

Caracterización Geológica Y Geotécnica Mediante Núcleos Obtenidos A Partir De Sondeos
Realizados Por La Empresa Consorcio Diseños Viales En La Vía Bucaramanga- Alto El Escorial
Sector Puente Hierro A Puente Tiburón

Nicolás Jaimes Gualdron

Trabajo de Grado para Optar el título de Geólogo

Director
Guillermo Vargas Pieschacon
Geólogo

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Físico Químicas
Escuela de Geología
Bucaramanga
2019

Dedicatoria

Para mis padres, hermanos, sobrinos, Angie mi novia y toda mi familia por siempre estar ahí para mí.

Agradecimientos

Al profesor Guillermo Vargas por su ayuda y colaboración para el desarrollo del proyecto.

Al profesor Jairo Clavijo por su asesoría y acompañamiento en salidas de campo a la zona.

A Luis Garrido por su diligencia y buen trabajo en el laboratorio.

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN 15

1. OBJETIVOS 16

1.1 Objetivo General..... 16

1.2 Objetivos Específicos 16

2. GENERALIDADES 17

2.1 Localización: 17

2.2 Geomorfología..... 18

2.3 Drenajes: 19

2.4 Clima: 19

3. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL 19

3.1 Neis de Bucaramanga: 21

3.2 Formación Diamante: 21

3.3 Formación Tiburón: 22

3.4 Formación Bocas: 22

3.5 Formación Girón: 23

3.6 Cuarzomonzonita y Granito: 23

3.7 Formación Bucaramanga: 24

3.8 Depósitos cuaternarios:..... 24

4. METODOLOGÍA 24

4.1 Fase 1: Recursos bibliográficos e identificación de sondeos. 24

4.2 Fase 2: Trabajo de campo 25

4.3 Fase 3: Laboratorio 25

4.4 Fase 4: Análisis de datos e informe final..... 25

5. RESULTADOS..... 26

5.1 Geología local..... 26

5.2 Geología estructural:..... 44

5.3 Análisis de sondeos: 46

5.4 Análisis de resistencia a la compresión inconfinaa: 57

Clasificación final..... 65

6. DISCUSIÓN 66

7. CONCLUSIONES 67

8. RECOMENDACIONES 68

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 69

APÉNDICES 71

Lista de Tablas

Tabla 1. Datos de resistencia a partir del área y carga máxima. 59

Tabla 2. Clasificación de una masa rocosa en base a la resistencia a la compresión simple... 60

Tabla 3. Parámetro de una roca de acuerdo a su resistencia 61

Tabla 4. Puntaje de una masa de roca de acuerdo a su resistencia. 61

Tabla 5. Puntaje asignado a una roca de acuerdo a su rqd..... 62

Tabla 6. Puntaje para las muestras basado en rqd..... 62

Tabla 7. Puntaje asignado a una roca de acuerdo al espaciamiento entre discontinuidades.... 62

Tabla 8. Puntaje de las muestras de acuerdo a su espaciamiento. 63

Tabla 9. Puntaje asignado a una roca de acuerdo a las condiciones de las discontinuidades.. 63

Tabla 10. Puntaje de las muestras de acuerdo a las condiciones de las discontinuidades. 64

Tabla 11. Puntaje asignado a una roca de acuerdo a la presencia de agua. 64

Tabla 12. Puntaje de las muestras de acuerdo a la presencia de agua. 65

Tabla 13. Clasificación rmr de una masa de roca luego de sumar los puntajes..... 65

Tabla 14. Puntaje final y clasificación de las muestras de interés. 65

Lista de Figuras

Figura 1. Localización de la zona de estudio en el mapa geológico de Colombia. Servicio Geológico Colombiano (2017). 17

Figura 2. Mapa de estaciones de la zona de estudio. También se muestra posición de los sondeos geotécnicos. 18

Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio a escala 1: 25.000. Tomado de Ingeominas (2001)...... 20

Figura 4. Afloramiento de la Formación Diamante que muestra mudstone ligeramente arcillosa. 27

Figura 5. Lodolitas rojizas pertenecientes a la Formación Diamante (estación 4). 27

Figura 6. Afloramientos de calizas pertenecientes a la Formación Diamante (estación 5). 27

Figura 7. Imagen en paralelos de la Formación Diamante. 28

Figura 8. Imagen en cruzados de la Formación Diamante. 28

Figura 9. Imagen en cruzados de la Formación Diamante. 29

Figura 10. Remanente fósil en imagen en paralelos. 29

Figura 11. Fósiles de la Formación Diamante. 29

Figura 12. Foraminíferos en la Formación Diamante..... 30

Figura 13. Afloramiento de la Formación Tiburón al margen del rio Suratá (Estación 1). 31

Figura 14. Conglomerado calcáreo de la Formación Tiburón con clastos de variado diámetro (Estación 1). 31

Figura 15. Conglomerados calcáreos de la Formación Tiburón altamente diaclasados. Localización: Planta de tratamiento Los Angelinos. 32

Figura 16. Conglomerados calcáreos rojizos de la Formación Tiburón (Quebrada Ceylán). 32

Figura 17. Tipos de granos en el conglomerado de la Formación Tiburón. 33

Figura 18. Remanentes fósiles en clastos calcáreos 33

Figura 19. Clasto calcáreo similar a la Formación Diamante..... 34

Figura 20. Contacto intergranular entre calcita y cuarzo..... 34

Figura 21. Afloramiento perteneciente a la Formación Bocas. Areniscas medias a conglomeraticas aparecen en el lugar. 35

Figura 22. Capas de areniscas conglomeráticas de la Formación Bocas. Sector Carabineros (estación 14). 35

Figura 23. Lodolitas shale pertenecientes a la Formación Bocas. 36

Figura 24. Imagen en paralelos para areniscas de la Formación Bocas 36

Figura 25. Sección delgada Formación Bocas. 37

Figura 26. Formación Girón altamente tectonizada, la suprayace un cuerpo ígneo granítico. 37

Figura 27. Desplazamiento en capa de conglomerados de la Formación Girón. 38

Figura 28. Contacto fallado entre la Formación Girón y la Formación Bocas. 38

Figura 29. Cuerpos ígneos en la planta de Tratamiento Los Angelinos. 39

Figura 30. Depósito de terraza, el cual suprayace remanentes del miembro Órganos. 40

Figura 31. Depósitos de terraza fluvial. 41

Figura 32. Bloques al borde del río Suratá. 41

Figura 33. Bloque granítico arrastrado por el río Suratá. 41

Figura 34. Mapa geológico de la zona de estudio, escala 1:10.000. 43

Figura 35. Diagrama de rosa para la planta de tratamiento Los Angelinos. 45

Figura 36. Ligero plegamiento de capas conglomeráticas de Girón. 46

Figura 37. Sondeo P3-d descrito por la Empresa Consorcio Diseños Viales, parte 1. 47

Figura 38. Sondeo P3-d descrito por la Empresa Consorcio Diseños Viales, parte 2. 48

Figura 39. Análisis del sondeo. 49

Figura 40. Descripción del sondeo P4-i por la empresa consorcio diseños viales. 50

Figura 41. Análisis del sondeo P4-i. 51

Figura 42. Descripción del sondeo Pa2-d 52

Figura 43. Análisis sondeo Pa2-d. 53

Figura 44. Descripción sondeo Pa1-i, parte 1. 54

Figura 45. Descripción del sondeo Pa1-i, parte 2. 55

Figura 46. Análisis sondeo Pa1-i. 56

Figura 47. Descripción sondeo 2. 57

Figura 48. Relación entre fuerza axial y desplazamiento axial en la Formación Tiburón. 58

Figura 49. Relación entre fuerza axial y desplazamiento axial en la Formación Diamante..... 58

Figura 50. Relación entre fuerza axial y desplazamiento axial en la Formación Bocas. 59

Lista de Apéndices

Apéndice A. Mapa geológico (ver carpeta de apéndices)..... 71

Apéndice B. Mapa de estaciones (ver carpeta de apéndices). 71

Apéndice C. Datos estructurales tabulados..... 71

Apéndice D. Catálogo de muestras..... 78

Resumen

Título: Caracterización Geológica Y Geotécnica Mediante Núcleos Obtenidos A Partir De Sondeos Realizados Por La Empresa Consorcio Diseños Viales En La Vía Bucaramanga- Alto El Escorial Sector Puente Hierro A Puente Tiburón.

Autor: Nicolás Jaimes Gualdron

Descripción:

Aprovechando los sondeos realizados para el proyecto de la vía Bucaramanga- Alto el Escorial, y con toma de datos litológicos, estructurales y geotécnicos se realizó la caracterización geológica y geotécnica de una zona de 2km² al norte de Bucaramanga. En el presente trabajo la escala de trabajo fue 1: 10.000, mejorando así la cartografía que había en la zona como antecedente. En el ámbito geológico se brindó información para tener más certeza de la extensión de las Formaciones presentes en el área, además, se realizaron secciones delgadas que brindaron información de fósiles, composición y texturas de las rocas más predominantes. En la parte estructural, varias estructuras fueron propuestas de acuerdo a datos estructurales, geomorfológicos y litológicos tenidos en cuenta. Adicionalmente, fue posible caracterizar geotécnicamente muestras representativas de las formaciones Diamante, Tiburón y Bocas. Otro aporte importante fue la reinterpretación de los sondeos realizados en el área de estudio, fue posible distinguir entre depósitos fluviales con depósitos asociados a procesos gravitacionales y además fue posible definir la unidad de ciertas rocas que aparecían a profundidad. El estudio sirve para abrir la puerta a futuras investigaciones con mayor detalle y que sean útiles para mejorar el conocimiento geológico y geotécnico del norte de Bucaramanga.

