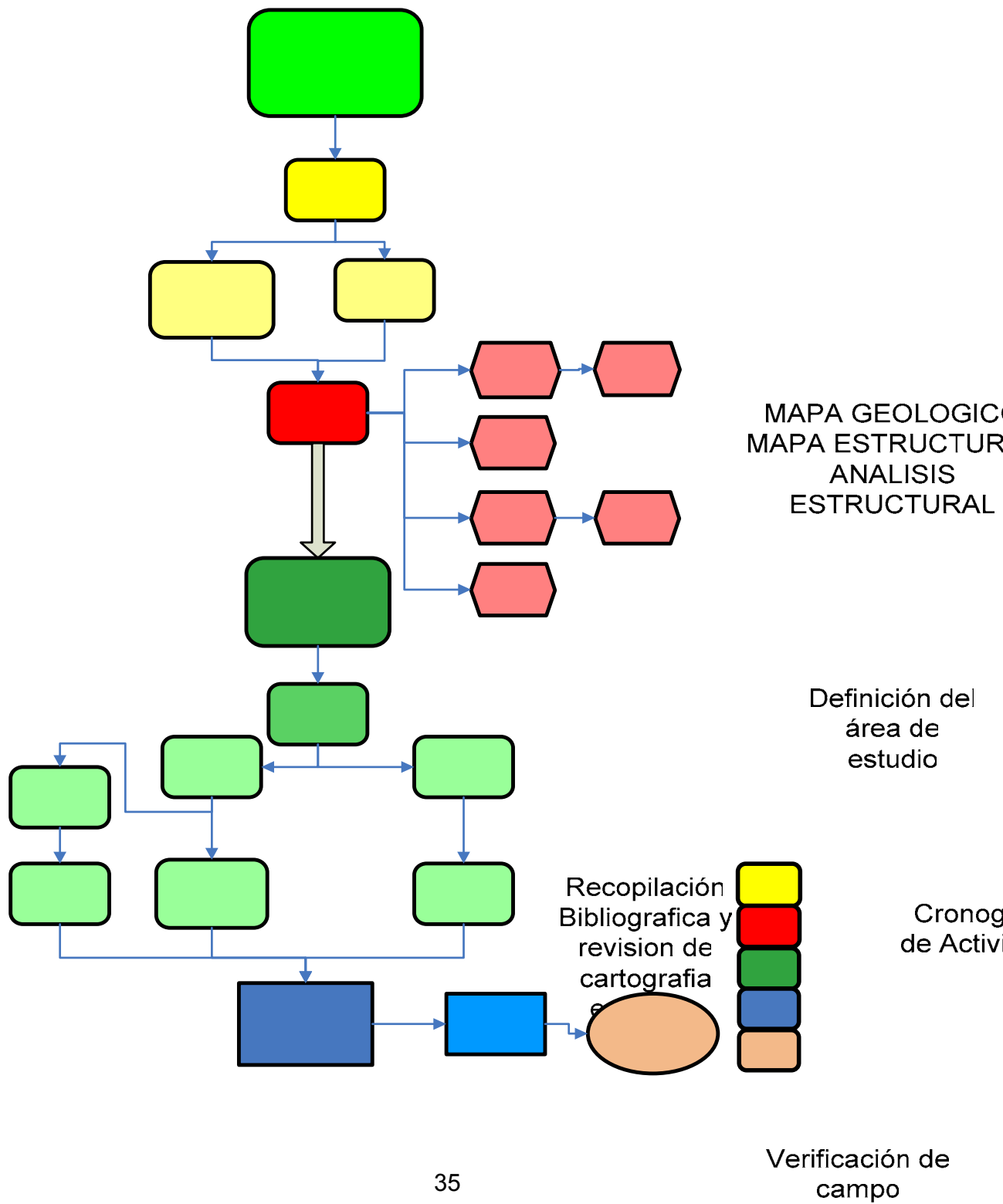
- **FASE 1:** Fundamentación y Diseño. Identificación de fuentes de información, Recopilación de información, como principales fuentes bibliográficas se tienen las bibliotecas de la UIS, Ingeominas, el IGAC; y finalmente se realizó un Programa y plan de actividades.
- **FASE 2:** Desarrollo y Ejecución. Elaboración y definición del marco teórico. Posteriormente se realizaron todas las actividades para la ejecución del proyecto, las cuales se nombran a continuación: análisis morfoestructural, caracterizar zonas de meteorización, cartografía geológica. (Se tuvo especial

cuidado en los rasgos estructurales, por ser el interés primordial de este proyecto. La cartografía se realizó a escala 1:25000), digitalización de mapas geológicos, análisis de rasgos estructurales y resultados preliminares.

- **FASE 3:** Elaboración de las conclusiones definitivas.
- **FASE 4:** Redacción y edición definitiva de la tesis.
- **FASE 5:** Defensa de la Tesis.

Los pasos seguidos para cumplir los objetivos se ilustran en el flujo grama de procesos de la Figura 6, y la convención de colores para cada fase es la mostrada en el siguiente cuadro:

Figura. 6 Diagrama de flujo de fases de trabajo



3. CARTOGRAFIA GEOLOGICA

En la Subcuenca del Río Tona (SRT) se realizó un levantamiento cartográfico geológico sobre la escala topográfica 1:25000 por el IGAC, en la cual se registró la información litológica y estructural, dando como resultados los mapas: geológico, estructural y de meteorización, los cuales sirven como herramienta fundamental para la elaboración de posteriores estudios hidrogeológicos por parte del grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático, GPH, enmarcados en el proyecto de investigación Exploración de Aguas Subterráneas en Santander, UIS-INGEOMINAS.

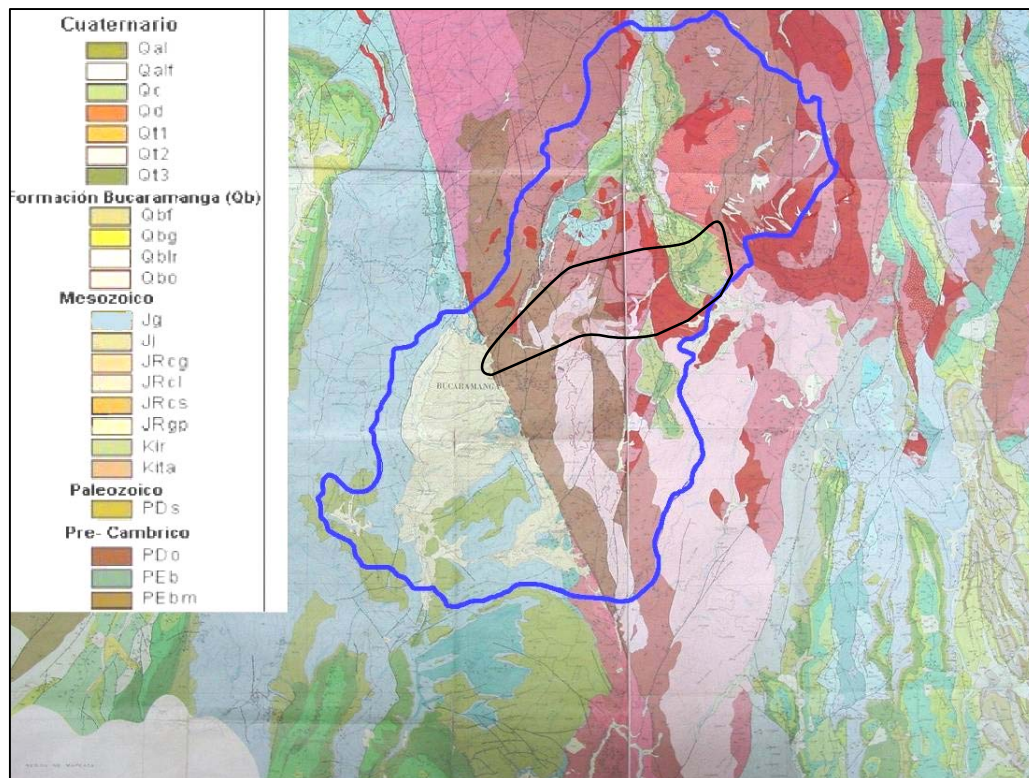
Para la obtención de un mapa geológico regional preciso, se inicia con una buena base topográfica; para obtenerlo se siguen aproximadamente los siguientes pasos:

- Fase 1. Revisión Bibliográfica e Interpretación geológica y geomorfológica, utilizando sensores remotos.
- Fase 2. Chequeo o comprobación de campo.
- Fase 3. Fase de laboratorio y elaboración del mapa geológico de la zona, sus respectivos cortes (perfiles) y columnas estratigráficas.

3.1 REVISIÓN DE CARTOGRAFÍA EXISTENTE

En 1973, INGEOMINAS, realiza la Cartografía Geológica del Macizo de Santander que comprende los cuadrángulos H12 Bucaramanga y H13 Pamplona a escala 1:100000 en el Departamento de Santander. Publicada en el Boletín Geológico Vol. XX, N° 13 (Figura 7.) obteniéndose un mapa generalizado de las litologías y estructuras.

Figura 7. Mapa geológico del Macizo de Santander.

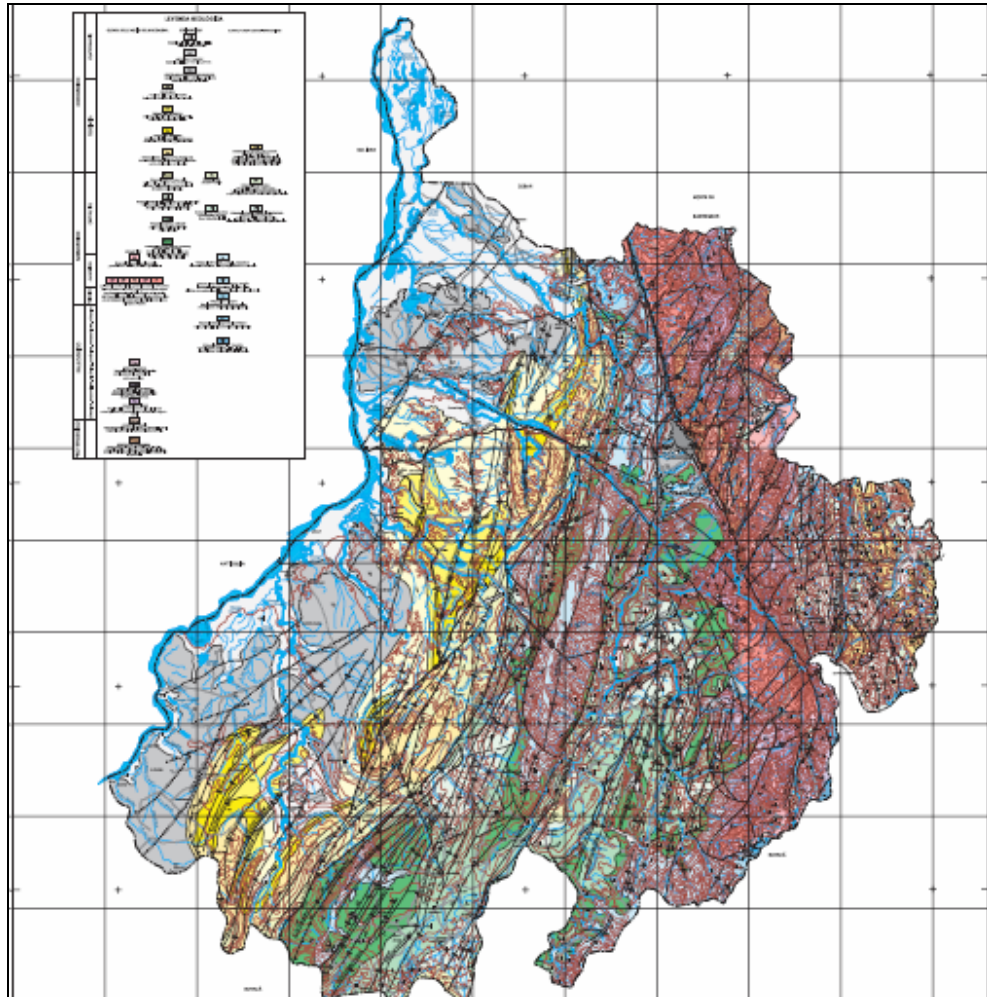


Fuente: Ingeominas, Cuadrángulos H12 y H13. Ubicación de la zona de Estudio dentro del margen de la Cuenca Superior del Río Lebrija

Con el fin de analizar los procesos de inestabilidad que dan origen a la contaminación de la quebrada Río Sucio se realizó en 1995 la tesis Gómez y Santana, de la cual se deriva. Un mapa geológico a escala 1: 5000, con una base topográfica 1: 25000 del IGAC.

En 1995, INGEOMINAS publica Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander a escala 1:400000, por Clavijo, J. y Royero J. M. Obteniendo el siguiente mapa (Figura 8).

Figura 8. Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander.

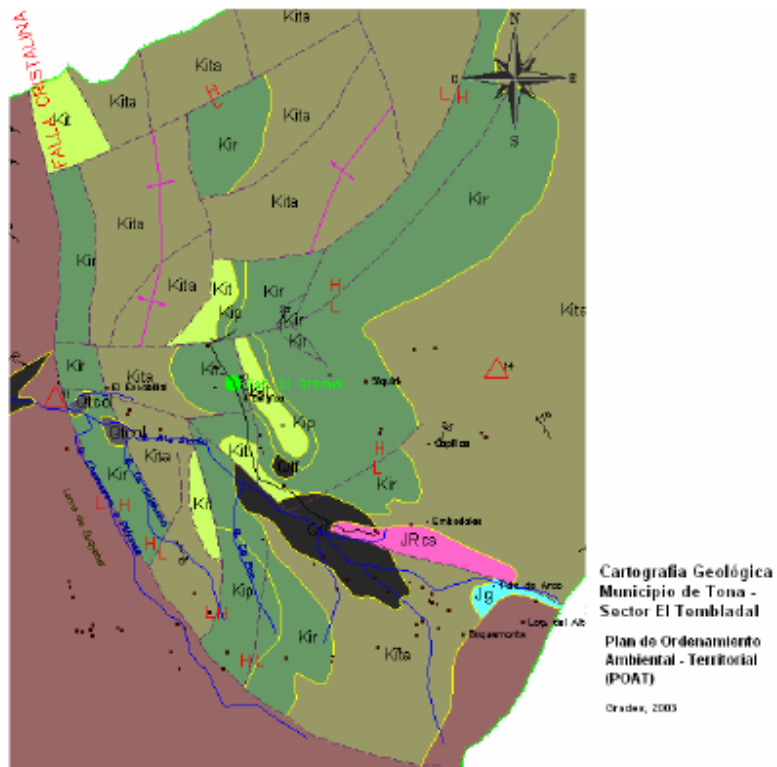


Fuente Ingeominas, 1995

En el 2001, Beltrán, R. y Rey, A., realizan un estudio estructural del sistema falla Bucaramanga - Santa Marta y sus fallas satélites con el fin de definir un patrón de drenaje en el Macizo de Santander en la zona comprendida entre Piedecuesta y el Río Suratá; obteniendo como resultado un mapa geológico a escala 1:10000

Siguiendo los requerimientos de las políticas nacionales para el desarrollo de todas las zonas del país, la empresa Gradex (2003), realizó el Plan de Ordenamiento Ambiental-Territorial para el Municipio de Tona. Desarrolló una cartografía a escala 1: 25000, amplió el detalle en cuanto a estructuras de la zona, como se puede ver en la figura 9.

Figura 9. Mapa Geológico del municipio de Tona, Se aprecia el sector sedimentario al E de la cuenca.

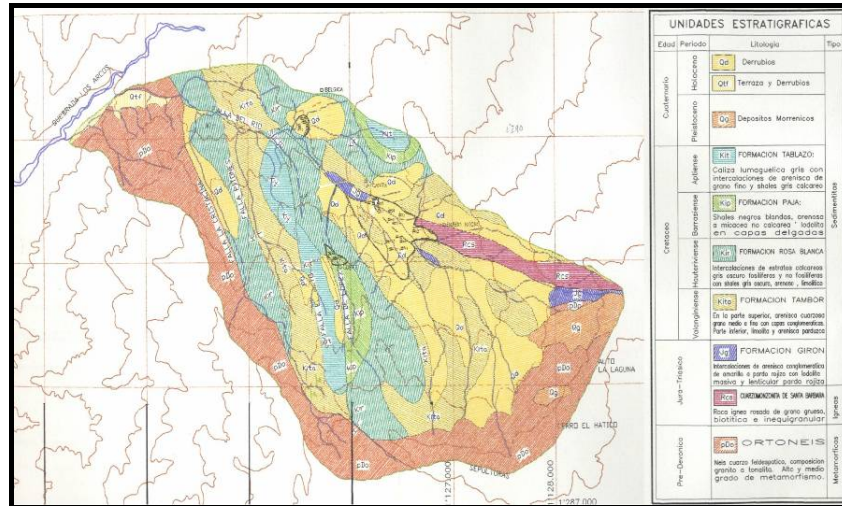


Fuente POT Tona, Santander año 2005

Para profundizar el trabajo de Gómez y Santana la Corporación del Acueducto Metropolitano de Bucaramanga CAMB en el año 2003 contrató a MAPINGENIERIA CIA. Ltda. Para realizar el Estudio De Sedimentos Para La Cuenca Superior Del Río Tona (Carrizal), en el cual se produjeron algunos cambios, en cuanto a ubicación de fallas, contactos litológicos y disposición de pliegues. (Figura 9).

En el año 2003, Vergara, O., realizó como tesis de pregrado UIS una prospección geológica para aguas subterráneas en el Macizo de Santander en el sector oriental de la falla de Bucaramanga, en los sectores urbanos, Escala 1:5000 en área de 5km².

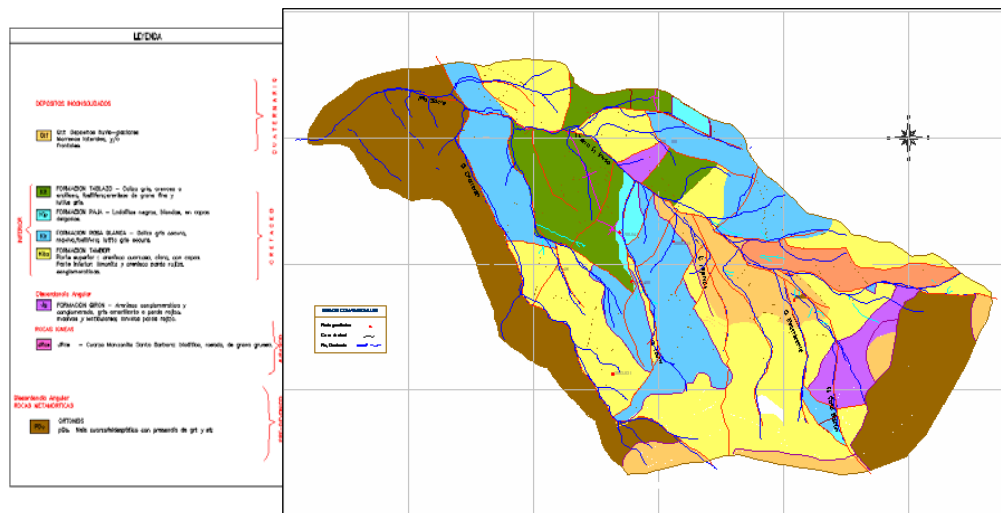
Figura 10. Cartografía Geológica.



Fuente: Mapingeniería año 2003.

El estudio más reciente corresponde al realizado por Ulloa, A. y Rojas, N en el año 2005 en tesis de pregrado: Cartografía Geológica escala 1:10000 y caracterización estructural de la subcuenca de la quebrada Río Sucio, municipio de Tona, orientado a definir un modelo hidrogeológico conceptual. (Figura 10)

Figura 11. Mapa geológico de la Cuenca Experimental de Río Sucio. Escala de referencia 1:10000.



Fuente Tesis de Grado año 2005.

Tomando como base todos estos estudios de cartografía geológica, se procedió a la validación de la información, siendo corroborada mediante una campaña de campo, describiendo la mayor cantidad de afloramientos de roca.

3.2 ANALISIS MORFOESTRUCTURAL A PARTIR DE MAPAS TOPOGRÁFICOS Y DEM'S

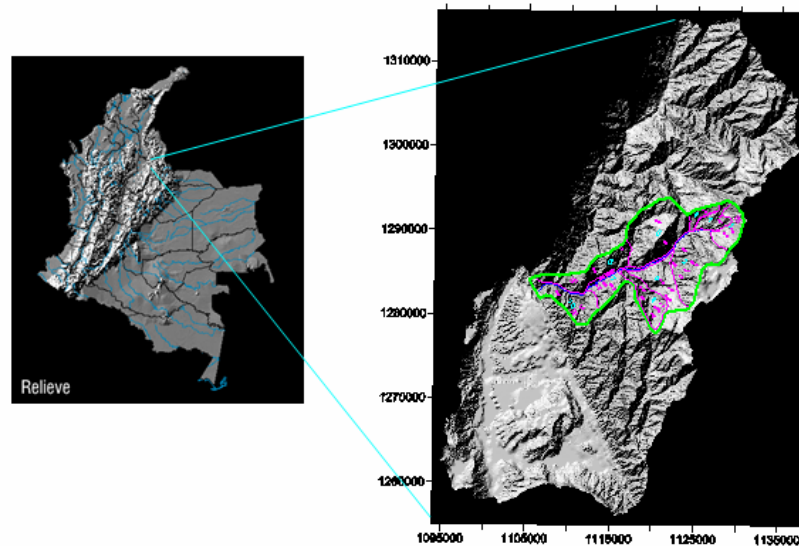
En este trabajo se utilizan como herramientas indispensables los sensores remotos, en este caso, el modelo digital de elevaciones de la zona de estudio para determinar los principales rasgos geomorfológicos que caracterizan esta cuenca de alta montaña enmarcada en su complejidad estructural y su variedad litológica.

Este modelo se realiza a través del programa Surfer 8 el cual, a partir de las planchas topográficas a escala 1: 25000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAG) crea un modelo aproximado de la topografía de la región de estudio en 3D mostrando un bosquejo de las pendientes de la zona y el relieve; desarrollado por el grupo de predicción y modelamiento hidroclimático (GPH) de la escuela de ingeniería civil (UIS). (Figura 12)

El modelo digital de elevaciones es una herramienta que fue utilizado en la fase precampo para obtener una idea de los rasgos Geológicos y de accesibilidad del área, después de concluida esta etapa han sido de gran ayuda en la compilación de los datos geológicos y geográficos en zonas de difícil acceso, para el seguimiento de estructuras en las zonas planas del páramo de Berlín y teniendo en cuenta tonos se redefinieron algunos rasgos estructurales.

Este tipo de modelos permiten realizar un reconocimiento general de la zona que se vaya a estudiar para conocer de manera general su topografía e incluso, es posible agrupar sectores que presenten características similares en cuanto al comportamiento de los drenajes y la morfología del relieve de tal forma que se puedan tener unas unidades preliminares.

Figura 12. Modelo digital de elevación de la Cuenca Superior del Río Lebrija, enmarcando el área de estudio.



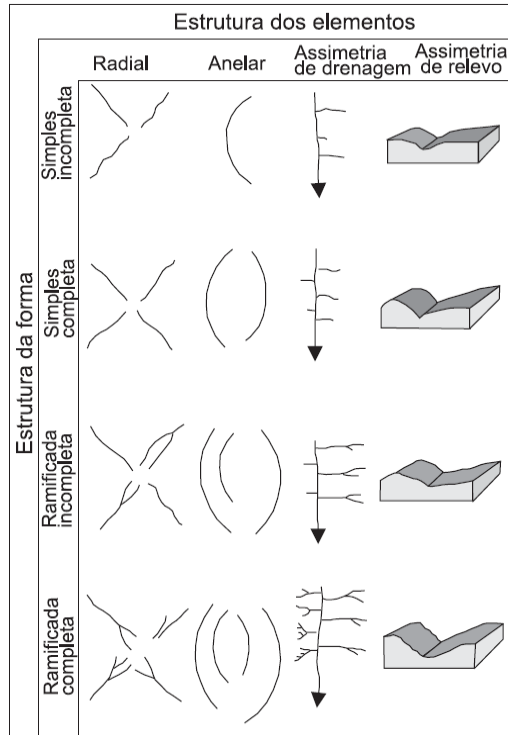
Fuente: Tomado del GPH, 2005.

3.2.1 Metodología. Para la interpretación estructural se utilizó un modelo de elevación de la zona, a partir de las cartas topográficas, en el programa Surfer utilizando una celda de 50*50 y se digitaliza la red de drenaje teniendo como base la topográfica de la 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. Los productos a obtener son el mapa morfoestructural, el mapa de lineamientos estructurales.

Interpretación morfoestructural. El término morfoestructural define una estructura inferida, identificada a partir del análisis e interpretación de información básicamente de relieve y drenaje, (Figura 13).

El mapeo morfoestructural, a partir de los patrones de drenaje y los lineamientos estructurales, busca trazar las flexiones del terreno derivadas de procesos geológicos. Es importante resaltar que, para un área de estudio, debido a sucesivas reactivaciones de estructuras antiguas y de eventos tectónicos pueden ser reconocidas formas correlacionables con la exhumación del basamento ígneo metamórfico del Macizo de Santander.

Figura 13. Clasificación de las formas anómalas de drenaje.



Fuente: Tomado de Análise Morfoestrutural Em Área De Ocorrência De Arenito Asfáltico, Bacia Do Paraná, 2003

Es importante resaltar que el detalle morfoestructural depende de la escala de trabajo adoptada, en este caso 1:25000.

Lineamientos Estructurales. El término “Lineamiento” fue definido originalmente para caracterizar las relaciones espaciales de las formas tales como, crestas, mesas, alineamientos de contactos geológicos, valles y fracturas o zonas de falla y puede ser empleado como designación de rasgos definidos por alineamientos del relieve y el drenaje. Para distinguir entre lineamiento estructural y fallamiento se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Los lineamientos no se restringen al desarrollo de un tipo de movimiento tectónico a lo largo de toda su extensión o durante el paso de los diferentes ciclos o fases tectónicas que afectan un área determinada.

- Una zona de falla puede dar origen a diversos lineamientos paralelos a subparalelos, o viceversa, esto es que varias fracturas asociadas a una zona de falla puede dar origen a apenas un lineamiento distinguible en las imágenes de sensores remotos.

3.3 CAMPO

El proceso para realizar la cartografía geológica escala 1:25000 de la Subcuenca del Río Tona, en su etapa de campo constituyo de los siguientes pasos:

- El trabajo de campo se programó para una duración de 40 días en las zona asignada, consistió en la recolección de información primaria, mediante un trabajo de campo, en el cual se buscara visitar el mayor números de estaciones distribuidas uniformemente por toda la zona de estudio, para establecer los aspectos más relevantes: ubicación, geología de afloramientos, datos estructurales, geomorfología, descripción detallada de afloramientos, con ayudas visuales como cámara fotográfica, y por último un muestreo sistemático de afloramientos y columna litoestadigráfica.
- El estudio de la zona comenzó con un reconocimiento de campo observando aspectos geológicos, geomorfológicos y sedimentológicos en el macizo de Santander, con la participación del director del Proyecto el geólogo Juan Diego Colegial y la geóloga encargada de la zona Alexandra Ulloa, con visita a sitios de interés geológico sobre la secuencia sedimentaria de la región comprendida entre Berlín y el municipio de Tona seguido de una introducción a las técnicas de campo, por parte de los profesionales encargados de INGEOMINAS en los sectores de Puente Tona.
- Posteriormente se procede a Definición de unidades Litológicas: con la información obtenida en las diferentes estaciones de trabajo en campo y con ayuda de los sensores remotos, fotografías de campo, se diferencia la geomorfología, pendientes, tipo de vegetación, tipos de drenajes, etc., permitiendo clasificar las diferentes unidades.
- Determinación de zonas para puntos de muestreos para posterior análisis y procesamientos de minerales arcillosos a partir de perfiles de suelos desarrollados por meteorización.

- Observación de la red hídrica y su asociación con el comportamiento estructural (fallas y diaclasas) y si está influenciada por la litología presente en la zona, para análisis estadísticos de rasgos estructurales por medio de un software.

3.4 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, descritos a continuación.

3.4.1. Descripción Macroscópica de Muestras. Esta descripción se realizó utilizando una lupa binocular (Marca Stemi DV4. Zeiss), que pertenece al laboratorio de preparación de muestras en 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, que permitieron una mejor caracterización de las unidades aflorantes.

3.4.2. Preparación de muestras de Arcillas. Esta fase del proyecto se realizó con la dirección del Geólogo. Ph.D Rafael Duarte, especialista 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 desarrolló usando una combinación de análisis granulométricos y difracción de rayos x, resultados que se describirá en el capítulo 8.

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.

3.5 PROCESAMIENTO DE DATOS

La información obtenida de la campaña de campo junto con la interpretación a partir de sensores remotos, con imágenes Dem's, fue procesada, analizada y registrada sobre la topografía actualizada dando como resultado el mapa geológico, notándose varios cambios con respecto a las cartografías anteriores, utilizando el programa Surfer 8.

Una vez elaborado el mapa de Geología de la zona, se realizan cortes geológicos los cuales sirven de apoyo en la obtención del modelo geológico estructural, permitiendo mostrar de una forma general el comportamiento de las estructuras a profundidad.

Adicionando otros componentes como datos climáticos y geomorfológicos que permitan determinar, con mayor o menor precisión según los casos, los límites y tipos de las principales unidades geológicas y las zonas de meteorización; con el ajuste de toda esta información se procede a la elaboración del mapa geológico y mapa de unidades en grados de meteorización definitivo de la zona de estudio el cual tendrá una connotación hidrogeológica.

Se realizó un análisis espacial de las Diaclasas y Estrías de Falla, con el fin de encontrar su 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.

Los datos que se procesaron fueron tomados directamente en la etapa de campo sobre los cuerpos sedimentarios, ígneos y metamórficos presentes en la zona de estudio. Sus aptitudes y características se describen en el Anexo A.

Para la interpretación de las Diaclasas se empleó el Software Tectonics versión 1.6.2, el cual genera diagramas de rosetas (en donde se obtiene la dirección principal del buzamiento) y de contornos (en donde se observa la densidad de datos en una determinada dirección, y la dirección principal del buzamiento).

Con todo lo anterior se obtiene la cartografía final para la edición y entrega del informe final del proyecto de grado, 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.

4. GEOMORFOLOGIA

En los trabajos enfocados a la hidrogeología deben tenerse en cuenta todos los aspectos tanto geológicos como morfológicos para llevar a cabo un estudio integral que pueda arrojar datos realmente confiables acerca del comportamiento hidrológico de una zona. En este capítulo se tratarán los aspectos geomorfológicos más importantes encontrados en la subcuenca del río Tona que de alguna forma pueden afectar los procesos de acumulación y transporte de agua en una zona fuertemente afectada por procesos tectónicos como esta.

4.1 FISIOGRAFIA

Fisiográficamente la Subcuenca del río Tona corresponde a zonas de alta montaña con elevaciones entre los 1000 y 4200 m.s.n.m. aproximadamente. Los elementos geomorfológicos junto con la vegetación propia de los mismos, condicionan parámetros como el almacenamiento, conductividades hidráulicas y movimiento superficial y sub-superficial del recurso hídrico en las cuencas.

El modelado del relieve está íntimamente ligado a procesos tanto exógenos como el clima, como endógenos relacionados a las fuerzas internas que afectan la corteza, es decir, es el resultado de una compleja interacción de factores litológicos, tectónicos y climáticos, enmarcado en una indispensable variable adicional como lo es el tiempo.

La subcuenca del río Tona es muy variada en su extensión en su geomorfología debido a la heterogeneidad en los tipos de roca que aquí se encuentran. Para la identificación de formas del relieve terrestre se tendrán en cuenta diferentes niveles de observación discriminando regiones fisiográficas, paisajes, tipo de relieve y formas del terreno.

El paisaje de montaña, como ocurre en este caso, constituye un nivel muy amplio de observación y dentro de este, se pueden encontrar paisajes formados por procesos denudacionales donde se incluyen procesos continuados por largo tiempo como procesos de erosión y remoción en masa, paisajes controlados estructuralmente relacionados con diferentes clases de estructuras geológicas las cuales ejercen una influencia dominante, paisajes kársticos, fluviales influenciados por la acción del agua a nivel subterráneo y superficial respectivamente, paisajes

glaciares modelado por el movimiento del hielo y su cobertura parcial por depósitos glaciares.

4.2 GEOFORMAS

El relieve terrestre es, como se ha dicho antes, el resultado de la interacción de diversos factores, de tal forma que la litología y la tectónica determinan las llamadas formas estructurales y estas a su vez constituyen en el marco físico en el cual actúan los procesos morfoclimáticos.

La influencia del clima está relacionada con los diferentes procesos que contribuyen al modelado del paisaje, tales como meteorización, pedogénesis y diferentes etapas del proceso morfogenético, como erosión, transporte y acumulación.

Interviene una tercera categoría de fenómenos, llamados procesos azonales, es decir agentes responsables de las formas que modelan las vertientes, cauces de los ríos, etc., tales como el escurrimiento superficial, solifluxión, reptación, que varían en función del clima y la litología. Toda forma del relieve es entonces el resultado de la intervención de los factores mencionados, sin que predomine alguno de ellos. La expresión del relieve también está influenciado por otros parámetros que no pueden dejar de tenerse en cuenta como son la escala geográfica y las herencias, en particular las del orden climático (paleoclimas).

A escala geográfica, en el caso del Macizo de Santander con grandes unidades, dominan los factores tectónicos. A nivel de las pequeñas dimensiones y para un mismo contexto climáticos, dominan las influencias litológicas (Villamizar, 1994).

4.2.1 Análisis e interpretación morfoestructural. El modelo digital de elevaciones es una herramienta que permite definir zonas en el área de estudio con características determinadas que den luces acerca de las diferentes zonas distinguibles dentro de la cuenca con rasgos propios como el tipo de drenaje, topografía y algunos tipos de pendientes, para esto es necesario la base topográfica que permita aclarar rasgos importantes de tipo morfológico, como cerros alineados, lomos de presión, etc.

La topografía esta controlada estructuralmente por la dirección general de la Cordillera Oriental (NNE-SSW) y localmente esta desplazada por fallas de rumbo.

Las direcciones de los cerros son dos, una dirección principal NE-SW, que se observa claramente en el sector de mayores alturas al este del área, estas direcciones también se observan hacia la parte del extremo oriental en la cuchilla la Quincha y en la zona central del área en las estribaciones de los cerros. Hacia la zona occidental se observan cuchillas, esta dirección es paralela a la falla de Bucaramanga. La otra dirección de los cerros es N-S, paralela a la dirección de la falla la Rosita casi perpendicular a la falla Bucaramanga-Santa Marta.

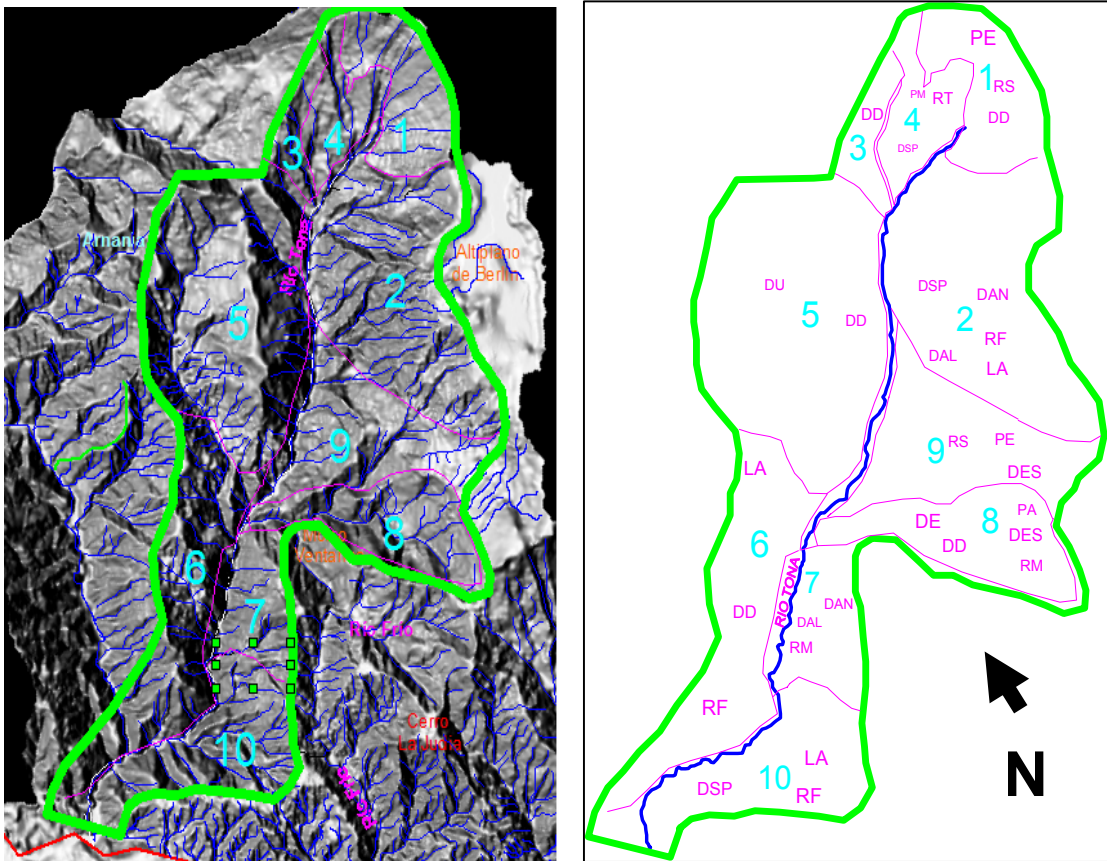
La observación más detallada de este modelo muestra un avanzado estado de deformación estructural (Figura 14), con cambios bruscos en la dirección de los cerros, intersección de direcciones y un visible control en el drenaje, con diferentes direcciones preferenciales.

Así se han podido distinguir diez zonas de la siguiente manera (Ver Figura 14):

- **Zona 1.** Se encuentra en el extremo Este de la cuenca del río Tona presentando un relieve suave a pesar de ser todo un plano estructural, el drenaje aquí es dendrítico, subparalelo y espaciado. Esta zona aparenta ser el nacimiento de muchos drenajes que alimentan la quebrada Los Arcos favorecidos por su pendiente muy alta.
- **Zona 2.** Se ubica al extremo SE de la cuenca y presenta un drenaje angular y de geometría subparalela y alineados, el relieve es fuerte y presenta lomas alargadas de pendientes abruptas dando la apariencia de estar fuertemente afectada estructuralmente.
- **Zona 3.** Se localiza en la parte NE del área de estudio con drenaje dendrítico y muy espaciado, relieve fuerte, altas pendientes. Esta zona es pequeña pero diferenciable de las que la rodean.
- **Zona 4.** Se localiza al NE de la cuenca presentando pendientes moderadas, un relieve tabular, un drenaje dendrítico y subparalelo, evidenciando una zona de litología sedimentaria que pareciera afectada por eventos estructurales por el alineamiento de sus drenajes.

- **Zona 5.** Unidad reconocible en la parte norte y central de la imagen (Figura 14) como un relieve moderado de colinas redondeadas, con drenajes dendríticos y de densidad muy uniforme a pesar de ser un poco escaso. El cuerpo además de ser redondeado está ligeramente orientado por una posible falla que lo afecte en esta zona. Está rodeado por drenajes lo que pudiera advertirse como un lomo de obturación.
- **Zona 6.** Es una extensa zona ubicada al NW de la cuenca, de pendientes abruptas y relieve fuerte, lomas alargadas y alineadas que me describen un drenaje dendrítico y subparalelo. Se puede reconocer fácilmente el contraste de pendientes con la unidad inmediatamente opuesta y separada por el río Tona.
- **Zona 7.** Se puede localizar en la parte SW de la imagen como una zona de relieve moderado y pendientes bajas, con drenajes angulares, alineados y de baja densidad.
- **Zona 8.** Esta zona se encuentra en el centro y sur de la zona de trabajo presentando un relieve moderado con pendientes altas, drenaje dendrítico, dispuesto de manera espaciada y cuyo cauce aparenta ser muy encajado que diera la apariencia de un cañón por donde se abre camino el drenaje más sobresaliente de este sector que lo atraviesa por el centro.
- **Zona 9.** Localizado al SE de la cuenca, se puede reconocer por su relieve suave y tabular en un extremo y pendiente estructural lo que advierte una posible litología sedimentaria, con drenajes dendríticos y espaciados de baja densidad. Las pendientes varían de bajas a moderadas en la pendiente estructural. Debido a la presencia de un drenaje rectilíneo puede advertirse el trazo de una falla.
- **Zona 10.** Se encuentra al extremo SW de la zona de trabajo mostrando una topografía fuerte, de altas pendientes, presenta lomas alineadas y drenajes subparalelos posiblemente afectados por callamientos y caracterizado por ser el relieve mas fuerte de toda la zona, tal ves por su proximidad con la falla de Bucaramanga- Santa Marta.

Figura 14. División de la subcuenca del Río Tona con base en rasgos de relieve y comportamiento de los drenajes, distinguibles en el modelo digital de elevaciones. Modificado por Osorio y Salazar, GPH 2006.