*Trabajo de Grado

**Escuela de Geología, Facultad de Ingenierías Físico- Químicas, Universidad Industrial de Santander.

Abstract

TITLE: Geological and geotechnical characterization based on boreholes conducted by the company Consorcio Diseños Viales in the Bucaramanga-Alto el Escorial road, Puente Hierro to Puente Tiburon.

AUTHOR: Nicolas Jaimes Gualdron

DESCRIPTION:

Through the analysis of boreholes developed for the project of the Bucaramanga-Alto el Escorial road, and with collection of lithological, structural and geotechnical data, the geological and geotechnical characterization of an area of two square kilometers to the north of Bucaramanga was carried out. In the present work, the scale of work was 1: 10.000, thus improving the cartography that was in the area as antecedent. In the geological field, information is provided to be more sure of the extension of the Formations present in the area, in addition, thin sections were made providing information on fossils, composition and textures of the most predominant rocks. In the structural scope, several structures were proposed according to structural, geomorphological and lithological data taken into account. Additionally, representative samples of the Diamante, Tiburon and Bocas formations were geotechnically characterized. Another important contribution was the reinterpretation of the boreholes carried out in the study area, it was possible to distinguish between fluvial deposits with deposits associated with gravitational processes and it was also possible to define the correspondent unit of certain rocks that appeared in depth. The study serves to open the doors to future research in greater detail and to be useful to improve the geological and geotechnical knowledge of northern Bucaramanga.

*Bachelor Thesis

** Escuela de Geología, Facultad de Ingenierías Físico- Químicas, Universidad Industrial de Santander.

Introducción

La presente investigación busca determinar y clasificar los atributos geológicos y geotécnicos de una zona de 2km² al norte de la ciudad de Bucaramanga. La zona de estudio hace parte de un proyecto vial que intenta comunicar los departamentos de Santander y Norte de Santander. Debido a este proyecto se realizaron sondeos que fueron almacenados en la litoteca de la escuela de geología. Debido a esto nace el proyecto, con el objetivo de realizar una caracterización a detalle.

Para la caracterización de la zona de interés se utilizaron descripción de núcleos de perforación, cartografía geológica, estudios mecánicos de rocas, secciones delgadas y clasificaciones geotécnicas. La zona de estudio abarca rocas de diversas edades, origen y afectadas por diferentes procesos estructurales y antrópicos. Los materiales geológicos observados fueron plasmados en un mapa geológico de escala 1:10.000 usando planchas topográficas del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

El aporte de este proyecto es brindar información geológica y geotécnica, y brindar más herramientas para que en un futuro la realización de proyectos en la zona sea más factible. Adicionalmente, se sumará información para el mejor conocimiento de las condiciones geológicas y geotécnicas en el área metropolitana de Bucaramanga.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Lograr y mejorar el conocimiento geológico y geotécnico de la zona norte de Bucaramanga mediante cartografía geológica, análisis de núcleos obtenidos a partir sondeos geotécnicos y estudios de las propiedades mecánicas de la roca.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar la cartografía a escala 1:10.000 de la zona de interés ubicada en el Norte de Bucaramanga (comuna 2).
- Interpretar los datos adquiridos de los ensayos de compresión inconfiada (para las formaciones más relevantes) realizados en la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander.
- Recopilar información de calidad de las muestras más representativas para que hagan parte de una base de datos geotécnica de la Universidad Industrial de Santander.
- Identificar y definir las unidades que hacen parte del sustrato del área de estudio.

2. Generalidades

2.1 Localización:

La zona de desarrollo del proyecto se encuentra al norte de la ciudad de Bucaramanga, después del km 1 de la vía que conduce de Bucaramanga al municipio de Matanza. La zona abarca los límites de la comuna 2 con algunos corregimientos de la ciudad como Bosconia, Santos Bajos y Chitota. El área de estudio es de 2km² y como cartografía base se utilizó la plancha 109-IV-D-3 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

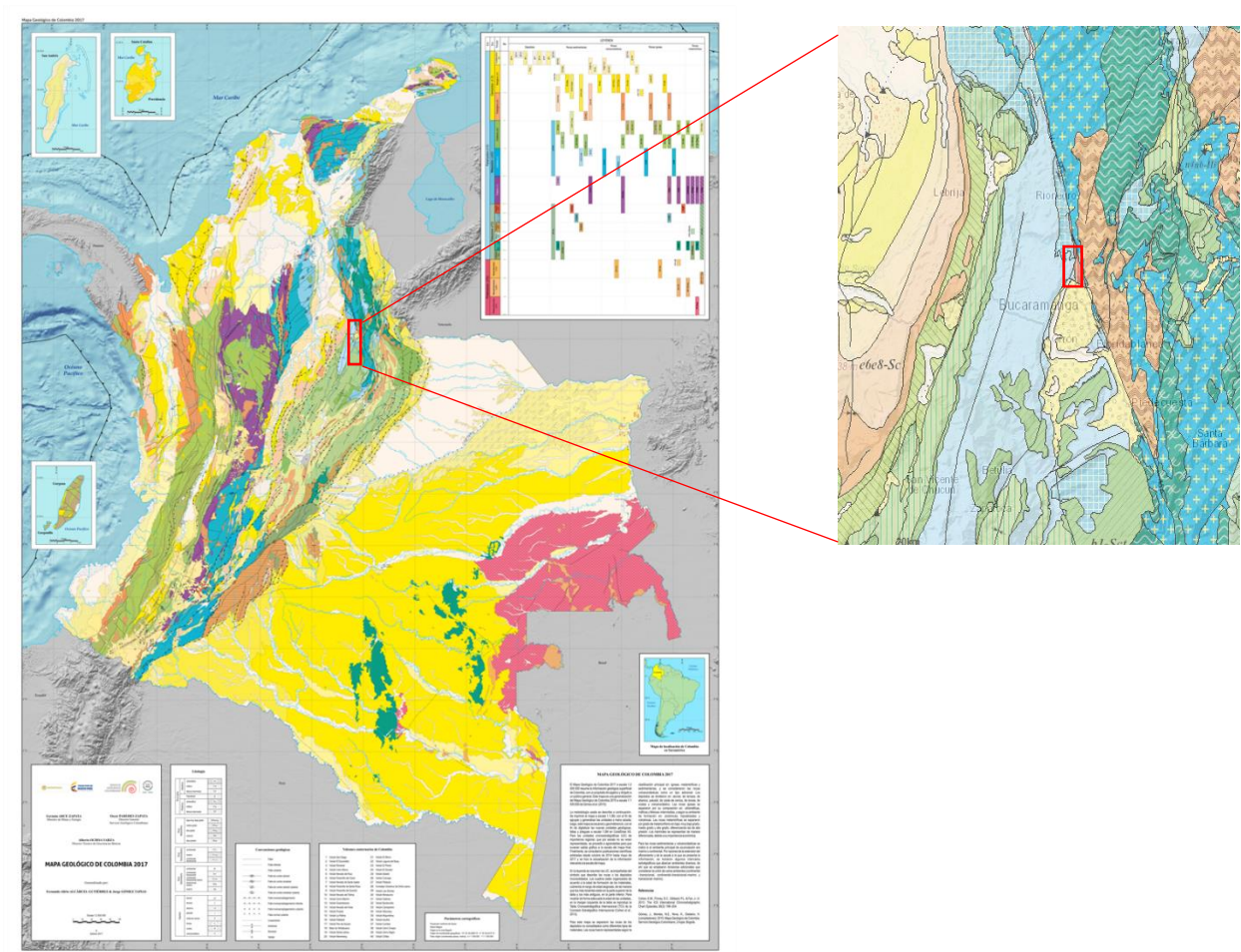


Figura 1. Localización de la zona de estudio en el mapa geológico de Colombia. Servicio Geológico Colombiano (2017).