3.2.4 Análisis e interpretación de lineamientos. Se trazaron según los criterios y parámetros convencionales de sensores remotos para análisis estructurales, como son: control estructural de la red hidrográfica (drenajes rectos, angularidad de la red fluvial, deflexión de drenajes principales y secundarios etc.), cambios de pendiente, colinas alineadas, facetas triangulares, sillas de falla, ganchos de falla, trinchera de falla, valles lineales, lomos de presión.

Se reconocieron cuatro direcciones principales de lineamientos, tres de las cuales se correlacionaron con fallas principales durante la etapa de campo y la tercera dirección se dejó como lineamiento fotogeológico (Ver figura 15).

La primera dirección es aproximadamente NW-SE, la cual coincide con el trazo de la falla principal Bucaramanga-Santa Marta, estas fallas paralelas (Bucaramanga-

Santa Marta,) se reconocen por que son de carácter regional, y presenta drenajes alineados al igual que cambios de pendiente, pero en el trazo de Río Frío no es muy claro en la zona así que solo se deja como lineamiento.

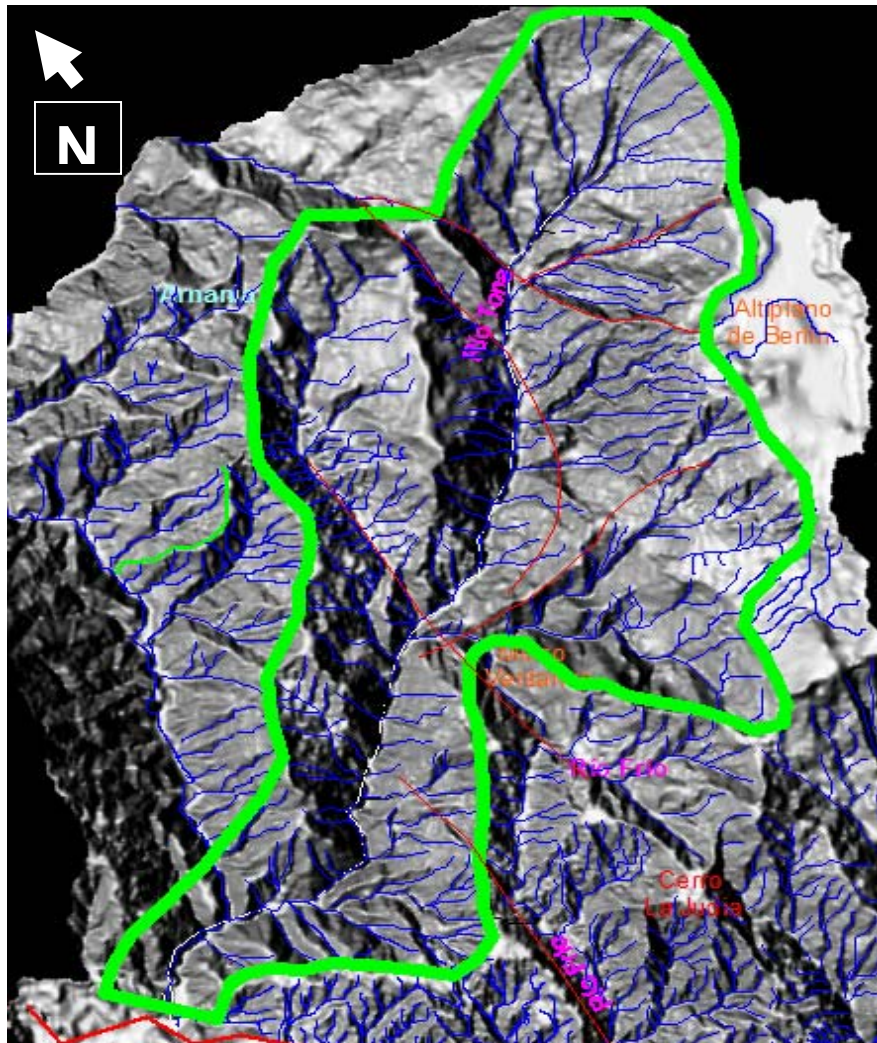
La segunda dirección corresponde al trazo de Falla la Cristalina NW-SE, la cual se reconoce por la linealidad de la red fluvial, ganchos de falla, valles lineales, lomos de presión.

La tercera dirección corresponde al lineamiento NE – SW, Falla Tona definida a partir de cerros alineados, se identifica lineamientos Río Frío y otro lineamiento que rodea el cerro la Judía, pero este último trazo no es muy claro en la zona así que solo se deja como lineamiento.

Otro lineamiento identificado en esta misma dirección corresponde a la falla de cabalgamiento La Colmillona, definido por el cambio drástico de pendientes, cauces rectilíneos y escarpe de fallas y cuya orientación es NE-SW. (Ver figura 15)

La cuarta dirección corresponde a una dirección E-W, no fue correlacionada en campo con ninguna falla principal, solo una parte de ella se pudo correlacionar en el sector de la quebrada montenegro, que luego es definido como un lineamiento por interpretación que continua en el altiplano de Berlín, otros lineamientos con mayor claridad es la Falla Río Sucio definida por drenajes de diferente morfología de lado y lado de la falla, rectilíneos al Este y al Oeste presenta un comportamiento más curvo cerca a la falla la Cristalina, contraste de pendientes. (Figura 15)

Figura 15. Lineamientos a partir de patrón de drenajes en imagen Dem.



4.2.2 Formas estructurales. (SE). En la subcuenca del río Tona se encuentran diversas manifestaciones estructurales que originan diferentes formas del relieve. Son una consecuencia de las deformaciones del material litológico condicionados por la tectónica y las propiedades mecánicas de las rocas que incluyen las rocas cristalinas del Macizo como su cobertura sedimentaria que la suprayace. Dentro de las formas estructurales se encuentran las siguientes:

- **Sinclinales.** Son pliegues debido a la tectónica, en el que la estratificación es cóncava hacia arriba y cuyo núcleo está conformado por rocas estratigráficamente más jóvenes. en el área se encuentran dos estructuras de esta clase: uno ubicado al NW correspondiente al Sinclinal El Alto (figura 16)

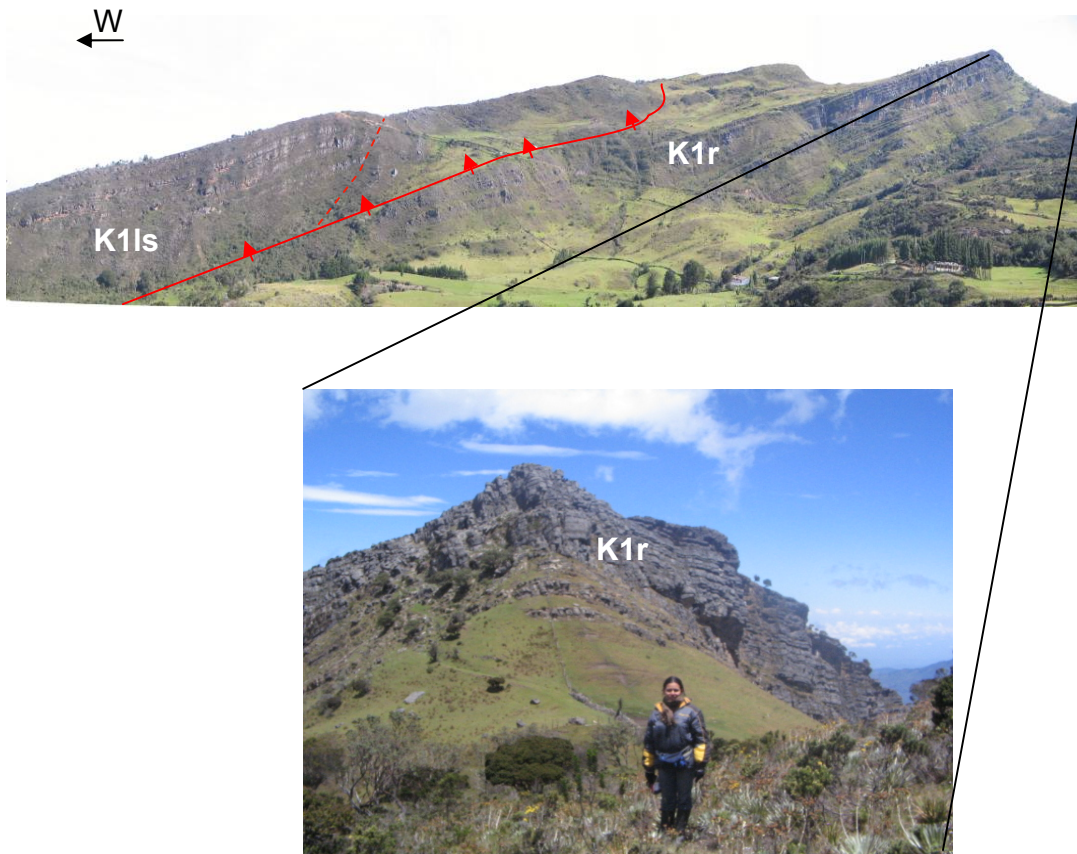
cuyo flanco occidental se encuentra truncado por la falla La Colmena; y al Norte se localiza el Sinclinal El Gramal limitado al occidente por la falla El Gramal.

Figura 16. Sinclinal el Alto, se identifica el sinclinal por los buzamientos que convergen hacia el centro de la estructura, encontrándose la formación Tablazo en la parte central, además se observa una barrera estructural constituida por la misma formación.



- **Planos estructurales.** Corresponden a superficies del terreno que siguen la misma dirección del buzamiento de los estratos. Asociados a planos de falla, se presenta en la formación Tambor cuyo rasgo característico es la pendiente observada en la parte mas alta de la zona donde nacen las quebradas que alimentan el río Tona con alturas de 3000 a 3600 m s n m. y en la formación Rosablanca se puede distinguir estos planos estructurales con mayor claridad en el sector del Peñón. Y en el sector de la plazuela la pendiente estructural de Tambor.
- **Escarpes rocosos.** Corresponden a taludes que exhiben pendientes abruptas, a casi verticales, en los que se aprecia claramente su estratificación. Su origen está relacionado con procesos de levantamiento del macizo y desmantelamiento con ruptura de la cobertura sedimentaria con presencia de fallamiento muy activo regionalmente. Son muy representativos de la formación Rosablanca en los sectores del Alisal, filo El Peñón, La Casita, Cerro Las Cruces, Tambor en el sector del Carrizal, cuchilla callejón amarillo (ver figura 17) sector de Peña Alta y la finca La Esperanza; también se encuentra en la formación Tablazo en los escarpes de la quebrada Los Arcos en el camino que conduce del Gramal a la finca Bélgica.

Figura 17. Finca el Carrizal, Escarpes rocosos de la Formación Rosablanca y los Santos. Falla de Cabalgamiento que pone la formación Los santos por encima de la formación Rosablanca.



- **Escarpes de falla.** Vertiente de superficie rectilínea asociado con el talud del plano de falla. El contacto entre el material sedimentario y las rocas cristalinas se manifiesta como un valle de línea de falla en V y sus vertientes están afectadas por erosión moderada. El mejor ejemplo lo constituye el correspondiente a la falla Bucaramanga- Santa Marta, y la falla La Cristalina frente a la vereda El Gramal, así como el valle en V formado por el trazo de Falla Tona, mostrando mayor pendiente sobre las rocas del ortoneis. (Ver Figura 23)
- **Sillas de Falla.** Consiste en una depresión o punto de quiebre en el perfil topográfico del área. En el sector de la quebrada De La Vida Centenaria, la finca La Esperanza producido por la falla de Tona. (Ver Figura 58)
- **Facetas Triangulares.** Es una forma triangular que se puede desarrollar sobre escarpes de falla así como también a lo largo de escarpes de

lineamientos. En el área de estudio las facetas triangulares se desarrollan a lo largo de los escarpes de fallas Principales como la Falla Tona, cristalina, Río Frío, y como rasgo característico en el valle del Río Tona

Lomos de Obturación. Pequeño levantamiento rodeado por una corriente alineada al trazo de falla. (Figura 18)

Figura 18. Loma El Tombo, lomo de obturación en el sector de La Plazuela producto de la falla La Cocalina.



Lomos de Presión. Pequeño levantamiento alineado al trazo de falla. (Figura 19)

Figura 19. Muestra el lomo de Obturación en la zona del río Tona formado por La falla Tona.



- **Lagunas de Falla.** Pequeñas masas de agua alineadas a lo largo del Piedemonte del Macizo de Santander, las cuales se formaron por el represamiento de los drenajes antecedentes, debido a movimientos diferenciales del terreno, tanto en la vertical como en la horizontal, están representados en el sector del Carrizal producto de la falla de cabalgamiento La Colmillona (ver figura 20) y en la ciudad de Bucaramanga, por la falla Bucaramanga- Santamarta.

Figura 20. Laguna de falla observada en la finca El Carrizal, en dirección paralela a la falla la Colmillona, en el sector del Callejón Amarillo.



- **Deflexión de Drenajes.** Drenajes de primer o segundo orden que cambian abruptamente de dirección. Se observan, en la quebrada Armania en el sector de la vereda vegas de Armania.
- **Ganchos de Falla.** Consiste en cerros desplazados con respecto al eje de la divisoria de aguas principal; la ubicación de los cerros puede indicar, el sentido del desplazamiento. (Figura 21) Un buen ejemplo puede observarse en la vía que conduce del Km. 18 hacia el municipio de Tona y que corre paralela al río Tona.

Figura 21. Gancho de flexión, producto de la Falla Río Fío y lineamientos en dirección NE y SW, a un costado del río Tona en la vía que conduce a Árbol Solo



4.2.3 Relieves residuales. (SR). En el proceso de identificación de las formas del terreno y dada la mayor importancia de los factores estructurales en esta parte del Macizo de Santander, se encuentran otras formas relacionadas a un origen estructural.

- **Valle colgado.** Es un antiguo valle tributario del principal cuyo lecho es más alto que el valle principal. Se formó probablemente por remoción fluvial del material de trituración resultante de la actividad de la falla del Río Sucio. (Figura 22)

Figura 22. En el sector el espino apreciamos un valle colgado y zona de depósito de procesos erosivos. Los rasgos estructurales que se aprecian son facetas triangulares a la trazo de la Falla La cristalina.



4.2.4 Formas debidas a procesos Kársticos. (SK). Están relacionadas con procesos de disolución de las rocas calcáreas por acción del agua, la cual sigue líneas de debilidad de la roca como diaclasas, estratificación, permitiendo geofomas, dentro de las cuales se encuentran dolinas, cárcavas y grietas.

Dolinas, cárcava y grietas: ubicadas en cuatro sectores.

1. En el sector de La Casita y al oeste de la Cruz, sobre las calizas de la formación Rosablanca.
2. En el pliegue de los Arcos, sobre la formación Tablazo, en los niveles calcáreos se observaron grietas y cárcavas.
3. En el sector del Peñón, sobre la pendiente estructural, de la formación Rosablanca, se aprecian grietas de disolución formando estructuras lapiaice y dolinas. (Figura 23)
4. Filo callejón amarillo sobre la formación Rosablanca.

Figura 23. Pendiente estructural de la Formación Rosablanca, evidenciando procesos de disolución en el sector de EL Peñón, Finca las Cuadras.



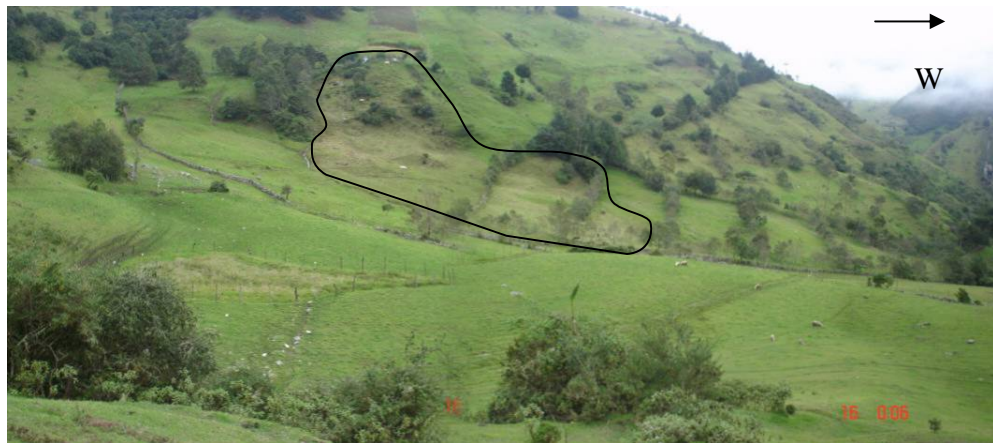
4.2.5 Formas debidas a la dinámica de vertientes. (SV). Son el resultado de procesos erosivos antiguos y recientes. Interviene la secuencia erosión, transporte y acumulación. Se pueden diferenciar entonces procesos donde interviene la gravedad principalmente y otras como las propiedades del material meteorizado frente a agentes importantes como agua, hielo y finalmente los debidos al escurrimiento superficial.

4.2.5.1 Formas debidas a procesos gravitacionales. (SV1). Se tienen las siguientes:

- **Conos de derrubios.** Son depósitos de fragmentos gruesos que se acumulan al pie de las vertientes. La principal causa de su formación es la gravedad, además intervienen el fracturamiento o diaclasamiento de la roca, meteorización y presión de las raíces de las plantas. Se pueden diferenciar dos sectores, uno en las cercanías a la quebrada Cuevitas conformado por bloques del Ortoneis de Berlín, su geometría es angular, con un espesor aproximado de 4 metros. Otro ubicado en la cuenca de Río Sucio conformado por bloques de las formaciones Rosablanca, Tambor y Tablazo, cuerpos cristalinos como Cuarzomonzonita y Ortoneis de Berlín; los bloques que lo conforman son de aproximadamente 50cm, subredondeados a subangulares evidenciando un mayor transporte.

- **Cicatrices de desprendimiento.** Hacen referencia a formas que pueden estar ligadas tanto a desprendimientos gravitacionales (conos de derrubios) como a movimientos en masa. Las cicatrices antiguas están actualmente cubiertas de vegetación casi en su totalidad. (Figura 24)

Figura 24. Cicatrices de desprendimiento en el sector de la Quebrada Los Pantanos camino que conduce al Gramal.



4.2.5.2 Formas debidas a movimientos en masa. (SV2). Son geoformas que dan un modelado característico al terreno y se presentan en unidades litológicas diferentes. Se destacan formas debido a deslizamientos, coladas de barro, depósitos torrenciales y reptación.

- **Deslizamientos.** Son movimientos de masa relativamente lentos con una superficie de ruptura bien definida entre el material litológico insitu y la masa movida. En general, las causas que lo provocan se relacionan principalmente con las propiedades de las rocas, presencia de aguas y construcción de acequias de ladera. Debido al alto grado de meteorización en la formación Silgará y su composición en épocas de lluvia se aprecia un elevado número de deslizamientos en la cuchilla La Quincha. (Figura 25)
- **Coladas de barro.** Corresponden a grandes movimientos de masa, que adquieren forma alargada. Estos movimientos son observados en el sector de la finca El Limoncito camino a la vía que comunica a la finca La Esperanza. (Figura 26)

Figura 25. Deslizamientos en cárcavas del suelo debido a la alta meteorización. Presenta una granulometría arcillosa. Vía Tona- La Quincha. Formación Silgara.



Figura 26. Coladas de barro observadas en el cerro Limoncito sobre la formación Silgará.



- **Movimientos lentos.** Dentro de estos se reconocen la solifluxión y la reptación. La solifluxión incluye movimientos superficiales y lentos del terreno que no ocasionan superficie de ruptura en el terreno y se producen por las variaciones en el contenido de humedad. Normalmente involucra los suelos formados sobre la superficie, rocas blandas y/o coluviones con abundante matriz arcillosa.

La reptación corresponde a inestabilidad de ladera caracterizada por procesos de deformaciones superficiales que pueden dar lugar al movimiento generalizado, lento y progresivo de la superficie del suelo bajo la influencia de agua o gravedad. Se reconoce por leves inclinaciones de troncos de árboles, cercas, muros u ondulaciones del suelo superficial. Se localizan en cercanías de la Finca Agua Blanca. Este tipo de movimientos se localizan en cercanías a la finca Siquirí y en sectores aledaños a la Casita. (Figura 27)

Figura 27. Procesos de reptación, finca Agua Blanca.



4.2.6 Formas debidas al escurrimiento superficial. (SL). Están relacionadas con la acción del agua sobre el terreno y de acuerdo con su acción sobre la superficie del relieve se clasifican en laminar, surcos y cárcavas.

Erosión laminar. Consiste en la desaparición superficial y uniforme del suelo y se manifiesta en forma difusa sin dejar canales de escurrimiento notables. Afecta las capas más superficiales del suelo por la acción de películas de agua en épocas lluviosas que arrastran partículas finas. (Figura 28) Predomina principalmente en sectores donde la vegetación es escasa propiciando la aridez del suelo. Este tipo de erosión es predominante en la vereda Pirgua sobre rocas del Ortoneis de Berlín y cuarzomonzonita de Santa Bárbara.

Erosión en surcos. Se presenta por el encausamiento del escurrimiento concentrado en una determinada dirección del agua en pequeños canales, mas o menos paralelos independientes unos a otros. Ocurren en suelos poco permeables; sus canales no exceden los 50 cm. de profundidad. Se presentan frecuentemente en el Neis de Bucaramanga, hacia los sectores de mayor pendiente, en el sector de la Quebrada Ranas.

Erosión en cárcavas. Es el resultado de la profundización y ampliación de los surcos que forman canales aislados con contornos y bordes mas definidos y con profundidades que varían entre 0.5 m y 5.0 m. las cárcavas observadas en esta zona se presentan en zonas de grandes espesores de roca meteorizada sobre Neis y Cuarzomonzonita en el sector de la vereda Retiro Chiquito y la vereda Arnania. Debido a la erosión de las quebradas en el altiplano de Berlín la presencia de cárcavas es bastante común.

Figura 28. Zona de fenómenos de remoción en masa, sobre la Formación Paja, presentando algunas coronas de deslizamientos.



Otra modalidad de erosión que se presenta en la zona hace referencia a la erosión antrópica que se genera directa o indirectamente por la acción del hombre, quien contribuye a acelerar los procesos de degradación del suelo. Comprende las terracetos o patas de vaca, que consisten en arrugas del suelo paralelas entre sí y son perpendiculares al sentido de la pendiente producto de escurrimientos de su parte más superficial por sobrepastoreo. Ocurre generalmente sobre suelos superficiales con poca cobertura vegetal.

4.2.7 Formas que resultan de acciones particulares. (SP). Estas corresponden a procesos en los cuales intervienen los principales agentes climáticos como viento, agua, hielo, que actúan modificando el terreno ya sea erosionando o acumulando material.

4.2.7.1 Formas resultantes de procesos fluviales. (SP1)

- **Depósitos torrenciales.** Corresponden a acumulaciones de carácter herométrico, con un incipiente grado de orientación en una matriz arenosa, areno-arcillosa, producto posiblemente de aportes de las vertientes y constituidos de fragmentos de pocos centímetros transportados por el escurrimiento superficial concentrados y depositados aguas debajo de las vertientes ocasionados por eventos cuaternarios en los que prevalecieron los largos periodos secos alternados por eventos lluviosos excepcionales. En la unión de la quebrada Río Sucio y la quebrada Los Arcos. En el sector de la casita se presenta un depósito de este tipo que sobresale por su extensión.
- **Terrazas aluviales.** Son superficies que representan los restos del cauce de un río cuando este estuvo fluyendo a un nivel más alto. El subsecuente corte del río, hacia abajo, deja restos del antiguo cauce que permanece como terraza por encima del presente nivel del río. Este tipo de Geoforma tiene su mayor representación en las terrazas del río Tona en las cercanías a este municipio cuya extensión es de aproximadamente 10 Km. y un ancho de 50 m. (Figura 29)

Figura 29. Terraza Aluvial del río Tona presentando una granulometría muy variable, compuesta de bloques de ortoneis, cuarzomonzonita, bloques de las formaciones Tambor y Rosablanca. Presenta un espesor de 10 m de altura.



4.3 MAPA DE PENDIENTES

El análisis de las pendientes de una zona está ligado a la morfometría que es la encargada de los aspectos cuantitativos del terreno como longitud, ángulo de inclinación, altura de las laderas; en el presente trabajo se hará referencia sólo a la inclinación de las pendientes, estudio que se basará en observaciones de campo y el modelo digital de elevaciones realizado en el programa Golden Surfer.

La medición de estas pendientes comprenden el ángulo de inclinación entre la horizontal y la pendiente, medición que realiza directamente el software dando los resultados en una escala de colores que varía del gris para las pendientes menores hasta el rojo para las mayores y en porcentajes que varían de 0 a 90. (Figura 31)

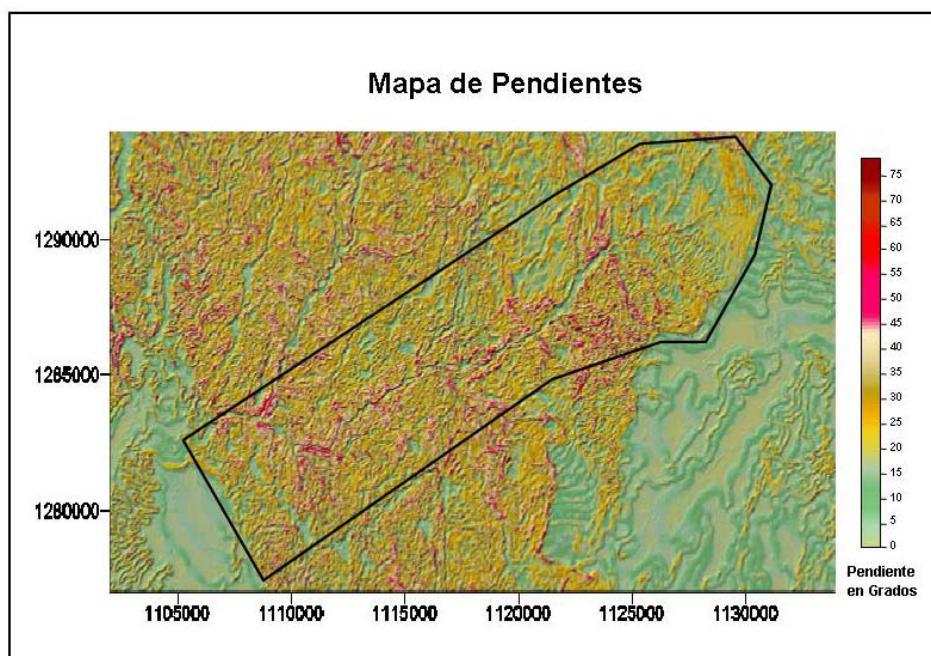
Para esta clasificación se establecieron 5 intervalos de pendientes de tal manera que fueran los más favorables para la escala del trabajo y la topografía del área de la siguiente forma:

Figura. 30 Tabla de inclinación de pendientes, (Tomado, de Gómez y Santana 1995)

INTERVALO	INCLINACION PENDIENTE	DE	TERMINO DESCRIPTIVO
1	0 – 20		Plano o levemente
2	20 – 30		moderadamente
3	30 – 40		inclinado
4	40 – 50		Inclinado
5	50 - 70		Moderadamente abrupto Abrupto Escarpado

De esta forma se han podido diferenciar 4 zonas en base al grado de inclinación de la pendiente arrojado por el software así:

Figura 31. Mapa de Pendientes a partir del modelo de Elevación, generado a partir del software Surfer.



La cuenca del Río Tona corresponde a pendientes heterogéneas donde predominan las de tipo inclinadas, sobre el Ortoneis se encuentran sectorizadas las pendientes abruptas y en menor proporción pendientes escarpadas.

Este mapa de pendientes muestra como rasgo característico el bordeado de pendientes fuertes sobre el Río Tona, característico de Rocas Cristalinas, en la zona Norte del límite de cuenca el rango de pendientes marca un gran contraste por presentar un plano estructural y su inclinación llega aproximadamente 30° representado el rango de pendiente inclinadas, correspondiente al Silgara y la Formación Tambor.

Las pendientes entre rangos moderadamente abruptos y abruptos, más sobresalientes se encuentran en tres sectores, uno se localiza en la zona nororiental sobre el ortoneis de Berlín. Corresponden a montañas con filos agudos, el segundo se encuentra en la quebrada Golondrinas, corresponde a Cuarzomonzonita de la Corcova y el Neis de Bucaramanga. El tercero en cercanías a la ciudad de Bucaramanga, sobre el Neis de Bucaramanga.

Las pendientes sobre la secuencia sedimentaria se aprecia de inclinadas a – planos característico por la formación Rosablanca que presenta planos estructurales.

En el sector de la cuchilla la Quincha se presentan pendientes inclinadas a moderadamente abruptas que se desarrollan en la Formación Silgará.

5. GEOLOGIA

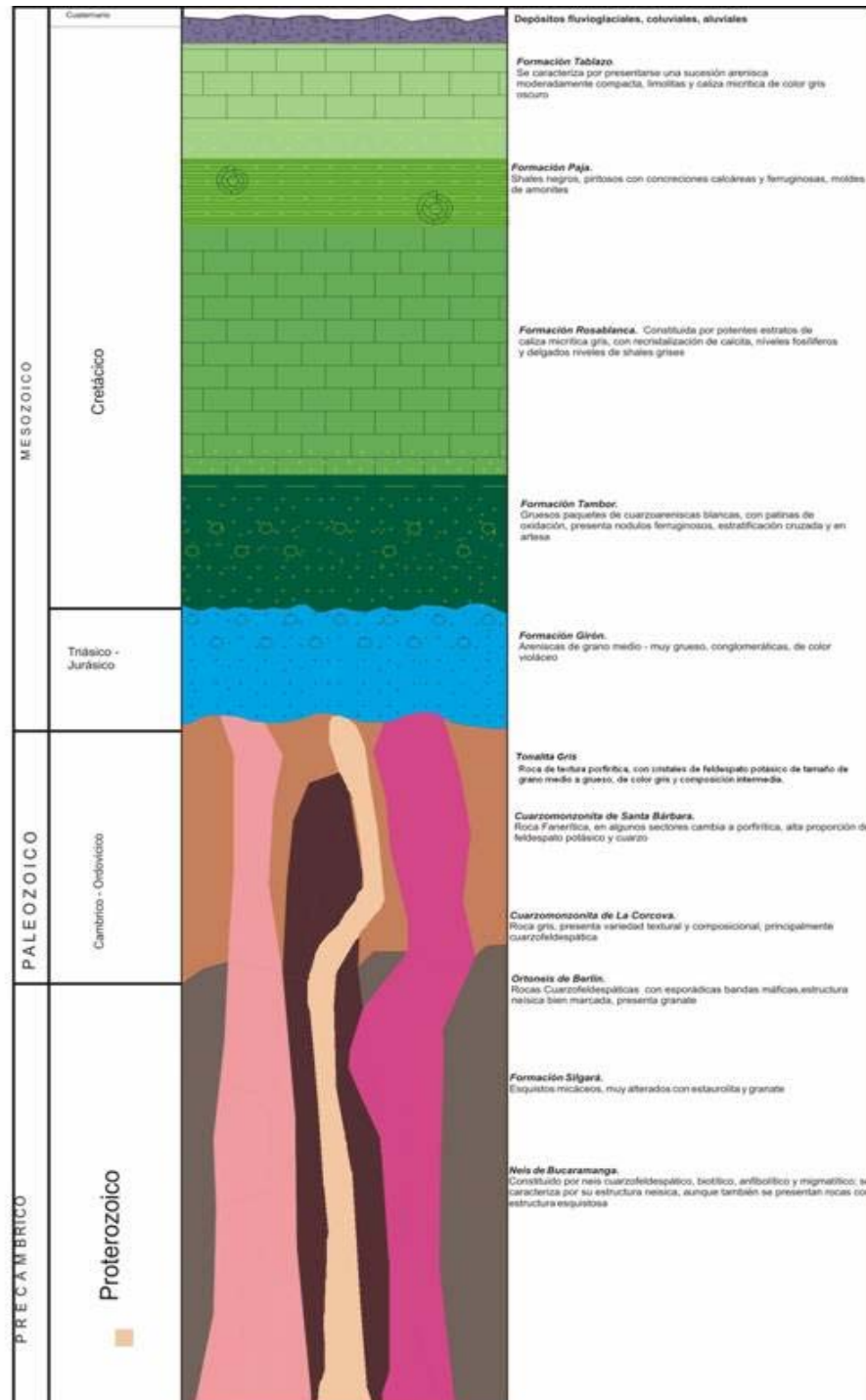
La subcuenca del río Tona presenta una gran variedad litológica y geomorfológica debido en gran parte a su complejo control estructural. Las formaciones sedimentarias, por ejemplo, se distribuyen en forma de bloques estructurales, lo que en muchos sectores impide reconocer una secuencia completa y mostrando espesores mucho menores que los descritos en las secciones tipo. Las características hidrogeológicas de las unidades aflorantes permiten reconocer unidades principales como los depósitos cuaternarios ya que sus propiedades hidráulicas favorecen el almacenamiento y circulación del agua, mientras que las unidades sedimentarias y cristalinas, por su alto grado de compactación disminuyen la permeabilidad y almacenamiento, donde las condiciones estructurales les han impuesto porosidad secundaria; de ahí la necesidad de describir esta zona con base en estos criterios para desarrollar una cartografía con fines hidrogeológicos.

5.1 ESTRATIGRAFIA

La litología de la subcuenca del río tona se caracteriza por presentar rocas de tipo ígneo, metamórfico y sedimentario que van desde el Precámbrico hasta el Terciario, estas unidades de roca se encuentran cubiertas parcialmente por depósitos cuaternarios de origen diverso. Se pueden observar rocas intrusivas como las cuarzomonzonita de la Corcova y Santa Bárbara, rocas metamórficas como el complejo de Bucaramanga, Silgará y Ortoneis de Berlín, formaciones sedimentarias jurásicas como la formación Girón y las formaciones cretácicas Los Santos, Rosablanca, Paja y Tablazo. (Figura 32)

A continuación se mostrará una descripción de las litologías encontradas en las campañas de campo, detallando los afloramientos encontrados y las características principales observadas en dichos afloramientos.

Figura 32. Columna cronoestratigráfica, generalizada de la Subcuenca del Río Tona.



5.1.1 Neis de Bucaramanga. (p€**b).** Es una unidad conformada por rocas metamórficas de origen sedimentario, de alto y medio grado de metamorfismo dinamo-térmico regional, de edad Proterozoico, que afloran en el sector oriental y nororiental del Departamento de Santander. El nombre original de Neis de Bucaramanga fue utilizado por Goldsmith, et al. (1971) y posteriormente propuesto por Ward, et al. (1973). Esta unidad tiene como localidad tipo el frente montañoso (Cerro La Judía y Morro Negro) al oriente de Bucaramanga. Presenta buenas exposiciones en las carreteras Bucaramanga-Pamplona y Berlín-Vetas. (Ver Anexo B)

El neis de Bucaramanga, en la cuenca del río Tona tiene una extensión de 62Km² con una dirección NE – SW, desde la parte central del Río Tona hacia el oeste en cercanías de la falla Bucaramanga, intruído por la cuarzomonzonita de la Corcova en el centro del cuerpo e igualmente intruído hacia el sector este del neis. Está afectado por la falla de Río Frío y la falla los medios, que lo pone en contacto con la Cuarzomonzonita de la Corcova. Hacia la parte más SW de la zona de estudio se encuentra afectada por fallas de rumbo. Presenta un relieve caracterizado por su elevada topografía, pendiente abruptas, (entre 25 -35°) y un patrón de drenaje subdendritico y subparalelo.

El Neis de Bucaramanga consta de rocas metamórficas de alto grado, con fábrica orientada y textura gruesa a media, aunque localmente llega a ser fina; es una secuencia de paraneises cuarzofeldespáticos, hornbléndicos, micáceos y cantidades subordinadas de anfibolitas y migmatitas.

- **El Paraneis.** Es de grano medio a muy grueso de bandas melanocráticas de cuarzo y plagioclasa y en menor proporción anfíbol y biotita; aflora en el sector de la vereda Retiro Chiquito (Figura 32), en la cercanía a la quebrada Honda, en la parte NW del río Tona, en la vereda Armania y cerca de la quebrada Guarumales. Su descripción composicional en muestra de mano corresponde a Cuarzo 40%, Plagioclasa 40%, micas 10%, Hornblenda 3% y feldespato Potásico 7%. Con una textura néisica bien definida. Con respecto a la meteorización se puede decir que forma unos perfiles de tipo arenoso donde los granos de mayor tamaño corresponden al cuarzo. La roca se disgrega fácilmente.

Figura 32. Neis cuarzo feldespático con venas poliminerales máficos y félsicos presentando una textura néisica. Sector de la vereda Arnania.



- **Neis Anfibolítico.** Con bandas máficas ricas en biotita, hornblenda y anfibolita, (ver Figura 33) con bandas claras de cuarzo y plagioclasa de color gris-verdoso, con alternancias de bandas finas ligeramente onduladas; las bandas máficas son principalmente hornblendicas y biotíticas, y las félsicas cuarzo feldespáticas, presentándose como mineral secundario, la moscovita observándose casi inalterada junto con el Cuarzo, de grano grueso a muy grueso, presentando texturas granolepidoblasticas (Figura 34), su composición a partir de descripción de muestra de mano corresponde a Cuarzo 35%, Anfíboles 30%, Feldespato 10%, Moscovita 5% y Biotita 20%. Se aprecia sobre el río Tona en el sector de Puente Tona en cercanías a la unión de los ríos Tona y Surata, también afloran en la vereda el Brazil, en las quebradas Ranas y Campohermoso, barrio Vegas de Morrórico, Miraflores y el Diviso en Bucaramanga.

Figura 33. Neis Anfibolitico, plegado, intruido con parches de ortoneis paralelo a la foliación.



Figura 34. Neis con textura lepidogranoblastica. Obsérvese el diámetro de cristales de feldespato Potásico



- **Neis Esquistoso.** se presenta finamente laminado en colores verdes amarillentos, muy oxidados. En su composición sobresale la biotita, moscovita

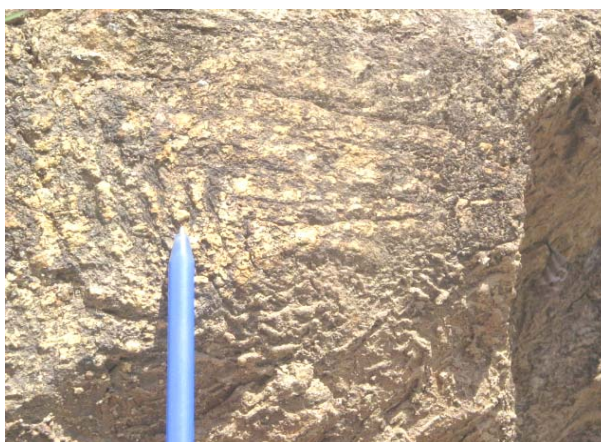
y se pueden observar afloramientos en la quebrada los Monos en el sector del alto de los padres y en Vegas de Chiscapá. Composicionalmente esta definido Cuarzo 20%, feldespato 15%, Moscovita 4%, Biotita 35%, Clorita 6% y Lepidolita 15%, presentando una textura esquistosa de grano fino. (Figura 35)

Figura 35. Neis biotítico con alto plegamiento, cerca de la zona de Falla Bucaramanga – Santamaría en el barrio Los Pinos. El neis presenta aquí una textura tipo Augen. Se observan claramente las bandas de minerales máficos y félsicos.



Neis muy plegado por fallamiento intenso de grano grueso con bandas micáceas y de alto contenido en máficos. Se observa en zona de la granja avícola Puerto Rico, cerca al barrio Los Pinos. (Figura 36)

Figura 36. Plegamiento tipo KINK sobre el Neis de Bucaramanga, en la influencia de la zona de falla Bucaramanga – Santamarta, muy comunes cerca al barrio los pinos.



5.1.2 Formación Silgará. (ECs). Nombre propuesto por Ward, et al. (1973) para referirse a una secuencia de rocas sedimentarias metamorizadas con foliación fina, compuestas por filitas, cuarcitas, esquistos, metareniscas y menores cantidades de pizarra y filita calcárea, cuya sección tipo se localiza en la Quebrada Silgará, afluente del Río Salamanca, al occidente de Cáchira.

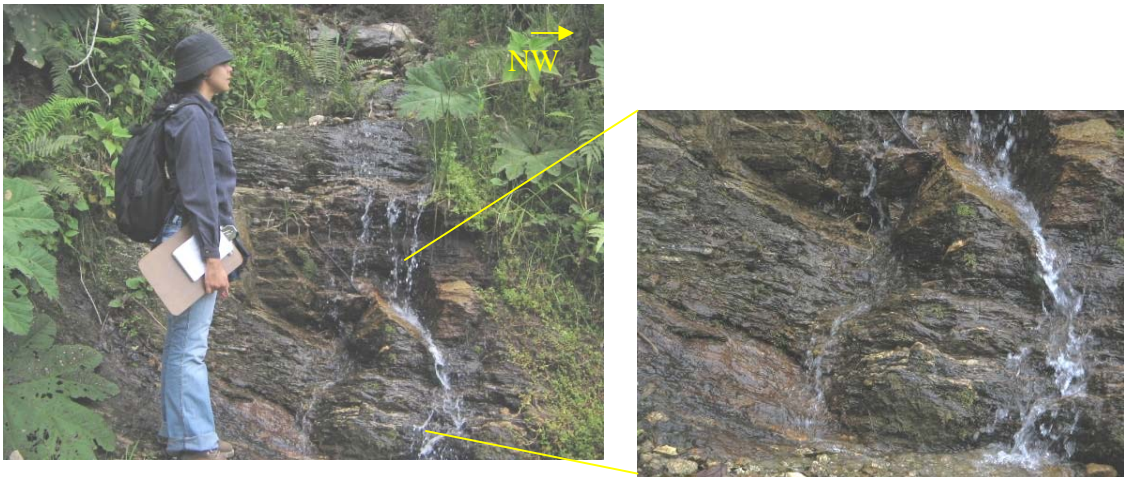
La Formación Silgará le han asignado tentativamente una edad del Cámbrico al Ordovícico (WARD, et al. 1973), equivalente en parte al Grupo Quetame (CAMPBELL, 1965), al Grupo Güejar (TRUMPY, 1943).