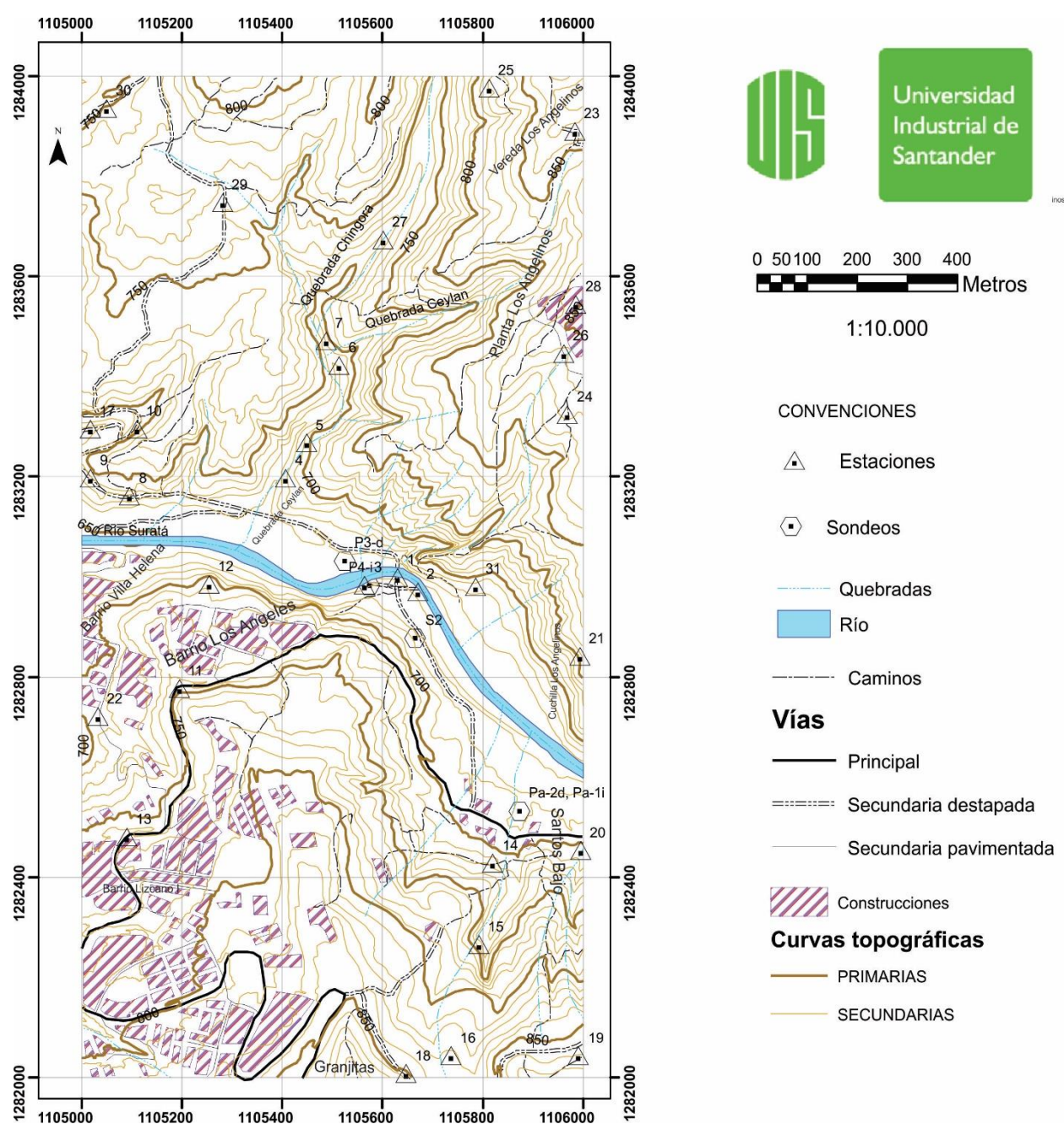


Figura 2. Mapa de estaciones de la zona de estudio. También se muestra posición de los sondeos geotécnicos.

2.2 Geomorfología

El área de estudio se encuentra a una altitud comprendida entre los 600 y 850 m.s.n.m. Con variaciones en la pendiente que va de media a alta. Las formas del relieve en la zona de estudio resultan de la interacción de procesos, denudacionales, fluviales, estructurales, climáticos y antrópicos. Para definir las geo formas presentes se utilizó el glosario de unidades y subunidades geomorfológicas del Servicio Geológico Colombiano.

Entre las geo formas que se presentan en la zona de estudio aparecen:

- Escarpes de erosión.
- Terrazas sobreelevadas.
- Sierra denudada.
- Abanico fluviotorrencial.
- Cauce aluvial.
- Escarpe de terraza de acumulación.
- Plano o llanura de inundación.
- Planos y campos de llenos antrópicos.
- Plantas de tratamiento de aguas.
- Espolones.
- Escombreras.

2.3 Drenajes:

La zona de estudio se encuentra dentro de la cuenca baja del río Suratá. En este río confluyen varias quebradas entre las cuales destacan las quebradas Ceylán, Chingorá y Carabineros, formando un patrón de drenaje dendrítico a rectangular. El canal principal del Río Suratá atraviesa la zona de estudio.

2.4 Clima:

El IDEAM cataloga el clima de Bucaramanga como templado- seco. En la zona de estudio se presentan dos temporadas secas (diciembre-febrero y junio-agosto) y dos temporadas de lluvias (marzo- mayo y septiembre- noviembre). El promedio anual de precipitación para la zona de interés es de 1300mm.

En época de lluvia la ciudad presenta un promedio de precipitación de 18 días/ mes y en épocas de sequía el promedio es de 10 días/mes. La temperatura promedio de la zona de estudio es de 23,6°C, la temperatura máxima media es de 28°C y la temperatura mínima media es de 19,2°C. Por último, la humedad relativa promedio es de 82%.

3. Marco Geológico Regional

Las planchas H12 (1:100.000) del Servicio Geológico Colombiano (1973) y 1:25.000 de Ingeominas (2001) brindan información sobre las unidades presentes en la zona de estudio. Debido a su escala, solo es posible cartografiar ciertas unidades y estructuras. Dentro del área de estudio aparece la Formación Diamante, la Formación Tiburón, la Formación Girón, la unidad ígnea Cuarzomonzonita y depósitos recientes con diferentes procedencias (Fm Bucaramanga, coluviones y depósitos del río Suratá)

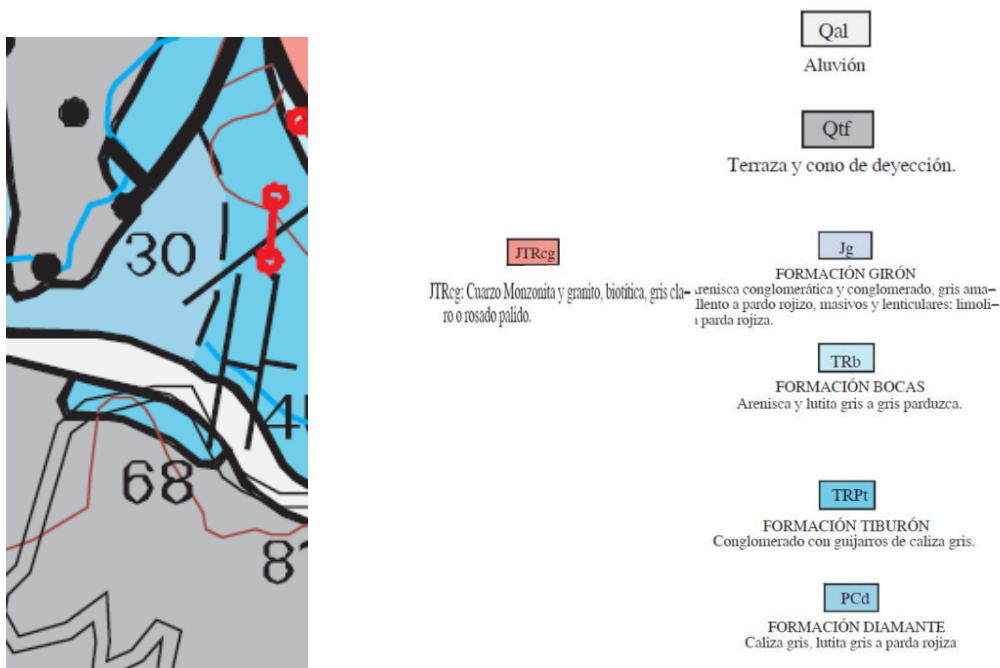


Figura 3. Plancha geológica H-12. Tomado del Servicio Geológico Colombiano.

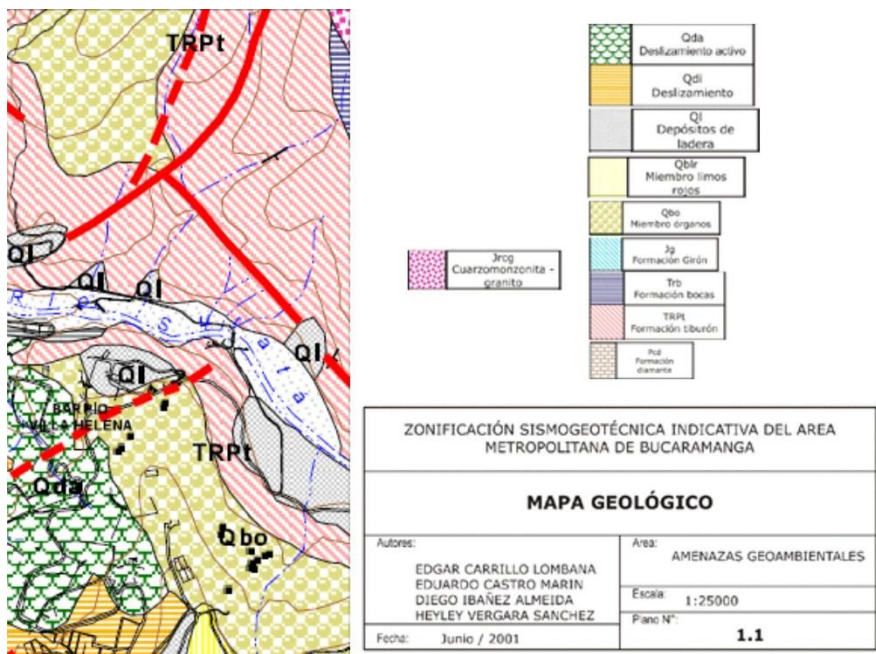


Figura 3. Mapa geológico de la zona de estudio a escala 1: 25.000. Tomado de Ingeominas (2001).

3.1 Neis de Bucaramanga:

Es el basamento de la zona de estudio. El neis de Bucaramanga fue definido por Ward et al. (1973), pero anteriormente siendo introducido por Julivert (1959), como la unidad más antigua del Macizo de Santander. Es descrita como un conjunto de rocas metamórficas de protolito sedimentario, las cuales presentan un grado alto de metamorfismo. Esta unidad presenta una amplia gama litológicas entre las cuales aparecen: paraneises pelíticos, semipelíticos y arenáceos además de, en menor proporción, gneis calcáreo, mármol, neis hornblendico y anfibolita. Hacia el norte de Bucaramanga, entre el río Tona y Suratá, aparece mármol y rocas calcosilicatadas.

El Neis de Bucaramanga se presenta según Ward et al. (1973) en tres bandas distribuidas a lo largo del macizo de Santander las cuales se pueden dividir como occidental o Bucaramanga, central y oriental; el área de estudio corresponde a la franja occidental.

Ward et al. (1973) también reporta para el Neis de Bucaramanga la presencia de zonas de migmatitas las cuales pueden ser de dos tipos: una de ellas en la cual existe una mezcla entre el paragneis y un neis granítico; y la otra zona en la cual los neises están cortados por rocas no foliadas de composición granítica de edad Triásico- Jurásico.

En cuanto a la edad del Neis de Bucaramanga Ward et al. (1973) reporta edades que van desde los 680 ± 140 m.a para una muestra de neis biotítico en la vía Berlín- Vetas, hasta los 940 ± 34 m.a para una muestra de neis hornblendico tomada en las cercanías de Ocaña (Norte de Santander). El rango anterior de edades sugiere que la formación pertenece al neoproterozoico.

3.2 Formación Diamante:

Esta formación hace parte de la serie Suratá, propuesta por Dickey (1941). Ward et al. (1973) nombra la Formación Diamante a los tres miembros (inferior, medio, superior) aflorantes en las canteras de Cementos Diamante S.A. La sección tipo de esta unidad se extiende desde las canteras a lo largo de la Quebrada La Mona.

El miembro inferior consta de areniscas de grano fino a medio de color púrpura oscuro intercaladas con capas de arcillolitas de color semejante. En este tramo llegan a aparecer algunas areniscas conglomeráticas feldespáticas y micáceas; con guijos de cuarzo de hasta 7mm. El miembro medio consta de shale de color gris oscuro intercalado con calizas grises hacia la parte

baja y con arcillolitas limosas de color gris verdosa hacía la parte superior. El miembro superior consta principalmente de calizas grises oscuras y de forma subordinada arcillolitas limosas intercaladas con arenas arcillosas. La Formación Diamante comparte un límite superior inconforme con la Formación Tiburón. Rabe (1974) menciona un conjunto de arenas arcillosas calcáreas en la carretera antigua a Rionegro y las cataloga como una unidad aparte de Diamante.

Ward et al. (1973) reconoce varios tipos de fósiles entre ellos braquiópodos, crinoideos, equinoideos, corales tabulados, pelecípodos, foraminíferos y briozoarios. Con esta gama de fósiles Ward et al. (1973) ubica a la Formación Diamante entre el Carbonífero superior (Pensilvaniano) y el Pérmico medio.

3.3 Formación Tiburón:

Hace parte de la parte superior de la Serie Suratá. Su sección tipo se encuentra a lo largo de la carretera que de Bucaramanga lleva al municipio de Suratá. Según Arias y Gómez (1993) la formación está compuesta por intercalaciones de calcirudita gris con niveles de calcarenitas de color gris a rojizo. Ward et al. (1973) atribuye a la Formación Tiburón principalmente capas masivas de conglomerados con guijos de composición calcárea pertenecientes a la Formación Diamante. Bogotá y Mendoza (s.f.) mencionan como parte media de la Formación Tiburón la presencia de shales, limolitas pizarrosas y algunas margas.

La edad de la Formación Tiburón se le atribuye como Pérmico Medio, conforme a su ubicación estratigráfica entre la Formación Diamante y la Formación Bocas. La litología de la Formación Tiburón, su posición al oeste de la Falla de Bucaramanga, y su relación subyacente con la Formación Diamante pueden indicar que esta Formación se derivó de la erosión de los estratos superiores de la Formación Diamante. Según Ward et al. (1973) el origen, transporte y sedimentación de los componentes de la Formación Tiburón sucedió menos en un área de 100km².

3.4 Formación Bocas:

Designada inicialmente como “Bocas Series” por Dickey (1941) con el fin de referirse a la serie menos fosilífera desde Puente Tierra a Bocas la cual cubre la anteriormente llamada Serie Suratá. La litología basal de la Formación Bocas está conformada por areniscas grises a negras, calcáreas, duras y con intercalaciones de shale negros.

También aparecen limolitas grises verdosas, calcáreas y con intercalaciones de shale negro. La parte media presente limolitas y shales grises a verdes, ambos son calcáreos y aparecen algunos fragmentos fósiles vegetales. En la parte superior vuelven a aparecer areniscas grises y verdosas, adicionalmente aparecen conglomerados gris verdoso con guijos subangulares y en matriz arenosa. También aparecen areniscas conglomeráticas. Limolitas verdosas a marrones, calcáreas, aparecen hacia la parte más superior de la Formación.

A la Formación Bocas se le atribuye una edad Triásica, basándose en análisis de fósiles y en correlación con otras unidades.

3.5 Formación Girón:

Inicialmente fue denominada como “Girón Series” para referirse al conjunto grueso de areniscas, conglomerados, y limolitas de color rojizo que están expuestas al oeste de la ciudad de Bucaramanga, en ese entonces también se tomaban parte de este grupo las rocas de las hoy Formaciones Jordán, Bocas y Tambor. Según Cediel (1968), la Formación Girón tiene un espesor de más de 4.000 metros y está conformada por 7 facies.

La Formación Girón está conformada por areniscas de grano medio, grueso a ligeramente conglomeráticas, de color rojo violáceo, rojo grisáceo y gris verdoso, en capas consideradas 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 ambiente de sedimentación es continental, fluvial a lacustre fluvial.

Ward (1973) propone para la Formación Girón un rango de edad desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Inferior.

La Formación Girón comparte una discontinuidad estratigráfica con las suprayacentes Formación Bocas y Jordán; y un límite superior concordante con la Formación Los Santos (Royero y Clavijo, 2001).

3.6 Cuarzomonzonita y Granito:

Corresponden a los tipos de roca que tienen más dominio en los batolitos del departamento de Santander. La composición predominante en estas intrusiones es la cuarzomonzonítica y

adicionalmente ocurren variaciones de tipo granítico a granodiorítico. Ward et al (19713) data este tipo de roca como Jurásico inferior a medio.

3.7 Formación Bucaramanga:

La Formación Bucaramanga se divide en 4 miembros según Ingeominas (2001): Órganos, Fino, Gravoso y Limos Rojos. En la zona de estudio aparecen cartografiados tanto el miembro Órganos como el miembro Limos Rojos. El miembro Órganos está conformado por gravas matriz soportadas y granosoportadas. Aparecen feldespatos alterados en los niveles medios (Niño y Vargas, 1992). Este nivel presenta remanentes por deslizamiento hacia el barrio Mirador cerca de la zona de desarrollo del proyecto.

También hacia la zona de estudio aparece el nivel Limos Rojos de la Formación Bucaramanga, el cual consta de arenas arcillosas con presencia de gravas y bloques angulares de baja esfericidad.

3.8 Depósitos cuaternarios:

Niño y Vargas (1992) reportan la presencia de aluviones los cuales se encuentran en la zona de estudio en los bordes del río Suratá. Para el aluvión el río Suratá reportan cantos redondeados de hasta 2m de diámetro de calizas, conglomerados calcáreos, neises, granitos y de areniscas con estratificación cruzada.

Los mismos autores reportan la presencia de depósitos coluviales a lo largo de la vía Bucaramanga- Matanza, afectando específicamente al Neis de Bucaramanga, los bloques angulares en estos depósitos alcanzan los 1.5 metros de diámetro.

4. Metodología

4.1 Fase 1: Recursos bibliográficos e identificación de sondeos.

Durante esta fase se utilizaron diversas bases de datos brindadas por la biblioteca de la Universidad Industrial de Santander, estudios de entidades públicas como el Igac, la Amb y la Cdmb con el fin de recopilar información y antecedentes de la zona de estudio. Adicionalmente, se obtuvo información referente al análisis geotécnico para seguir de una manera adecuada los parámetros y reglas a realizar en un estudio de este tipo.

Dentro de la información geológica reunida se buscaron estudios generales de las formaciones presentes, mapas brindados por el Servicio Geológico Colombiano y artículos en diversos boletines geológicos. Por último, en la litoteca de la Universidad Industrial de Santander, se identificaron, seleccionaron y organizaron los sondeos pertenecientes a la zona de estudio para su posterior análisis.

4.2 Fase 2: Trabajo de campo

En esta etapa, el trabajo constó de una cartografía a escala 1:10.000 en un área de 2km² al norte de Bucaramanga. Durante esta etapa se recolectaron datos litológicos, datos estructurales, se seleccionaron las muestras de interés para sección delgada y además material fotográfico. De igual manera, se realizó la toma de datos geotécnicos con el fin de caracterizar los materiales de la zona. Para la descripción de muestras se utilizó el manual de descripción y clasificación de rocas terrígenas por su textura de Cruz y Caballero (2007).