La formación Silgara, en la zona de estudio tiene una extensión de 26km² se encuentra ubicado en la zona central de la cuenca, de forma rectangular y una parte alargada hacia el sur presentando una orientación, N-S. Al este se encuentra en contacto fallado con el ortoneis de Berlín por la Falla Tona, y al oeste en la zona norte suprayace el Neis de Bucaramanga, hacia la zona central con el Ortoneis de Berlín, y más al sur en contacto intrusivo con la Cuarzomonzonita de la Corcova. (Ver anexo B)

Esta roca de grado de metamorfismo medio comprende esquistos micáceos enriquecidos en biotita - moscovita, muy oxidados con presencia de cuarzo y plagioclasa, con niveles de anfíbolita. Localmente presenta Estaurolita en el sector oeste del municipio de Tona, sobre el río; composicionalmente esta definido por Moscovita 60%, Biotita 45%, Clorita 5%, Anfíbol 17%, Plagioclasa 5%, granates 3%, con una textura esquistosa bien definida, muy fina. Esta intruído por cuerpos máficos cortando la foliación. Estos afloramientos se encuentran en la finca la esperanza, quebrada Pirgua, hacia el norte de la cuchilla La Quincha y el Alto Peña Rica. Se reconoce por pendientes moderadas, presenta niveles muy arcillosos que le imprimen un color naranja en las zonas de mayor meteorización. (Figura 37)

Sobre la vía Berlín- Vetas y en el desvío que comunica a la finca Alisal, afloran cuarcitas, y se encuentran una mina de mármol sobre esta carretera. Localmente se encuentran filitas de color verdoso y presencia de granates-estaurolita en esquistos micáceos fuertemente meteorizados con alteración de minerales a epidota.

Figura 37. Formación Silgara, esquistos muy biotíticos, oxidado y rico en cuarzo y plagioclasa. En la quebrada La Mesa.



Al considerarse estas rocas metamórficas, su importancia hidrogeológica radica en su porosidad secundaria ligada a las familias de diaclasas principalmente aunque se encuentra muy poco fracturada, ya que su meteorización, produce zonas impermeables que impiden el paso de agua.

5.1.3 Ortoneis de Berlín. (NOo). Como Ortoneis fue inicialmente definido por Ward, et al. (1973) un cuerpo metamórfico de origen ígneo, con estructura néisica, aspecto masivo y composición félsica a intermedia. En esta memoria se propone el nombre de Ortoneis de Berlín por encontrarse la sección tipo en los alrededores de Berlín, donde tiene su mayor extensión y está mejor expuesto (carretera Bucaramanga-Pamplona). Existen cuerpos menores del Ortoneis de Berlín relacionados con el flanco oriental de los batolitos de Mogotes y Santa Bárbara.

El Ortoneis de Berlín intruye el Neis de Bucaramanga y está cubierto discordantemente por rocas sedimentarias del Jurásico superior observado en la Laguna el Alto. Con base en observaciones y relaciones estratigráficas de campo, esta unidad puede abarcar edades del Proterozoico superior al Paleozoico inferior (WARD, et al., 1973).

El Ortoneis de Berlín, se aprecia en la subcuenca del río Tona como un cuerpo alargado de 15 Km² de área, dispuesto de manera N-S. Al este se encuentra la secuencia cretácea y al oeste la formación Silgara, en contacto fallado con ambos

cuerpos; al Sur, en el altiplano de Berlín se encuentra la cuarzomonzonita Santabárbara en contacto intrusivo y en contacto discordante con la formación Los Santos en el Picacho. Este cuerpo se encuentra afectado por fallas regionales de tipo normal como lo son La falla la Cristalina y falla de Tona que lo pone en contacto hacia el oeste con la formación Silgara. El Ortoneis de Berlín se encuentra intruído por una serie de diques básicos de composición intermedia hacia el páramo de la Lúcura y diques ácidos pegmatíticos. Su principal característica geomorfológica son las crestas afiladas. (Figura 38)

Se define como un neis cuarzo feldespático con presencia de estaurólita cerca de la quebrada la Lúcura hacia el sur-este de la cuenca, se encuentra muy alterado, con alto grado de fracturamiento por gelifracción en la zona de El Alto y Tierra Negra (Figura 7). Alta oxidación en la superficie y desarrolla perfiles de suelo producto de meteorización. Composicionalmente el Ortoneis contiene cuarzo Cuarzo 30%, Plagioclasa 35%, Biotita 15%, Estaurólita 10%, granate 10% además presenta la estructura néisica característica. El Ortoneis tiene una textura granoblástica y un color que varía entre blanco hueso y gris.

También aflora en el sector de Pirgua hacia el oeste del río Tona, en el sector de la finca El Limoncito se aprecia un neis de grano fino rico en anfíbolitas de color verdoso, con contenido de biotita, intruído por diques ácidos, concordante con la foliación. Hacia los sectores de mayor pendiente presentan alto grado de meteorización formando cárcavas, sin embargo el cárcavamiento se evidencia también en el altiplano de Berlín.

Su interés hidrogeológico se basa principalmente en la porosidad secundaria debido a su alto fracturamiento producto de los esfuerzos que afectan esta formación por el fallamiento regional a que es sometido, se definen las familias de diaclasas según las direcciones preferenciales en que se factura la roca como posibles vías de circulación del agua. La porosidad secundaria está íntimamente ligada con la meteorización produciendo arenización que permite una buena circulación de fluidos.

Figura 38. Afloramiento y detalle de Ortoneis de Berlín sector el Alto.



5.1.4 Cuarzomonzonita de Santa Bárbara (Js). Conforman el Batolito de Santa Bárbara que aflora al oriente del departamento, en los sectores de Los Curos, Santa Bárbara, Baraya y en los alrededores de Berlín. La cuarzomonzonita es de color rosado, rosado naranja a gris violáceo, equigranular, compuesta por feldespato potásico, plagioclasa, cuarzo y biotita. También se encuentran fenocristales de feldespato potásico (2 cm), plagioclasa, cuarzo y localmente hornblenda.

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 además sugiere una edad relativa asignada al Jurásico y/o Triásico-Jurásico, con base en relaciones de campo y determinaciones radiométricas.

Esta roca puede encontrarse en la cuenca en dos sectores: uno en contacto intrusivo con el cuerpo tonalítico en el sector cruz de lata en la vía Berlín - Vetas

de 5Km2 de extensión de forma alargada con una orientación norte- sur intruyendo al ortoneis de Berlín (Figura 39) y en contacto fallado con la Formación Los Santos y contacto discordante con la formación Girón, y como un cuerpo alargado y aislado menor a 1 Km2 de extensión cerca a la vereda el Tembladal. Se caracteriza por su relieve redondeado y drenaje recto (Figura 40). Composicionalmente presenta Feldespato potásico 35%, Cuarzo 40%, hornblenda 5%, Biotita 20% en muestra de mano. Presentando una textura masiva, y su composición varía localmente al igual que el tamaño de grano.

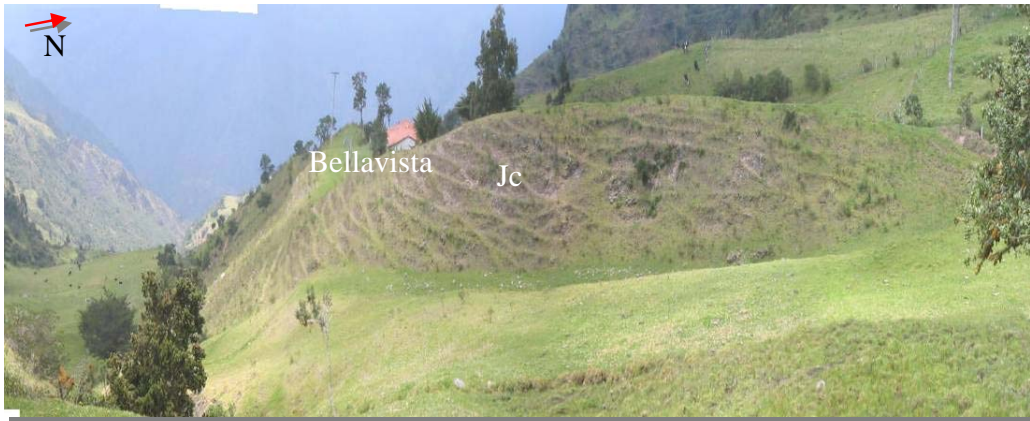
Figura 39. Cuarzomonzonita de Santa Barbara, presenta cristales con diámetro de hasta 3cm de feldespato potásico. Sector altiplano de Berlín.



Éstas rocas presentan un alto grado de meteorización donde las plagioclasas son las que evidencian en mayor grado la alteración; produciendo la aparición de arcillas. El perfil de meteorización que se observa es de carácter arenoso y de color beige donde se evidencian fácilmente los cristales de cuarzo los cuales son muy resistentes a la alteración.

Sus propiedades hidrogeológicas son debidas a su porosidad secundaria a partir del diaclasamiento y su grado de meteorización que forma arenitización es afectada por meteorización esferoidal y desarrolla suelos residuales arenosos espesos muy susceptibles a la acción de la erosión hídrica, permitiendo la circulación del agua.

Figura 40. Cuarzomonzonita de Santa Bárbara, sector de Río sucio



5.1.5 Granodiorita-Tonalita (Jg). Cuerpo intrusivo tonalítico de color gris que abarca una extensión de alrededor de 3 Km². Se encuentra en la Este de la cuenca. De composición máfica, con textura subporfirítica y tamaño de grano medio a grueso y muestra un contenido importante de máficos 30%, cuarzo 20 %, plagioclasa 40%, feldespato potásico 10%, que corresponde a una Tonalita. Los componentes máficos están uniformemente diseminados en una matriz de plagioclasa equigranular.

5.1.6 Cuarzomonzonita De La Corcova (Jc). 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. Es una roca equigranular de grano fino a medio y de textura sacaroide con biotita uniformemente diseminada de color gris. Se asume una edad semejante con los batolitos principales del Macizo de Santander.

Se identifica regionalmente como el Plutón de La Corcova, observable sobre las vías Bucaramanga-Pamplona y Los Curos-Guaca; está compuesta de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita y moscovita; los accesorios son apatito, óxidos de hierro y zircón; como minerales de alteración contiene clorita, epidota y sericita (Clavijo et al, 1995)

Roca de color gris, de grano medio a fino, de textura fanerítica, localmente varía composicionalmente a granito, con presencia de patinas de oxidación y formación de dendritas de pirolusita en la superficie, su variación composicional va de cuarzomonzonita a granitos en el sector de la Vereda palmas, en la bocatoma de

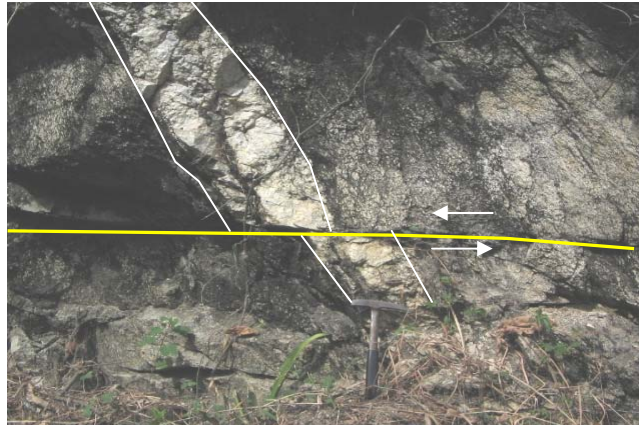
el acueducto de Bucaramanga, paralelo al Río Tona. Su composición a partir de descripción de muestra de mano corresponde a Cuarzo 35%, Plagioclasa 32%, Biotita 25%, epidota 5% y Óxidos 3% de color gris claro a blanco, de grano fino con una textura halocristalina, y estructura masiva. (Figura 41)

Figura 41. Cuarzomonzonita de la Corcova con oxidación en la superficie, muestra cristales de anfíbol y de feldespato potásico con textura pegmatítica. Aflora en el sector Camino de Bataclan.



Dentro de la cuenca, la cuarzomonzonita de la Corcova, se observa como dos cuerpos, uno de 11 km² hacia el centro de la cuenca, de forma alargada y con una orientación N-S en contacto intrusivo con las formaciones; Neis de Bucaramanga, Ortoneis de Berlín y Silgara; el otro cuerpo esta hacia el oeste de la cuenca intruyendo al neis de Bucaramanga, presentando una forma rectangular y una extensión de 9Km² orientada de NW- SE.

Figura 42. Microfalla que desplaza una vena de cuarzo que intruye a la cuarzomonzonita de la Corcova. Sector Arbol Solo.



Aflora cerca al río Tona en el lado W en el sector de Árbol Solo por la vía que conduce de Bucaramanga a Tona una roca muy fresca (Figura 42), en el Cerro Ventanas presenta mayor meteorización y en la Vereda Guarumales presenta algunos sectores que varían su textura encontrando porfiritica, equigranular con alto contenido de máficos presentando una meteorización intermedia. En el sector del carrizal se aprecia una roca de composición más granítica, con un mayor contenido de hornblenda equigranular y muy fresca. En el sector de la Corcova en la carretera a Bucaramanga presenta un lineamiento de minerales debido al fuerte fallamiento regional y local al que es sometido esta roca. Se presenta como contacto intrusivo con el neis de Bucaramanga y el Ortoneis de Berlín. Sus propiedades hidrogeológicas dependen de su porosidad secundaria y su alto fracturamiento, debido a que presenta pequeños intrusitos y esto permite intuir que van en dirección de fracturas a profundidad.

5.1.7 Formación Girón. (J3K1g). Inicialmente el término “Girón Series” fue creado por Hettner (1892) para designar una mega secuencia aflorante al occidente de Bucaramanga en los alrededores de Girón, Santander. Se adelantaron varios estudios y entre éstos se destaca el de Trumpy (1943) pero fue Langenheim (1954) quien fijó la sección tipo en la angostura del Río Lebrija y la dividió en tres miembros: uno inferior arenoso (750 m), uno intermedio lodoso (1.250 m) y otro superior arenoso (1.500 m) para un espesor total de 3.500 m.

Entre otros autores que realizaron estudios del Grupo Girón, se incluye a Julivert (1958) y también a Navas (1963), quien midió la sección del Río Lebrija y la

subdividió en siete facies con un espesor de 2.690 m.). La Formación Girón está compuesta por areniscas de grano medio, grueso a ligeramente conglomerático, de color rojo violáceo, rojo grisáceo y gris verdoso, estratificación cruzada, en capas gruesas, con interestratificaciones de limolitas y lodolitas, de color rojo violeta, grisáceo y algunos niveles delgados de conglomerados con guijos de cuarzo hasta de 4 cm. El espesor de esta unidad varía considerablemente de un sitio a otro, desde unos pocos metros hasta 4.650 m en el Río Lebrija. El ambiente de sedimentación es continental, fluvial a lacustre-fluvial.

Se puede distinguir en dos sectores dentro del área de estudio, uno en la zona del Alto en la finca boquemonte, donde se diferencia de tabor por un paquete areniscas conglomeráticas violáceas de grano medio a fino, con una matriz arenosa, con granos subredondeados, moderadamente calibrada, mal cementada que reposa discordantemente sobre la formación Ortoneis de Berlín. (Figura 43)

Figura 43. Niveles de areniscas conglomeráticas rojo grisáceas de la formación Girón.



El otro sector se ubica en la finca la Esperanza, como arenisca de grano medio intercalado con limolitas violáceas. Arena mal calibrada de granos subangulares a redondeadas, muy compacta con baja porosidad presenta una composición Cuarzo 50%, plagioclasa 30%, Fragmento de roca 18%, micas 2%.

5.1.8 Formación Lo Santos o Tambor (K1ls). Descrita por MORALES et al. – Según MORALES et al. (1958, p. 643) el nombre fue dado por HEDBERG en 1931 a una sucesión que aflora en el Cañón del Río Lebrija a lo largo del ferrocarril de Bucaramanga a Puerto Wilches, entre los km 92 y 93, cerca del caserío de El Tambor. Según MORALES et al. (1958, p. 644-645) el Tambor al S de Zapatoca está formado por shales y conglomerados rojos y areniscas, que se asemejan al Girón; hacia la parte alta se encuentran algunas capas de caliza. El espesor en la sección tipo es de 650m, aunque regionalmente es muy variable. El Tambor se apoya discordantemente sobre el Girón. Por encima del Tambor se encuentra la Formación Rosablanca.

Esta Formación Tambor en la Mesa de Los Santos y zonas vecinas está constituida por tres niveles: uno inferior, de areniscas, principalmente arcosas de colores frecuentemente rojizos; otro medio, arcilloso con intercalaciones de areniscas, también rojizo o rosado; y otro superior de areniscas blancas, mejor estratificadas que el nivel inferior. El espesor total es de más de 200 m en el borde W de la Mesa de Los Santos y de 120 en el borde E, es decir que adelgaza hacia el Macizo de Santander.

Cediel (1968) revisa el término Formación Tambor, prefiriendo como localidad tipo la Mesa de los Santos, donde, estratos de esta formación están bien expuestos y propone sean denominados “Formación Los Santos”.

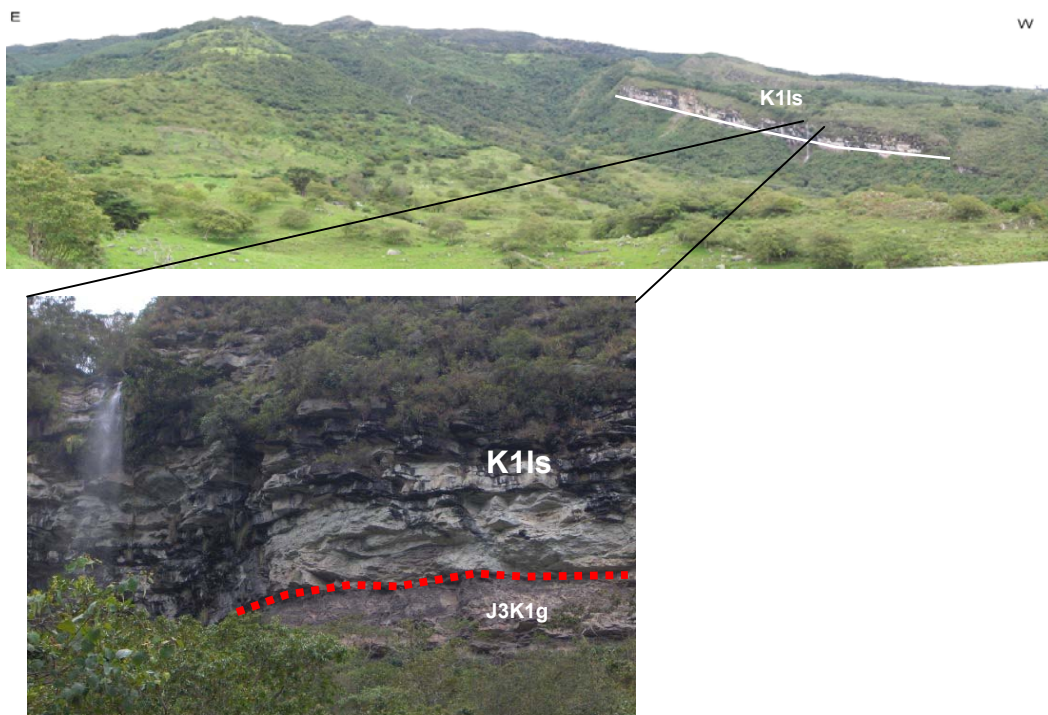
Figura 44. Plegamiento en niveles de limolitas y areniscas con eje de pliegue 297/27. Vía Gramal-Berlín, ceca al trazo de falla de Río Sucio.



Muestra su pendiente estructural desde el sector del Alisal, con una extensión de alrededor de 3km² al NE hasta el sector del Alto en contacto fallado con el Ortoneis de Berlín en el área de Río Sucio (Figura 44). Aflora en la carretera que conduce de Berlín – Gramal. Reposa discordantemente sobre la formación Silgará en el desvío de la vía Berlín- Vetas hacia la finca el Alisal y en contacto discordante con un cuerpo tonalítico y la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara, en el sector de Cruz de lata. Se encuentra en contacto neto con Rosablanca en el sector del Llanito, finca El Alisal.

Hacia el Este de la zona de estudio se observan fuertes escarpes, en la cuchilla Morroano, en donde esta formación se por encima de Rosablanca, debido a una falla de cabalgamiento en este sector. Hacia el W se encuentra limitado por la falla La Cristalina, poniéndola en contacto con el ortoneis. En el sector de Río Sucio la unidad está afectada por una serie de fallas menores de tipo normal e inverso colocando bloques unos encima de otros, los cuales repiten la secuencia aumentado el espesor total. (Ulloa, Rojas 2005).

Figura 45. Escarpe de Tambor en el sector de la finca la esperanza, en contacto transicional con la formación Girón



La formación Lo Santos aflora en la parte SE de la cuenca en el sector de la Finca la Esperanza (Figura 45), aquí la formación aparece debido al desprendimiento de un bloque debido al fallamiento de la pendiente estructural de la formación que aflora en el Picacho.

La formación Los Santos o Tambor comprende la mayor extensión de las microcuencas de Río Sucio y los Arcos, compuesta principalmente por cuarzoareniscas blancas, ligeramente gravosa y conglomeráticas de grano muy grueso a fino, muy compactas con superficies de oxidación (Figura 46), en la zona intermedia. Hacia el Tope se encuentra intercalada con lodolitas silíceas oxidadas de colores naranja a rojizos, y justo en contacto con Rosablanca estas lodolitas se tornan grisáceas (Figura 47)

Figura 46. Areniscas presentan alto grado de oxidación. Evidencia sectores con bioturbación.



Desde el punto de Vista Hidrogeológico K1ls, presenta gran interés, debido a su porosidad y grado de fracturamiento. En el sector del Alto, el Uvo, es mayor la compactación disminuyendo el porcentaje de porosidad mientras que en el sector del carrizal y la parte central de la cuenca del Río Sucio su matriz se encuentra en mayor proporción con un menor grado de compactación. La formación Tambor es más impermeable hacia el contacto con la formación Rosablanca por sus niveles finos que actúan como barreras.

Figura 47. Niveles de arenisca con alternancia de limonitas de color negro que aumenta su espesor hacia el tope cerca al contacto con la Formación Rosablanca. Presencia de pátinas de oxidación. Vía El Gramal-Berlín



5.1.9 Formación Rosablanca (K1r). Descripción original por MORALES et al. (1958) el nombre deriva del Cerro Rosa Blanca, a unos 5 km al N del ángulo NE de la Concesión De Mares; el nombre fue dado por WHEELER en un informe inédito. El espesor de esta formación es de 425 m en el Río Sogamoso, pero es muy variable.

La Formación Rosa Blanca ha sido cartografiada por toda la Región de Mesas y Cuestas, donde aflora ampliamente (JULIVERT, 1958a, 1958b). Su estratigrafía detallada ha sido estudiada en una sucesión que tiene 318m de potencia situada en el cañón del Río Sogamoso, al W de La Mesa de Los Santos (ZAMARREÑO DE JULIVERT, 1963). El estudio petrográfico de los bancos de dolomías y calizas, ponen de manifiesto que las condiciones de depósito de esta sucesión no fueron constantes.

Su rasgo más representativo y que lo hace reconocible son sus escarpes en la zona oriental del área de estudio, mostrando grandes paquetes de calizas micríticas de color gris en los sectores de Alto el Peñón, Alto Peña Alta, Alto las Cruces. (Figura 48)

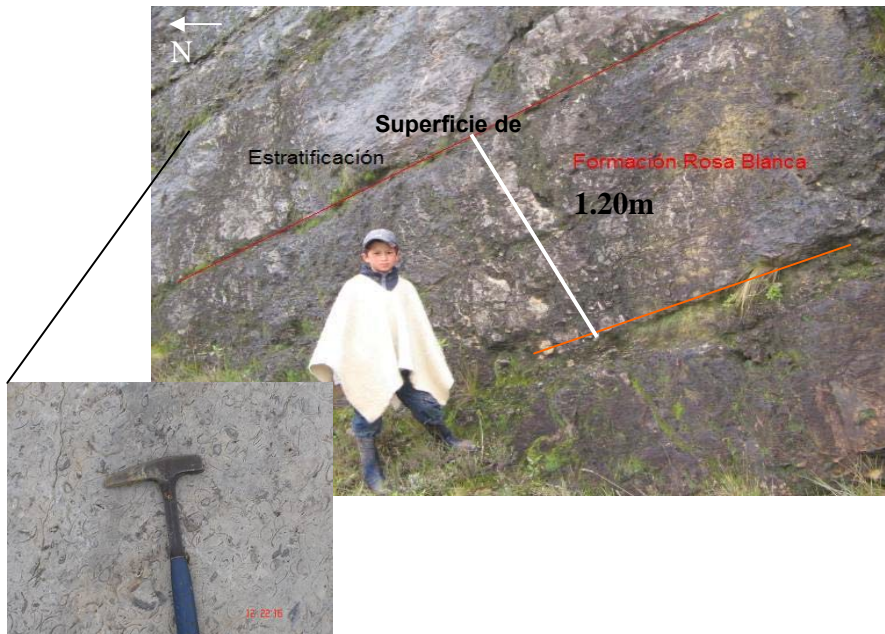
Figura 48. Cerro Las Cruces. Buzamientos de alto ángulo mostrados en la vía que conduce de Berlín a la verdea El Gramal.



Estas calizas presentan niveles fosilíferos con conchas fragmentadas, distribuidas aleatoriamente con estratificación planoparalela, presentando venas de calcita en grandes bancos, intercalados con shales negros carbonosos hacia el tope, que aflora en la quebrada los Arcos. Debido a su composición química tanto de la roca como a la del agua presenta zonas de alta disolución en la pendiente estructural en el Alto el Peñón. (Figura 49)

Esta formación presenta pequeños cambios en sus facies de depositación en la zona NE, si bien predominan los paquetes calcáreos, existen niveles con un porcentaje de material terrígeno y empobrecida con fósiles y un aumento de calcita recristalizada, los cuales condicionan que los procesos de disolución sean menores. Esto se hace evidente cerca de la zona de contacto entre las formaciones Los Santos y Paja.

Figura 49. Caliza micrítica fosilífera de la formación Rosablanca.



Hidrogeológicamente su mayor interés es su porosidad secundaria, producto de la disolución de agentes externos y fracturamiento producto de patrones estructurales regionales como locales.

5.1.10 Formación Paja (K1p).

Figura 50. Intercalaciones de limolitas y arcillolitas negras de la formación Paja.



Se trata de una sucesión de shales negros, ligeramente calcáreas y micáceas, los 250-300 m inferiores de esta formación contienen concreciones de caliza de hasta 30 cm, septarias y venas de calcita. El espesor de esta formación varía entre un mínimo de 125 m y un máximo de 625 m. La unidad se encuentra por encima de la Formación Rosa Blanca y por debajo de la Formación Tablazo, el contacto con la primera es neto, con la segunda existe un contacto transicional. El nombre deriva de la Quebrada La Paja, afluente del Río Sogamoso, entre Bucaramanga y San Vicente. (JULIVERT, 1958a, 1958b)

Estudios posteriores. – La Formación Paja (o La Paja) ha sido cartografiada por toda la Región de Mesas y Cuestas (donde frecuentemente es yesífera (JIMENO & YEPES, 1963), este carácter yesífero constituye un rasgo particular de la sedimentación del Barremiano en esta área.

Está constituida por niveles delgados de limolitas, lodolitas y arcillolitas negras con presencia de impresiones de fósiles, restos de pequeñas conchas, concreciones y nódulos calcáreos; presentan como mineral accesorio la moscovita y piritita. Los shales negros se hacen ligeramente carbonáceos, Intercaladas con areniscas de grano muy fino, silíceas (Figura 50).

Se encuentra en contacto neto y fallado con la formación Rosablanca y en algunos sectores con la Formación Tablazo.

Desde el punto de vista hidrogeológico su porosidad primaria es nula, y su porosidad secundaria es baja, dependiendo esto de las condiciones estructurales y de fallamiento que actúen sobre ella.

5.1.11 Formación Tablazo (K1t). La Caliza del Tablazo es una sucesión de calizas duras, azuladas, muy fosilíferas y margas, con predominio de las calizas en la mitad superior y de las margas en la mitad inferior. El espesor de esta formación varía entre 150 y 325m, el contacto con la Formación Paja sobre la que se apoya es concordante y gradual. El límite superior lo constituye la Formación Simití. (JULIVERT, 1958a, 1958b)

La Caliza del Tablazo se extiende por la parte N del Valle Medio del Magdalena aunque su facies varía en esta región. Hacia el Macizo de Santander se vuelve particularmente arenosa, en la región de Confines y Mogotes (JULIVERT, 1958b) este hecho se hace particularmente claro. (et al Ward, 1973)

Figura 51. Plegamiento de la Formación Tablazo, presentando geomorfología de alta pendiente levemente meteorizados sector la quebrada Los Arcos con un rumbo y buzamiento aparentes de 195 y 35W respectivamente.



Compuesta por niveles de cuarzoarenitas, limolitas fósiles, silíceas y calizas; las areniscas son de grano fino a medio, con oxidación en la superficie y de bajo a moderadamente compacta que se disgregan fácilmente. Posee alta porosidad.

Las calizas son negras con venas de calcita con alto aporte terrígeno ubicado en el sector del Pliegue de la quebrada Los Arcos, reposando concordantemente con la formación Paja, y presentando fallamiento normal con la formación Rosablanca. Hacia el sector de la quebrada los pantanos esta en contacto con la formación

Tambor por un fallamiento de tipo inverso, que produce un gran plegamiento. (Figura 51)

Desde el punto de vista hidrogeológico su porosidad primaria es menor que la de la formación Tambor debido a que estos niveles arenosos son de menor espesor y se encuentran intercalados con niveles impermeables de paquetes de limolitas y shales. Su porosidad secundaria es mayor que la de la formación Tambor debido a los procesos de disolución presente en las calizas.

Este aumento es debido a la influencia de las fallas y su ejemplo más notorio se ubica en los contactos fallados entre Rosablanca y Tambor que acelera dichos procesos.

5.1.12 Depósitos recientes. Asociados principalmente a la congruencia de fallas principales y originados por procesos de tipo fluvial, por efecto de la gravedad y de dinámica de vertientes.

- **Depósitos Coluviales o de Ladera (QI).** Estos depósitos son producto, son grandes bloques rocosos de Ortoneis, areniscas, ubicados en la pendiente estructural que se forma en la formación Tambor en el sector de Cuevitas; estos bloques son de una geometría angular con dimensiones de casi dos metros que cubren una extensión de cuatro metros aproximadamente.

Son depósitos acumulados, del accionar de la fuerza de gravedad 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. Este tipo de depósitos se pueden reconocer fácilmente en el sector de Río Sucio, caracterizados por una gran extensión y profundidad, y desde el punto de vista hidrogeológico son los más importantes debido a su porosidad y permeabilidad reconociéndose como buenos conductores y almacenadores de agua.

Otro depósito está ubicado en el sector de cuevitas que corresponde a bloques angulares de ortoneis con diámetros que alcanzan hasta 2m

- **Depósitos aluviales Qal.**

- **Torrenciales.** Los primeros corresponden a acumulaciones de carácter heterométrico, transportados por escorrentías superficiales y ocasionado por eventos mayores de lluvias, se pueden observar en la cabecera de la Quebrada Río Sucio.
- **Terrazas.** Acumulaciones de antiguos sucesos de inundación reconocibles en el río Tona a lo largo de tres kilómetros ubicados en unión de las quebradas Los Arcos y Río Sucio. Las terrazas y depósitos aluviales del río Tona son de aproximadamente cuatro metros de altura y consisten en acumulaciones de bloques y cantos redondeados, de tamaños variables, entre 0.5 y 1.5 metros compuesto de calizas, areniscas, neis en una matriz arenosa con una pseudostratificación.

Figura 52. Terraza Aluvial sobre la unión de las Quebradas los Arcos y Río Sucio. Se aprecia el perfil de la terraza aluvial donde hay una variada granulometría donde el material se presenta redondeado y subredondeado.



5.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

El marco tectónico de la zona cartografiada está afectado por el levantamiento del macizo de Santander dentro del evento de la formación de la cordillera oriental de los Andes Colombianos. Estas fuerzas tectónicas han deformado las unidades de roca presente, formando una cuenca estructural o una complejamente fallada. La zona está fuertemente afectada por el sistema de fallas de Bucaramanga – Santa Marta como la falla regional más importante de la zona de estudio. La zona comprende fallas verticales, inversas, normales, de cabalgamiento, esfuerzos compresivos en la cobertera sedimentaria generando estructuras a diferentes escalas como sinclinales, anticlinales.

Se presentan las fallas regionales con direcciones principales de fracturamiento como la falla de Bucaramanga y La Cristalina, ambas en sentido NW – SE, la falla de Tona en sentido NE – SE. Asociadas a estas se encuentran otras fallas menores.

El trazo de las fallas se determina inicialmente mediante las herramientas de imágenes satelitales, siendo comprobados posteriormente con control de campo. Los criterios que determinan el trazo de las fallas son: rocas brechadas, presencia de harina de falla (gouge), escarpes, lagunas, barras estructurales, cambios litológicos, alineamientos de quebradas, sillas de falla, facetas triangulares espejos y estrías de falla, las cuales son procesadas dándonos herramientas más concretas para inferir el comportamiento de las fallas, no solo en superficie sino en profundidad; el resultado de los análisis de estas estrías serán tratados en el capítulo 9.

A continuación se describirán los principales rasgos estructurales en el área cartografiada.

5.2.1 FALLAS

- **Falla Bucaramanga – Santa Marta.** La zona de Falla Bucaramanga – Santa Marta se ha cartografiado en una longitud aproximada de 600 Km. desde el extremo sur del Macizo de Santander hasta la costa Caribe, al Oeste de Santa Marta; su desplazamiento es horizontal izquierdo, acompañado de grandes desplazamientos verticales (Campbell, C., 1969; Ward, D., et al, 1973 e Irving, E., 1971 en Vásquez, C., 1988). Su tendencia es NW – SE (Pérez, V., 1988).

Julivert, M.,(1961) (En Ward, D., et al, 1973) muestra la Falla de Bucaramanga-Santa Marta como perteneciente a una serie de fallas inversas de ángulo alto, con el bloque oriental levantado, que se formó durante el desarrollo del actual Valle del Magdalena y el levantamiento asociado del Macizo de Santander.

Campbell, C., (1965) calcula un desplazamiento natural izquierdo según el rumbo de 110 Km., basado en la similitud entre las secuencias Cretácicas y Terciarias de las Cuencas del Magdalena Medio y Cesar.

Tschanz et al, 1974 (En Boinet, T., et al, 1989), proponen un desplazamiento de unos 100 Km. con base en la perforación del pozo Algarrobo I (Municipio El Dificil, Departamento del Magdalena), donde existen esquistos metamórficos similares a aquellos de la provincia NW de la Sierra Nevada de Santa Marta, pero situados a unos 100 Km. más al sur.

Stephan, 1982 (En Boinet, T., et al, 1989), propone que el arrastre indicador de un movimiento sinextral de la Falla de Bucaramanga, se observa en el truncamiento de las estructuras del Paleoceno y Eoceno, de la parte Noroeste del Macizo de Santa Marta.

La evidencia geológica indica que la deformación ocurrida en la zona relacionada con la Falla Bucaramanga – Santa Marta es muy reciente, probablemente Mioceno-Plioceno, estrechamente relacionada con el levantamiento de la Cordillera Oriental (Vásquez, C., 1988). Para Boinet, T., et al. (1989), el máximo desplazamiento de rumbo sinextral de la Falla Bucaramanga – Santa Marta, se sitúa durante el Mioceno – Plioceno.

Neotectónica de la Falla Bucaramanga – Santa Marta. El término Neotectónica, se aplica a toda actividad tectónica que ha ocurrido a partir del Mioceno.

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 Figuras aéreas e Imágenes Satelitales, descrito por Beltrán R. y Rey A., (2003). La Neotectónica de la zona también se puede caracterizar por el alto grado de sismicidad presente, con una magnitud máxima probable de 6.5 en la escala de Richter, quedando catalogada, como un sector con tasa de actividad alta (Pinto, J., y Téllez, G., 1999).

La deformación máxima de este sistema de fallas ha sido considerado del Mioceno-Plioceno por Vásquez, C., (1988) y Boinet, T., (1989) y Plioceno-Pleistoceno por Pinto, J., y Téllez, G., (1999). No se han encontrado evidencias de actividad en el Holoceno.

- **Falla La Cristalina.** Falla regional de tipo Normal, con una inclinación aproximada de 70° al noreste y de rumbo N25E, pone en contacto el ortoneis al oeste con la secuencia sedimentaria cretácica al este, en su extremo sur describe una amplia curva hacia el este y muere en el ortoneis sobre el Altiplano de Berlín. Esta falla se distingue fácilmente por el contraste litológico, facetas triangulares, escarpes y estrías de falla. (Figura 53)

Figura 53. Trazo de la falla La Cristalina y hacia el W I falla Tona, mostrando geomorfología de escarpes de falla y facetas triangulares.



Fallas de la zona Este.

- **Falla Río Sucio.** Falla de rumbo con movimiento sinistral, además presenta un movimiento en la componente vertical, inverso con una inclinación de 60° E,

poniendo en contacto la formación Tambor con Tablazo. Se reconoce por el lineamiento de la quebrada Río Sucio. (Figura 54)

Figura 54. Fallas del sector Este de la cuenca (secuencia cretácica)



- **Falla Siquirí.** Esta falla posee una dirección N 34 W y una longitud aproximada de 400 m. se evidencia por una variación en el ángulo de buzamiento de las rocas de la formación Rosablanca la cual afecta. El plano de falla buza hacia el E.
- **Falla La Colmena.** Esta falla de rumbo N 21W, se comporta de forma vertical poniendo en contacto al formación Rosablanca y Tablazo, pero al ser afectada por la falla Guayabal, este comportamiento varia a ser de tipo inverso con una inclinación 20NE. Esta afectada por la Falla Guayabal produciendo un desplazamiento de 200m
- **Falla la López** con una dirección N25E y buza aproximadamente 40° NW con una extensión es de 1300 m pone en contacto formación paja y Tablazo. (Figura 55)

Figura 55. Nacimiento de la quebrada La López, controlada por el comportamiento normal de la falla López, también se puede observar un juego de escamas que pueden ser debidas a callamiento del estratificado.



- **Falla la Cueva**, con una dirección N45E, cuya extensión de 500m, que pone en contacto la formación Tambor y Rosablanca.
- **Falla Otuel**. Presenta una extensión de 2.25Km con una dirección de N30E con un buzamiento N60W que pone en contacto Rosablanca y Paja.
- **Falla Guayabal**. Afecta a la falla la colmena produciendo un desplazamiento de componente sinistral, con una extensión de 1.5Km con una dirección de N54W afecta las formaciones de rosablanca, tambor y Tablazo.
- **Falla Colmillona**, Falla de tipo inversa de bajo grado, observándose el cabalgamiento de la formación tambor sobre las secuencia de Rosablanca, Paja y Tablazo. Cuya dirección es de N55E, con inclinación de N30° y una extensión de 3.25Km. (Figura 56 - 57)

Figura 56. Falla de cabalgamiento La Colmillona observada desde el camino que conduce a la finca El Alisal vía Berlín – Vetas



Figura 57. Falla de cabalgamiento La Colmillona, que pone en contacto la Formación Los Santos con la Formación Tablazo, observada desde el sector de la finca La Casita.



- **Fallas de la zona central.** Falla de Tona. Falla regional de tipo Normal, con un rumbo de $N7^{\circ}E$ pone en contacto Silgara y ortoneis de Berlín, cruzo con el municipio de Tona, de norte a sur antes de llegar al municipio lleva la dirección de la quebrada de la Vida Centenaria, luego cambia la dirección del rumbo en $N20E$, y buzamiento de $N70E$ en la quebrada la Lúcura, hacia la parte sur y pone en contacto la Formación Silgara y la secuencia de las rocas sedimentarias del Picacho. Ver Figura 58.

Figura 58. Contacto fallado entre las formaciones Silgara y Ortoneis. Sobre la quebrada de la Vida centenaria.



- **Falla la Cocalina.** Falla de rumbo con componente normal con un rumbo N72E y presenta una extensión de 3.5km, en la parte más occidental de la falla tiene un comportamiento sinextral. Esta falla rompe la pendiente estructural de la Formación Tambor que viene del Picacho. (Figura 59), formando dos bloques. Hacia el oeste pone en contacto Silgara y Ortoneis de Berlín.

Figura 59. Falla la Cocalina de tipo Normal en el sector de la Plazuela cortando la secuencia de Kita.