4.3 Fase 3: Laboratorio

Durante la fase de laboratorio se describieron los núcleos previamente seleccionados, se eligieron muestras representativas para su posterior estudio de compresión simple o confinada en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Civil, y se prepararon y analizaron 4 secciones delgadas.

Para el análisis de las secciones delgadas se utilizaron libros de paleontología como Mackenzie (2017), K.BouDagher-Fadel (2008) y Stanley (1971).

4.4 Fase 4: Análisis de datos e informe final

En la fase 4, se recopilaron los datos obtenidos en campo y en laboratorio, se realizó el mapa geológico en el software Arcgis 10.3, se realizó la caracterización geotécnica a partir de los datos de compresión simple y otros parámetros tomados en campo. Al momento de realizar la caracterización geotécnica se utilizó el método Rock Mass Rating (rmr), el cual fue estructurado por Bieniawski (1989) y clasifica una masa de roca a partir de los siguientes parámetros:

- Resistencia a la compresión simple de la roca.
- R_{qd}, el cual determina la calidad de la roca a partir de núcleos, fisuras por metro lineal o fisuras por metro cúbico.
- El espaciado entre las discontinuidades.

- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrológicas, es decir, la cantidad de agua presente.

Cada parámetro da un puntaje que al final es acumulado y clasifica el macizo de roca.

Posteriormente, se procedió a estructurar y escribir el informe final.

5. Resultados

5.1 Geología local

En el presente estudio se pudo distinguir a la Formación Diamante, Tiburón, Bocas y Girón. Además, se distinguió la unidad ígnea cuarzomonzonita y depósitos de la Formación Bucaramanga, del río Suratá y coluviones que afectan las formaciones Diamante Bocas y Tiburón.

5.1.1 Formación Diamante (PCd). La Formación Diamante aparece hacia el oeste de la zona de estudio, presenta pendientes medias a altas y posee un grado de meteorización relativamente bajo. En la vía destapada que conduce del sector de Carabineros a la vía al mar, 350 metros más adelante de Puente Hierro se puede acceder a la quebrada Ceylán, en la cual la Formación Diamante tiene diversas expresiones.

Siguiendo la carretera de Puente Hierro (estaciones 8 y 9) aflora una gran franja de calizas arcillosas o margas. Esta franja presenta un color grisáceo y también aparecen embebidos algunos bancos de conglomerados calcáreos y nódulos. Este sector se encuentra bastante diaclasado. Sobre las margas luego aparecen depósitos cuaternarios. Estas calizas arcillosas presentan algunos nódulos calcáreos de más de 10cm de diámetro.



Figura 4. Afloramiento de la Formación Diamante que muestra mudstone ligeramente arcillosa.

Apenas entrando a la quebrada Ceylán (estación 4) afloran lodolitas y areniscas rojas ligeramente calcáreas. Las lodolitas y areniscas se presentan fracturadas y no se ve un patrón de capa definido. Adicionalmente, superficialmente, las lodolitas están afectadas por la humedad (Figura 5). En la quebrada Ceylán también aparecen areniscas calcáreas de grano fino a medio con tonalidad rojiza y humedad superficial.



Figura 5. Lodolitas rojizas pertenecientes a la Formación Diamante (estación 4).

Siguiendo por Ceylán aparece un afloramiento de calizas (estación 5) con algunas capas intercaladas de lodolitas y areniscas grises calcáreas las cuales se presentan buzando hacia el sureste. Las calizas flotantes se clasificaron como calizas tipo mudstone.



Figura 6. Afloramientos de calizas pertenecientes a la Formación Diamante (estación 5).

Las calizas siguen predominando aguas arriba de la quebrada Ceylán hasta antes del punto de unión con la quebrada Chingorá, lugar donde empiezan a predominar los conglomerados de la Formación Tiburón. La Formación Diamante entra en contacto fallado con la suprayacente

Formación Tiburón debido a influencia estructural (falla normal). El buzamiento predominante de la unidad en la zona de estudio es hacia el sureste.

Para la Formación Diamante se realizó una sección delgada a partir de una muestra de la estación 9. En descripción de mano la roca fue clasificada como una mudstone ligeramente arcillosa rica en cemento de tipo micrita. El análisis en sección delgada se realizó para correlacionar los fósiles y definir la paleoecología donde la Formación Diamante se formó.

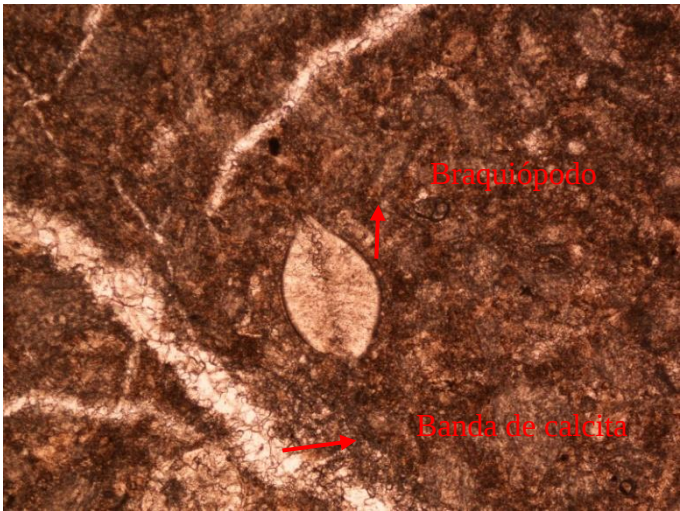


Figura 7. Imagen en paralelos de la Formación Diamante.

La roca presenta dominio de restos fósiles típicos del paleozoico superior, coincidiendo con la edad de los fósiles de la Formación Diamante.

Aparecen braquiopodos. Se identifican por la presencia de valvas las cuales estan unidas por la presencia de valvas. Son abundantes en la lámina.

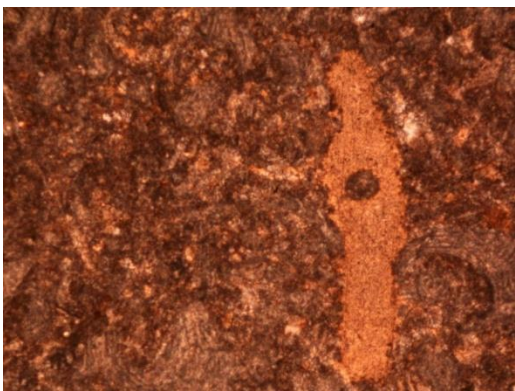


Figura 8. Imagen en cruzados de la Formación Diamante.

Equinodermos tambien aparecen en la placa, se caracterizan por su forma geométrica y por la abertura en la mitad de la estructura.

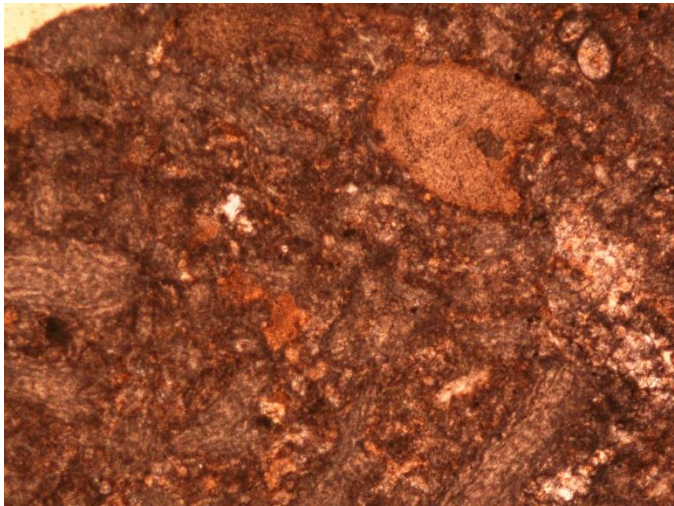


Figura 9. Imagen en cruzados de la Formación Diamante.

En la Figura 9, se pueden apreciar remanentes de briozoarios y algunos pocos braquipodos. Estos tipos de fósiles coinciden en que ambos pueden ser encontrados en ambientes relacionados con mares continentales y algo superficiales.

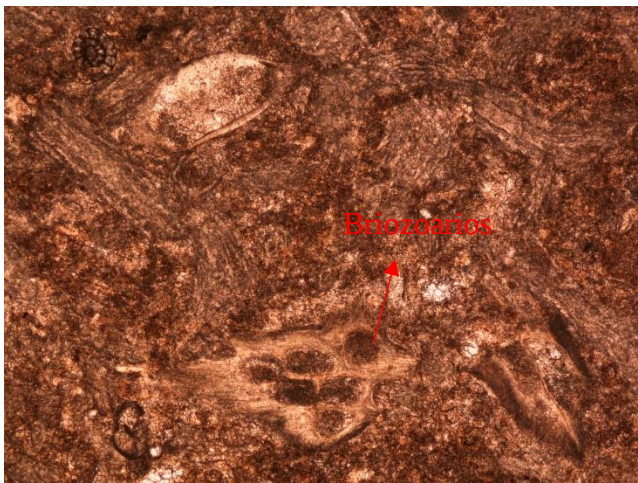


Figura 10. Remanente fósil en imagen en paralelos.

Aparecen briozoarios, de la clase Stenolaemata. Los cuales viven en colonias formadas por numerosos zooides. Estos organismos solían vivir en profundidades de 25 a 40m.