- **Falla Río Frío.** Falla de Normal de tipo regional con dirección N-S, con buzamiento N75E, que pone en contacto el Neis de Bucaramanga y cuarzomonzonita de la Corcova,

- **Falla Los Medios.** Falla de Rumbo con componente sinistral que pone en contacto el neis de Bucaramanga con la cuarzomonzonita de la Corcova con un rumbo N66W, una inclinación de 75°E y una extensión de 6.25 km,
- **Falla El Picacho.** Falla de rumbo con componente sinistral que pone en contacto las formaciones Girón, Tambor y Rosablanca. El rumbo de la falla es N21E y su plano tiene una inclinación de 54°E con componente normal. Tiene una extensión de aproximadamente 7 Km.
- **Falla Antenas de Caracol.** Su rumbo es semi paralelo a la falla El Picacho N26E. El plano de la falla esta inclinado al Oeste y de componente normal. Afecta la formación Rosablanca y más hacia el Sur pone en contacto Tambor y Rosablanca. Su extensión es de aproximadamente 4 Km.
- **Falla Aguaditas.** Falla con rumbo NS que pone en contacto las formaciones Girón y Tambor con la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara.

Falla en la Zona Oeste

- **Falla Morrórico.** Falla regional con rumbo N24W, con una componente normal en la vertical, presentan un patrón subparalelo, además de una geometría de franja alargada, característica de fallas de rumbo. Los cerros y los drenajes desplazados hacia el sur este, denotan el movimiento sinistral de estas fallas. (Figura 60).
- **Falla Miramanga.** Falla regional con un rumbo N20W con componente normal en la vertical presentando un patrón subparalelo, además de una geometría de franja alargada, característica de fallas de rumbo. Al igual que la falla de Morrórico, presenta un movimiento sinistral. (Figura 60).

Figura 60. Trazos de las fallas Miramanga y Morrórico en el barrio Miraflores



5.2.2 Pliegues.

- **Sinclinal El Alto.** Es una estructura sobresaliente al NW del área, cuyo eje presenta un rumbo variable de N55W a N25W, El núcleo del sinclinal lo constituye rocas de la formación Tablazo. El flanco occidental se encuentra disectado por la falla La colmena. El flanco oriental lo conforman las formaciones Rosablanca, Paja y Tablazo.
- **Sinclinal El Gramal.** Localizado al centro del la secuencia sedimentaria. Es una estructura abierta, asimétrica cuyo eje presenta un rumbo N23W. En el núcleo de la estructura esta constituido por la formación Tablazo, truncado al sur de la estructura por la falla La Loma.
- **Sinclinal Pantanos.** Localizado a la zona NE del área, cuyo eje presenta un rumbo N28W. El núcleo de la estructura lo constituye la formación Tablazo, truncado al oeste de la estructura por la falla Otuel. A ambos flanco oeste aflora paja y rosablanca y al flanco este aflora las formaciones Tambor, Rosablanca y Paja.

- **Sinclinal del Picacho.** Localizado en la zona centro y sur de la cuenca, mostrando un eje con rumbo N17W. Se encuentra limitado por la falla El picacho al SE y al norte por la falla La Cocalina. El núcleo de la estructura lo compone la formación Tambor y en ambos flancos aflora la formación Girón.
- **Anticlinal Pitones.** Localizado entre las quebradas pitones y la Colmena, así como controlado con las fallas que pasan sobre estas quebradas, plegando la formación Tambor, Su eje presenta un rumbo de 20SW., truncado por la falla la colmena al E y por la falla la Cristalina al W.
- **Anticlinal Pantanos.** Localizado en la zona sur, cuyo eje presenta un rumbo de N30E, plegando la formación tambor., afectado por un lineamiento al flanco oeste, que trunca el anticlinal.

6. MORFOGÉNESIS

El origen y evolución de las formas del relieve y los diferentes procesos que intervienen está relacionada con la Morfogénesis. La mayor influencia en la creación de estas formas es la estructura geológica además de los procesos exógenos como el viento, el agua, y otros mecanismos relacionados a las condiciones climáticas de cada región.

El área de estudio, se localiza en el macizo de Santander, el cual está constituido por un fondo de rocas ígneo-metamórficas al que lo suprayace en parte de su territorio una cobertura sedimentaria.

Geomorfológicamente, la zona presenta un paisaje montañoso, constituido por rocas ígneas y metamórficas que constituyen el basamento o zócalo presentando un relieve fuerte y pendientes abruptas; suprayaciendolas se encuentran rocas sedimentarias con geoformas variadas y pendientes que van de suaves a abruptas. El relieve en general está dominado por la dinámica de la cordillera oriental.

6.1 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

En la zona del macizo de Santander se encuentran diferentes unidades geológicas y de diferentes edades. Se analizará entonces la evolución tectónica desde las unidades más antiguas hasta los depósitos recientes en la zona.

Las rocas más antiguas del Macizo de Santander son neises biotíticos, cuarzo feldespáticos y hornbléndicos; anfíbolitas y migmatitas agrupadas en la unidad Neis de Bucaramanga, con metamorfismo regional. Se formó como resultado de la orogénesis de Grenville. (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; TSCHANZ, et al., 1974; KROONENBERG, 1982), (ETAYO, et al., 1983; GONZÁLEZ, et al., 1988; 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 MA.) esta secuencia es deformada, intruída 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 anfibolita 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. Durante el Paleozoico temprano se depositó, sobre paleorelieves 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, estaurólitos, granatíferos, anfibolíticos, calcáreos; cuarcitas muscovíticas y biotíticas; mármoles, filitas. En algunos sectores del Macizo de Santander, las rocas del Neis de Bucaramanga y la Formación Silgara fueron intruídas 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 rocas sedimentarias rojas y calizas biogénicas. A comienzos del Triásico se inicia la apertura del Paleocaribe por formación de una fosa tectónica de hundimiento (graben), con actividad volcánica más o menos intensa que separa a Norte y Suramérica. La zona oriental 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 Pangea mediante un proceso de formación de cuenca intercontinental, cuyas ramificaciones afectan gran parte del Cratón Suramericano (se forman aulacógenos, cuencas de tracción), según Maze (1984).

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 (ESTRADA, 1972; MACÍA, et al., 1985; MOJICA y HERRERA, 1986; MOJICA y FRANCO, 1990). Este proceso se inicia en una franja estrecha dando origen a rocas sedimentarias 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 nororiental 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 fluvio-lacustre, 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 MA.). Varios batolitos y plutones cuya composición varía de granito a diorita fueron intruídos durante el jura - triásico y ocasionaron desarrollo local de migmatitas. (según Royero y Clavijo, 1995). Con este ciclo magmático se relacionan pequeños stocks de pórfidos dacíticos-andesítico y diques de basalto, diabasas y dacitas. Cuerpos intrusivos de afinidad calco alcalina se emplazaron en las unidades metamórficas durante el triásico tardío – jurásico temprano que se pueden observar en el neis de Bucaramanga, por ejemplo en cercanías al barrio Los Pinos y en la vereda Vegas de Chiscapá a la altura de la carretera principal que conduce a Bucaramanga. 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 que en la zona está representado por espesores muy reducidos por ser esta zona terminación de cuenca o debido también a procesos de erosión ocurridos durante el lapso transcurrido entre la depositación de la formación Girón y principios de la sedimentación cretácica. Desde el Jurásico superior, el oriente Colombiano estuvo sometido a fases distensivas que facilitaron la ascensión magmática (Fabre, 1983) que en el macizo de Santander dan origen a la intrusión de cuerpos ígneos, y en el caso particular del área de estudio corresponderían a las cuarzomonzonitas de la Corcova y Santa Bárbara.

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, formándose así en el macizo de Santander las formaciones Tambor, Rosablanca, Paja y Tablazo reconocibles en la cuenca del río Tona hacia el sector Este, que representan el cretácico en la zona. 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 el “Macizo de Santander” se comporte como un horst cuyos flancos oriental y occidental cabalgan sobre la cuenca del Medio del Magdalena al occidente “Los Llanos orientales” 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. El fracturamiento de la zona se produce cuando se sobrepasa el límite de deformación del basamento afectando también la cobertura sedimentaria, produciendo estructuras adaptadas a las estructuras del basamento que las soportan. Las fallas originadas en el basamento se manifiestan como plegamientos y flexiones en los estratos superiores, en presiones locales debido a la disposición del basamento en bloques como se ha descrito anteriormente además de los fenómenos gravitacionales (Julivert, 1959).

Los plegamientos están representados por sinclinales evidenciados por sus flancos expuestos gracias a la erosión diferencial que actúa sobre las distintas unidades que lo conforman. Tal es el caso de los sinclinales del Gramal donde el plegamiento afecta la formación Tablazo y El Alto que afecta las formaciones Rosablanca, Paja y Tablazo, ambos sinclinales ubicados al Este de la zona en el límite de la cuenca.

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 semi consolidados 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. También en el

Mioceno finalizan las deformaciones compresivas y el levantamiento principal de la cordillera oriental ocurre durante el Plioceno (Fabre, 1984).

La tectónica se manifiesta entonces por fallamiento del basamento, en donde las estructuras de la cobertura son una adaptación a las estructuras del zócalo. (Gómez. Santana, 1995). Esta tectónica es la responsable de la formación de fallas regionales que aparecen en la zona como la falla La cristalina, la falla Tona, y la falla de Río Frío que alcanza a afectar la subcuenca del río Tona y fallas secundarias debido a los esfuerzos compresivos que generan cabalgamientos como la falla La Colmillona, cuyo movimiento produce lagunas de falla observables en la zona de la finca El Carrizal. Estos eventos compresivos producen además innumerables fallas como respuesta a la acción de las fallas principales. La presencia de estas fallas condiciona en gran medida el relieve mostrando geformas características como por ejemplo sillars de montar producida por la falla Tona en la quebrada de la vida centenaria, lomos de obturación en el sector de la plazuela producto de la falla La Cocalina, entre otros.

El relieve del Macizo ha alcanzado para el cuaternario, altitudes similares a las actuales y es sometidos a diversos cambios climáticos característicos de este periodo, presentándose varios eventos de enfriamiento directamente relacionado a los eventos de glaciación. Estos eventos glaciares e interglaciares generan procesos de gelifracción que pueden observarse en el páramo la Lúcura y el alto Tierra Negra producto de estos cambios climáticos drásticos debidos al deshielo de estos glaciares; y el deshielo a su vez, sumado a las altas precipitaciones de este periodo permitió el transporte de materiales hacia partes más bajas constituyendo depósitos fluvioglaciares.

De esta manera y basados en la evolución geológica descrita de la zona se puede entender y validar la geomorfología de la subcuenca del río Tona enmarcada dentro de los eventos que formaron el Macizo de Santander.

7. METEORIZACION

En zonas de alta montaña, dominados por temperaturas bajas y por lluvias abundantes, la meteorización de las rocas es muy fuerte. Las rocas Pre-Devónicas y Tri-Jurásicas en el Macizo de Santander se caracterizan por un alto contenido de Plagioclasa, Cuarzo, Biotita, Moscovita y Feldespato situándolas en el rango de materiales intermedios a ácidos, caracterizándose por la descomposición rápida de feldespatos y minerales ferromagnesianos donde los minerales más resistentes como las partículas de Mica y Cuarzo permanecen.

Estas características permite una alteración progresiva generando perfiles de meteorización profundos de 20-50 metros de espesor; La formación de minerales arcillosos y de óxido de hierro es común debido a factores climáticos como la alta precipitación que varía de 867-2600 mm. Otros factores que influyen en el proceso son el tipo de vegetación y el contraste de pendiente de la zona.

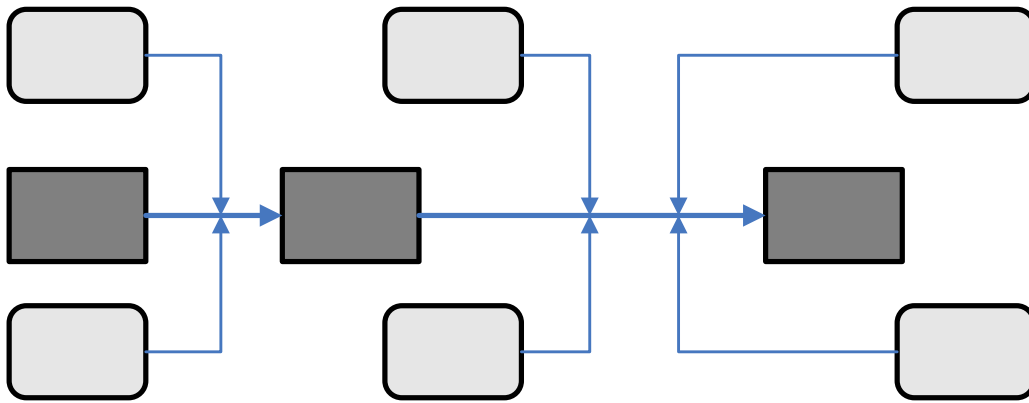
La meteorización de rocas conducen a la formación de Montmorillonitas, Halloysita, óxidos de hierro y aluminio en las etapas iniciales de la meteorización y finalmente se pueden formar Caolinitas, Esmécticas y Gipsitas (González y Jiménez – 1981). Algunas rocas que contienen sales (NaCl), Cal (CaSO_4) y Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se disuelven fácilmente en agua, especialmente en presencia de CO_2 , acelerando el proceso de meteorización. 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).

7.1 ETAPAS DEL PROCESO DE METEORIZACIÓN

Los factores de formación y evolución del suelo son cuatro:

- Material Parental: Permeabilidad y constituyentes minerales de la roca madre.
- Topografía: Pendientes, drenaje; orientación de la ladera.
- Formadores biológicos: Micro y macro fauna como fuente de humus.
- Clima: Temperatura, balance hídrico, intensidad de acción y velocidad de procesos.

Figura 61. Etapas y procesos de formación del suelo



Meteorización

Estos factores varían lentamente y determinan la tendencia general y desarrollo de los procesos relacionados con la meteorización. Por esto es de fundamental importancia considerar las variaciones del clima y vegetación en los efectos sobre la intensidad de la meteorización y erosión de las rocas. (Figura 61)

Existen también otros factores antrópicos que el hombre a través de sus actividades no controladas conduce a mecanismos aceleradores de este proceso. Como lo es la deforestación, sobrepastoreo y manejo inadecuado del suelo. En general un proceso mecánico de meteorización involucra tres etapas así:

a. Desintegración. Se abren las diaclasas por eventos tectónicos y se desintegra la roca, formándose nuevas discontinuidades por fracturación y las partículas se parten, aumentando la relación de vacíos y la permeabilidad y disminuyendo la cohesión.

Meteorización

Mecánica

b. Descomposición. 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 catiónico. Los procesos biológicos pueden incluir efectos de las raíces, oxidación bacteriológica y reducción de hierro y compuestos del azufre.

c. Oxidación y recementación. En la mayoría de los procesos de meteorización en las rocas ígneas predominan los procesos químicos, mientras en las rocas

sedimentarias predominan los procesos físicos, sin embargo estos procesos se interrelacionan.

La meteorización generalmente, avanza hacia abajo de la superficie y a través de las diaclasas y demás conductos de percolación como las fracturas, produciendo variaciones de intensidad, de meteorización y dejando bloques internos de material no descompuesto.

Cuando la meteorización es incipiente los bloques son grandes y controlan en parte el comportamiento del talud, pero a medida que se hace más intenso el factor más importante es la resistencia del suelo meteorizado que actúa como matriz de los bloques independientes.

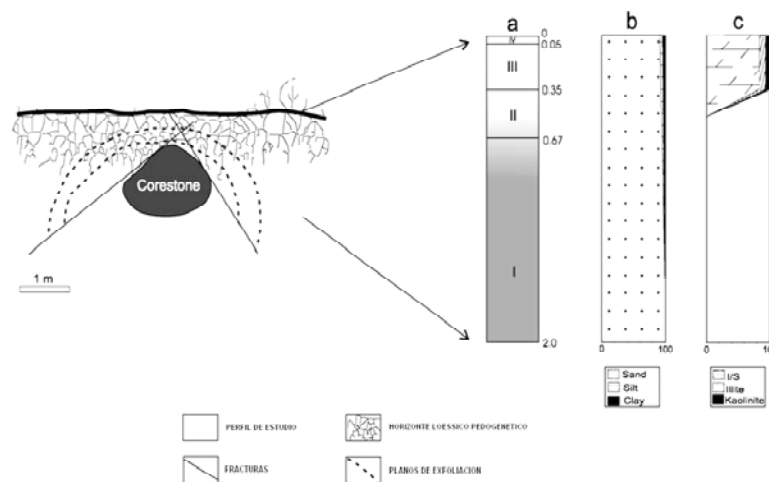
La caracterización de los niveles de meteorización debido a su heterogeneidad, requiere de un análisis integral que tenga en cuenta todos los factores que afectan su comportamiento, lo cual incluye el grado y proceso de meteorización, su mineralogía, microestructura, clasificación y caracterización de la roca parental.

7.1.1 Metodología de campo. Las áreas a definir para caracterización y muestreo se ubicaron en base a afloramientos con buena exposición del perfil de meteorización el cual podrá relacionarse directamente con la roca parental.

Estos perfiles se ubicaran a diferentes alturas topográficas y cada horizonte será definido dentro de cada perfil teniendo en cuenta la características macroscópicas (Figura 62) tales como coloración, compactación, textura y mineralogía.

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

Figura 62. (a) Detalle del Perfil; (b) Fracción de de tamaño de grano (la escasez de cohesión primaria hace posible un estudio granulométrico desde la base del perfil); (c) Porcentajes de mineral arcilla.



Fuente: Tomado y Modificado de Weathering profiles in granites, Sierra Norte (Córdoba, Argentina), 2005

- **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 (incipiente, moderado, avanzado 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.

7.2 CARACTERIZACION DE ZONAS DE METEORIZACIÓN

La subcuenca del Río Tona está constituida litológicamente por los tres tipos de roca (ígneas, metamórficas y sedimentarias) y se caracteriza como ya se ha dicho anteriormente por una compleja distribución estructural, todos 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; por lo tanto, se hace necesario en este proyecto cartografiar los niveles de meteorización presentes en esta región.

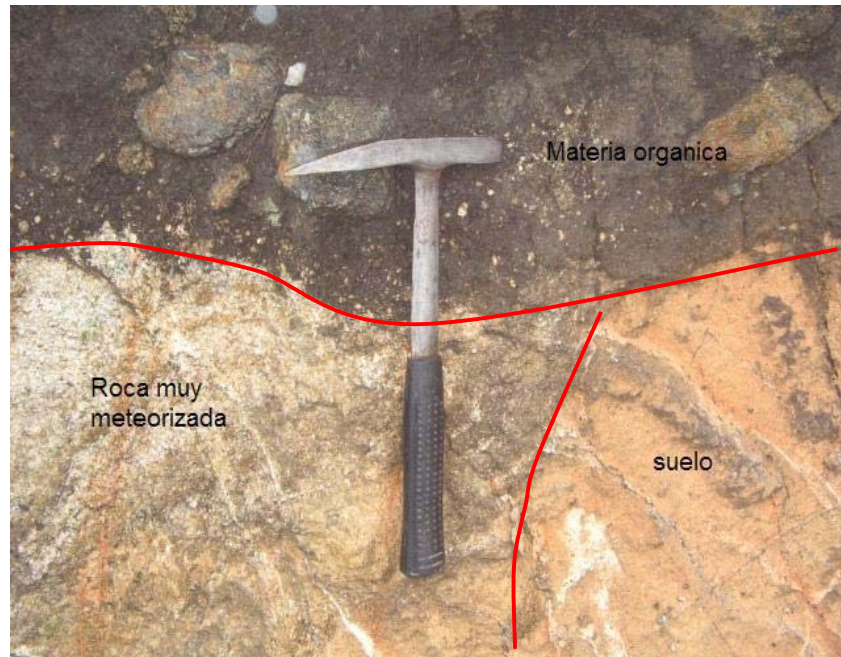
La meteorización consiste en el reajuste termodinámico de estas rocas a las condiciones de superficies. Las condiciones ambientales cambian durante la escala del tiempo geológico, y estas variaciones son registradas en los perfiles de meteorización. Subsecuentemente, los procesos erosionales aseguran que sólo los relictos de esta meteorización permanecen en el registro histórico.

Las características geomorfológicas de la subzona Macizo de Santander son esenciales para poder encontrar perfiles bien desarrollados. Nuestros objetivos en esta investigación es reconocer los efectos mineralógicos de meteorización en cada tipo de roca, y por último es tener un mejor conocimiento de la destrucción de la roca bajo condiciones superficiales, lo cual va a constituir el primer paso en la producción de sedimento. Ver Figura 66.

- **Zona de vía Berlín - Vetas – Alisal. Zona A.** En Berlín encontramos un clima seco, con vegetación escasa; debido a la aridez se presenta fácilmente cárcavamiento, pendiente altas favoreciendo los procesos de meteorización. Debido a su variable temperatura en el día y muy bajas temperaturas en la noche, se identificaron procesos de gelifracción que contribuyen a la desintegración de la roca parental. (Figura 63)

Este sector presenta pendientes muy fuertes, y algunos deslizamientos menores, así como caída de rocas. Debido a su composición en las rocas ígneas y metamórficas aflorantes y su alto contenido de cuarzo estas rocas presentan una resistencia considerable a la meteorización, ya que en los afloramientos de rocas meteorizadas, siempre hacia la base se evidencia roca fresca o con un grado de meteorización incipiente.

Figura 63. Meteorización en ortoneis de Berlín. Nivel de materia orgánica de aproximadamente de 30 cm. seguida de mineral arcilloso y hacia la base se observa fragmentos de roca que se disgrega fácilmente, pero las venas que intruyen el cuerpo se encuentra muy poco alterada.



Suelo de color naranja, arcillo arenoso con horizontes bien desarrollados y niveles orgánicos de 30 cm. de espesor. Su grado de meteorización se ubica de medio a alto, composicionalmente: Líticos 20%, cuarzo 30%, Feldespato 20%, Minerales arcillosos 30%.

- **Sector Capillas. Zona B.** Presenta un grado de meteorización alta. Pendientes moderadas a altas, la vegetación esta relacionada con pastos y arbustos pequeños. Con desarrollo de erosión laminar y evidencias de coronas de deslizamientos. Suelo de color amarillo con niveles de meteorización bien desarrollados (Figura 64), muestra niveles de materia orgánica de hasta 40cm con granulometría arenosa, composicionalmente: Cuarzo 40%, Plagioclasa 30%, limo 10% y otros 20%.

Figura 64. Perfil de suelo desarrollado sobre la formación Rosablanca. Se observa un espesor de 40 cm. de materia orgánica y el suelo presenta un granulometría limosa. Vía El Gramal-Berlín. No se observa roca parental.



- **Zona Cuchilla la Quincha – Río Tona. Zona C.** Corresponde a la formación Silgara, presenta pendientes moderadas, alta vegetación, presenta un suelo arenoso arcilloso de color amarillo a naranja hay una gran diferenciación del perfil de suelo con espesores de nivel de materia orgánica que alcanza hasta 20cm. identificándose hacia la base la roca parental. Con un grado de meteorización intermedia. Composicionalmente: Líticos 15%, Cuarzo 20%, Plagioclasa 30%, Arcillas 25%, micas 10%.

Esta zona está afectada por erosión laminar, algunos surcos y presencia de pequeños deslizamientos.

- **Zona Limoncito – Pirgua. Zona D.** Afloran principalmente rocas Metamórficas correspondientes al orotneis de Berlín que manifiesta un fuerte fracturamiento y Silgara, presentando pendientes muy fuertes, clima seco, con escasa vegetación. Desarrollo de erosión laminar y fenómenos de caída de roca.

Suelo gravo-arenoso, de granos angulares, de color naranja, con niveles orgánicos de hasta 20 cm. Presenta un alto grado de meteorización, composicionalmente presenta cuarzo 40%, líticos 15%, óxidos 10% y plagioclasa 15% y Minerales Arcillosos 20%.

- **Zona La Plazuela. Zona E.** Aflora principalmente cuarzomonzonita de la Corcova, corresponde a escarpes moderados a fuertes, zona muy húmeda, con abundante vegetación con meteorización de incipiente, alto fracturamiento; en las zonas cercanas a las quebrada las palomas, se observa mayor precipitación y mayor grado de meteorización por la humedad. El perfil de suelo desarrollado diferencia un nivel de materia orgánica de 15 cm. Y en la base fragmentos de la roca parental muy oxidados, en algunos sectores solo la rocas se oxida y no desarrolla nivel orgánico.

Es un suelo arenoso, angular composicionalmente presenta Cuarzo 50%, Feldspato 35%, Biotita 5%, Moscovita 5%, Líticos 5%.

- **Zona F:** Se subdividió en dos zonas por su desarrollo en el perfil de suelo que son:
 - **Zona Vegas De Chiscapa Alto.** Suelo arcillosos de color amarillo con granulometría arena gruesa, redondeados de cuarzo, desarrollando suelo orgánico de hasta 20cm. de espesor presenta un grado de meteorización alta, su mayor grado de meteorización se refleja en las zonas ricas en micas, con mayor oxidación y obteniendo tonalidades hasta verdosas. Las pendientes son moderadamente abruptas, y la vegetación es moderada. Se encuentra el optimo pluviométrico en la subcuenca del Río Tona, en el sector de arnanía.

Presenta una composición de Cuarzo 35%, Plagioclasa 12%, Anfibolita 25%, Biotita 15%, Moscovita 3% Líticos 10%.

- **Zona de Vegas de Chiscapa Bajo.** Pendientes abruptas, vegetación escasa, procesos de erosión laminar, abundantes surcos y cárcavas. Suelo arcillo-arenosos con granulometría fina, con niveles orgánicos incipientes y zonas de oxidación en las venas que se encuentran cortando el neis de Bucaramanga y cuarzomonzonita de la Corcova presenta un menor grado de alteración con respecto al neis.

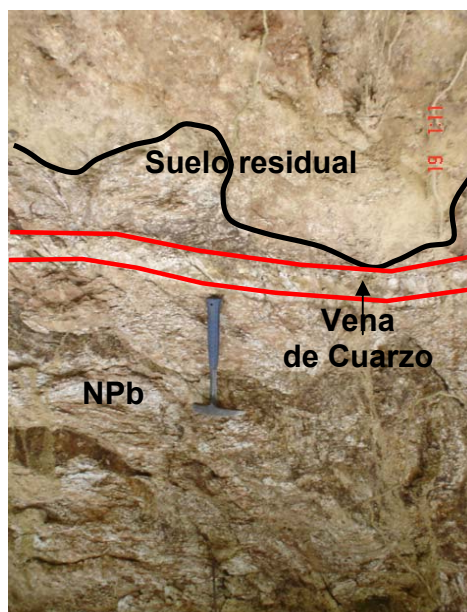
El neis presenta un alto grado a moderado de meteorización, definido composicionalmente por : Líticos 15%, Cuarzo 30%, plagioclasa 20%, Feldspato K 10%, micas 5%, Minerales arcillosos 20%.

- **Zona G.** Subdividida en dos zonas por su grado de meteorización
 - **Zona Guarumales – Carrizal.** Aflora principalmente rocas que corresponden al Neis de Bucaramanga y Cuarzomonzonita de la Corcova, fisiograficamente presentan características de mayor humedad y vegetación.

Perfil de suelo que desarrolla cárcavas sobre la Cuarzomonzonita de la Corcova, Esta zona se puede definir con un grado moderada característico de un suelo de color beige a rosado arenoso (Figura 65), de granulometría media a fina, con granos de cuarzo de 4ml, presentado un desarrollo de niveles orgánicos de hasta 20 cm. de espesor. Con un grado de meteorización media. Cuarzo 50%, plagioclasa 30%, y Feldespato K 20%.
 - **Loma Retiro Chiquito.** Neis biotítico – anfibolítico altamente meteorizado, presenta pendientes fuertes y alargadas, con alta vegetación, fuertemente diaclasado lo que permite la migración del agua y por consiguiente la descomposición de la roca parental.

El perfil de suelo desarrollado alcanza 2.5m de espesor, debido al alto contenido de micas, de color naranja, granulometría, arcillo arenoso con contenido de: Cuarzo 40%, Feldespato 20%, Biotita 10%, moscovita 5%, Líticos 15%

Figura 65. En el sector de Cerro Ventanas, Neis de Bucaramanga, muy alterado que origina horizontes de suelo de tipo arenoso.

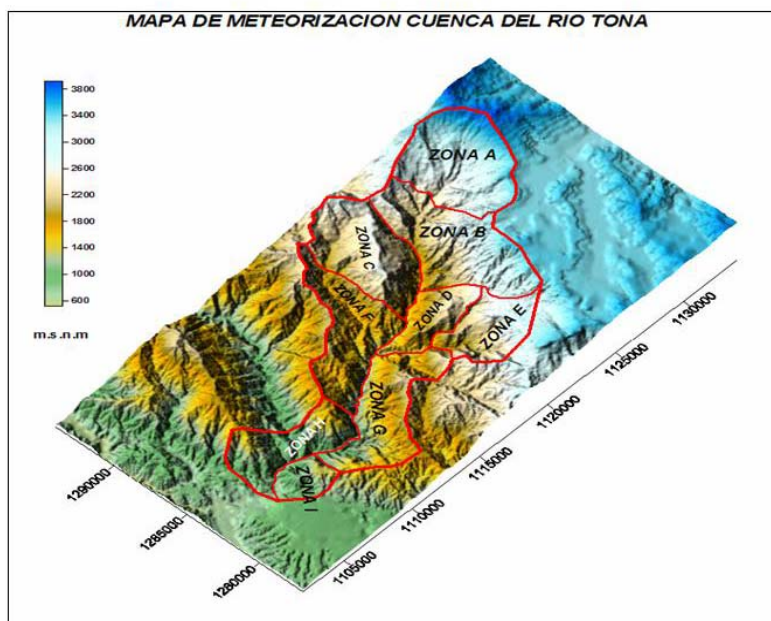


- **Sector Quebrada Monserrate. Sector H.** El neis de Bucaramanga en la vía que conduce a Puente Tona presenta meteorización de bajo a medio grado en algunos sectores es casi incipiente solo muestra oxidación en la superficie, ya que el neis es rico en biotita. Su geomorfología son escarpes fuertes, con vegetación moderada, presentando procesos de erosión laminar. El desarrollo de perfiles de suelo es muy escaso, presenta fuerte diaclasamiento, su composición es Biotita 40%, Cuarzo 37%, Moscovita 10%, máficos 5%, Feldespato 8%. La roca todavía presenta estructura.

- **Zona Morrórico – Gualilo. Zona I.** Meteorización incipiente, se aprecia alta oxidación en la superficie, con pendientes fuertes, no se identifican factores climáticos extremos que aceleren los procesos de meteorización, la temperatura es media, con moderada – abundante vegetación. Erosión en procesos mecánicos y generalmente se presenta la roca muy fresca con pátinas de oxidación en la superficie.

En base a la anterior zonificación queda claro que la subcuenca del río Tona presenta una diferenciación marcada de la meteorización debido, como se ha tratado anteriormente, a diversos procesos Figura 19; esta diferenciación afecta de manera importante los procesos de almacenamiento y transporte del recurso hídrico, de ahí la necesidad de representarlo en un mapa (ver Anexo C).

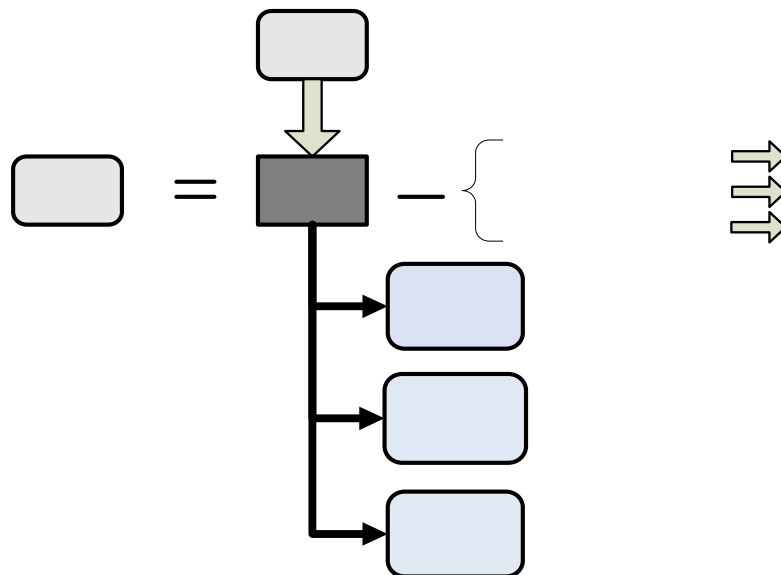
Figura 66. Zonas de Meteorización en la SRT. Imagen realizada en el software Surfer, por GPH, 2006.



8. MINERALOGIA DE ARCILLAS

Actualmente se conoce que los minerales arcillosos son numerosos y difieren entre sí por su forma, estructura, apilamiento de las capas y por la simetría de la red que forman entre si. Figura 22. Estas redes estructurales no son perfectas, generalmente presentan huecos por falta de iones o por sustitución de unos iones por otros que distorsionan la estructura y generan diferencias entre familias. Es bueno tener presente que en los depósitos naturales siempre coexisten varias clases de minerales arcillosos simples e interestratificados acompañados de óxidos de hierro o de titanio, piritas, yeso, calcita, feldespatos y otros minerales. La formación de los minerales arcillosos esta influenciado en gran medida por los procesos de meteorización, y su presencia o ausencia pueden dar una noción del comportamiento hidrogeológico en estas zonas de alteración, los minerales que están en mayor proporción son los encargados de condicionar estas características. (Figura 67)

Figura 67. Esquema de los procesos de formación de minerales arcillosos. (Factores de Formación y Evolución del Suelo F.F.E.S.)

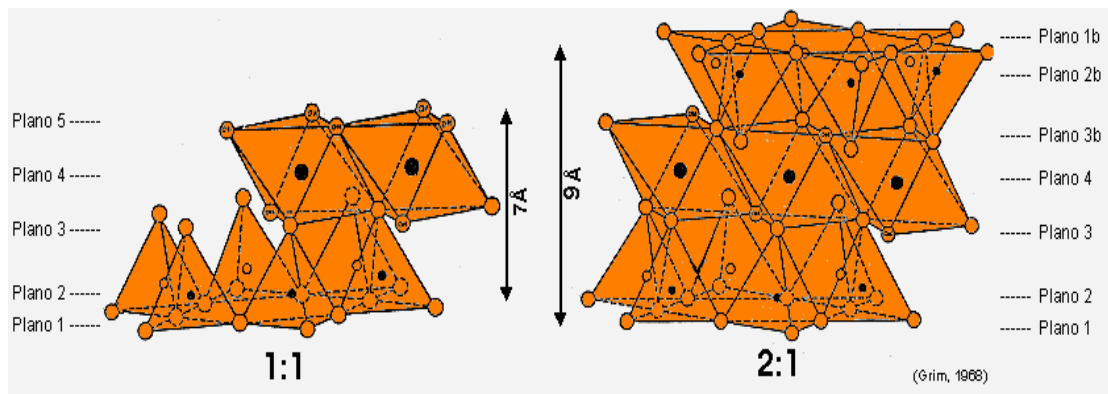


Fuente: Tomado de Duque C., 2001.

Las propiedades mecánicas desde el punto de vista hidrogeológico en las arcillas dependen de su composición físico- químicas que son:

- Su tamaño de partícula (inferior a $2\ \mu\text{m}$)
- Su morfología laminar (filosilicatos)
- Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Figura 68. Estructura interna de los filosilicatos formando tetraedros y octaedros.



Fuente: Tomado González J.M., 2000

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interactuar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces de hincharse.

- **Hidratación e hinchamiento.** La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmécticas, y cuya importancia es crucial en los estudios hidrogeológicos. Aunque la hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina. La absorción de agua en el espacio

interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión.

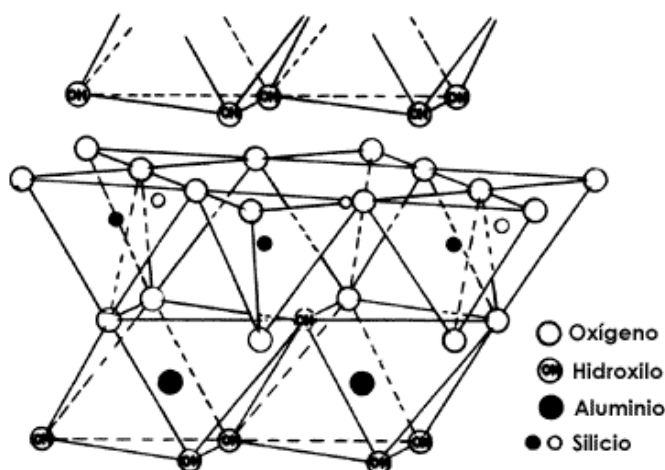
A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras. Cuando el catión interlaminar es el sodio, las esmécticas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esméctica, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si por el contrario, tienen Ca o Mg como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

8.1 ESTRUCTURA DE LOS MINERALES ARCILLOSOS

De acuerdo con su distribución estructural los minerales arcillosos se pueden dividir en las siguientes familias o grupos:

8.1.1 Filosilicatos bilaminares. Los filossilicatos bilaminares están formados por dos capas: una tetraédrica y otra octaédrica, por eso reciben los nombres de bilaminares, 1:1 ó T:O (Figura 69).

Figura 69. Una lámina T-O.



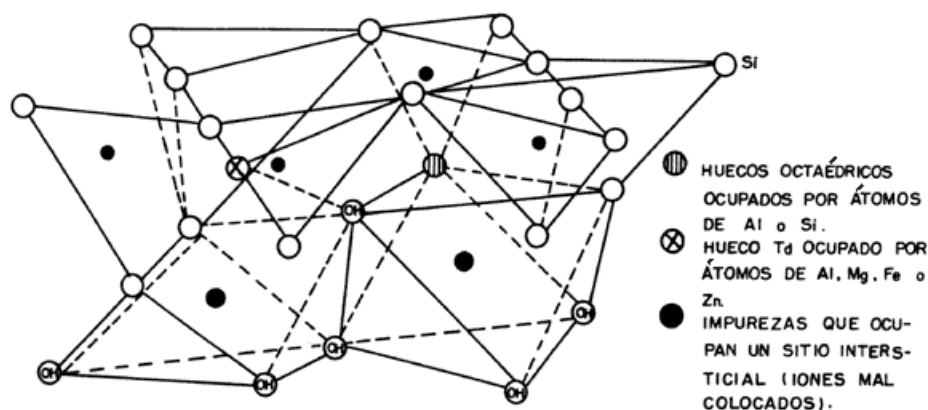
Fuente: Tomado de García E, 2006. ww.uclm.es/user/higueras/yym/arcillas/htm

Generalmente los tetraedros son de silicio, rodeados por oxígeno, aun cuando en ocasiones el silicio puede estar sustituido por iones de aluminio o de hierro. Los octaedros pueden tener como ión predominante el aluminio o el magnesio y están rodeados de oxígeno o de hidróxilos (OH). Las capas tetraédrica y octaédrica constituyen una lámina. La separación entre láminas es del orden de 7 unidades Armstrong (Å). En esta clasificación se distinguen dos familias de minerales: la de la Caolinita y la de las serpentinas.

Familia de la Caolinita Según **Besoain** (1985), son posiblemente los minerales arcillosos más extendidos y frecuentes, comprenden la Caolinita, la Haloisita, la Nacrita y la Dickita. La composición química de la Caolinita puede expresarse como $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ (figura 70). Los distintos minerales se distinguen por los diferentes apilamientos de las capas octaédricas y tetraédricas, la simetría de la red cristalina y la mayor o menor inclusión de moléculas de agua.

Su ocurrencia es común como un producto de alteración de feldespatos y micas, generados principalmente en condiciones de bajo pH y abundante disponibilidad de agua y de sedimentos provenientes de rocas que contienen dichos minerales. (Ígneas y neis). En condiciones de clima calido y húmedo la sedimentación de la caolinita es suficientemente abundante para formar un caolín puro. Los suelos con caolinita como mineral de arcilla presentan un comportamiento normal en los ensayos, en términos de baja a media plasticidad y permeabilidad. El efecto del aumento de humedad sobre las propiedades del suelo generalmente, no es importante, ya que esta se comporta como un mineral no expansivo.

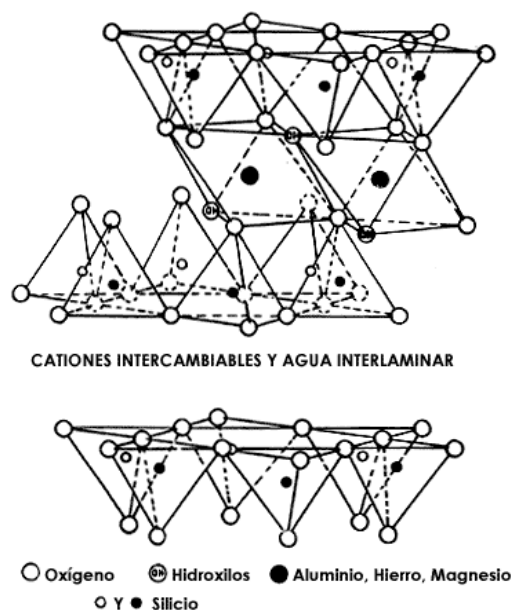
Figura 70. Estructura elemental de la Caolinita.



Fuente: Tomado de Bernal I. y Cabezas H. 2003

8.1.2 Filosilicatos Trilaminares. Cada lámina está formada por dos capas de tetraedros de sílice que encierran una capa de octaedros de alúmina o de magnesia, por ésta razón se les denomina “trilaminares”, 2:1 ó T:O:T. Las láminas no son eléctricamente neutras debido a que se presentan sustituciones de unos iones por otros de diferente carga. La separación entre láminas es del orden de 10Å. Comprenden tres familias: Esmeclitas, Micas y minerales fibrosos o Atapulgita. (figura71)

Figura 71. Una lámina T-O-T.

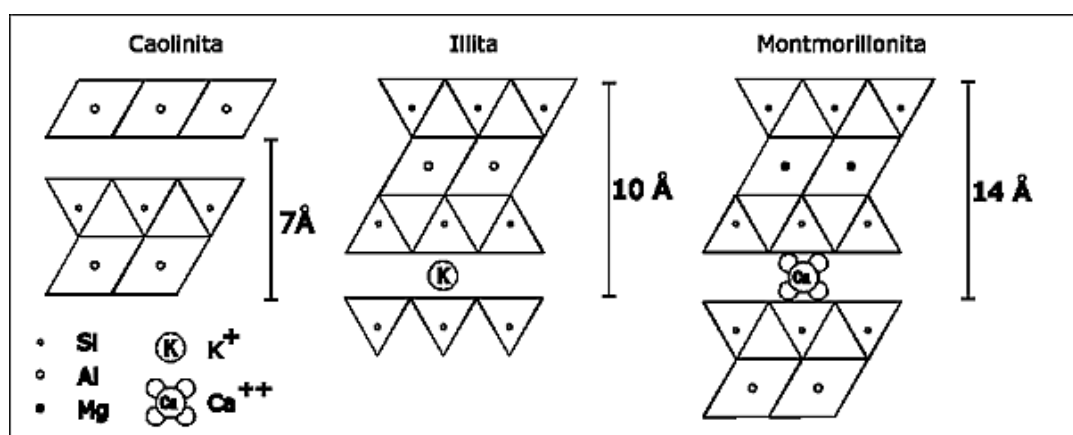


Fuente: Tomado de García E, 2001 2006 www.uclm.es/user/higueras/yym/arcillas/htm

8.1.2.1 Familia de las Esmeclitas o minerales expandibles. Esta familia incluye especies dioctaédricas como la Montmorillonita (Figura 72), la Nontronita y la Beidelita y trioctaédricas como la Saponita, la Sauconita y la Hectorita. También se les da el nombre de Bentonitas. Su composición química varía por la capacidad de sustitución elemental y de absorción de agua; una fórmula general para una esmeclita es: $Al_{2-x}Mg_xSi_4O_{10}(OH)_2$. En general, las arcillas expandibles, presentan estructuras que permiten que el agua penetre entre las láminas tetraédricas y octaédricas a través de enlaces de hidrógeno, lo cual determina una expansión de la celda cristalográfica y explica su alto índice de plasticidad y alta capacidad de retención le permite actuar como zonas de acumulación cuando su contenido es considerable.

La montmorillonita se forma como producto de alteración en condiciones alcalinas, con rocas ricas en plagioclasa, piroxenos y generalmente de minerales con un elevado contenido de calcio y magnesio. (Pegmatitas y dioritas), o como producto de la meteorización durante la generación de rocas sedimentaria. La montmorillonita se transforma en illita, cuando su composición mineralógica y su disposición estructural se presenta como capas mixtas en sus iones, muy común este proceso en arcillas subcompactadas.

Figura 72. Estructura elemental de la Montmorillonita, illita y caolinita.



Fuente: Tomado de Bernal I. y Cabezas H. 2003

8.1.2.2 Familia de las micas. Esta familia sigue el mismo esquema de cristalización de la anterior pero sus minerales no son expandibles; a este grupo pertenecen las Vermiculitas, el Talco, la Pirofilita, la Illita, la Moscovita. En la celda cristalográfica de las micas algunos silicios pueden estar reemplazados por aluminio y la diferencia de carga está balanceada por iones Potasio.

La illita se forma como producto de alteración de micas y feldespatos. En condiciones óptimas para su formación corresponden a un pH elevado y rocas ricas en minerales portadores de aluminio y potasio, también se forman a partir de diagénesis de caolinita o montmorillonita bajo la influencia de temperatura, presión, concentración iónica y consecuente profundidad de soterramiento. (Figura 72)

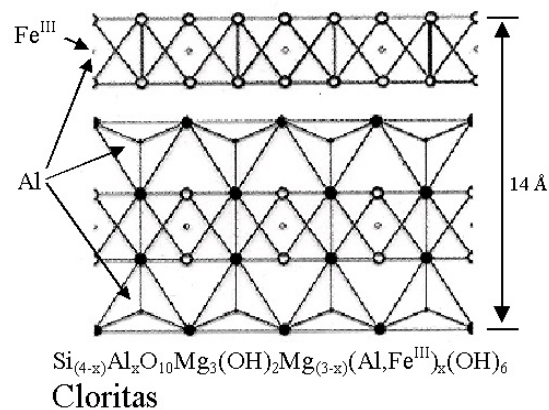
Estructura elemental de la Illita y su composición química puede expresarse como $K Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$. El índice de plasticidad de los minerales de esta familia es

menor que el de las Esmectitas, pero su plasticidad aumenta a medida que disminuye el tamaño del grano.

8.1.3 Cloritas. Son un grupo de minerales cuyas láminas están compuestas por dos capas tetraédricas y dos octaédricas por lo que se les denomina 2:1:1 ó T:O:T:O. Las láminas no son eléctricamente neutras debido a sustituciones de unos cationes por otros de distinta carga pero de tamaño semejante. La neutralidad se logra por grupos hidróxidos y por cationes interlaminares como sodio, potasio, calcio o magnesio. La separación entre láminas es del orden de 14Å o más. (Figura 73)

La fórmula general de las cloritas es $R^{5++} R^{3++} Si_3 R^{3++} O_{10} (OH)_8$ en la cual R^{2+} puede ser Fe ó Mg y R^{3+} puede ser Al ó Fe. En la Tabla 1 se presenta una clasificación de los minerales arcillosos más comunes. En la literatura se encuentran otras clasificaciones que incluyen numerosos minerales basados en otras propiedades.

Figura 73. Estructura interna del grupo de las cloritas.



Fuente: Tomado de Bernal I. y Cabezas H. 2003

Son minerales propios de rocas sedimentaria o metamórficas derivadas de estas y en el suelo siempre aparecen como heredadas del material original. Su evolución suele ser hacia vermiculita. Existe una variedad lumínica, en la que la capa adicional brucítica se ha sustituido por una gibsítica. Esta es propia del suelo y se forma por transformación de la illita mediante la alteración bioquímica en condiciones muy particulares, lo que la hace un mineral poco abundante.

8.2 METODOLOGÍA DE LABORATORIO

8.2.1 Muestreo y tratamiento de las muestras. Se recolectaron muestras en nueve puntos a lo largo de la zona de estudio, lugares donde el perfil de meteorización presentaba un espesor diferencial de mayor a menor grado de alteración, considerando como parámetro la pérdida total o parcial de la textura de La roca., ubicando cada sitio con coordenadas en GPS. El primer punto del perfil corresponde a la formación Neis de Bucaramanga con un espesor de 4mts de meteorización, muestreado en cuatro puntos diferentes, mientras que los cinco restantes pertenecen al a las unidades del Ortoneis de Berlín, Silgara y Cuarzomonzonita de la Corcova. En los puntos correspondientes al miembro superior se tomaron muestras tanto de los niveles de esquistos como de los de anfibolitas, con el fin de comparar la evolución de cada una de las litologías. Estas muestras se prepararon para obtener la fracción e dos micras en la cual estarían los minerales arcillosos producto de estos procesos de alteración.

Los análisis XRD se realizaron 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 CuK α y una velocidad de 1.2° por minuto, la identificación de minerales es semicuantitativa de las fases presentes en las muestras, se realizará mediante comparación de las reflexiones del perfil de etilenglicol con las reflexiones de los perfiles de difracción reportados en los difractogramas natural y 500°C en forma manual. El análisis de la granulometría se realiza a partir del difractograma de de la muestra de 125 μ . La preparación de la muestra se llevo a cabo con el equipo de laboratorio, regidos por los standares propuestos para esta actividad.

Las cuatro 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 fueron analizadas mediante difracción de rayos X (método de polvos desorientados), 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 μ 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.

8.2.2 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

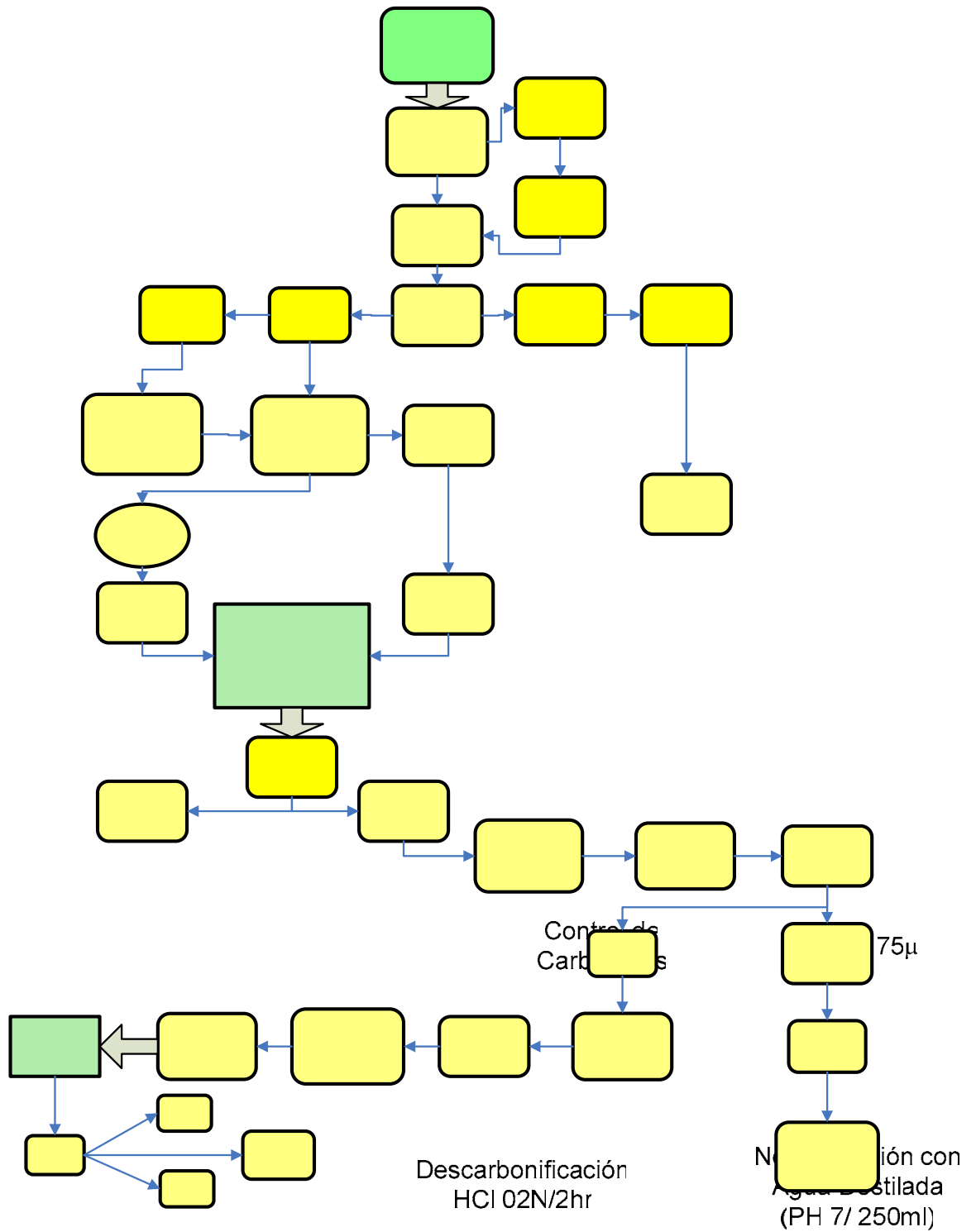
puedan tener estas arcillas en el desarrollo hidrogeológico de la zona y bajo el criterio del geólogo de campo.

8.2.3 Fase de laboratorio. Después de tomada la muestra se llevo al laboratorio para un posterior tratamiento, en un procesamiento mecánico de la roca y un tratamiento húmedo con la fracción mas pequeña, 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. (Figura 74)

- **Materiales.**

- Mortero de ágata.
- 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).
- Amoniacó (NH₄).
- Botella de 30 plástica ml.
- Botella de 60 plástica ml.
- Centrifuga.
- Horno.
- Portaobjeto petrografico.
- Etilenglicol.
- Desecador.
- Difractómetro de RX.
- Balanza de precisión.

Figura 74. Diagrama de flujo del procedimiento



RE
DES
DE LA

TOM
r

MA

TAM
150

Descarbonificación
HCl 02N/2hr

129
Control de
Contaminantes
y M.O

Adición 1gr
nifosfato de

Neutralización con
Agua Destilada
(PH 7/ 250ml)

A

8.2.3.1 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 ágata para facilitar el proceso de tamizado (Figura 75); en el proceso de tamizado se emplean la malla número 100 para obtener 12 gr de muestra con un tamaño de 150 μ m, y la malla número 200 para obtener 12 gr de muestra con un tamaño de 75 μ 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 76).

Figura 75 Macerado y tamizado de la muestra para obtener la fracción de 70 μ y 150 μ



Figura 76 empacado y etiquetado de cada una de las muestras.



La muestra llevada a un tamaño de 150 μm , 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 granos que hay en la muestra.

La muestra llevada a un tamaño de 75 μm , se neutraliza con agua destilada (pH 7).

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 77); 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 NH_4 (Figura 78), el cual se encargara de cambiar la polaridad de las partículas, para que se mantengan en suspensión.

Figura 77. Adición de la muestra en un vaso de precipitado para ser neutralizada con agua destilada.



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 (Figura 79). 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 pirofosfato 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).

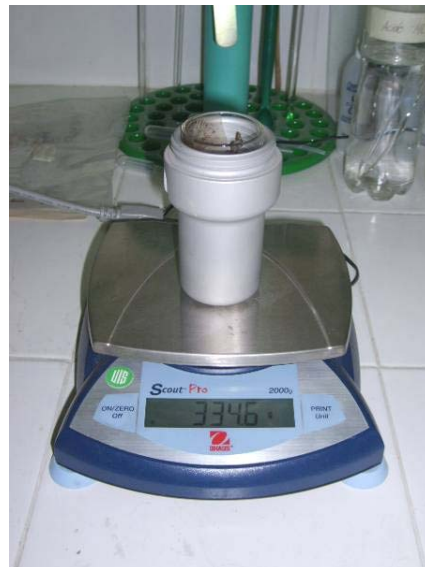
Figura 78. Proceso de neutralización de la muestra en donde es agregado NH_4 para que las partículas se mantengan en solución.



Figura 79. Extracción de 25ml de muestras para ser llevado a centrifugación. 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 4000 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 μ m (Figura 80).



Figura 80. Centrifuga y balanza electrónica



Las dos botellas con solución original son empleadas para diferentes propósitos. 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 petrográfico el cual deberá encontrarse esmerilado para captar la muestra de manera uniforme (Figura 81). 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 81. Proceso de embasado de la muestra después de la centrifugada, y preparación de lamina delgada para DRX.



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 2θ y 30θ . 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°C durante 8 horas (el alcohol evaporado se incorpora dentro de los intersticios de las arcillas hidratándose y separándose), transcurrido este tiempo la lamina será sometida nuevamente a irradiación de RX con un rango que varía entre 2θ y 20θ . El tercer y último proceso consiste en quemar la lámina con etilenglicol en el horno a una temperatura de 500°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 2θ y 20θ .

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

8.3 DIFRACTOGRAMAS

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

Los difractogramas arrojados por el equipo, entrega resultado en base a unidades Å, de longitud de onda en las ordenadas, pero para nuestra comodidad realizamos un tratamiento a las gráficas en el programa Excel, de tal forma que convirtamos las unidades de Å en unidades de 2teta (2θ) para hacer más sencilla su lectura. (Figura 82)

Posteriormente se procede a realizar el análisis semicuantitativo de la cantidad de cada uno de los minerales arcillosos presentes, que consiste en definir los picos más sobresalientes a partir de los estándares asignados para cada mineral en rangos de teta y amstrongs (Figura 83). Esta medición se realiza sobre el difractó grama de etilenglicol.

Figura 82. Difractogramas. Muestra CJF002

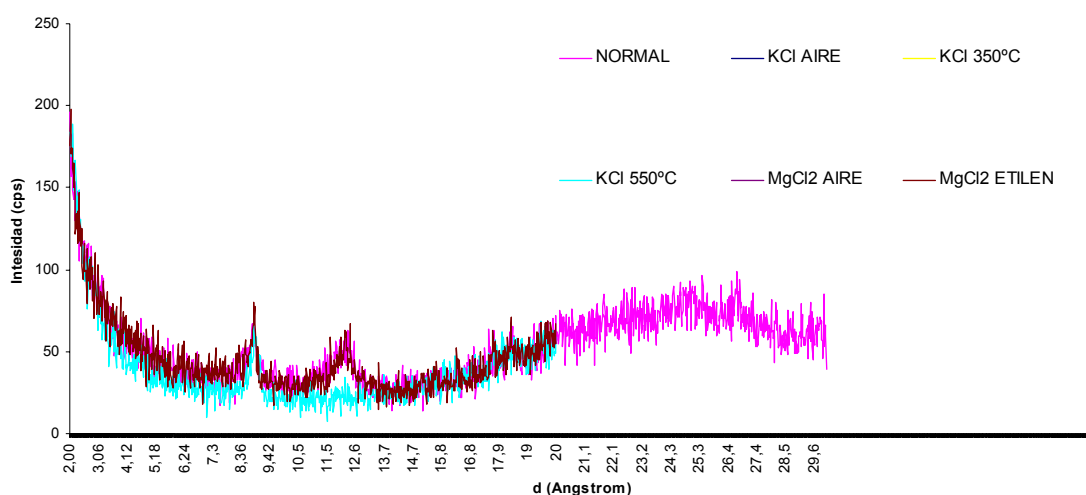
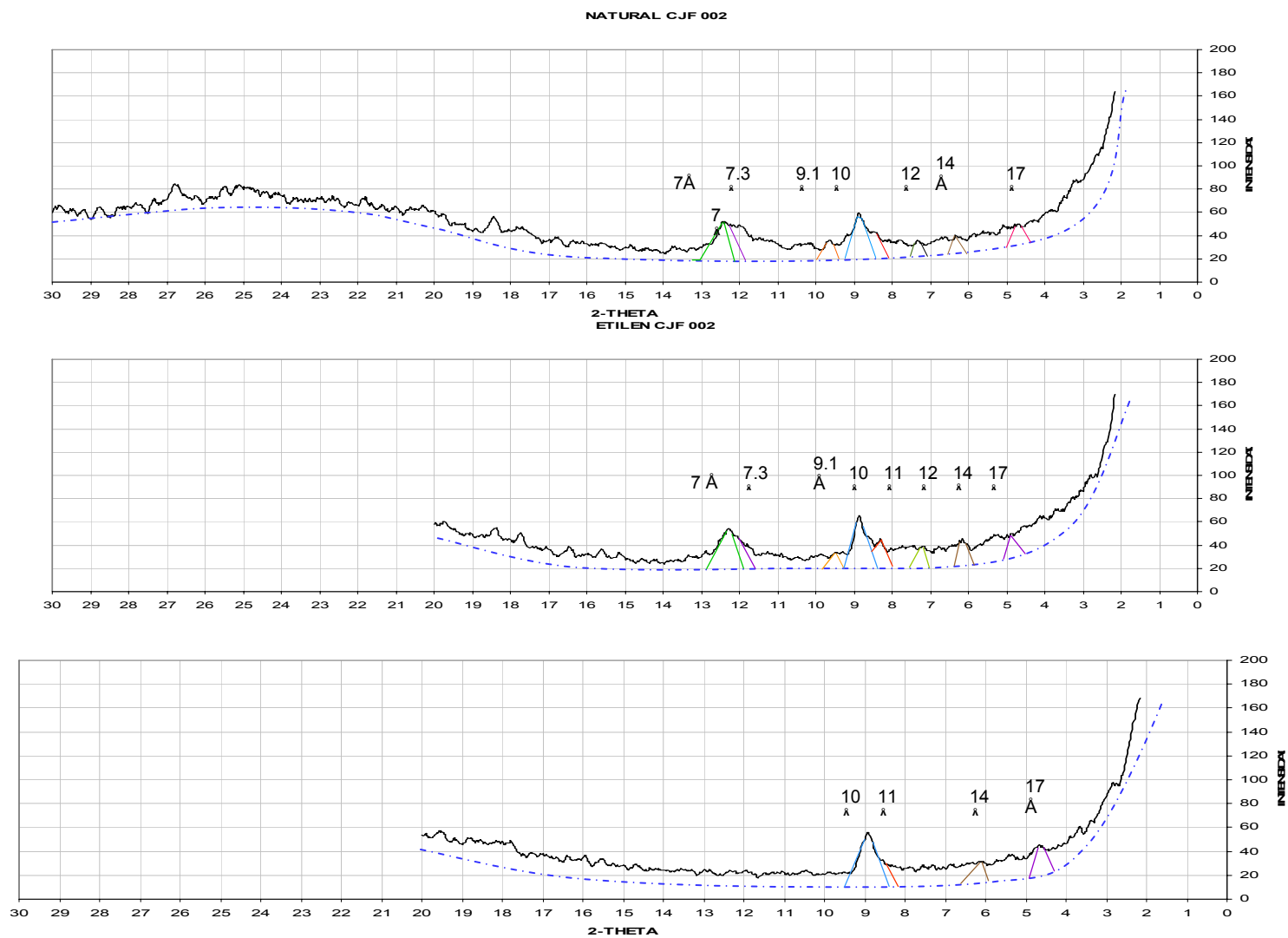


Figura 83. Difractogramas normal, etilenglicol, 500°C



Después los resultados de cada muestra se agrupan en un formato en el cual se registran los porcentajes de los minerales arcillosos y sus características a partir de la descripción de campo. (Figura 84)

Figura 84. Tabla de datos de cada uno de los minerales.

FORMATO DESCRIPCIÓN DE MINERALES ARCILLOSOS "ZONA MACIZO DE SANTANDER"	
ILITA	35 %
ESMECTITA	5 %
HALOYSITA	30 %
KAOLINITA	18,33 %
CUARZO	%
CLORITA	%
TALCO	%
10-14-C	%
10-14-SM	%
INTERESTRATIFICADO	1,67 %
SM-ALUMINICA	%
	%
Observaciones	
Número de muestra:	CJF-002
Ubicación de la Muestra	Plancha 110-III-C, Coordenadas X:1131795 Y:1288350
Formacion	Unidad Cuarzomonzonita de Santa Barbara
Altura	3300 m.s.n.m aproximadamente
Descripción de la muestra de mano	Cuarzo 30%, Plagioclasa 40%, Moscovita 10%, Biotita 10%, Caolín 10%, Sedimento Arenoso de color pardo blancuzco

PORCENTAJE DE MINERALES ARCILLOSOS MUESTRA CJF-002	
ILITA	35
ESMECTITA	5
HALOYSITA	30
KAOLINITA	18,33
CUARZO	
CLORITA	
TALCO	
10-14-C	
10-14-SM	
INTERESTRATIFICADO	1,67
SM-ALUMINICA	

Las descripciones de cada uno de los difractogramas se encuentran en el anexo M.

Después de los análisis que incluye tres difractogramas por muestra (natural, Etilenglicol, 500° C); se observa en la serie la presencia de Illita, interestratificado 14-14C, esméctica y Caolinita seguida por contenido menor de Halloysita y clorita todos ellos producto de la meteorización primaria de los minerales componentes de estas rocas cristalinas del Macizo de Santander zona occidental.

Se encontró Talco en la formación Silgara, en un porcentaje bajo pero con mayor contenido de clorita. Se observó Halloysita en tres unidades de rocas diferentes como no son Ortoneis de Berlín, Silgara y Cuarzomonzonita de Santa Bárbara. Así como el ortoneis e Berlín presentan mayor contenido de kaolinita, clorita y esmectita en el altiplano de Berlín donde su meteorización es de alto grado. Como ya se esperaba anteriormente en el sector de Vegas de Chiscapa se encontró el mayor porcentaje de illita, esmectita y kaolinita para el neis de Bucaramanga, debido a sus condiciones climáticas que acelera los procesos de meteorización.

La cuarzomonzonita de la Corcova presenta alto contenido de Esmectita y Kaolinita y para la cuarzomonzonita de Santa Bárbara se presenta la Illita y la Halloysita como los minerales de mayor contenido

Se hace evidente que en las zonas de fracturamiento el proceso de formación de minerales arcilloso es mayor, manifestándose la mayor concentración de Clorita y Caolinita, en el Ortoneis de Berlín y formación Silgara.

9. ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS ESTRUCTURALES.

La subcuenca se caracteriza por la presencia de materiales de edad precámbrica correspondientes a las rocas metamórficas e ígneas del Macizo de Santander; además se destacan las rocas mesozoicas y depósitos cuaternarios. Las rocas ígneas y metamórficas del macizo, debido a su alto fracturamiento, diaclasamiento y meteorización, presentan permeabilidad secundaria, rasgo hidrogeológico importante dada su capacidad de captar y conducir el agua desde la zona montañosa hacia las formaciones aluviales.

En la investigación Interacción entre los sistemas hidrogeológicos en el macizo de Santander para el estudio de la recarga e identificación de acuíferos, (Gómez y Colegial, 2003), se estudio la interrelación de la zona alta y la zona baja a efecto de procesos de recarga y la acción de la falla de Bucaramanga sobre los acuíferos de la mesa de Bucaramanga y alrededores.

Es de vital importancia en un estudio como el presente, poder reconocer las posibles vías de migración del agua. De ahí la necesidad de conocer las direcciones preferenciales de manera estadística a nivel tanto regional, como a nivel local para entender la relación estructural de las fracturas con las fallas presentes, además de conocer un valor aproximado de densidad de las mismas y por último la frecuencia de los diferentes rellenos encontrados.

Los datos que se procesaron fueron tomados directamente en la etapa de campo sobre los cuerpos ígneos, metamórficos y sedimentarios presentes en la zona de estudio teniendo en cuenta el espaciamiento, apertura de la fractura y la presencia de algún tipo de relleno o si carece de él, presentados en el Anexo G

Para la realización de las estadísticas de los datos de Diaclasas se empleó el Software Tectonics, el cual genera diagramas de rosetas (en donde se obtiene la dirección principal del rumbo), y diagramas de polos y de contornos (en donde se observa la densidad de datos en una determinada dirección, y la dirección principal del buzamiento).

9.1 ANALISIS ESTEREOGRAFICO DE DIACLASAS

Se realiza a partir de un análisis espacial de las Diaclasas, con el fin de calcular un valor aproximado de densidad de fracturas que permite visualizar el grado de fracturamiento presente y las direcciones preferenciales de migración de agua cuando la inclinación del plano lo permita.

9.1.1 Interpretación de Datos. En total se procesaron 262 datos, que fueron subdivididos en 4 zonas debido a su complejidad estructural, para identificar buzamientos preferenciales y encontrar orientaciones locales del buzamiento, a partir de pequeños grupos de familias de diaclasas. (Figura 85)

En general la SRT muestra dos direcciones de diaclasas principales una NNW y otra NE-SW con inclinaciones predominantes de 80° - 90° indican un comportamiento vertical; esta inclinación permitiría el almacenamiento de agua en las diaclasas. El diagrama de contornos muestra que el valor de rumbo y buzamiento de la diaclasa que se presenta con mayor frecuencia es de 312 / 26, dirección que se ubica en el cuarto cuadrante y cuyo dato se repite con mayor frecuencia en el área de estudio representando el 3.18% de los datos tomados en campo. (Figura 86)

Figura 85. Diagrama de contornos y Estereograma de planos de diaclasas de la subcuenca del río Tona.

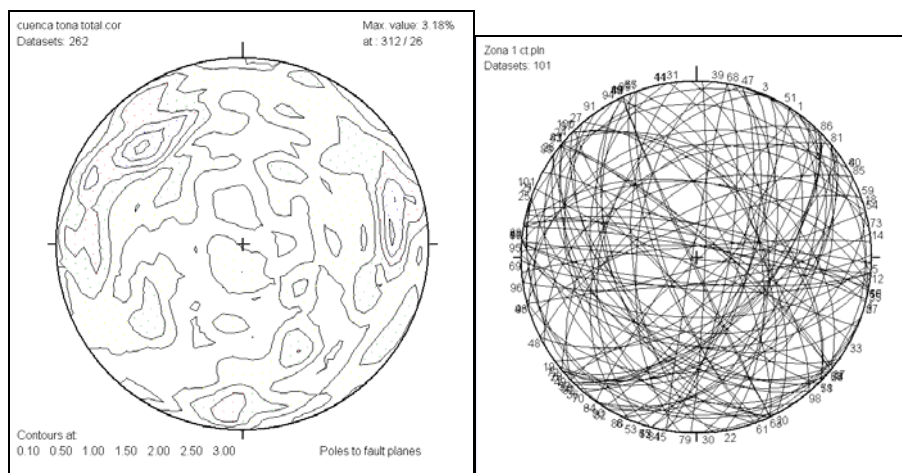
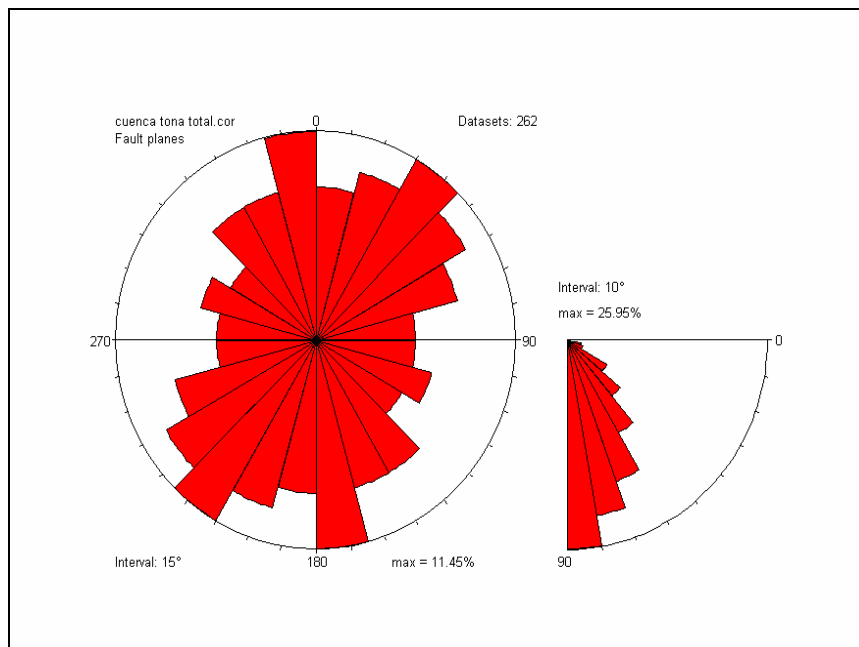


Figura 86. Diagrama de rosetas de la subcuenca del río Tona.



A continuación se presenta la descripción de cada sector y las gráficas de los análisis estadísticos para cada grupo de diaclasas dentro de cada zona:

- **Zona 1.** Comprende la secuencia sedimentaria en el extremo Este de la cuenca Limitada al norte y este por la divisoria de cuenca con el río Tona, al sur por el altiplano de Berlín, al oeste por la falla La Cristalina. Esta zona presenta un rango característico de pendiente estructural, esta afectado por falla Regionales como La Cristalina y localmente por numerosas fallas como la del río Sucio y la falla de Lopez que afectan este bloque sedimentario.

La diaclasas en su mayoría de presentan interconectadas entre ellas, y solo un porcentaje muy bajo se encuentran abiertas, que corresponde a la formación Rosablanca por procesos de disolución. Se tomaron de esta zona alrededor de 101 datos correspondientes a diaclasas.

Figura 87. Diagrama de rosetas zona 1

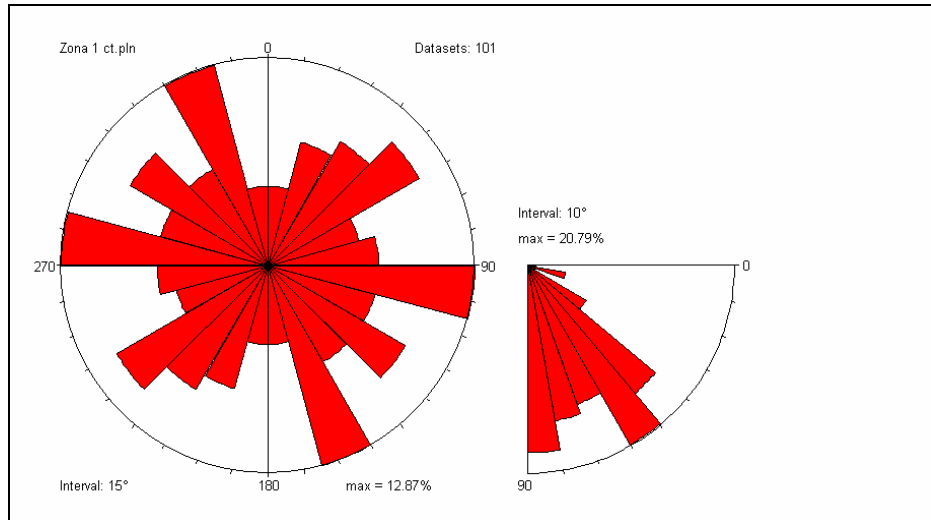
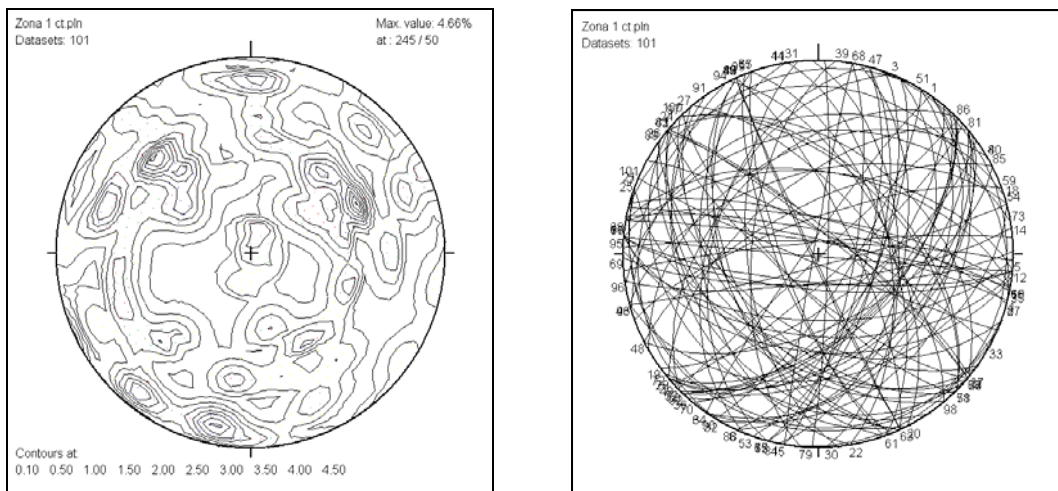


Figura 88. Diagrama de contornos y estereograma de planos de diaclasas de la zona 1.



Los datos recolectados de diaclasas muestran en el diagrama de rosetas dos direcciones principales de las diaclasas en esta zona. La primera presenta una tendencia WNW y la segunda dirección muestra una dirección NW - SE.

Respecto a los buzamientos de las diaclasas se puede apreciar que estas tienen un comportamiento subhorizontal con una inclinación predominante de 50-60° (Figura 87). Esta inclinación del buzamiento sugiere que la zona es propicia para el flujo de agua ya que su horizontalidad permite la interconexión de las diaclasas a profundidad.

El diagrama de contornos muestra que el valor de rumbo y buzamiento de la diaclasa que se presenta con mayor frecuencia es de 245 / 50 coincidiendo con direcciones secundarias de diaclasa que indica un comportamiento NE – SW. El buzamiento de este juego de diaclasa permitirá el flujo de agua hacia el NW ya que la inclinación es subhorizontal. (Figura 88)

- **Zona 2.** Corresponde a la zona comprendida entre las fallas La Cristalina y la falla de Tona. Los datos son tomados en su mayoría sobre rocas metamórficas, la fracturas que presenta interconexión corresponde a la Formación del Ortoneis de Berlín debido a que este cuerpo está influenciado por las fallas regionales Tona y la Cristalina. De esta zona se tienen alrededor de 85 datos de diaclasas.

Figura 89. Estereograma de Contornos y Estereograma de Planos de diaclasas Zona 2

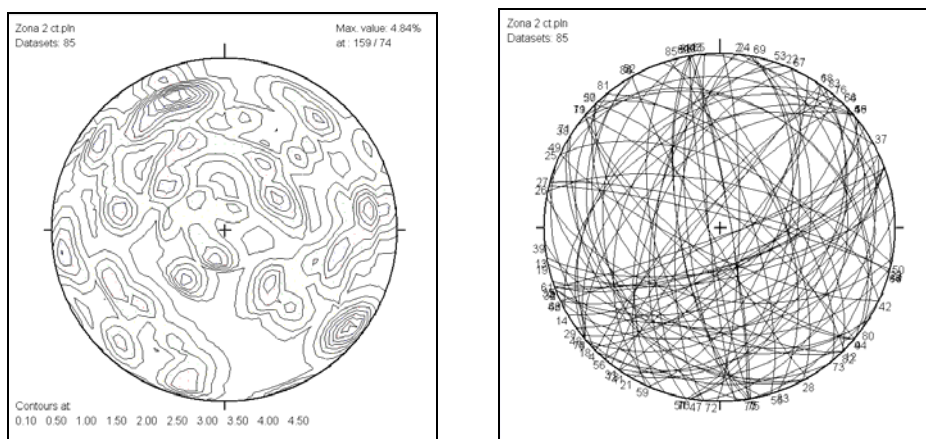
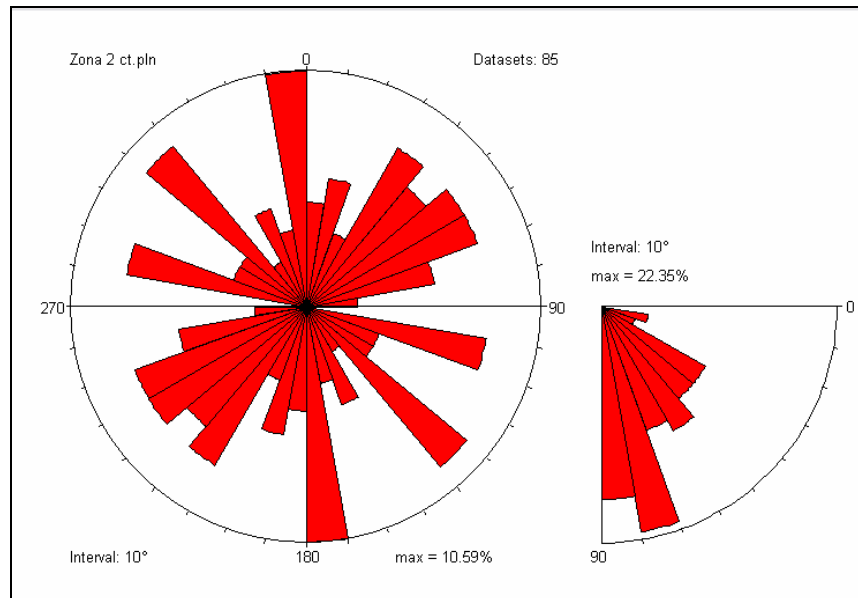


Figura 90. Diagrama de Rosetas Zona 2.



Los diagramas de roseta arrojados por el programa muestran una dirección principal de las diaclasas NNW- SSE. Los buzamientos más representativos en esta zona muestran una inclinación entre $70 - 80^\circ$ lo que le confiere un comportamiento vertical a las diaclasas permitiendo el almacenamiento, y el flujo del agua sería a través del rumbo de estas (Figura 90).

El diagrama de contornos muestra que los datos de diaclasas más frecuentes en esta zona son de 159/74. Este dato representa una dirección SE y su inclinación hacia el SW una posible zona de almacenamiento donde existan diaclasas con estos datos. (Figura 89)

- **Zona 3.** Esta área se encuentra ubicada en la parte más central de la cuenca y corresponde al Neis de Bucaramanga y los cuerpos intrusivos en cercanías a la quebrada Arnanía. Los cuerpos intrusivos corresponden a las Cuarzomonzonitas de La Corcova y Santa Bárbara. En esta zona se recolectaron alrededor de 233 datos de diaclasas. Figura 91.