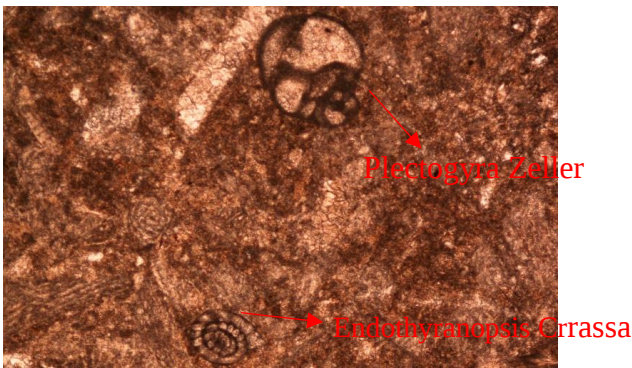


Figura 11. Fósiles de la Formación Diamante.

Aparecen foraminiferos del orden Fusulinina, los cuales son el orden más grande de foraminiferos en el paleozoico. La superfamilia Endothyroidea abarca los foraminiferos bentónicos que aparecen. Esta superfamilia se distingue por estructuras conformadas por varias cámaras, y unas partes pueden aparecer algo lineales. Basado en correlación de fósiles, los foraminiferos pertenecen al carbonifero superior o pensilvánico (318ma).

En la placa tambien se pueden encontrar numerosos fósiles de foraminíferos. Uno de ellos es el Plectogyra Zeller del carbonífero superior. Este tipo de foraminifero de tipo bentónico están asociados a calizas superficiales y a shales cálcareos. Adicionalmente, se desarrollan en aguas superficiales con poca presencia de materiales siliclásticos. El Endothyranopsis Crassa es otro tipo de fósil presente con las mismas condiciones paleoecológicas.

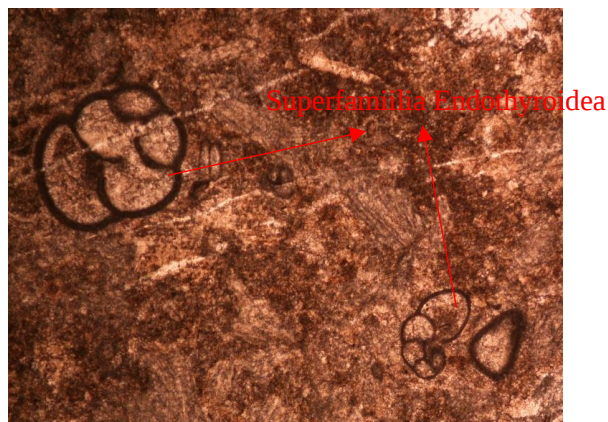


Figura 12. Foraminíferos en la Formación Diamante.

Otro foraminífero que aparece en la lámina es el Haplophragmella, el cual pertenece a la misma familia Endhotyroidea.

Con el analisis de la sección delgada de la Formación Diamante y la información que brindan los fósiles se puede decir que las calizas arcillosas encontradas se formaron en mares continentales relativamente tranquilos y en aguas poco profundas.

5.1.2 Formación Tiburón (TRPt). En la zona de estudio es la unidad que más área abarca. La Formación Tiburón aparece desde el punto conocido como Puente Hierro, en la vía alterna Bucaramanga- Rionegro, extendiéndose hacia el norte por las quebradas Ceylán y Chingorá. También aparece en escarpes cercanos al río Suratá, hacía los barrios Los Ángeles y Villa Helena.



Figura 13. Afloramiento de la Formación Tiburón al margen del río Suratá (Estación 1).

Esta unidad se caracteriza por el dominio litológico de conglomerados calcáreos que se presentan en bancos. Estos conglomerados constan de guijos y gujarros de caliza y de areniscas calcáreas.

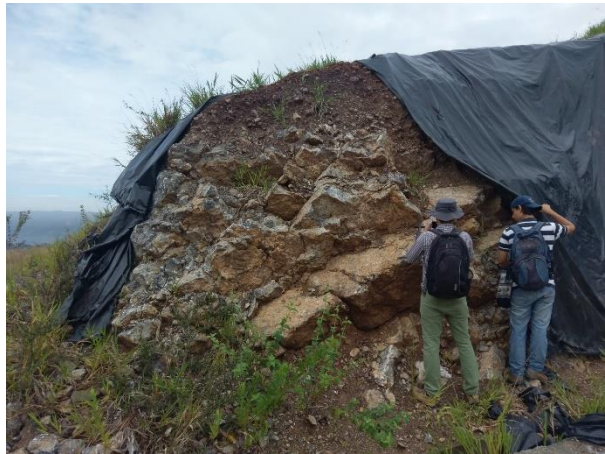
La Formación Tiburón se extiende hasta la Cuchilla Los Angelinos (propiedad AMB) hasta encontrarse con la suprayacente Formación Bocas. El cambio de litología de Tiburón a Bocas es evidente al recorrer el filo de la cuchilla (estación 24 y 21), se pasa de los conglomerados a lodolitas y areniscas finas ligeramente calcáreas. Aunque no hay una superficie de contacto clara, el cambio en litologías es evidente.



Figura 14. Conglomerado calcáreo de la Formación Tiburón con clastos de variado diámetro (Estación 1).

Hacia el norte en la misma Cuchilla los Angelinos, dentro de la planta del acueducto metropolitano de Bucaramanga (amb), los conglomerados de la Formación Tiburón se encuentran fallados, se evidencian numerosas diaclasas y algunas estrías. En este sector la Formación Tiburón aparece en contacto fallado (oculto por obra civil) con la Formación Girón.

Hacia la quebrada Ceylán (estación 7) los conglomerados calcáreos aparecen en un tono rojizo y con características similares al conglomerado descrito previamente.



*Figura 15. Conglomerados calcáreos de la Formación Tiburón altamente diaclasados.
Localización: Planta de tratamiento Los Angelinos.*

Hacia el oeste de la zona de estudio (estación 12), la Formación Tiburón aflora al margen del río Suratá. En este sector también afloran los típicos conglomerados calcáreos. Más al sur la Formación se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios.

Hacia la quebrada Ceylán aparecen empiezan a aparecer conglomerados calcáreos con tonos rojizos. En la quebrada Ceylán se da un cambio litológico entre las Formaciones Diamante y Tiburón; de lodolitas y areniscas rojizas se pasa a conglomerados calcáreos con tonalidad rojiza.



Figura 16. Conglomerados calcáreos rojizos de la Formación Tiburón (Quebrada Ceylán).

Para la Formación Tiburón se selección una muestra del conglomerado calcáreo para realizar un análisis petrográfico. La muestra es un conglomerado de gránulos a guijos. Se encontraron fósiles iguales a los de la Formación Diamante en los clastos calcáreos, lo que indica que la Formación Tiburón se originó luego de la erosión parcial de Diamante.

Analizando los clastos que conforman los conglomerados calcáreos de la Formación Tiburón se puede evidenciar que Tiburón presenta clastos calcáreos similares a conocidos en la Formación Diamante.

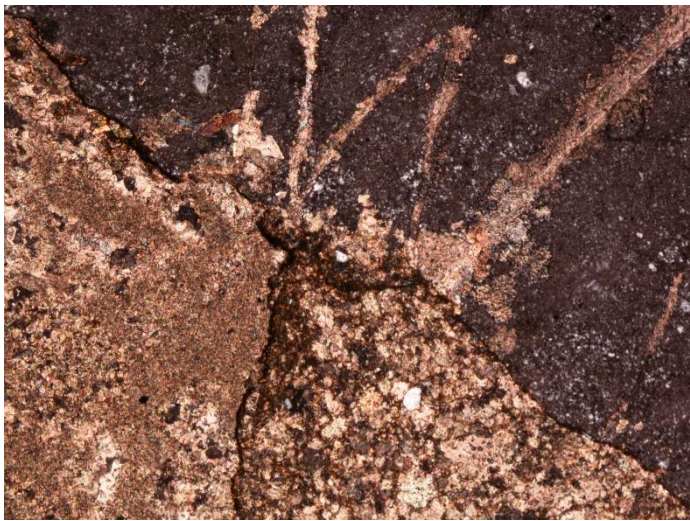


Figura 17. Tipos de granos en el conglomerado de la Formación Tiburón.

En la muestra aparecen clastos calcáreos (micrita), clastos de cuarzo y varios clastos ricos en calcita.