Figura 91. Estereograma de Contornos y Estereograma de Planos Zona 3

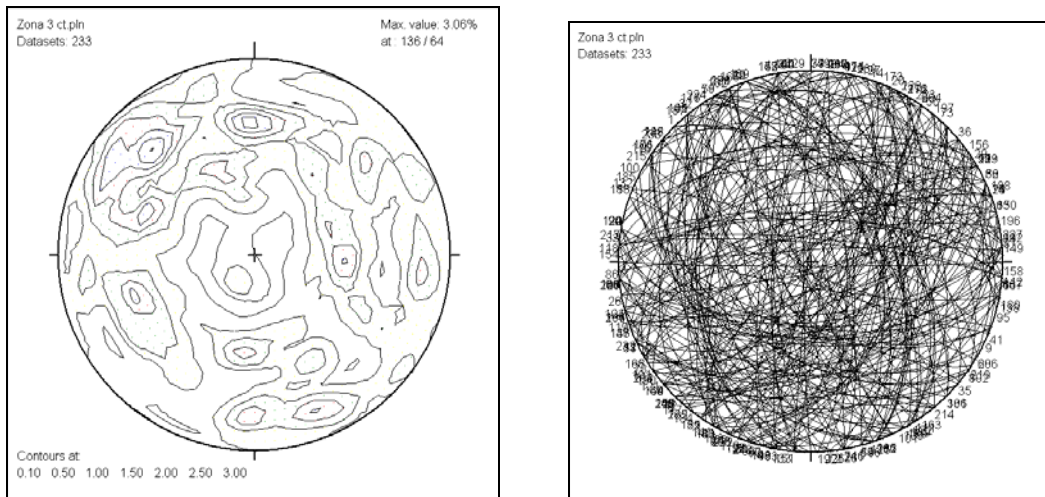
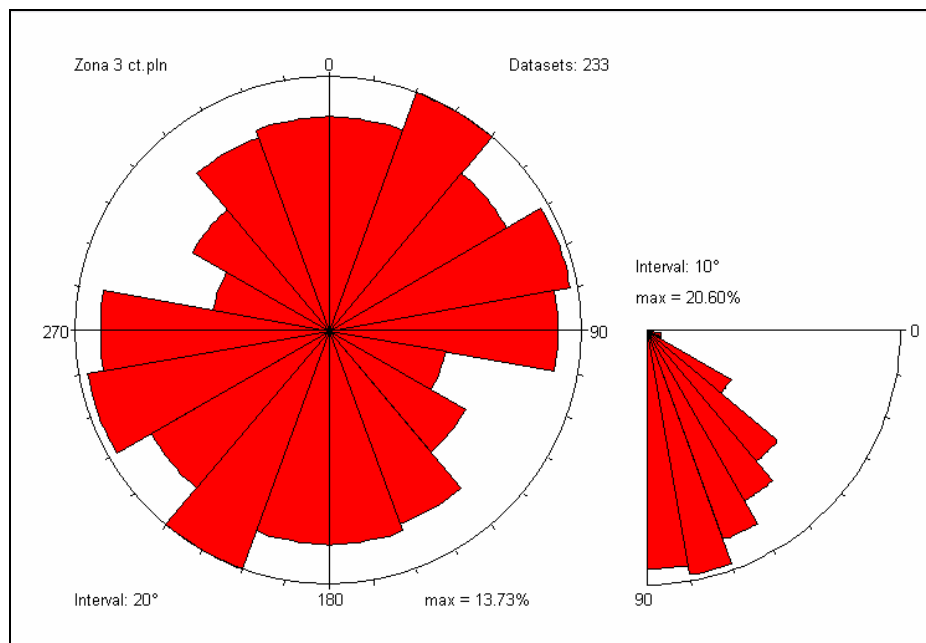


Figura 92. Diagrama de Rosetas. Zona 3



La zona 3 presenta diaclasas con dirección preferencial NE – SW. Estas diaclasas tienen un buzamiento con una inclinación predominante 70 – 80° lo que dificulta la interconexión de las diaclasas a profundidad permitiendo así el almacenamiento

de agua en estas diaclasas (Figura 92). El dato que más se repite en las mediciones tomadas en este sector es de 136/64 mostrando una dirección SE coincidiendo con las direcciones preferenciales.

- **Zona 4.** El área 4 se encuentra afectada por la falla de Bucaramanga ya que es la zona mas hacia el W en cercanías a la ciudad de Bucaramanga. En este sector la mayoría de las diaclasas se encuentran abiertas aunque un buen porcentaje (35%) representan las cerradas.

La litología presente es Neis de Bucaramanga lo afectan fallas como la falla Los Medios y la falla de Río Frío que en este sector se comporta como lineamiento. Los datos recogidos aquí fueron de aproximadamente de 185.

Figura 93. Estereograma de Contornos y Estereograma de planos de diaclasas Zona 4

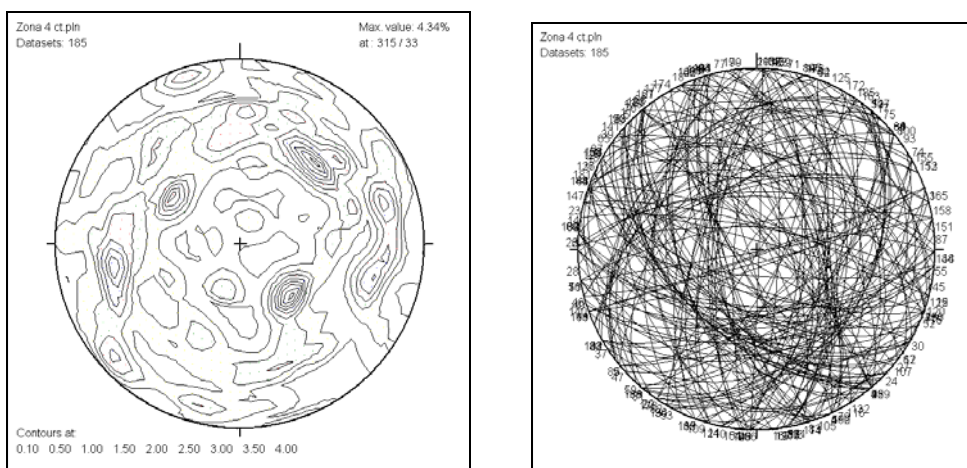
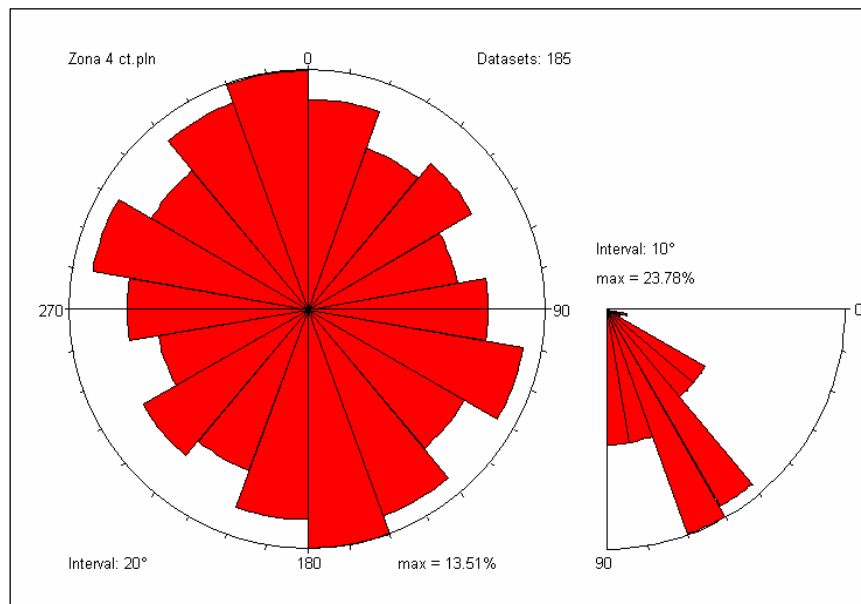


Figura 94. Diagrama de Rosetas zonas 4



Las diaclasas en esta zona tienen una dirección preferencial NNW – SSE como lo muestra el diagrama de rosetas y se observa una dirección secundaria NW - SE. Las diaclasas en esta zona presentan un buzamiento con inclinación entre 50 - 70° permitiendo debido a su horizontalidad la interconexión de las diaclasas a profundidad y la migración del agua por estas diaclasas (Figura 93). El total de diaclasas con esta inclinación es del 23.78%. El diagrama de contornos permite identificar el dato 315/33 como el que más se repite en esta zona con una orientación NW y su inclinación favorecerá la migración en las zonas donde se presente la mayor densidad de este dato. (Figura 94).

9.2 ANÁLISIS ESTEREOGRÁFICO DE ESTRÍAS

A partir de los datos de estrías recogidos en campo, con ayuda del programa Tectonics FP., se obtienen los tensores de esfuerzos, los esfuerzos principales σ_1 , σ_2 y σ_3 , los ejes de presión y tensión, lo que nos lleva a concluir el movimiento principal de cada subárea.

Figura 95. Calculo de diedros y tensores de la subcuenca del río Tona.

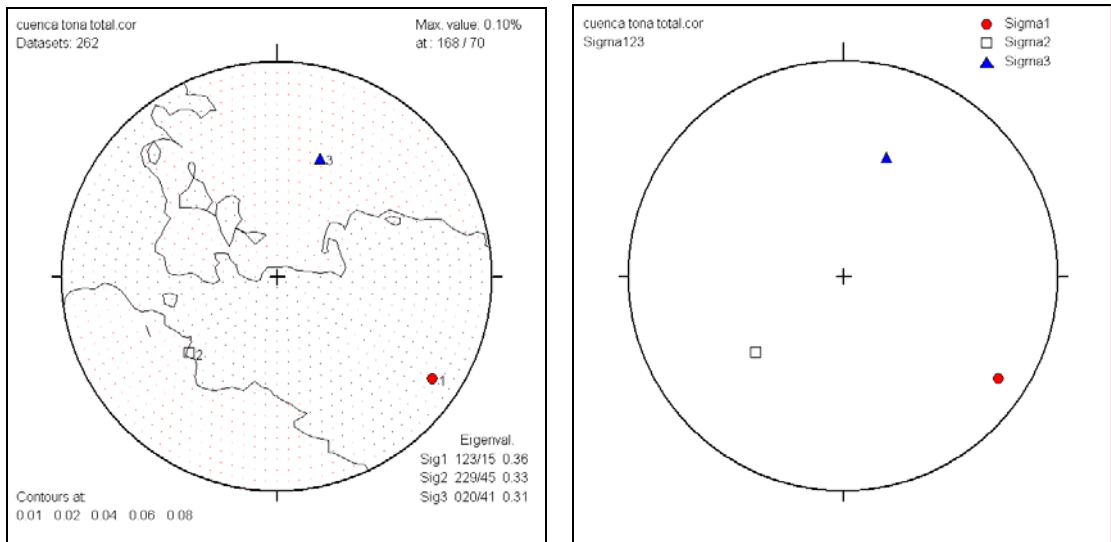
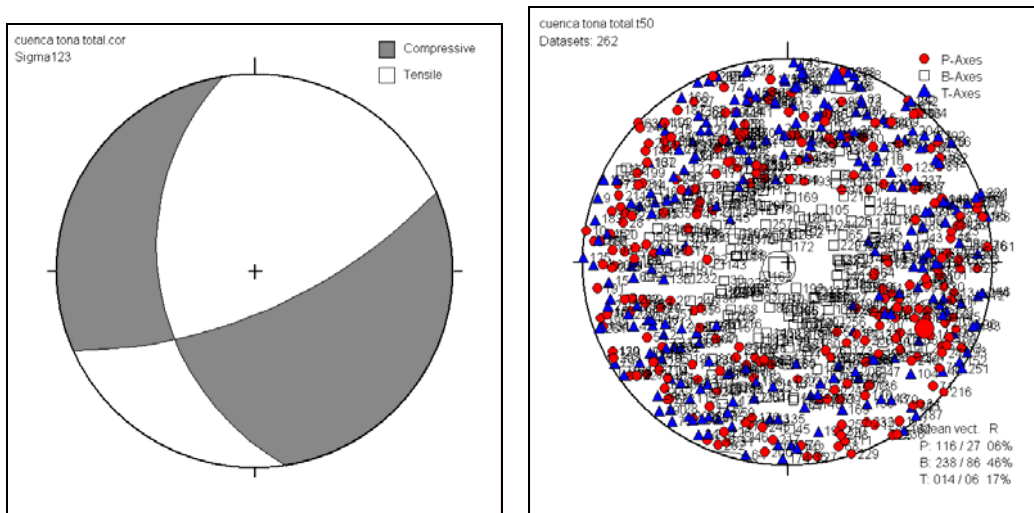


Figura 96. Diagrama de tensor único y esfuerzos pt del área de estudio



Para la subcuenca del río Tona, se obtiene un tensor de esfuerzos compuesto por un esfuerzo horizontal principal σ_1 123/15 \pm 0.36, un esfuerzo subhorizontal intermedio σ_2 229/45 \pm 0.33 y un esfuerzo subvertical mínimo σ_3 020/41 \pm 0.31. (Figura 95). El mejor ajuste de los ejes de presión (P) y tensión (T) se encuentra con un ángulo θ de 50°, el cual corresponde al ángulo entre el plano de estría y el

eje principal de esfuerzo σ_1 . El eje P tiene una orientación de 116/27 con un factor de correlación $R=06\%$, el eje T se orienta 014/06 con $R=46\%$, y el eje B se orienta a 238/86 con $R=17\%$; estos porcentajes tan bajos muestran una correlación baja entre los valores de estría y el campo de esfuerzos general. El esfuerzo principal compresivo presenta una dirección NW – SE, el cual es relacionable con unas de las direcciones secundarias en la zona (NE – SW). (Figura 96) La correlación entre los valores de estría y el campo de esfuerzos muestra un movimiento principal de rumbo con componente inversa lo que deja entrever la relación con la falla de Bucaramanga.

Zona 1.

Figura 97. Calculo de diedros y tensores de la zona 1.

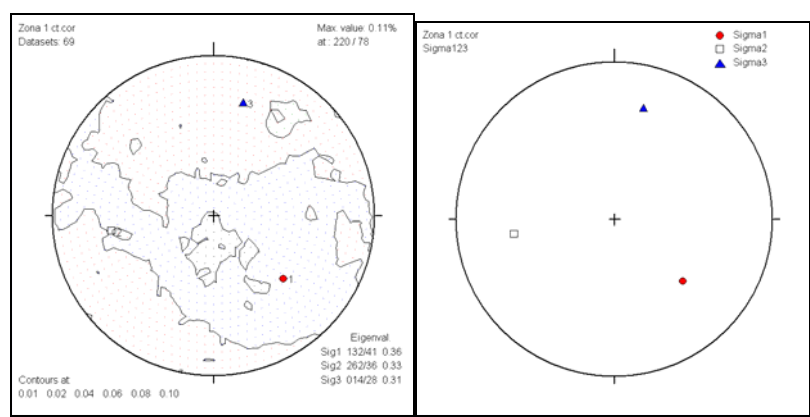
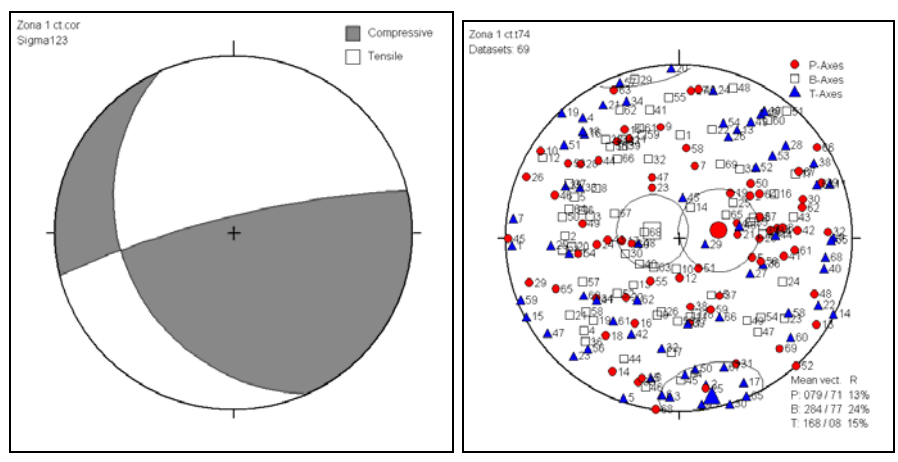


Figura 98. Diagrama de tensor único y esfuerzos pt de la zona 1.



Para la zona 1, se obtiene un tensor de esfuerzos compuesto por un esfuerzo subvertical principal σ_1 132/41 \pm 0.36, un esfuerzo subhorizontal intermedio σ_2 262/36 \pm 0.33 y un esfuerzo subhorizontal mínimo σ_3 014/28 \pm 0.31, valores que representan un esfuerzo transtensivo (Figura 97).

El mejor ajuste de los ejes de presión (P) y tensión (T) se encuentra con un ángulo θ de 74°, el cual corresponde al ángulo entre el plano de estría y el eje principal de esfuerzo σ_1 .

El eje P tiene una orientación de 079/71 con un factor de correlación R= 13%, el eje T se orienta 168/08 con R= 15%, y el eje B se orienta a 284/77 con R=24% mostrando una relación entre los valores de estrías y el campo de esfuerzos general, los esfuerzos compresivos presentan una dirección NW – SE, la cual es concordante con direcciones secundarias de diaclasas NE - SW.

La correlación entre los valores de estría y el campo de esfuerzos muestra un movimiento principal normal con componente de rumbo. (Figura 98)

Zona 2.

Figura 99. Calculo de diedros y tensores de la zona 2.

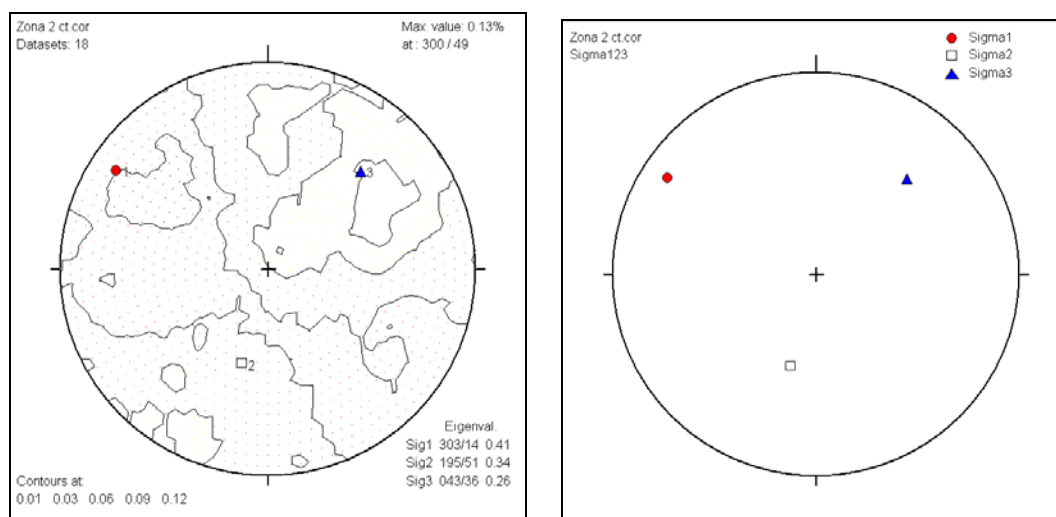
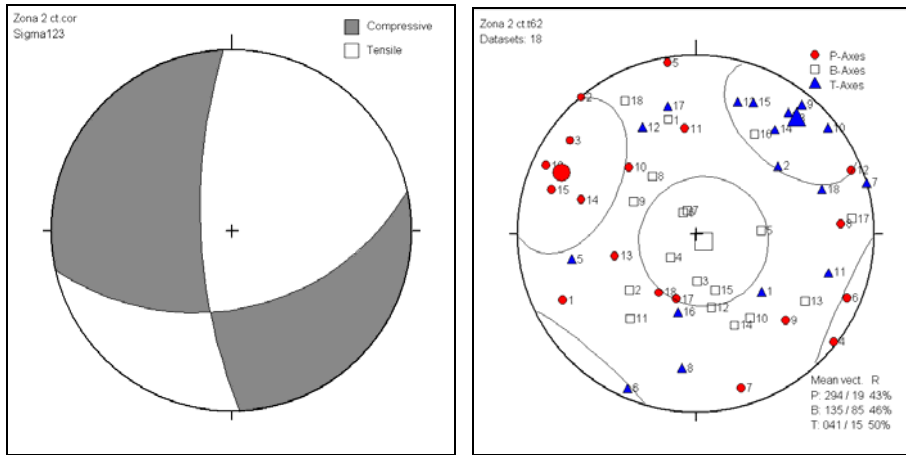


Figura 100. Diagrama de tensor único y esfuerzos pt de la zona 2.



Para el sector comprendido entre las fallas La Cristalina y la falla de Tona, se obtiene un tensor de esfuerzos compuesto por un esfuerzo horizontal principal σ_1 $303/14 \pm 0.41$, un esfuerzo subvertical intermedio σ_2 $195/51 \pm 0.34$ y un esfuerzo subvertical mínimo σ_3 $043/36 \pm 0.26$, lo cual muestra un movimiento transpresivo.

El mejor ajuste de los ejes de presión (P) y tensión (T) se encuentra con un ángulo θ de 62° , el cual corresponde al ángulo entre el plano de estría y el eje principal de esfuerzo σ_1 (Figura 99).

El eje P tiene una orientación de 294/19 con un factor de correlación $R=43\%$, el eje T se orienta 041/15 con $R=50\%$, y el eje B se orienta a 135/85 con $R=46\%$. El eje de esfuerzos principal presenta una dirección NW – SE coincidiendo con la generación de diaclasas de dirección secundaria NE - SW.

La correlación entre los valores de estría y el campo de esfuerzos muestra un movimiento principal de rumbo con componente inversa. (Figura 100)

Zona 3.

Figura 101. Calculo de diedros y tensores de la zona 3.

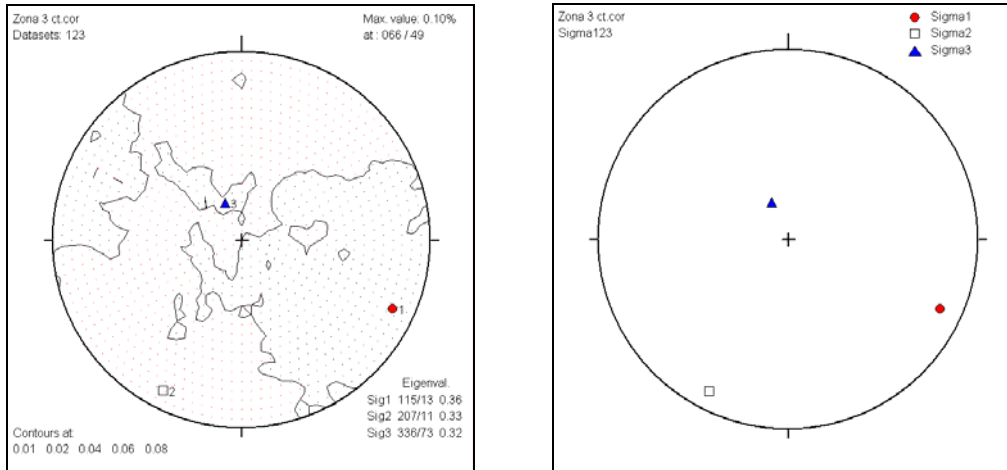
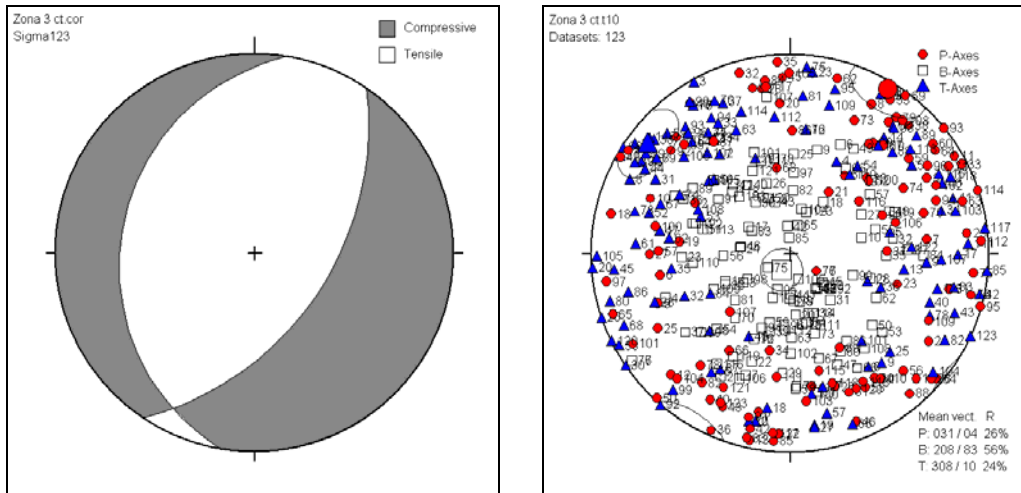


Figura 102. Diagrama de tensor único y esfuerzos pt de la zona 3.



En el área 3 se obtiene un tensor de esfuerzos compuesto por un esfuerzo horizontal principal σ_1 $115/13 \pm 0.36$, un esfuerzo subhorizontal intermedio σ_2 $207/11 \pm 0.33$ y un esfuerzo vertical mínimo σ_3 $336/73 \pm 0.32$ permitiendo un comportamiento en la zona netamente compresional. El mejor ajuste de los ejes de presión (P) y tensión (T) se encuentra con un ángulo θ de 10° , el cual corresponde al ángulo entre el plano de estría y el eje principal de esfuerzo σ_1

(Figura 101). El eje P tiene una orientación de 031/04 con un factor de correlación $R= 26\%$, el eje T se orienta 308/10 con $R= 24\%$, y el eje B se orienta a 208/83 con $R=56\%$. Los esfuerzos compresivos en la zona NW - SE se pueden relacionar con las direcciones principales de diaclasas NE - SW. La correlación entre los valores de estría y el campo de esfuerzos muestra un movimiento principal inverso. (Figura 102)

Zona 4.

Figura 103. Calculo de diedros y tensores de la zona 4.

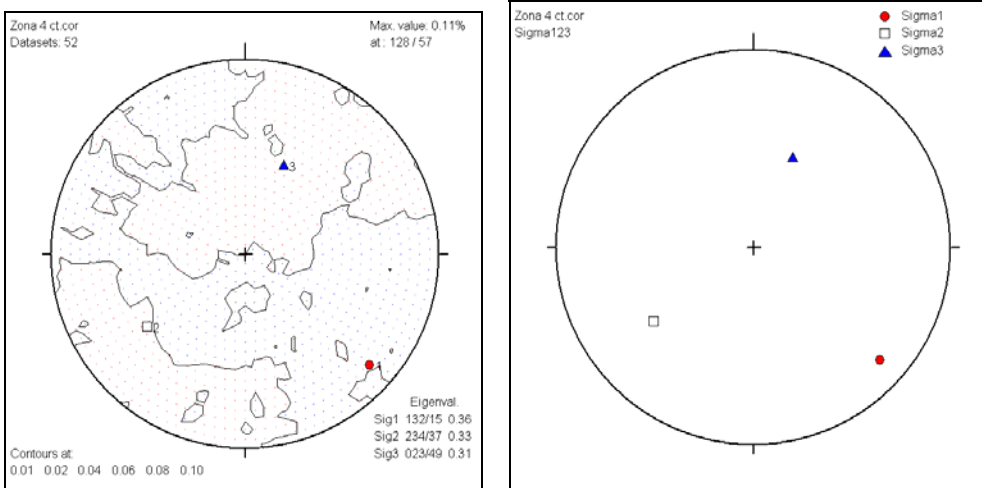
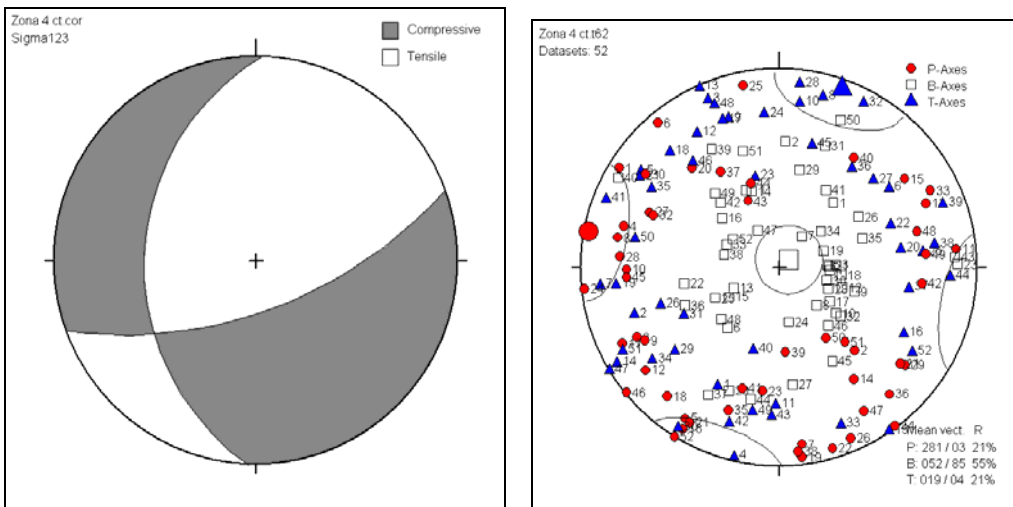


Figura 104. Diagrama de tensor único y esfuerzos pt de la zona 4.



El sector más cercano a la falla de Bucaramanga, se obtiene un tensor de esfuerzos compuesto por un esfuerzo horizontal principal σ_1 132/15 \pm 0.36, un esfuerzo subhorizontal intermedio σ_2 234/37 \pm 0.33 y un esfuerzo subvertical mínimo σ_3 023/49 \pm 0.31 dejando ver un comportamiento transpresivo (Figura 103). El mejor ajuste de los ejes de presión (P) y tensión (T) se encuentra con un ángulo θ de 62°, el cual corresponde al ángulo entre el plano de estría y el eje principal de esfuerzo σ_1 . El eje P tiene una orientación de 281/03 con un factor de correlación R= 21%, el eje T se orienta 019/04 con R= 21%, y el eje B se orienta a 052/85 con R=55%. El eje principal de esfuerzos NW – SE coincidiendo con direcciones secundarias de diaclasas NE – SW. La correlación entre los valores de estría y el campo de esfuerzos muestra un movimiento principal inverso con componente de rumbo concordante con el movimiento de la falla principal. (Figura 104)

10. CONCLUSIONES

Al validar la cartografía anterior, definida con una escala 1: 25000, se ha podido redefinir contactos litológicos, fallas y su inclinación, pliegues, además de diferenciar los depósitos recientes según su génesis.

Por medio de sensores Remotos (imagen satelital, imagen Dem.) se siguieron los trazos del sistema de falla de la Parte Media, los cuales presentan una dirección NW y que continúan en el altiplano de Berlín, comportándose como rutas preferenciales de transporte desde la zona de recarga de Berlín hacia los depósitos almacenadores de la Subcuenca del Río Tona (SRT)

Debido a la complejidad estructural de la SRT no se define un comportamiento secuencial de las formaciones; en vez de esto, la cuenca se constituye como un sistema de bloques estructurales que repiten secuencias y enfrenta diversas litologías en un solo punto.

A partir de las propiedades hidráulicas de cada unidad litológica consolidada presente en la SRT, la formación Rosablanca, caracterizada por la porosidad secundaria originada a partir de la disolución de tipo químico y el fracturamiento, se constituye como la unidad que permite con mayor facilidad el movimiento y almacenamiento de agua; al igual que la formación Tablazo. La Formación Tambor además de presentar porosidad secundaria, posee porosidad de tipo intergranular o primaria, pero debido al grado de compactación hacia la zona NE de la SRT disminuye estas características. Aunque su interés disminuye debido a que se encuentra en la parte alta de la cuenca y su demanda es muy baja.

Las rocas cristalinas se caracterizan por tener una porosidad primaria nula y su porosidad secundaria corresponde a la influenciada de la actividad tectónica. La unidad con mayores propiedades hidráulicas corresponde al Ortoneis de Berlín por presentar una granulometría de grano medio a grueso comportando como un sistema que permite la conducción de agua a otras formaciones debido a que aflora principalmente en el altiplano de Berlín y está afectado por fallas principales. La formación silgara se comporta como un sello, según su estado de meteorización debido a su composición que al meteorizarse produce principalmente minerales arcillosos que representan barreras para la circulación del agua. El neis de Bucaramanga, por su variedad composicional presenta zonas de interés hidrológico por su alto grado de fracturamiento y su grado

meteorización incipiente en el sector de Vegas de Armania y Árbol solo. En Cercanías de la ciudad de Bucaramanga es donde existe mayor interés debido a su fracturamiento y su meteorización incipiente. La cuarzomonzonita presenta un alto fracturamiento pero en zonas de alta meteorización estas fracturas se encuentran rellenas lo que representa un obstáculo en el flujo del agua.

Las mejores posibilidades, se encuentran en las zonas topográficamente bajas: a lo largo del trazo de las Fallas de Morrórico y Bucaramanga al sur del área. En estas zonas afloran los cuerpos de roca metamórfica descritos en el capítulo 4, estos cuerpos tienen la ventaja sobre el neis, de estar constituidos en un gran porcentaje por cuarzo, el cual proporciona unas cualidades ideales, de escasa arcilla, a la roca ígnea meteorizada. Mientras que el neis anfibolítico, posee mayor contenido de minerales susceptibles a transformarse en arcilla cuando se produce la meteorización. Y como ya se indicó, estas arcillas pueden originar el taponamiento de la porosidad secundaria.

A partir de la clasificación del ITC de Holanda se definieron, según su génesis, cinco unidades geomorfológicas presentes en la SRT: de origen denudacional, estructural, cárstico y fluvial; las cuales controlan el almacenamiento, porosidad, conductividad y procesos de infiltración.

En general todas las fallas ya sean de tipo regional o local, se comportan como rutas preferenciales de movimiento del agua; y además como zonas de precolación debido a que tienen una dirección preferencial del Picacho a la ciudad de Bucaramanga o de Tona hacia Bucaramanga.

Los depósitos cuaternarios del altiplano de Berlín, que bordean la divisoria sur de la SRT, se definen como la principal zona de recarga; además se presentan zonas de recarga local como el nacimiento de diversas quebradas y manantiales.

De acuerdo con las características observadas en el mapa de pendientes se establecieron 6 sectores morfométricos, cada uno definido por sus rasgos distintivos de acuerdo a su pendiente presentándose los valores más altos en el Ortoneis de Berlín.

La metodología propuesta para la preparación de arcillas en lamina delgada (fracción 2μ) presenta ventajas en la aceleración del proceso mecánico para la obtención de esta granulometría. Así como optimiza el proceso de preparación de muestra para obtener los valores en los tres rutinas (normal, etilenglicol, 500°) y

disminuye postratamientos de la muestra porque inicialmente me define los minerales de interés para así tratar la muestra según las necesidades o interés de estudio de arcillas por DRX. El análisis de datos a partir de difractogramas es un método semicuantitativo que esta sujeto a errores humanos debido a que su interpretación depende del análisis de cada una de las personas que lo interpretan lo que le imprime a esta metodología un carácter subjetivo.

El relieve del área de estudio muestra una dominancia estructural cuyo origen esta relacionado con la dinámica de la cordillera oriental. El relieve, una vez expuesto es sometido a grandes cambios climáticos durante el cuaternario que dan como resultado las formas de erosión y acumulación observadas actualmente.

El análisis estadístico de datos de diaclasas y estrías muestra que el comportamiento estructural de la SRT está condicionado por la falla de Bucaramanga y los esfuerzos que producen su dinámica. Sin embargo existen esfuerzos locales que condicionan algunos sectores (las zonas más hacia el Este), todo enmarcado dentro del levantamiento del Macizo de Santander y los esfuerzos compresivos que permitieron su génesis.

RECOMENDACIONES

Los cuaternarios, al ser importantes fuentes de almacenamiento de agua, necesitan un estudio mas detallado y la geoelectrica puede arrojar un valor aproximado de sus espesores lo cual seria un aporte fundamental al conocimiento hidrogeológico de la SRT.

El estudio petrografico en sección delgada lo que brindará un mayor conocimiento a las condiciones de porosidad de las rocas que conforman la subcuenca de río Tona y complementar la información propuesta en este trabajo.

La validación de los resultados del análisis estadístico de diaclasas y estrías por medio de otros software que corroboren principalmente las direcciones preferenciales de migración del recurso hídrico.

Capacitar los habitantes del municipio de Tona, con el fin de concientizarlos de la importancia del uso y manejo del suelo, en la preservación del recurso del hídrico.

Realizar un estudio estructural más detallado en el sector crítico de la secuencia sedimentaria, Cenca los Arcos, con el fin de caracterizar la dinámica de esfuerzos a los que son sometidos estas rocas.

En la metodología propuesta para análisis de arcillas por DRX, se observo que en algunas secciones presenta un difractograma muy uniforme, lo que corresponde a pérdida de fracción arcilla, por lo que se hace necesario replantear el tiempo de centrifugado para la cimentación de estas partículas.

Realizar una cartografía mas detallada en las zonas de mayor grado de meteorización identificadas, con el fin de caracterizar mejor sus propiedades hidrogeológicas, que presenten sus mecánicas y químicas de tal forma que se convierta en una herramienta para la generación de un modelo hidrogeológico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BELTRAN, R. Y REY A. (2002). 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 Surata). Universidad Industrial de Santander, Escuela de Geología. Bucaramanga.

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.

CARREÑO, et al. (2005). Influencia de la Estratigrafía y estructura geológica en el flujo de agua subterránea del Valle de Querétaro. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, V. 22, Número 1. México D.F.

DE ARAÚJO ,C, Yamamoto J, Madrucci V. (2003). Análise Morfoestrutural Em Área De Ocorrência De Arenito Asfáltico, Bacia Do Paraná, São Paulo, *Revista do Instituto Geológico.* 24(1/2), 25-41. São Paulo.

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

ESTRADA, A. (1972). Geology and plate tectonics history of the Colombian Andes. M.Sc. Thesis (inérita), Stanford University, 115 p. Stanford.

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.

GARCIA, C. (1997). Manual de laboratorio de Petrología Metamórfica. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga

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. Bucaramanga

GARCIA, C. Y 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, 191p. Bucaramanga.

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

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, L. Y SANTANA, H. (1995). Geología, geomorfología y geoquímica de los procesos de inestabilidad de la zona del Tembladal, municipio de Tona, Santander. universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

GONZALEZ, G Y QUINTERO, M. (1990). Patrones De Fracturamiento Asociado A La Falla De Bucaramanga Sector Piedecuesta-Río Surata. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

GONZÁLEZ, H., NÚÑEZ, A. Y PARÍS, G. (1988). Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:1'500.000. Ingeominas. Memoria Explicativa, 71 p. Bogotá.

GUZMAN, J. ANAYA, A. NIÑO, E. GOMEZ, S Y COLEGIAL, J. (2005). Cuenca Experimental De Río Sucio, Municipio de Tona Santander. GPH, amb, COLCIENCIAS. Bucaramanga.

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

ISAZA, O. (2004). Estimación de la recarga mensual en la cuenca del río de Oro por medio de un modelo geológico distribuido. Universidad Industrial de Santander. pp 5 – 12. Bucaramanga.

JORDAN, G., MEIJNINGER B., VAN HINSBERGEN, D., MEULENKAMP, J., VAN DIJK. (2005). Extraction of morphotectonics features from DEM's: Development and applications for study areas in Hungary and NW Greece. *International journal of applied earth observations and geoinformation*. V 6: pp 163 – 182. Issue 3. Holanda.

KIRSCHBAUM AI, Martínez E, Pettinari G, Herrero S. (2005). Weathering profiles in granites, Sierra Norte (Córdoba, Argentina), *Journal of South American Earth Sciences* 19 479–493.

KRÁSNÝ J. (2002). Distribución Espacial De Los Parámetros Hidráulicos En Medios Hidrogeológicos Diferentes, *Groundwater and human development*.

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.

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.

MOJICA, J. Y HERRERA, A. (1986). Estratigrafía, facies y direcciones de aporte de la Formación Luisa en la región de Rovira, Tolima. Universidad Nacional de Colombia. *Geología Colombiana*, (15): 65-80. Bogotá.

MONTAÑO J, DA ROSA F Y Hindi E. (2002). Evaluación De La Vulnerabilidad En Sistemas Fisurados, Revista Latino-Americana de Hidrogeología, n.2, p. 53-62.

OROZCO, L. (2004). Propuesta de definición de provincias sismotectónicas y modelo de bloques de deformación actual para Colombia. INGEOMINAS. pp 30 – 46. Bogotá.

QUINTERO, O. (2002). Análisis estructural de fallas potencialmente activas. Boletín de la sociedad geológica mexicana, tomo IV, núm. 1, p. 1-11. Universidad autónoma de México. México D.F.

ROJAS, N Y ULLOA, A. (2005) Cartografía geológica y caracterización estructural de la subcuenca de la quebrada de Río Sucio, municipio de Tona, Santander, orientada a definir un modelo hidrogeológico conceptual. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

ROSELLO, E. Sistemas tectónicos transcurrentes: una síntesis de sus condiciones mecánicas y aplicaciones geoeconómicas. Asociación geológica Argentina, serie D. publicación especial (5). pp 2 – 25. Buenos Aires.

ROSSELLO, E., NEVISTIC, V. La sintaxis tectónica neógena de las cordilleras oriental y Santander: aportes de modelos analógicos y controles regionales sobre los sistemas petroleros. Convención técnica de la ACGGP (3). Bogotá

ROYERO, J Y CLAVIJO, J (2001). Mapa Geológico Generalizado Departamento De Santander, Memoria Explicativa, Escala 1:100.000. Instituto De Investigación E Información Geocientífica, Minero-Ambiental Y Nuclear. Ingeominas, República De Colombia.

TAKASHI HIRUMA, S., RICCOMINI, C., MODENESI-GAUTTIERI, M. (2001). Neotectônica no planalto de campos do jrdão, sp. Revista Brasileira de Geociências. V 31. pp 376 – 386. Sao Paulo.

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

TOUSSAINT, J., RESTREPO, 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.

TOUSSAINT, J. (1999). Evolución geológica de Colombia. Universidad nacional de Colombia. Medellín.

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.

———. (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.

Páginas web

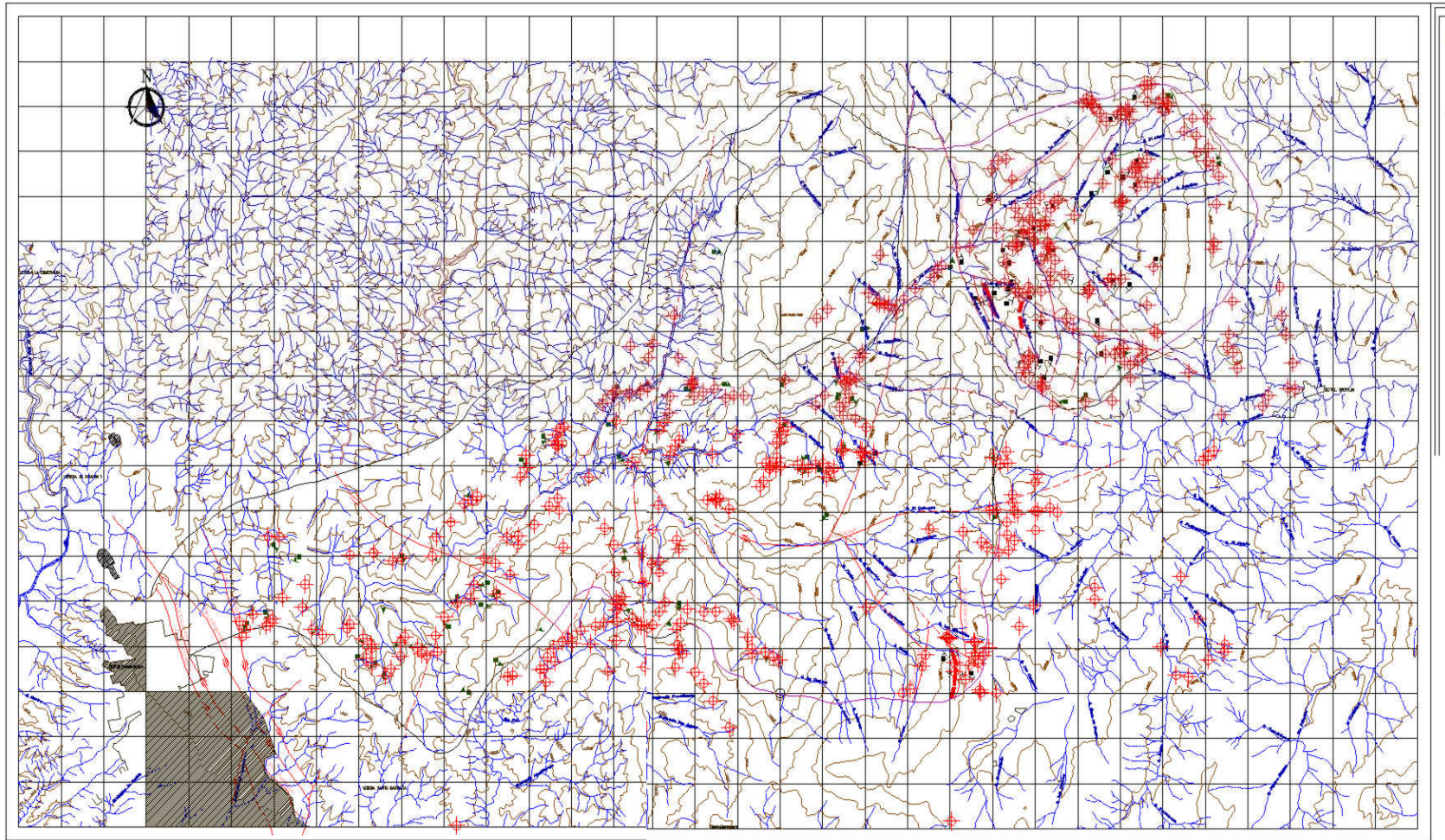
www.ideam.gov.co

www.ingeminas.gov.co

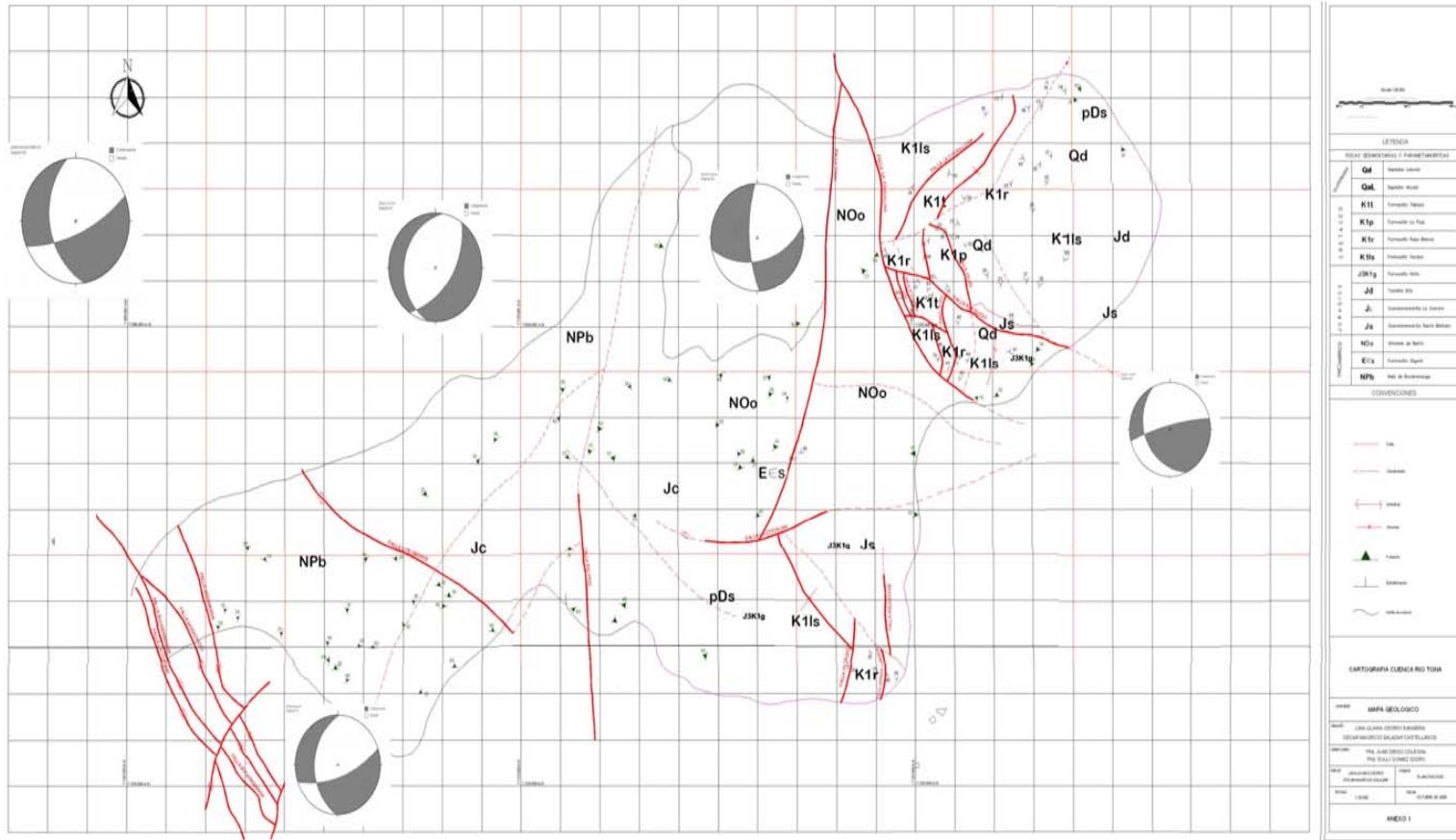
www.uclm.es/user/higuera/yym/arcillas/htm

ANEXOS

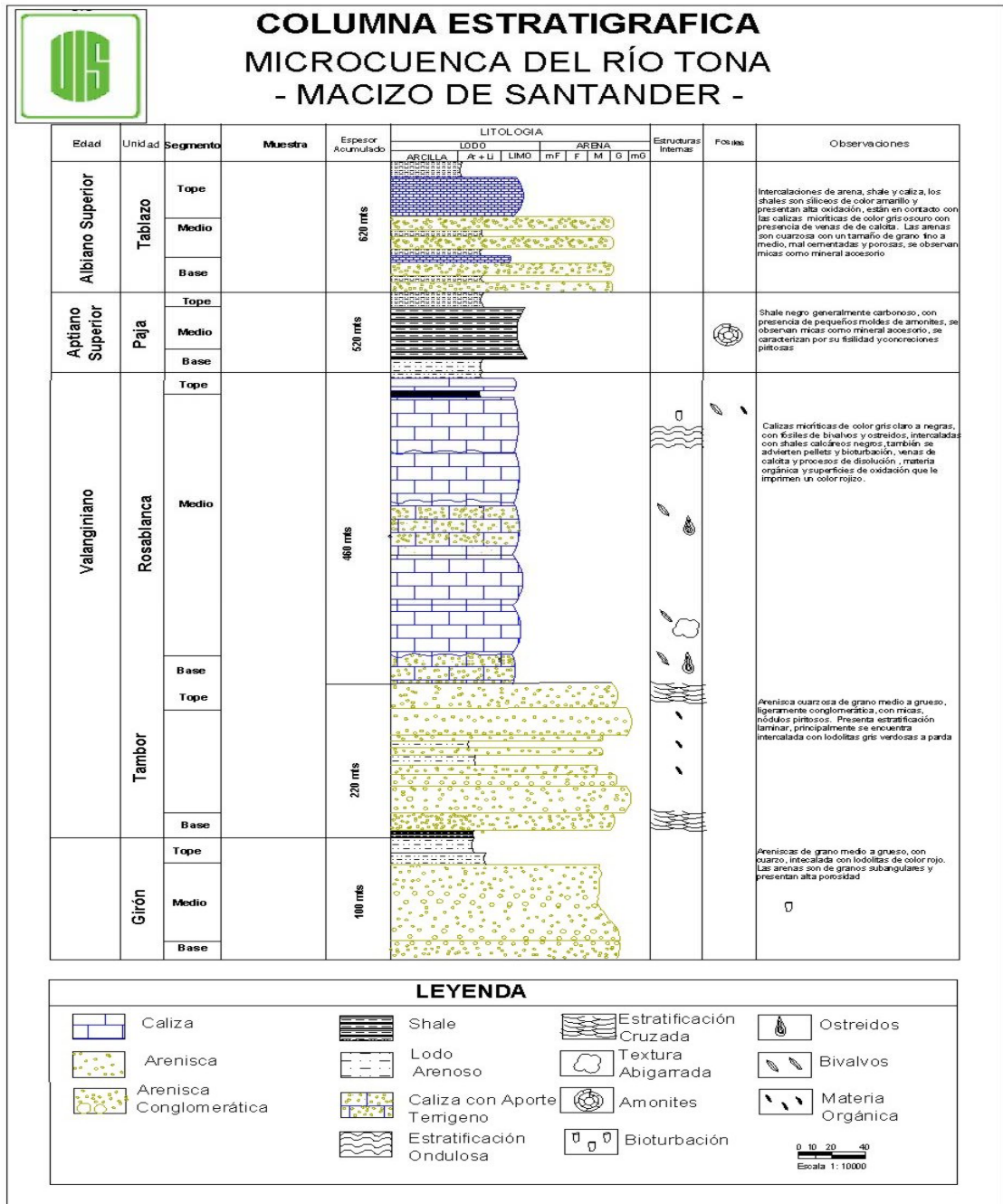
Anexo A. Mapa de Estaciones a Escala 1:25000



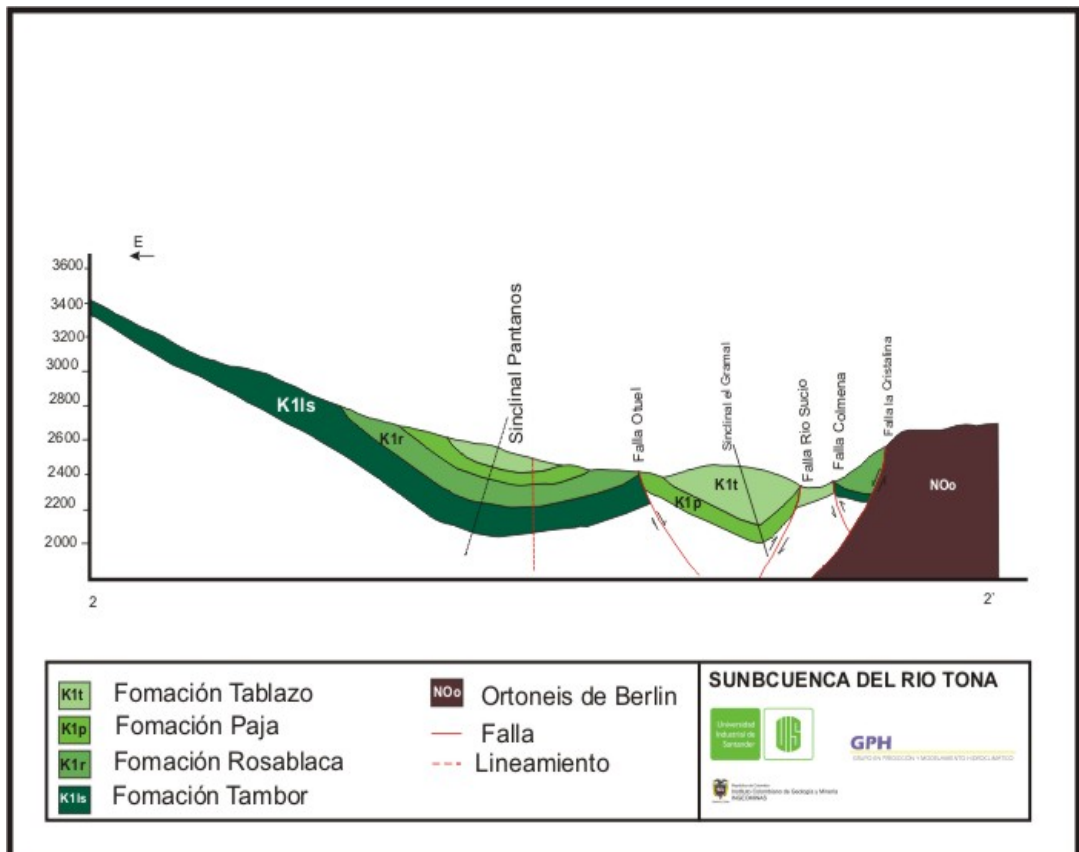
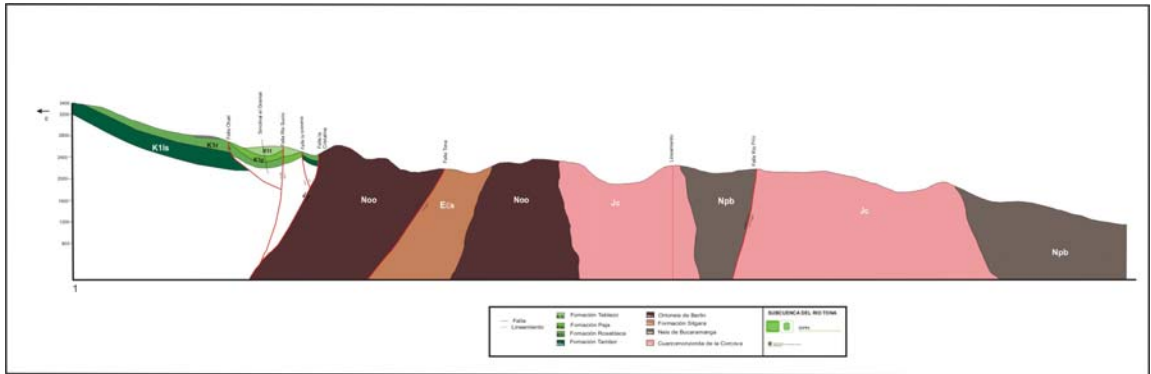
Anexo C. Mapa Estructural a Escala 1:25000

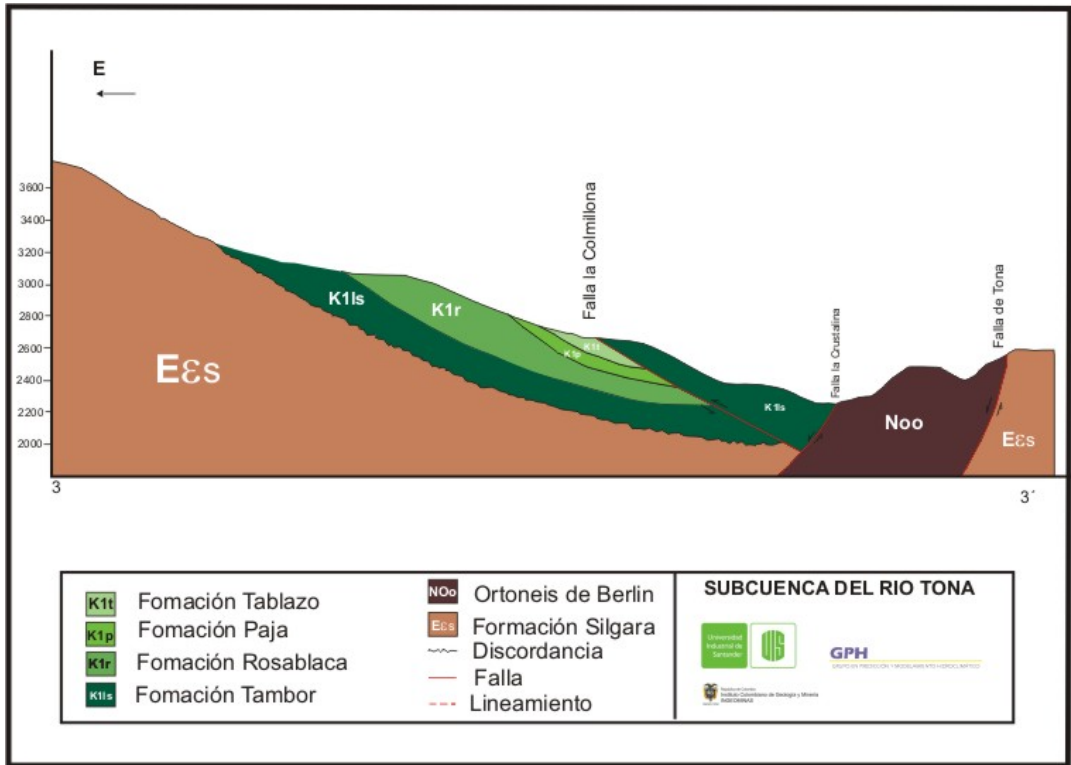
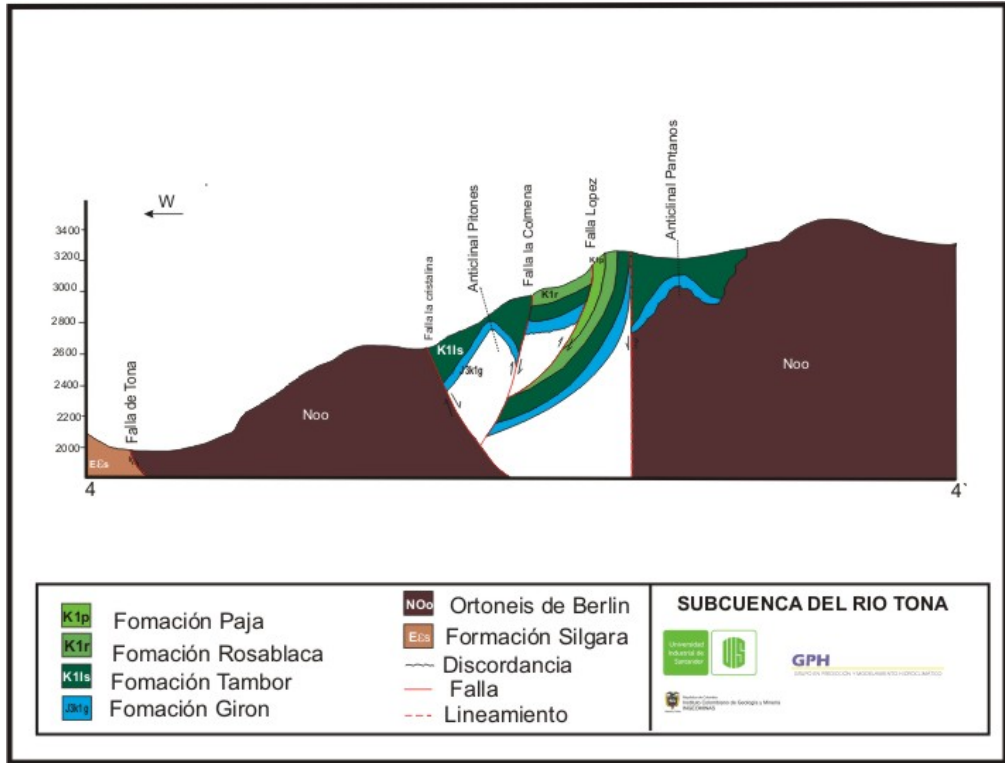


Anexo E. Columna litoestratigráfica a escala 1:500



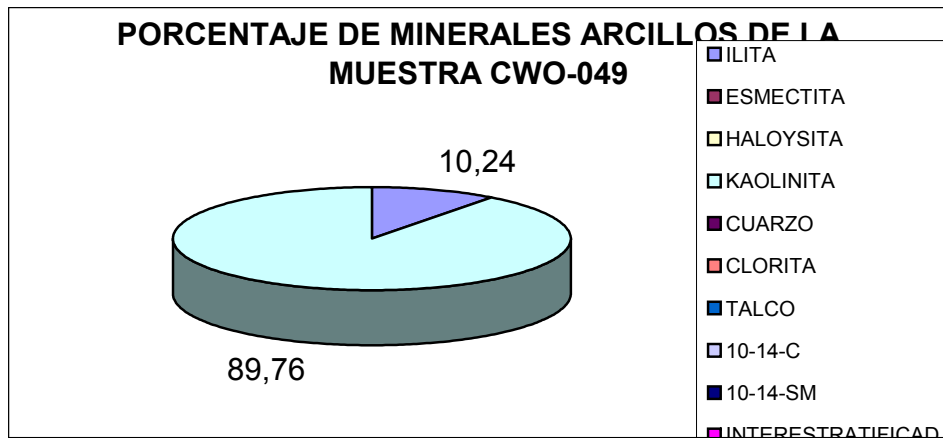
Anexo F. Cortes Geológicos



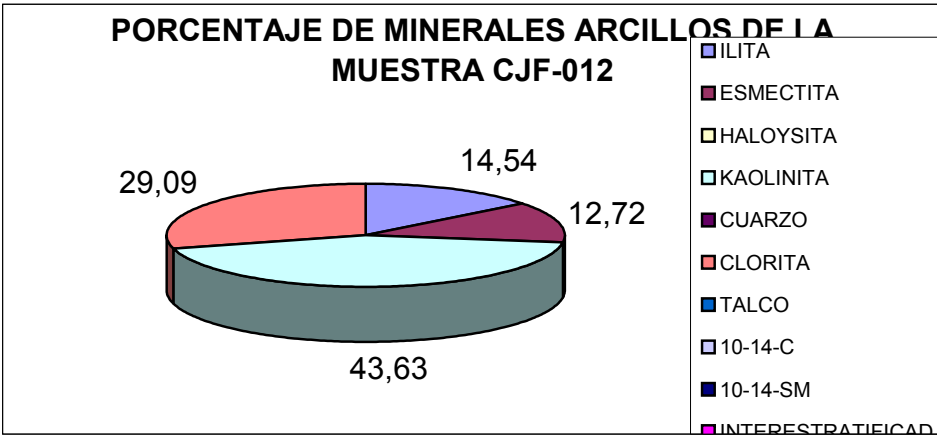


Anexo G. Difractogramas

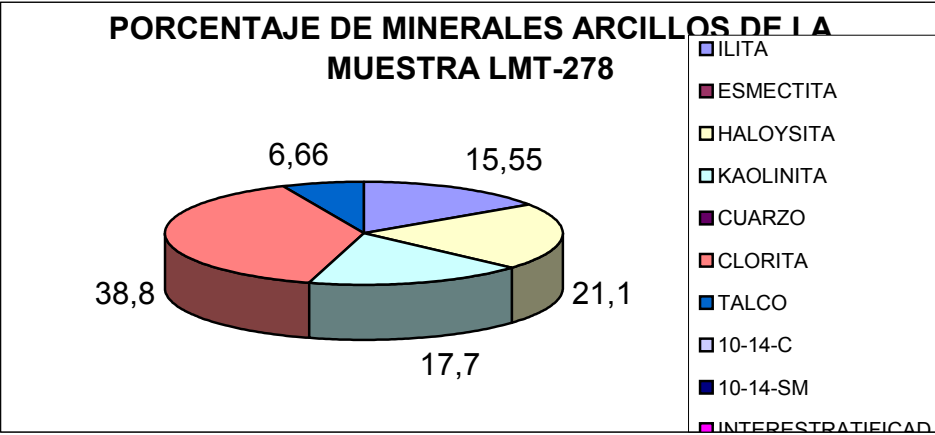
FORMATO DESCRIPCIÓN DE MINERALES ARCILLOSOS "ZONA MACIZO DE SANTANDER"		
ILITA	10,24	%
ESMECTITA		%
HALOYSITA		%
KAOLINITA	89,76	%
CUARZO		%
CLORITA		%
TALCO		%
10-14-C		%
10-14-SM		%
INTERESTRATIFICADO		%
SM-ALUMINICA		%
		%
Observaciones		
Número de muestra:	CWO-049	
Ubicación de la Muestra	Plancha 110-III-A, Coordenadas X:1125599 Y:1290535	
Formacion	Unidad Formación Tablazo	
Altura	2300 m.s.n.m aproximadamente	
Descripción de la muestra de mano	Shales con un alto grado de fisilidad, color café claro	



FORMATO DESCRIPCIÓN DE MINERALES ARCILLOSOS "ZONA MACIZO DE SANTANDER"

ILITA	14,54 %	<p align="center">PORCENTAJE DE MINERALES ARCILLOSOS DE LA MUESTRA CJF-012</p> 
ESMECTITA	12,72 %	
HALOYSITA	%	
KAOLINITA	43,63 %	
CUARZO	%	
CLORITA	29,09 %	
TALCO	%	
10-14-C	%	
10-14-SM	%	
INTERESTRATIFICADO	%	
SM-ALUMINICA	%	
	%	
Observaciones		
Número de muestra:	CJF-012	
Ubicación de la Muestra	Plancha 110-III-C, Coordenadas X:1130649 Y: 1287533	
Formacion	Unidad Metamorfica Ortoneis de Berlín	
Altura	3366 m.s.n.m aproximadamente	
Descripción de la muestra de mano	Materia orgánica 40%, arcilla 30%, Arenas 20%, otros 10%, Suelo de grano muy fino, abundante materia orgánica,	

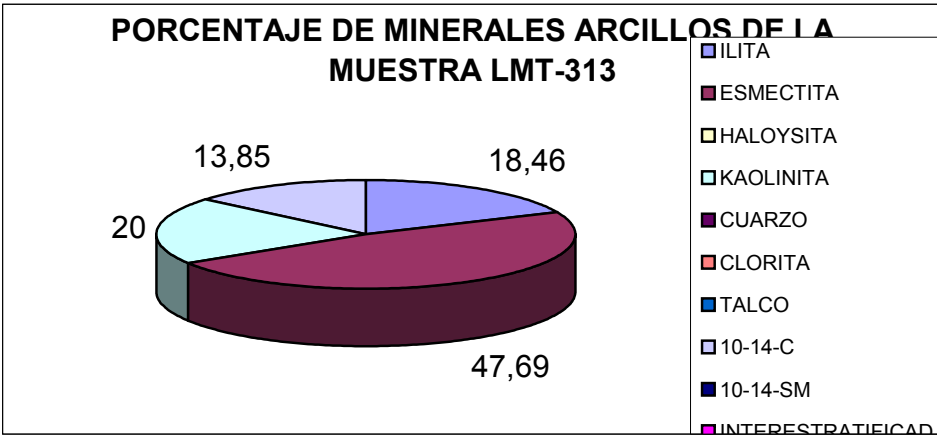
FORMATO DESCRIPCIÓN DE MINERALES ARCILLOSOS "ZONA MACIZO DE SANTANDER"

ILITA	15,55 %	<p align="center">PORCENTAJE DE MINERALES ARCILLOSOS DE LA MUESTRA LMT-278</p> 
ESMECTITA	%	
HALOYSITA	21,1 %	
KAOLINITA	17,7 %	
CUARZO	%	
CLORITA	38,8 %	
TALCO	6,66 %	
10-14-C	%	
10-14-SM	%	
INTERESTRATIFICADO	%	
SM-ALUMINICA	%	
	%	
Observaciones		
Número de muestra:	LMT-278	
Ubicación de la Muestra	Plancha 109-IV-D, Coordenadas X: 1119668 Y:1285099	
Formacion	Unidad Metamorfica Esquistos del Silgará.	
Altura	1919 m.s.n.m aproximadamente	
Descripción de la muestra de mano	Cuarzo 30%, Feldespato 20%, Moscovita 5%, Biotita 15%, Líticos 30%, Color terracota	

FORMATO DESCRIPCIÓN DE MINERALES ARCILLOSOS "ZONA MACIZO DE SANTANDER"

ILITA	16,93 %	<p align="center">PORCENTAJE DE MINERALES ARCILLOSOS DE LA MUESTRA CJF-018</p> <p>Legend:</p> <ul style="list-style-type: none"> ILITA ESMECTITA HALOYSITA KAOLINITA CUARZO CLORITA TALCO 10-14-C 10-14-SM INTERESTRATIFICADO
ESMECTITA	31,51 %	
HALOYSITA	22,88 %	
KAOLINITA	24,58 %	
CUARZO	%	
CLORITA	16,93 %	
TALCO	%	
10-14-C	%	
10-14-SM	%	
INTERESTRATIFICADO	%	
SM-ALUMINICA	%	
	%	
Observaciones		
Número de muestra:	CJF-018	
Ubicación de la Muestra	Plancha 110-III-C, Coordenadas X:1125338 Y: 1283507	
Formacion	Unidad Metamorfica Ortoenis de Berlín	
Altura	3487 m.s.n.m aproximadamente	
Descripción de la muestra de mano	Cuarzo 30%, Feldespato 20%, Plagioclasa 25%, Biotita 25%. Suelo de tamaño de grano fino a muy fino	

FORMATO DESCRIPCIÓN DE MINERALES ARCILLOSOS "ZONA MACIZO DE SANTANDER"

ILITA	18,46 %	<p align="center">PORCENTAJE DE MINERALES ARCILLOSOS DE LA MUESTRA LMT-313</p> 
ESMECTITA	47,69 %	
HALOYSITA	%	
KAOLINITA	20 %	
CUARZO	%	
CLORITA	%	
TALCO	%	
10-14-C	13,85 %	
10-14-SM	%	
INTERESTRATIFICADO	%	
SM-ALUMINICA	%	
	%	
Observaciones		
Número de muestra:	LMT-313	
Ubicación de la Muestra	Plancha 109 IV - D Coordenadas X:1118486 Y:1281811	
Formacion	Unidad Cuarzomonzonita de la Corcova	
Altura	2280 m.s.n.m aproximadamente	
Descripción de la muestra de mano	Cuarzo 50%, Feldespato 35%, Biotita 5%, Moscovita 5%, Lioticos 5%, de color beige	

FORMATO DESCRIPCIÓN DE MINERALES ARCILLOSOS "ZONA MACIZO DE SANTANDER"

ILITA	20,55 %	<p align="center">PORCENTAJE DE MINERALES ARCILLOSOS DE LA MUESTRA CWO-068</p> <p align="center"> ■ ILITA ■ ESMECTITA ■ HALOYSITA ■ KAOLINITA ■ CUARZO ■ CLORITA ■ TALCO ■ 10-14-C ■ 10-14-SM ■ INTERESTRATIFICADO </p>
ESMECTITA	23,29 %	
HALOYSITA	%	
KAOLINITA	27,4 %	
CUARZO	%	
CLORITA	%	
TALCO	%	
10-14-C	28,76 %	
10-14-SM	%	
INTERESTRATIFICADO	%	
SM-ALUMINICA	%	
	%	
Observaciones		
Número de muestra:	CWO-068	
Ubicación de la Muestra	Plancha 109-IV-D, Coordenadas X:1116798 Y:1282429	
Formacion	Unidad Metamorfica del Neis de Bucaramanga	
Altura	2300 m.s.n.m aproximadamente	
Descripción de la muestra de mano	granos de tamaño arena media, limo y arcilla, color café oscuro, Cuarzo 30%, finos 60%, líticos 5%, micas 5%.	

FORMATO DESCRIPCIÓN DE MINERALES ARCILLOSOS "ZONA MACIZO DE SANTANDER"

ILITA	53,32 %	<p align="center">PORCENTAJE DE MINERALES ARCILLOSOS DE LA MUESTRA LMT-292</p>
ESMECTITA	%	
HALOYSITA	%	
KAOLINITA	46,67 %	
CUARZO	%	
CLORITA	%	
TALCO	%	
10-14-C	%	
10-14-SM	%	
INTERESTRATIFICADO	%	
SM-ALUMINICA	%	
	%	
Observaciones		
Número de muestra:	LMT-292	
Ubicación de la Muestra	Plancha 109-IV - D, Coordenadas X:1117879 Y:1286809	
Formacion	Unidad Metamorfica del Neis de Bucaramanga	
Altura	1848 m.s.n.m aproximadamente	
Descripción de la muestra de mano	Cuarzo 35%, Plagioclasa 12%, Anfibolita 25%, Biotita 15%, Moscovita 3% Líticos 10%, De color verde	

FORMATO DESCRIPCIÓN DE MINERALES ARCILLOSOS "ZONA MACIZO DE SANTANDER"

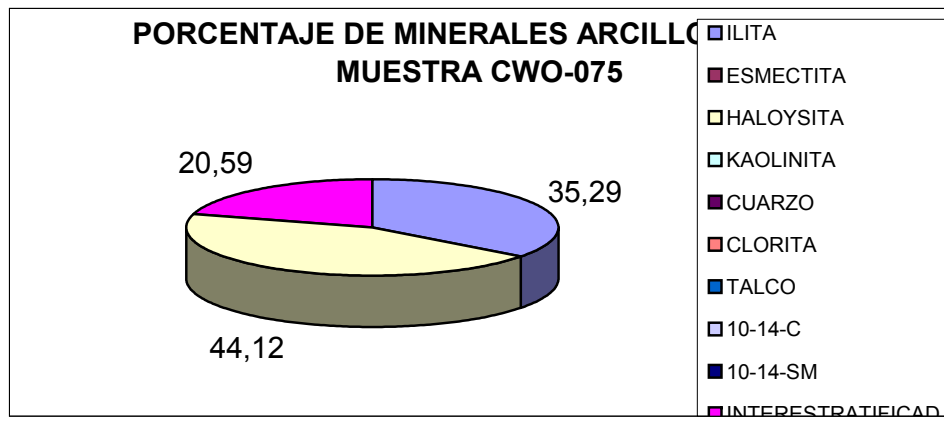
ILITA	8,85 %	<p align="center">PORCENTAJE DE MINERALES ARCILLOSOS DE LA MUESTRA LMT-294</p> <p align="center"> ■ ILITA ■ ESMECTITA ■ HALOYSITA ■ KAOLINITA ■ CUARZO ■ CLORITA ■ TALCO ■ 10-14-C ■ 10-14-SM ■ INTERESTRATIFICADO </p>
ESMECTITA	70,8 %	
HALOYSITA	%	
KAOLINITA	10,62 %	
CUARZO	%	
CLORITA	%	
TALCO	%	
10-14-C	9,73 %	
10-14-SM	%	
INTERESTRATIFICADO	%	
SM-ALUMINICA	%	
	%	
Observaciones		
Número de muestra:	LMT-294	
Ubicación de la Muestra	Plancha 109-IV D, Coordenadas X:1116355 Y:1286623	
Formacion	Unidad Metamorfica del Neis de Bucaramanga	
Altura	1604 m.s.n.m aproximadamente	
Descripción de la muestra de mano	Cuarzo 40%, Feldespato 15%, Biotita 15%, Liticos 30%, color café amarillento	

FORMATO DESCRIPCIÓN DE MINERALES ARCILLOSOS "ZONA MACIZO DE SANTANDER"

ILITA	35	%	<p align="center">PORCENTAJE DE MINERALES ARCILLO MUESTRA CJF-002</p> <p align="center"> ■ ILITA ■ ESMECTITA ■ HALOYSITA ■ KAOLINITA ■ CUARZO ■ CLORITA ■ TALCO ■ 10-14-C ■ 10-14-SM ■ INTERESTRATIFICADA </p>
ESMECTITA	5	%	
HALOYSITA	30	%	
KAOLINITA	18,33	%	
CUARZO		%	
CLORITA		%	
TALCO		%	
10-14-C		%	
10-14-SM		%	
INTERESTRATIFICADA	1,67	%	
SM-ALUMINICA		%	
		%	
Observaciones			
Número de muestra:	CJF-002		
Ubicación de la Muestra	Plancha 110-III-C, Coordenadas X:1131795 Y:1288350		
Formación	Unidad Cuarzomonzonita de Santa Barbara		
Altura	3300 m.s.n.m aproximadamente		
Descripción de la muestra de mano	Cuarzo 30%, Plagioclasa 40%, Moscovita 10%, Biotita 10%, Caolín 10%, Sedimento Arenoso de color pardo blanquizco		

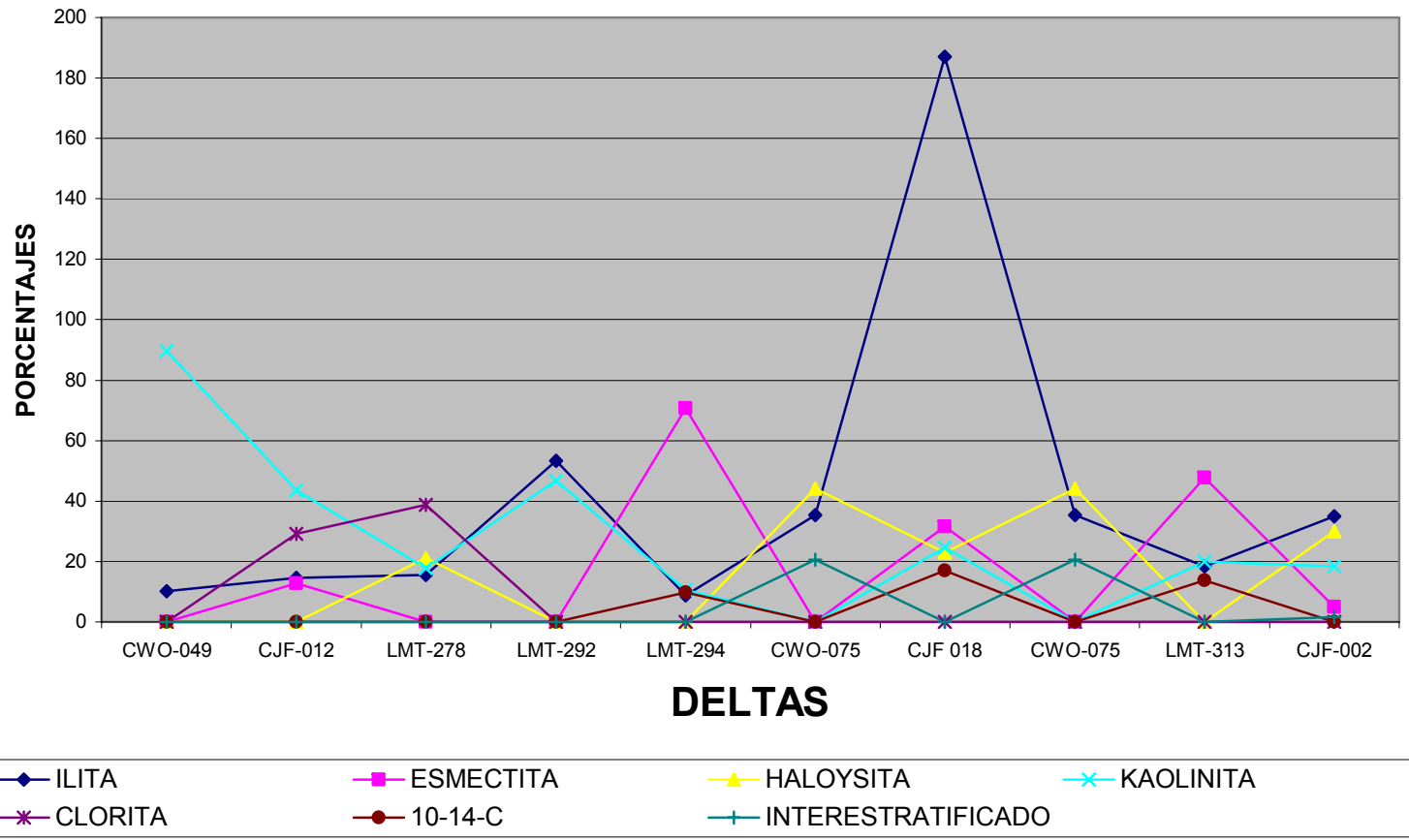
FORMATO DESCRIPCIÓN DE MINERALES ARCILLOSOS "ZONA MACIZO DE SANTANDER"