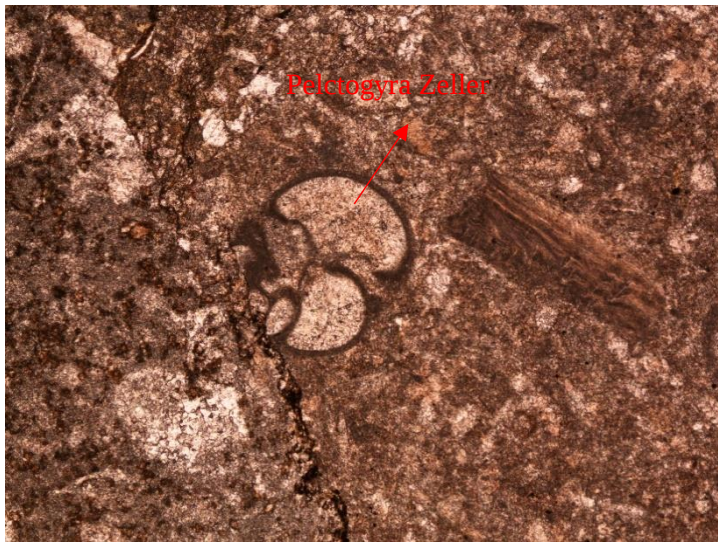


Figura 18. Remanentes fósiles en clastos calcáreos

Los fósiles identificados son los mismos pertenecientes a la super familia Endothyroidea, la cual agrupa los principales foraminiferos del carbónifero superior. La matriz de la mayoría de los clastos coincide con la misma de la muestra de las calizas arcillosas de la formación Diamante

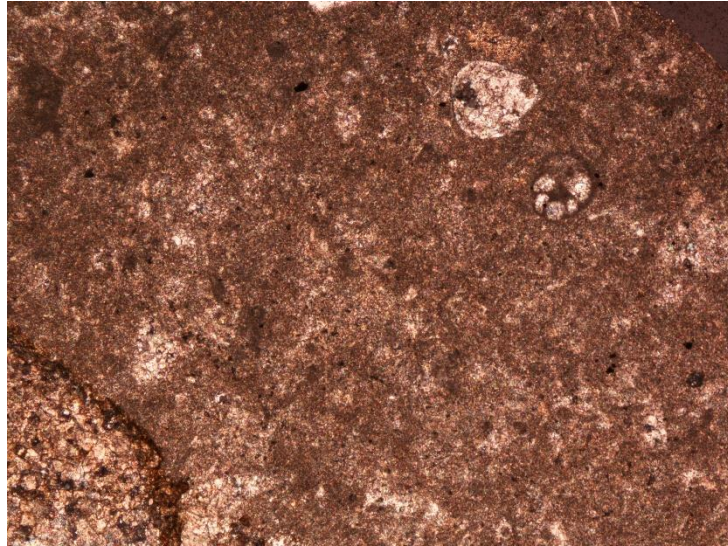


Figura 19. Clasto calcáreo similar a la Formación Diamante.

La similitud entre los clastos calcáreos de los conglomerados de Tiburón es muy alta con las calizas arcillosas de la Formación Diamante.



Figura 20. Contacto intergranular entre calcita y cuarzo.

También aparecen granos ricos en calcita entrando en contacto con granos de cuarzo, los cuales presentan tamaños mayores a la calcita.

5.1.3 Formación Bocas (TRb). La Formación Bocas aparece en la zona de estudio hacia el este de la Cuchilla los Angelinos y hacia el talud entre los Barrio Santos Bajo y Granjitas.

En el talud del barrio Santos Bajo la Formación Bocas muestra areniscas verdosas medias a gruesas, ligeramente calcáreas debido al tipo de cemento en la roca (estación 20). En este mismo sector la Formación Bocas se encuentra afectada por la meteorización, generando que las rocas no se encuentren muy bien compactadas. Composicionalmente las areniscas están en el rango de las sublitarenitas. Más hacia el oeste, en el mismo talud, subiendo por la quebrada cercana a la

estación de Carabineros, aparecen algunas capas de arenas conglomeráticas y conglomerados buzando hacia el S-W.



Figura 21. Afloramiento perteneciente a la Formación Bocas. Areniscas medias a conglomeráticas aparecen en el lugar.

Las capas de las areniscas conglomeráticas de la Formación Bocas que aparecen hacia la quebrada Carabineros buzando hacia el sureste y se extienden aguas arriba hasta que aparece el miembro Órganos removido.



Figura 22. Capas de areniscas conglomeráticas de la Formación Bocas. Sector Carabineros (estación 14).

Aguas arriba de la quebrada la litología aparece un shale gris oscuro y con brillo sedoso (estación 15). Siguiendo la quebrada aguas arriba, aparece el miembro Órganos removido y posteriormente el miembro Limos Rojos. El cambio drástico en la pendiente en este lugar indica el inicio de los depósitos más recientes.



Figura 23. Lodolitas shale pertenecientes a la Formación Bocas.

Hacia la Cuchilla Los Angelinos (estación 21), aparecen lodolitas amarillo- verdosas, con presencia de pirolusita. Estas lodolitas entran en contacto con la infrayacente Formación Tiburón.

En el barrio Santos Bajo se seleccionó una muestra clasificada en mano como sublitarenita gruesa ligeramente calcárea. En la muestra de mano se pudo confirmar la presencia de cuarzo, feldespato potásico y fragmentos de roca. Hacia la planta de tratamiento Los Angelinos, la Formación Bocas entra en contacto tanto con Tiburón como con Girón. La Formación Bocas desaparece entre la Formación Tiburón y Girón hacia el noreste de la zona de estudio.

La sección delgada analizada se realizó a partir de una muestra adquirida en la estación 20.

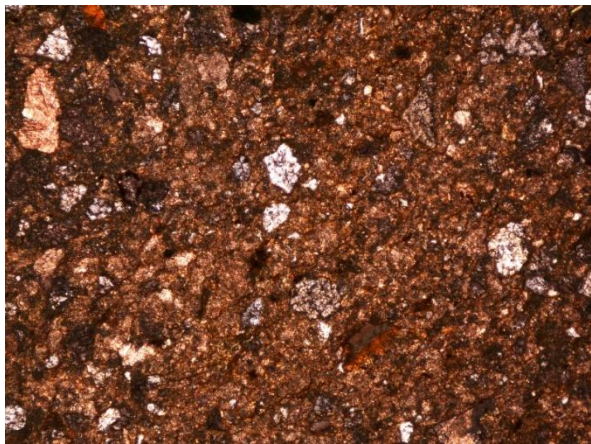


Figura 24. Imagen en paralelos para areniscas de la Formación Bocas

En el análisis al microscopio se constató la presencia de cemento de tipo micrita, lo que le da la característica ligeramente calcárea a la unidad. También se evidenció la presencia de fragmentos líticos, granos de cuarzo y algunos feldespatos en su mayoría de tipo plagioclasas. Las areniscas de la Formación Bocas presentan un calibrado moderado, granos subangulares y un armazón lodosoportado.

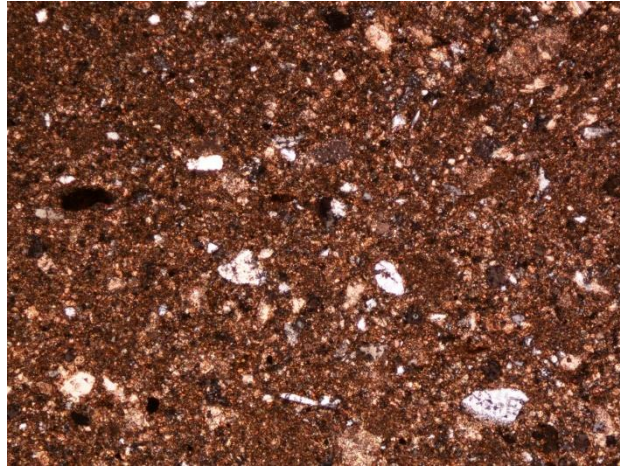


Figura 25. Sección delgada Formación Bocas.

Con el análisis en sección delgada la roca se clasificó como una sublitoarenita a subarcosa ligeramente calcárea, soportando la descripción de muestra de mano.

5.1.4 Formación Girón (Jg). La Formación Girón aparece hacia el límite este de la zona de estudio, más precisamente, en el sector de la planta de tratamiento Los Angelinos (estación 28).

En este sector la formación Girón se caracteriza por varias capas de conglomerados rojizos con clastos de 3 cm en adelante. También aparecen algunas lodolitas rojas hacia la vereda Los Angelinos.



Figura 26. Formación Girón altamente tectonizada, la suprayace un cuerpo ígneo granítico.

La Formación Girón presenta alto grado de fracturamiento y evidencias de actividad estructural tales como, estrías, planos de falla, clastos y capas desplazadas e incluso una zona de milonitización (fuera de la zona de estudio).



Figura 27. Desplazamiento en capa de conglomerados de la Formación Girón.

La Formación Girón se presenta en contactos fallados tanto con la Formación Bocas como con la Formación Tiburón, ambas infrayacentes.

Para la Formación Girón también aparecen algunas capas no mayores a 10cm de lodolitas rojas y verdes con cierto grado de fisilidad. Estas capas lodosas se encuentran intercalados entre los conglomerados. Adicionalmente, aparecen algunas areniscas conglomeráticas de color rojizo con fragmentos ígneos y granos de cuarzo y feldespatos.



Figura 28. Contacto fallado entre la Formación Girón y la Formación Bocas.

Los conglomerados que aparecen en la Formación Girón están compuestos, principalmente, por clastos ígneos y de cuarzo.

La Formación Girón entra en contacto fallado con la Formación Tiburón en el área circundante a la planta de tratamiento Los Angelinos y con la Formación Bocas en contacto discordante hasta que esta última se pincha en medio de Tiburón y Girón.

5.1.5 Rocas ígneas. En la zona de estudio aparece hacia el noreste una franja granítica de tipo cuarzomonzonita. La cuarzomonzonita cartografiada aparece en forma de franja a lo largo de la Falla de Bucaramanga, y entra en contacto con la Formación Girón en el sector de la vereda Los Angelinos (noreste de la zona de estudio). En la planta de tratamiento Angelinos aparecen en un área restringida sobre la Formación Girón.