ILITA	35,29	%
ESMECTITA		%
HALOYSITA	44,12	%
KAOLINITA		%
CUARZO		%
CLORITA		%
TALCO		%
10-14-C		%
10-14-SM		%
INTERESTRATIGRÁFICA	20,59	%
SM-ALUMINICA		%
		%



Observaciones	
Número de muestra:	CWO-075
Ubicación de la Muestra	Plancha 109-IV-D, Coordenadas X:1114727 Y:1285822
Formación	Unidad Metamórfica del Neis de Bucaramanga
Altura	2300 m.s.n.m aproximadamente
Descripción de la muestra de mano	Desarrollo de suelo residual arenoso-gravoso, consolidado, de color amarillo-naranja

CONTRASTE MINERALOGICO



Anexo H. Datos diaclasas y Estrías

Zona 1				
Coordenada x	Coordenada y	direccion	inclinacion	dir_inclinac
1122713	1288474	215	85	305
1122899	1288701	285	15	15
1122442	1288595	202	44	292
1122442	1288595	284	84	14
1128063	1290928	272	85	362
1128063	1290928	25	66	115
1130064	1292077	110	50	200
1130064	1292077	240	45	330
1130030	1291786	155	53	245
1130030	1291786	95	78	185
1130180	1291672	170	40	260
1130180	1291672	275	55	5
1130180	1291672	155	50	245
1130203	1289978	265	85	355
1130203	1289978	10	75	100
1130203	1289978	280	85	10
1130203	1289978	15	65	105
1130043	1292727	253	30	343
1129782	1292344	54	70	144
1129782	1292344	343	60	63
1129782	1292344	111	10	201
1128905	1293062	351	60	81
1128905	1293062	310	82	40
1127218	1288842	132	42	222
1127788	1289171	108	12	198
1128112	1292897	126	43	216
1128112	1292897	139	50	229
1128112	1292897	50	47	140
1127932	1292825	50	42	140
1127932	1292825	358	56	88
1127115	1293074	174	60	264
1127115	1293074	31	40	121
1127115	1293074	289	81	29
1127313	1293141	35	36	125
1127313	1293141	281	80	11
1127518	1292856	42	56	132
1127518	1292856	309	80	39
1128431	1291763	76	48	186
1128431	1291763	185	62	275

1125953	1290007	20	65	110
1125953	1290007	255	55	345
1125953	1290007	280	75	10
1125953	1290007	45	60	135
1126337	1289883	95	75	185
1126356	1289317	315	55	45
1126356	1289317	250	75	340
1126356	1289317	280	55	10
1126409	1286352	340	60	70
1126409	1286352	15	70	105
1126409	1286352	335	75	65
1126167	1286736	35	30	125
1126167	1286736	160	75	250
1126167	1286736	95	89	185
1126167	1286736	310	45	40
1125882	1288880	190	88	280
1125882	1288880	89	77	179
1125607	1288855	40	65	130
1125607	1288855	315	53	45
1125607	1288855	52	45	142
1126356	1289318	261	37	351
1126356	1289318	310	80	40
1130560	1287934	15	4	105
1130560	1287934	95	55	185
1130560	1287934	160	50	250
1130560	1287934	50	55	140
1130194	1285370	2	86	92
1130194	1285370	155	87	245
1130194	1285370	230	60	320
1128243	1286959	130	75	220
1128243	1286959	155	88	245
1128243	1286959	12	54	102
1127805	1286454	243	69	333
1127805	1286454	225	47	315
1127805	1286454	285	75	15
1127805	1286454	25	46	115
1127178	1286436	125	58	215
1127178	1286436	32	76	122
1130810	1284990	145	34	235
1128407	1287337	44	57	134
1128407	1287337	75	85	165
1128407	1287337	152	30	242
1128407	1287337	191	62	181

Zona 2				
1122713	1288474	215	85	305
1120165	1285860	185	70	275
1120165	1285860	70	75	160
1120165	1285860	45	30	135
1120165	1285860	350	85	80
1119523	1284576	150	85	240
1119523	1284576	70	72	160
1119523	1284576	50	20	140
1120029	1285688	310	30	40
1120029	1285688	230	55	320
1120029	1285688	130	75	220
1121883	1285345	315	75	45
1121883	1285345	80	70	170
1121883	1285345	60	72	150
1121883	1285345	10	48	100
1122899	1288701	285	15	15
1121918	1287521	285	15	15
1120071	1286931	47	68	137
1120071	1286931	78	66	168
1120071	1286931	135	58	225
1120252	1286843	30	74	120
1122442	1288595	202	44	292
1122442	1288595	284	84	14
1121798	1286954	186	60	276
1121798	1286954	112	12	202
1121637	1287001	100	56	190
1121637	1287001	203	40	193
1121553	1286873	332	62	62
1121553	1286873	55	70	145
1121553	1286873	170	71	260
1121400	1286314	36	40	126
1121400	1286314	69	55	159
1121400	1286314	341	60	71
1121040	1286582	169	50	159
1121040	1286582	70	86	160
1121040	1286582	171	71	261
1121040	1286582	242	41	332
1121040	1286582	221	35	211
1120834	1286351	85	42	175
1120834	1286351	172	34	262
1120834	1286351	33	36	123
1120834	1286351	285	60	25
1120000	1286000	174	75	264
1120000	1286000	310	82	40
1120000	1286000	230	35	320
1120000	1286000	65	42	155
1121472	1285375	6	28	96
1121472	1285375	52	63	142
1121472	1285375	115	77	205
1120013	1285026	282	69	12
1120013	1285026	11	58	101
1120013	1285026	151	30	241
1120013	1285026	198	54	288
1119915	1285530	225	32	315
1119915	1285530	343	75	73
1119915	1285530	41	82	131
1120118	1286925	135	50	225
1120118	1286925	230	46	320
1120118	1286925	24	64	114

1119247	1281235	35	78	125
1119247	1281235	130	71	220
1119247	1281235	306	30	36
1119247	1281235	141	26	231
1119328	1280865	316	54	46
1119328	1280865	218	81	308
1119328	1280865	150	34	240
1119328	1280865	166	59	256

Zona 3				
Coordenada x	Coordenada y	direccion	inclinacion	dir_inclinac
1117847	1286905	135	70	225
1117847	1286905	20	60	110
1117847	1286905	255	35	345
1117847	1286905	190	70	280
1117823	1286827	145	35	235
1117823	1286827	80	60	170
1117823	1286827	50	88	140
1118445	1286721	45	82	135
1118901	1286579	295	13	25
1118901	1286579	160	45	250
1118901	1286579	45	72	135
1118901	1286579	160	35	250
1115950	1286599	265	65	355
1115950	1286599	198	50	288
1115950	1286599	110	60	200
1115950	1286599	194	40	284
1117310	1286558	72	78	162
1117310	1286558	65	34	155
1117176	1285963	123	68	213
1117176	1285963	205	52	295
1117176	1285963	250	52	340
1117176	1285963	100	62	190
1117531	1285563	155	76	245
1117531	1285563	250	75	340
1117531	1285563	192	89	282
1117531	1285563	160	38	250
1117531	1285563	20	12	110
1117531	1285563	80	85	170
1116804	1287419	238	46	328
1116913	1287732	315	82	45
1116913	1287732	19	60	109
1117514	1287416	142	55	232
1117522	1285477	95	57	185
1118404	1285304	174	62	264
1118404	1285304	310	48	40
1118404	1285304	230	79	320
1118404	1285304	65	48	155
1116782	1286738	245	84	335
1116782	1286738	180	87	270
1116042	1286668	30	60	120
1116042	1286668	292	78	22
1116042	1286668	44	57	134
1114638	1285688	70	40	160
1114638	1285688	275	44	5

1116146	1281924	240	80	330
1116146	1281924	150	42	240
1116146	1281924	345	60	75
1116146	1281924	175	50	265
1116629	1281461	140	62	230
1116629	1281461	140	70	230
1116629	1281461	255	72	345
1116629	1281461	345	65	75
1116629	1281461	85	64	175
1117002	1281515	215	88	305
1117002	1281515	75	30	165
1117002	1281515	300	60	30
1117298	1282018	45	65	135
1117298	1282018	85	55	175
1117162	1282670	125	40	215
1117162	1282670	355	50	85
1117162	1282670	222	86	312
1116436	1281616	350	45	80
1116436	1281616	250	70	340
1116436	1281616	155	85	245
1116436	1281616	180	40	270
1116436	1281616	58	70	148
1115561	1281445	150	55	240
1115561	1281445	15	35	105
1115561	1281445	35	79	125
1115561	1281445	245	70	335
1115019	1281069	30	70	120
1115019	1281069	275	70	365
1114923	1281196	35	89	125
1114923	1281196	88	57	178
1114923	1281196	267	85	357
1114923	1281196	110	62	200
1117165	1282924	305	14	35
1117165	1282924	100	79	190
1117165	1282924	190	35	280
1116967	1282864	240	85	330
1116967	1282864	10	60	100
1116967	1282864	100	40	190
1116967	1282864	285	42	15
1116967	1282864	185	89	275
1116798	1282429	15	52	105
1116997	1283629	17	73	107
1116997	1283629	265	45	355
1116997	1283629	117	50	207
1117135	1284172	333	35	63
1117135	1284172	305	73	35
1117135	1284172	76	22	166
1117135	1284172	75	74	165
1117135	1284172	140	87	230
1116416	1285081	125	50	215
1116416	1285081	85	45	175
1116416	1285081	155	30	245
1115399	1284744	26	47	116
1115399	1284744	124	50	214
1115399	1284744	327	61	57
1115399	1284744	265	38	355
1115399	1284744	240	35	330
1114701	1284014	172	31	262
1114701	1284014	340	54	70
1114701	1284014	210	52	300
1114701	1284014	42	60	132
1113736	1283244	92	62	182
1113736	1283244	172	71	162
1113736	1283244	100	56	190
1113736	1283244	152	49	142
1113736	1283244	328	62	58
1115764	1281532	27	50	117
1115764	1281532	76	87	166
1115764	1281532	342	54	72
1115764	1281532	352	60	82
1116020	1282642	195	23	285
1116020	1282642	208	44	298
1116020	1282642	35	75	125
1115998	1283252	185	40	275

1118798	1284081	155	53	245
1118798	1284081	340	64	70
1118798	1284081	55	80	145
1117002	1281515	215	88	305
1117002	1281515	75	30	165
1117002	1281515	300	60	30
1117298	1282018	45	65	135
1117298	1282018	85	55	175
1117592	1281070	240	75	330
1117592	1281070	185	75	275
1117592	1281070	350	75	80
1118204	1281808	210	75	300
1118204	1281808	96	24	186
1118204	1281808	320	64	50
1118204	1281808	121	87	211
1118854	1281645	350	84	80
1118854	1281645	96	54	186
1118854	1281645	18	52	108
1118854	1281645	304	36	34
1112663	1284238	208	62	298
1112663	1284238	85	67	175
1112470	1284163	24	77	114
1112470	1284163	213	70	303
1112470	1284163	147	84	237
1112164	1283748	40	84	130
1112164	1283748	356	72	86
1112164	1283748	264	60	354
1112164	1283748	130	81	220
1111820	1283421	178	74	268
1111820	1283421	194	74	284
1111820	1283421	340	55	70
1111003	1282966	66	62	156
1111003	1282966	129	86	219

Zona 4				
Coordenada x	Coordenada y	direccion	inclinacion	dir_inclinac
1109786	1283020	162	54	252
1109786	1283020	90	64	180
1110000	1282970	92	49	180
1110000	1282970	12	57	102
1110000	1282970	135	50	225
1110342	1283071	80	60	170
1110342	1283071	320	74	50
1110342	1283071	110	62	200
1110787	1282890	50	68	140
1110787	1282890	80	89	170
1110787	1282890	136	50	226
1110337	1283076	305	76	35
1110337	1283076	70	42	160
1110337	1283076	97	50	187
1110337	1283076	162	66	252
1107822	1281456	70	87	160
1107822	1281456	222	50	312
1107913	1281524	156	30	246
1107913	1281524	354	62	84
1107913	1281524	35	38	125
1107913	1281524	141	64	231
1107913	1281524	160	54	250
1107961	1281610	100	32	190
1107961	1281610	314	85	44
1107961	1281610	320	84	50
1107961	1281610	90	62	180
1107961	1281610	308	60	38
1108204	1282080	85	54	175
1108204	1282080	180	41	270
1108204	1282080	300	48	30
1108204	1282080	230	35	320
1108204	1282080	220	32	310
1108204	1282080	60	50	150
1108731	1282375	30	36	120
1108731	1282375	290	45	20
1108731	1282375	255	60	345
1108731	1282375	57	35	147
1108731	1282375	140	62	230
1108674	1281862	127	52	217
1108674	1281862	74	51	164
1108674	1281862	110	12	200
1108674	1281862	320	82	50
1108674	1281862	165	75	255
1108892	1281371	200	63	290
1108892	1281371	280	80	10
1108892	1281371	75	84	165
1108892	1281371	48	57	138
1109146	1281262	118	15	208
1109146	1281262	335	64	65
1109146	1281262	220	32	310
1109146	1281262	80	42	170
1109715	1281393	292	57	22
1109715	1281393	28	54	118
1109715	1281393	95	64	185
1109715	1281393	275	54	5
1109785	1281490	335	36	65
1109785	1281490	350	60	80

1109785	1281490	120	50	210
1109785	1281490	42	56	132
1109785	1281490	230	35	320
1110092	1281175	145	50	235
1110092	1281175	200	41	290
1110092	1281175	20	49	110
1110092	1281175	230	35	320
1110092	1281175	125	51	215
1110092	1281175	10	48	90
1110284	1281041	305	39	35
1110284	1281041	142	47	232
1110284	1281041	95	60	185
1110284	1281041	138	59	228
1110284	1281041	190	65	280
1110284	1281041	35	42	125
1110284	1281041	290	47	20
1110297	1280957	240	46	330
1110297	1280957	225	30	315
1110297	1280957	80	48	170
1110297	1280957	170	71	260
1110169	1280737	132	50	222
1110169	1280737	333	67	63
1110169	1280737	232	38	322
1110169	1280737	39	37	129
1110169	1280737	32	36	122
1110169	1280737	343	59	73
1110169	1280737	110	50	200
1110169	1280737	50	64	140
1110307	1280579	350	59	80
1110307	1280579	270	64	360
1110307	1280579	230	62	320
1110307	1280579	195	62	285
1110307	1280579	133	50	223
1110307	1280579	70	82	160
1110624	1280355	350	57	80
1110624	1280355	235	60	325
1110624	1280355	165	69	255
1110750	1280498	2	57	92
1110750	1280498	30	36	120
1110750	1280498	181	62	211
1110750	1280498	320	80	50
1110974	1280785	175	73	265
1110974	1280785	232	32	322
1110974	1280785	5	42	95
1110974	1280785	95	57	185
1107859	1283441	180	42	270
1107859	1283441	60	60	150
1107859	1283441	340	64	70
1107859	1283441	195	62	285
1107859	1283441	310	82	40
1107859	1283441	120	52	210
1108132	1283427	17	64	107
1108132	1283427	10	59	100
1108132	1283427	350	60	80
1108132	1283427	245	59	335
1107253	1281209	91	54	81
1107253	1281209	345	42	75
1107253	1281209	255	24	15
1107253	1281209	210	35	60
1107253	1281209	220	32	310
1107184	1281549	291	21	21
1107184	1281549	20	18	110
1107346	1281387	288	61	18
1107512	1281708	12	51	102
1107512	1281708	285	79	15
1107512	1281708	141	60	231
1107512	1281708	119	54	209

Zona 1													
Coordenada x	Coordenada y	azimuth	inclinacion	pitch	direc_cabec	sentido	sentidoNum	AZ PLAN	AZ PLAN RAD	NCLIN PLANO	LIN PLANO R	dir_incl	PITCH ESTRIA
1130064	1292077	240	45	47		n	2	240	4.188790205	45	0.785398163	330	47
1130064	1292077	130	48	86		n	2	130	2.268928028	48	0.837758041	220	86
1130030	1291786	155	53	40		n	2	155	2.705260341	53	0.925024504	245	40
1130180	1291672	130	25	30		n	2	130	2.268928028	25	0.436332313	220	30
1130180	1291672	170	40	65		n	2	170	2.967059728	40	0.698131701	260	65
1130180	1291672	155	50	50		n	2	155	2.705260341	50	0.872664626	245	50
1130314	1291449	75	36	45		n	2	75	1.308996939	36	0.628318531	165	45
1128206	1292887	195	45	23		i	1	195	3.403392041	45	0.785398163	285	23
1128019	1292889	63	60	33		s	4	63	1.099557429	60	1.047197551	153	33
1127375	1292978	48	80	11		d	3	48	0.837758041	80	1.396263402	138	11
1128835	1293440	45	58	30		n	2	45	0.785398163	58	1.012290966	135	30
1128835	1293440	210	10	15		n	2	210	3.665191429	10	0.174532925	300	15
1128166	1292938	46	89	31		i	1	46	0.802851456	89	1.553343034	136	31
1125953	1290007	280	75	3	ne	S	4	280	4.886921906	75	1.308996939	10	3
1125953	1290007	45	60	10	sw	N	2	45	0.785398163	60	1.047197551	135	10
1126356	1289317	280	55	60	nw	N	2	280	4.886921906	55	0.959931089	10	60
1126409	1286352	320	25	17	nw	N	2	320	5.585053606	25	0.436332313	50	17
1126409	1286352	325	55	70	nw	I	1	325	5.872320069	55	0.959931089	55	70
1126167	1286736	110	35	85	se	N	2	110	1.919862177	35	0.610865238	200	85
1126167	1286736	155	40	40	nw	N	2	155	2.705260341	40	0.698131701	245	40
1126167	1286736	140	24	25	nw	N	2	140	2.443460953	24	0.41887902	230	25
1126167	1286736	285	35	5	nw	N	2	285	4.974188368	35	0.610865238	115	5
1126136	1286861	25	25	82	ne	N	2	25	0.436332313	25	0.436332313	115	82
1126136	1286861	335	47	80	nw	N	2	335	5.846852994	47	0.820304748	65	80
1126136	1286861	275	70	27	se	D	3	275	4.799655443	70	1.221730476	5	27
1126133	1288247	35	75	35	sw	D	3	35	0.610865238	75	1.308996939	125	35
1126133	1288247	105	61	70	nw	I	1	105	1.832595715	61	1.064650844	195	70
1126133	1288247	55	55	20	ne	I	1	55	0.959931089	55	0.959931089	145	20
1125882	1288880	165	85	86	nw	D	3	165	2.879793266	85	1.483529864	255	86
1125882	1288880	145	65	10	nw	S	4	145	2.530727415	65	1.134464014	235	10
1125537	1288950	260	59	45	sw	I	1	260	4.537856055	59	1.029744259	350	45
1125696	1288751	165	85	40	nw	S	4	165	2.879793266	85	1.483529864	255	40
1125607	1288855	273	85	40	nw	S	4	273	4.764748858	85	1.483529864	3	40
1125607	1288855	345	45	15	nw	I	1	345	6.021385919	45	0.785398163	75	15
1125607	1288855	300	65	30	se	D	3	300	5.235987756	65	1.134464014	30	30
1125307	1291836	50	70	85	s	4	50	0.872664626	70	1.221730476	140	85	
1127798	1289207	205	30	4	N	2	205	3.577924967	30	0.523598776	295	4	
1127798	1289207	230	30	12	N	2	230	4.01425728	30	0.523598776	320	12	
1126417	1289591	170	65	58	I	1	170	2.967059728	65	1.134464014	260	58	
1126417	1289591	82	80	20	I	4	82	1.431169987	80	1.396263402	172	20	
1125240	1289815	180	65	84	N	2	180	3.141592654	65	1.134464014	270	84	
1125240	1289815	165	70	60	N	2	165	2.879793266	70	1.221730476	255	60	
1125240	1289815	330	35	53	N	2	330	5.759586532	35	0.610865238	60	53	
1125240	1289815	35	68	78	N	2	35	0.610865238	68	1.186823891	125	78	
1125240	1289815	5	73	82	D	3	5	0.087266463	73	1.274090354	95	82	
1125240	1289815	15	80	82	S	4	15	0.261799388	80	1.396263402	105	82	
1125240	1289815	35	31	53	N	2	35	0.610865238	31	0.541052068	125	53	
1125240	1289815	200	89	81	S	4	200	3.490658504	89	1.553343034	290	81	
1125240	1289815	30	40	40	I	1	30	0.523598776	40	0.698131701	120	40	
1124371	1289782	165	35	80	I	1	165	2.879793266	35	0.610865238	255	80	
1124371	1289782	310	5	80	I	1	310	5.410520681	5	0.087266463	40	80	
1123926	1289514	60	80	40	D	3	60	1.047197551	80	1.396263402	150	40	
1123926	1289514	20	75	40	S	4	20	0.34906585	75	1.308996939	110	40	
1123631	1289188	10	40	80	I	1	10	0.174532925	40	0.698131701	100	80	
1126356	1289318	261	20	40	n	2	261	4.555309348	20	0.34906585	351	40	
1125860	1290090	178	50	84	s	4	178	3.106686069	50	0.872664626	268	84	
1126365	1290742	140	40	29	n	2	140	2.443460953	40	0.698131701	230	29	
1126201	1290363	117	35	74	d	3	117	2.042035225	35	0.610865238	207	74	
1126201	1290363	221	41	55	n	2	221	3.857177647	41	0.715584993	311	55	
1126201	1290363	306	16	16	n	2	306	5.340797611	16	0.27925268	35	16	
1126201	1290363	175	69	63	n	2	175	3.054326191	69	1.204277184	265	63	
1126201	1290363	160	77	75	s	4	160	2.792528803	77	1.343903524	250	75	
1127178	1286436	82	78	14	ne	D	3	82	1.431169987	78	1.361356817	172	14
1129262	1285523	135	54	73	n	2	135	2.35619449	54	0.942477796	225	73	
1129637	1287089	320	66	7	N	2	320	5.585053606	66	1.151917306	50	7	
1128181	1287243	158	73	50	D	3	158	2.757620218	73	1.274090354	248	50	
1128092	1287342	136	75	31	n	2	136	2.373647783	75	1.308996939	226	31	
1127989	1287605	113	86	16	I	1	113	1.972222055	86	1.500983157	203	16	
1122347	1289701	215	85	40	s	4	215	3.752457892	85	1.483529864	305	40	

Zona 3													
Coordenada x	Coordenada y	azimuth	inclinacion	pitch	direc_cabec	sentido	sentidoNum	AZ PLAN	AZ PLANRAD	INCLIN PLAN	INCLIN PLANOF	dir incl	PITCH ESTRIA
1121918	1287521	170	85	55		d	3	170	2,967059728	85	1,483529864	260	55
1121961	1287382	72	72	40		D	3	72	1,256637061	72	1,256637061	162	40
1121291	1287286	65	70	10		D	3	65	1,134464014	70	1,221730476	155	10
1121291	1287286	65	85	15		D	3	65	1,134464014	85	1,483529864	155	15
1120637	1287101	285	80	30		D	3	285	4,974188368	80	1,396263402	15	30
1120100	1286954	175	85	10		S	4	175	3,054326191	85	1,483529864	265	10
1119951	1285565	225	80	5		S	4	225	3,926990817	80	1,396263402	315	5
1119951	1285565	205	60	20		l	1	205	3,577924967	60	1,047197551	295	20
1121662	1286910	191	59	12		n	2	191	3,333578871	59	1,029744259	281	12
1120834	1285067	10	54	49		n	2	10	0,174532925	54	0,942477796	100	49
1120834	1285067	122	40	11		i	1	122	2,129301687	40	0,698131701	212	11
1120529	1284971	1	81	34		i	1	1	0,017453293	81	1,413716694	91	34
1120410	1285060	320	60	85		s	4	320	5,585053606	60	1,047197551	50	85
1120013	1285026	50	45	25		i	1	50	0,872664626	45	0,785398163	140	25
1119915	1285530	351	85	27		n	2	351	6,126105675	85	1,483529864	81	27
1119986	1285763	221	76	56		i	1	221	3,857177647	76	1,326450232	311	56
1120118	1286926	352	13	51		i	1	352	6,143558967	13	0,226892803	82	51
1119512	1280865	240	17	20		n	2	240	4,188790205	17	0,296705973	330	20

Zona 3														
Coordenada x	Coordenada y	azimuth	inclinacion	pitch	direc_cabec	sentido	sentidoNum	AZ_PLAN	AZ_PLAN RAD	NCLIN	PLANCLIN	PLANO R	dir_incl	PITCH_ESTRIA
1118445	1286721	45	82	18	ne	S	4	45	0,785398163	82	1,431169987	135	18	
1117723	1285399	275	82	50		D	3	275	4,799655443	82	1,431169987	5	50	
1117723	1285399	70	85	22		S	4	70	1,221730476	85	1,483529864	160	22	
1117301	1286512	130	38	80		N	2	130	2,268928028	38	0,663225116	220	80	
1117301	1286512	182	38	55		N	2	182	3,176499239	38	0,663225116	272	55	
1117301	1286512	245	52	60		N	2	245	4,276056667	52	0,907571211	335	60	
1118380	1286725	65	45	85		N	2	65	1,134464014	45	0,785398163	155	85	
1117306	1286563	35	75	15		S	4	35	0,610865238	75	1,308996939	125	15	
1117141	1285749	240	55	45		N	2	240	4,188790205	55	0,959931089	330	45	
1118095	1285324	275	80	30		D	3	275	4,799655443	80	1,396263402	5	30	
1118872	1285442	45	60	15		I	1	45	0,785398163	60	1,047197551	135	15	
1118962	1285698	217	30	66		n	2	217	3,787364477	30	0,523598776	307	66	
1116146	1281924	175	50	25	nw	I	1	175	3,054326191	50	0,872664626	265	25	
1116629	1281461	140	62	10	se	S	4	140	2,443460953	62	1,082104136	230	10	
1117298	1282018	45	65	20	sw	D	3	45	0,785398163	65	1,134464014	135	20	
1117298	1282018	85	55	25	sw	D	3	85	1,483529864	55	0,959931089	175	25	
1115452	1281059	170	75	14	sw	D	3	170	2,967059728	75	1,308996939	260	14	
1116436	1281616	268	69	16	ne	D	3	268	4,677482395	69	1,204277184	358	16	
1116436	1281616	255	83	47	sw	D	3	255	4,450589593	83	1,448623279	345	47	
1116436	1281616	5	85	25	sw	S	4	5	0,087266463	85	1,483529864	95	25	
1116069	1281552	35	80	62	ne	S	4	35	0,610865238	80	1,396263402	125	62	
1113316	1282091	25	84	48		D	3	25	0,436332313	84	1,466076572	115	48	
1113316	1282091	90	88	45		D	3	90	1,670796327	88	1,535889742	180	45	
1113316	1282091	110	85	20		D	3	110	1,919862177	85	1,483529864	200	20	
1116019	1282888	235	55	35		N	2	235	4,101523742	55	0,959931089	325	35	
1113752	1283265	170	85	30		S	4	170	2,967059728	85	1,483529864	260	30	
1113752	1283265	271	72	32		S	4	271	4,729842273	72	1,256637061	1	32	
1113752	1283265	330	65	30		I	1	330	5,759586532	65	1,134464014	60	30	
1113752	1283265	85	40	16		N	2	85	1,483529864	40	0,698131701	175	16	
1114639	1284004	155	86	25		S	4	155	2,705260341	86	1,500983157	245	25	
1114639	1284004	40	65	4		N	2	40	0,698131701	65	1,134464014	130	4	
1114639	1284004	325	50	30		I	1	325	5,672320069	50	0,872664626	55	30	
1114639	1284004	50	65	10		I	1	50	0,872664626	65	1,134464014	140	10	
1116307	1285114	158	76	60		D	3	158	2,757620218	76	1,326450232	248	60	
1116307	1285114	340	52	22		I	1	340	5,934119457	52	0,907571211	70	22	
1114619	1285476	185	42	38		I	1	185	3,228859116	42	0,733038286	275	38	
1114619	1285476	60	80	56		D	3	60	1,047197551	80	1,396263402	150	56	
1112294	1281746	50	76	12		S	4	50	0,872664626	76	1,326450232	140	12	
1112294	1281746	22	85	33		D	3	22	0,383972435	85	1,483529864	112	33	
1117012	1284629	210	60	20		N	2	210	3,665191429	60	1,047197551	300	20	
1117012	1284629	170	70	35		S	4	170	2,967059728	70	1,221730476	260	35	
1117012	1284629	202	85	10		S	4	202	3,525565089	85	1,483529864	292	10	
1117012	1284629	190	80	20		D	3	190	3,316125579	80	1,396263402	280	20	
1117012	1284629	20	75	10		D	3	20	0,34906585	75	1,308996939	110	10	
1117012	1284629	345	80	15		D	3	345	6,021385919	80	1,396263402	75	15	
1117012	1284629	145	75	15		D	3	145	2,530727415	75	1,308996939	235	15	
1117095	1283712	20	50	60		N	2	20	0,34906585	50	0,872664626	110	60	
1117095	1283712	330	45	10		N	2	330	5,759586532	45	0,785398163	60	10	
1116766	1285358	281	40	40		i	1	281	4,904375198	40	0,698131701	11	40	
1114701	1284014	30	45	15		i	1	30	0,523598776	45	0,785398163	120	15	
1114701	1284014	154	60	32		n	2	154	2,687807048	60	1,047197551	244	32	
1116044	1281800	10	71	62		i	1	10	0,174532925	71	1,239183769	100	62	
1116020	1282642	38	39	4		n	2	38	0,663225116	39	0,680678408	128	4	
1115998	1283252	114	48	24		i	1	114	1,989675347	48	0,837758041	204	24	
1115774	1283628	315	57	24		n	2	315	5,497787144	57	0,994837674	45	24	
1113235	1282162	139	68	20		n	2	139	2,42600766	68	1,186823891	229	20	
1114625	1285471	249	77	41		i	1	249	4,345869837	77	1,343903524	339	41	
1114625	1285471	161	89	24		n	2	161	2,809980096	89	1,553343034	251	24	

1114913	1284344	54	71	26		n	2	54	0.942477796	71	1,239183769	144	26
1114913	1284344	56	44	10		n	2	56	0.977384381	44	0.767944871	146	10
1114672	1284276	358	75	64		i	1	350	6.108652382	75	1.308996939	88	64
1114672	1284276	20	50	8		n	2	20	0.34906585	50	0.872664626	110	8
1114467	1284113	55	60	24		i	1	55	0.959931089	60	1.047197551	145	24
1114120	1283699	60	62	10		n	2	60	1.047197551	62	1.082104136	150	10
1114120	1283699	260	79	5		n	2	260	4.537856055	79	1.378810109	350	5
1114120	1283699	220	84	42		n	2	220	3.839724354	84	1.466076572	310	42
1113478	1283418	12	65	47		i	1	12	0.20943951	65	1.134464014	102	47
1113478	1283418	331	88	56		i	1	331	5.777039824	88	1.535889742	61	56
1113210	1282836	25	72	6		i	1	25	0.436332313	72	1.256637061	115	6
1118798	1284081	55	80	35	ne	l	1	55	0.959931089	80	1.396263402	145	35
1117298	1282018	45	65	20	sw	D	3	45	0.785398163	65	1.134464014	135	20
1117298	1282018	85	55	25	sw	D	3	85	1.483529864	55	0.959931089	175	25
1117704	1280869	25	65	30	sw	S	4	25	0.436332313	65	1.134464014	115	30
1117561	1281429	20	60	70	ne	l	1	20	0.34906585	60	1.047197551	110	70
1117659	1281558	105	82	7	nw	S	4	105	1.832595715	82	1.431169987	195	7
1117813	1281862	56	88	85	sw	D	3	56	0.977384381	88	1.535889742	146	85
1117813	1281862	56	88	85	sw	D	3	56	0.977384381	88	1.535889742	146	85
1117996	1280465	195	71	40	sw	D	3	195	3.403392041	71	1.239183769	285	40
1117996	1280465	25	80	17	sw	D	3	25	0.436332313	80	1.396263402	115	17
1118908	1281589	355	80	15		S	4	355	6.195918845	80	1.396263402	85	15
1118908	1281589	105	65	20		N	2	105	1.832595715	65	1.134464014	195	20
1118908	1281589	200	82	25		D	3	200	3.490658504	82	1.431169987	290	25
1118486	1281811	181	74	9		i	1	181	3.159045946	74	1.291543646	271	9
1118854	1281645	350	34	29		n	2	350	6.108652382	34	0.593411946	80	29
1118854	1281645	195	88	6		n	2	195	3.403392041	88	1.535889742	285	6
1118854	1281645	355	66	45		n	2	355	6.195918845	66	1.151917306	85	45
1118854	1281645	311	51	58		n	2	311	5.427973974	51	0.890117919	41	58
1118907	1281596	124	64	18		i	1	124	2.164208272	64	1.117010721	214	18
1118907	1281596	130	83	49		i	1	130	2.268928028	83	1.448623279	220	49
1112940	1286164	50	88	50		D	3	50	0.872664626	88	1.535889742	140	50
1112028	1284167	195	55	20		N	2	195	3.403392041	55	0.959931089	285	20
1112028	1284167	320	86	22		S	4	320	5.585053606	86	1.500983157	50	22
1111084	1283819	40	72	4		D	3	40	0.698131701	72	1.256637061	130	4
1111084	1283819	70	64	26		N	2	70	1.221730476	64	1.117010721	160	26
1111084	1283819	95	75	4		D	3	95	1.658062789	75	1.308996939	185	4
1111084	1283819	60	65	20		N	2	60	1.047197551	65	1.134464014	150	20
1111410	1285563	245	60	20		l	1	245	4.276056667	60	1.047197551	335	20
1111410	1285563	140	70	3		S	4	140	2.443460953	70	1.221730476	230	3
1111410	1285563	320	75	25		S	4	320	5.585053606	75	1.308996939	50	25
1111199	1284582	271	55	47		N	2	271	4.729842273	55	0.959931089	1	47
1111199	1284582	218	50	38		l	1	218	3.804817769	50	0.872664626	308	38
1111199	1284582	40	60	40		l	1	40	0.698131701	60	1.047197551	130	40
1111199	1284582	175	70	28		S	4	175	3.054326191	70	1.221730476	265	28
1111199	1284582	210	85	18		D	3	210	3.665191429	85	1.483529864	300	18
1112470	1284163	9	85	10		n	2	9	0.157079633	85	1.483529864	99	10
1111820	1283421	50	54	86		s	4	50	0.872664626	54	0.942477796	140	86
1111820	1283421	178	74	74		d	3	178	3.106686069	74	1.291543646	268	74
1111662	1280866	40	40	22		N	2	40	0.698131701	40	0.698131701	130	22
1111662	1280866	215	62	28		N	2	115	2.00712864	62	1.082104136	205	28
1111662	1280866	140	55	33		N	2	140	2.443460953	55	0.959931089	230	33
1111662	1280866	185	72	40		S	4	185	3.228859116	72	1.256637061	275	40
1111662	1280866	72	60	15		l	1	72	1.256637061	60	1.047197551	162	15
1111662	1280866	130	74	34		D	3	130	2.268928028	74	1.291543646	220	34
1111662	1280866	60	65	7		l	1	60	1.047197551	65	1.134464014	150	7
1111662	1280866	160	67	45		N	2	160	2.792526803	67	1.169370599	250	45
1111379	1280969	34	89	56		i	1	34	0.593411946	89	1.553343034	124	56
1111379	1280969	2	89	17		n	2	2	0.034906585	89	1.553343034	92	17
1111470	1280844	163	73	34		n	2	163	2.844886681	73	1.274090354	253	34
1111600	1280794	112	41	13		i	1	112	1.954768762	41	0.715584993	202	13
1111600	1280794	163	86	25		n	2	163	2.844886681	86	1.500983157	253	25
1111655	1280859	184	70	36		i	1	184	3.211405824	70	1.221730476	274	36
1111655	1280859	165	54	32		i	1	165	2.879793266	54	0.942477796	255	32
1112008	1281645	214	86	18		n	2	214	3.735004599	86	1.500983157	304	18

Zona 4														
Coordenada x	Coordenada y	azimuth	inclinacion	pitch	direc_cabec	sentido	sentidoNum	AZ_PLAN	AZ_PLAN RAD	NCLIN	PLANCLIN	PLANO R	dir_incl	PITCH_ESTRIA
1110238	1283693	235	80	35		D	3	235	4,101523742	80	1,396263402	325	35	
1110238	1283693	267	37	13		I	1	267	4,660029103	37	0,645771823	357	13	
1110297	1283094	305	75	20		S	4	305	5,323254219	75	1,308996939	35	20	
1110297	1283094	345	70	7		S	4	345	6,021385919	70	1,221730476	75	7	
1110201	1282797	275	87	20		S	4	275	4,799655443	87	1,518436449	5	20	
1110201	1282797	75	70	30		D	3	75	1,308996939	70	1,221730476	165	30	
1109505	1284875	235	85	15		S	4	235	4,101523742	85	1,483529864	325	15	
1109505	1284875	40	68	2		I	1	40	0,698131701	68	1,186823891	130	2	
1109505	1284875	2	58	12		I	1	2	0,034906585	58	1,012290966	92	12	
1109505	1284875	30	60	6		i	1	30	0,523598776	60	1,047197551	120	6	
1110787	1282890	200	65	30		i	1	200	3,490658504	65	1,134464014	290	30	
1110337	1283076	351	65	14		i	1	351	6,126105675	65	1,134464014	81	14	
1110337	1283076	127	72	10		n	2	127	2,21656815	72	1,256637061	217	10	
1108907	1283107	205	65	28		N	2	205	3,577924967	65	1,134464014	295	28	
1108907	1283107	115	70	15		S	4	115	2,00712864	70	1,221730476	205	15	
1108907	1283107	145	82	30		D	3	145	2,530727415	82	1,431169987	235	30	
1108907	1283107	2	68	15		I	1	2	0,034906585	68	1,186823891	92	15	
1108907	1283107	285	86	26		S	4	285	4,974188368	86	1,500983157	15	26	
1108108	1283474	290	77	15		D	3	290	5,061454831	77	1,343903524	20	15	
1108108	1283474	30	78	58		S	4	30	0,523598776	78	1,361356817	120	58	
1108108	1283474	328	72	12		D	3	328	5,724679947	72	1,256637061	58	12	
1106809	1283116	95	78	40		D	3	95	1,658062789	78	1,361356817	185	40	
1106809	1283116	271	80	85		S	4	271	4,729842273	80	1,396263402	1	85	
1106809	1283116	20	78	20		D	3	20	0,34906585	78	1,361356817	110	20	
1109079	1281217	105	70	25		D	3	105	1,832595715	70	1,221730476	195	25	
1108456	1282431	271	66	38		I	1	271	4,729842273	66	1,151917306	1	38	
1108456	1282431	2	80	50		S	4	2	0,034906585	80	1,396263402	92	50	
1105349	1284966	335	75	18		S	4	335	5,846852994	75	1,308996939	65	18	
1105349	1284966	245	55	35		I	1	245	4,276056667	55	0,959931089	335	35	
1105349	1284966	5	70	4		S	4	5	0,087266463	70	1,221730476	95	4	
1105349	1284966	242	47	85		I	1	242	4,22369679	47	0,820304748	332	85	
1105349	1284966	352	66	27		N	2	352	6,143558967	66	1,151917306	82	27	
1105349	1284966	182	68	10		I	1	182	3,176499239	68	1,186823891	272	10	
1105349	1284966	260	78	20		D	3	260	4,537856055	78	1,361356817	350	20	
1105659	1284967	320	55	18		I	1	320	5,585053606	55	0,959931089	50	18	
1105721	1285680	70	88	42		D	3	70	1,221730476	88	1,535889742	160	42	
1105721	1285680	40	70	70		S	4	40	0,698131701	70	1,221730476	130	70	
1107822	1281456	110	87	23		d	3	110	1,919862177	87	1,518436449	200	23	
1107913	1281524	216	35	70		n	2	216	3,769911184	35	0,610865238	306	70	
1107913	1281524	120	84	85		s	4	120	2,094395102	84	1,466076572	210	85	

1107913	1281524	255	62	33		n	2	255	4,450589593	62	1,082104136	345	33
1108674	1281862	160	75	35		s	4	160	2,792526803	75	1,308996939	250	35
1108892	1281371	355	12	45		n	2	355	6,195918845	12	0,20943951	85	45
1110284	1281041	40	54	87		n	2	40	0,698131701	54	0,942477796	130	87
1110284	1281041	335	85	45		s	4	335	5,846852994	85	1,483529864	65	45
1107253	1281209	345	75	30		d	3	345	6,021385919	75	1,308996939	75	30
1107253	1281209	210	75	9		s	4	210	3,665191429	75	1,308996939	300	9
1107253	1281209	133	58	3		n	2	133	2,321287905	58	1,012290966	223	3
1107253	1281209	151	80	41		s	4	151	2,635447171	80	1,396263402	241	41
1107184	1281549	291	21	13		i	1	291	5,078908123	21	0,366519143	21	13
1107346	1281387	196	56	60		n	2	196	3,420845334	56	0,977384381	286	60
1110974	1281091	148	80	20		i	1	148	2,583087293	80	1,396263402	238	20