Adicionalmente también aparecen algunos diques volcánicos, de menos de un diámetro, de tipo diabasa. Estos diques afectan principalmente a la Formación Tiburón dentro de la planta de tratamiento Los Angelinos.



Figura 29. Cuerpos ígneos en la planta de Tratamiento Los Angelinos.

5.1.6 Formación Bucaramanga (Qmbo, Qmblr y Qcmbo). La Formación Bucaramanga aparece en el área de estudio y se expresa mediante los miembros Órganos y Limos Rojos. Los límites del miembro Órganos se definen mediante el patrón de curvas de nivel.

El miembro Órganos aparece principalmente hacia el N-W de la zona de estudio y se expresa mediante intercalaciones de cantos rodados con bancos de arena y lodos. Consta de niveles conglomeráticos polimícticos de matriz areno lodosa con alternancia de bancos con clastos de pocos mm y con una matriz limosa. Las capas de material más fino del miembro son más propensas al desarrollo de surcos. En la zona urbana del área de estudio el miembro Órganos aparece removido, esto se infiere ya que no existe ninguna secuencia consistente en los afloramientos. No se observa una secuencia característica

El miembro Limos Rojos aparece hacia el sur de la zona de estudio, en la carretera de acceso al barrio Granjitas. Este miembro se caracteriza por depósitos de gravas en una matriz lodo arenosa y de ligera tonalidad roja.



Figura 30. Depósito de terraza, el cual suprayace remanentes del miembro Órganos.

5.1.7 Depósitos cuaternarios (Q_{tf} y Q_{col}). Los depósitos cuaternarios que aparecen en la zona de estudio corresponden principalmente a depósitos de terrazas del río Suratá y en menor proporción aparecen algunos coluviones.

Los depósitos del río Suratá corresponden principalmente a llanuras de inundación (estación 2 y 3). En los márgenes del río es posible encontrar cantos de litología ígnea, metamórfica y sedimentaria.

Además, aparece evidencia de varios ciclos de deposición en los cuales varía la intensidad, esta variación es reflejada en la granulometría de los materiales depositados. Episodios de baja energía representados por la aparición de materiales más finos y mejor trabajados y episodios de alta energía evidenciados por materiales menos trabajados y una gama amplia de tamaños presentes.



Figura 31. Depósitos de terraza fluvial.

Los materiales depositados por el río Suratá provienen de unidades metamórficas (neis de Bucaramanga), ígneas (cuarzomonzonita y tonalita) y sedimentarias (Tiburón y Diamante.



Figura 32. Bloques al borde del río Suratá.

Los bloques que aparecen a los márgenes del río Suratá provienen de unidades presentes hacia el noreste en el macizo de Santander y que han sido removidos y retrabajados por la acción del río.



Figura 33. Bloque granítico arrastrado por el río Suratá.

Los coluviones en la zona de estudio fueron delimitados por análisis de imágenes aéreas y por información adquirida de la reinterpretación de los núcleos de perforación.

Principalmente afectan las bases de las laderas donde afloran las formaciones Diamante, Bocas y Tiburón. Los coluviones que aparecen en la zona de estudio presentan fragmentos angulares de variable tamaño y están matriz soportados por materiales arenosos y lodosos.

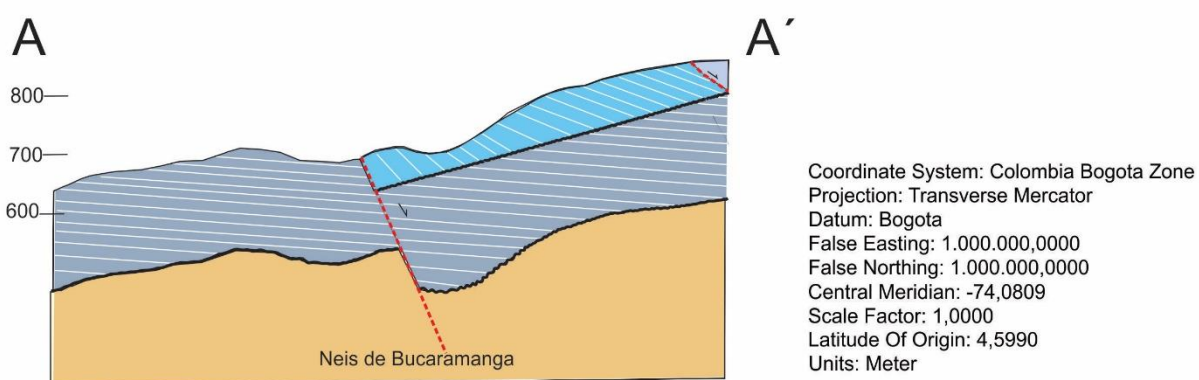
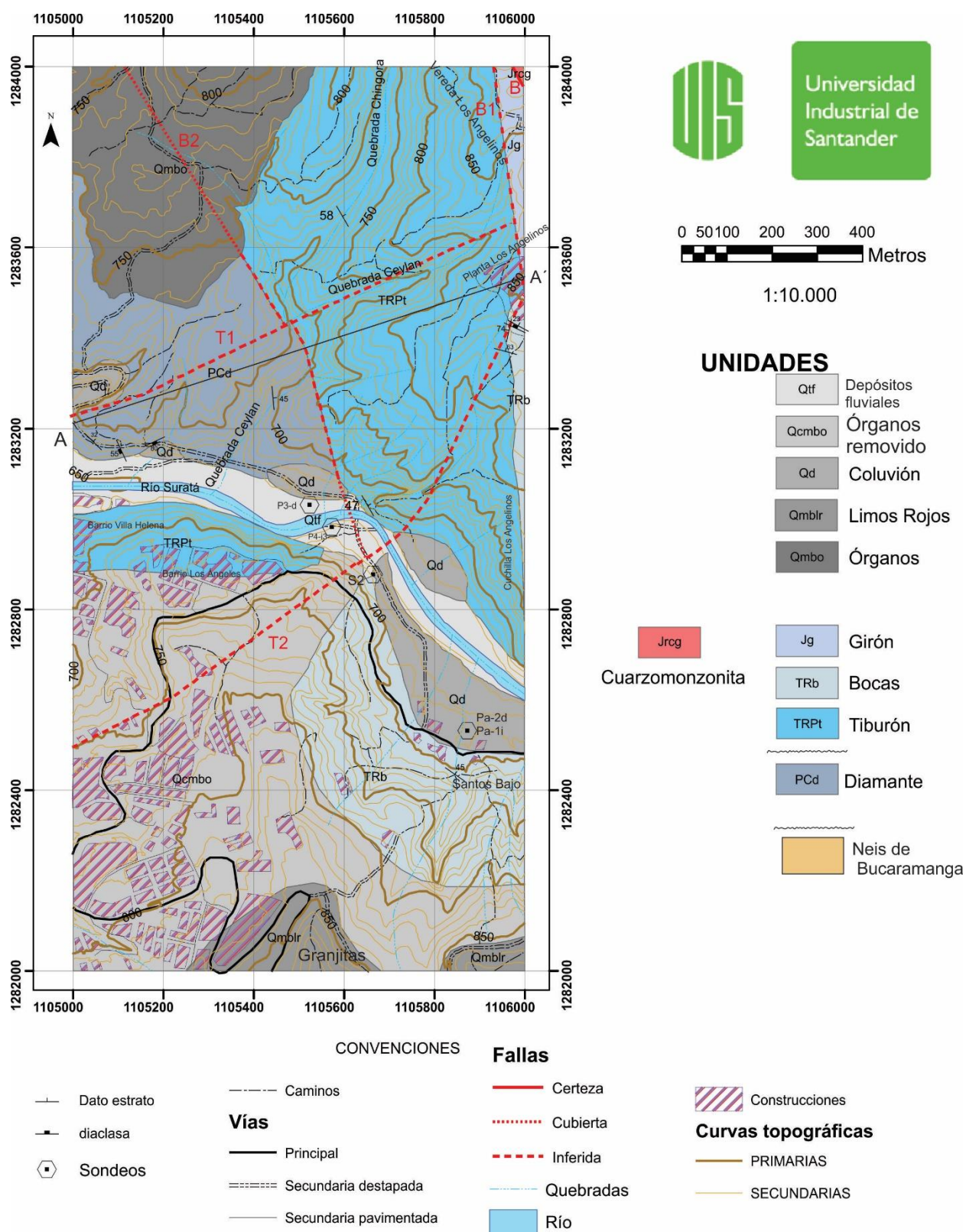


Figura 34. Mapa geológico de la zona de estudio, escala 1:10.000.

5.2 Geología estructural:

La zona de estudio se encuentra tectónicamente dominada principalmente por el sistema de fallas Bucaramanga- Santa Marta, el cual se encuentra al este, por los límites de la zona de estudio. Adicionalmente, aparece un sistema de fallas transversales al sistema Bucaramanga- Santa Marta, el sistema de fallas transversales posee una dirección dominante N-E. Este sistema presenta fallas de rumbo de tipo destrál.

El sistema de fallas Bucaramanga – Santa Marta está conformado por estructuras con dirección dominante N- N-W. Los criterios para la identificación de las estructuras fueron: uso de fotografías aéreas, toma de datos, patrones de drenaje, evidencias de desplazamiento y zonas de deslizamiento.

Las fallas asociadas al sistema de Fallas de Bucaramanga presentan una cinemática de tipo normal. La falla b1 permite el contacto fallado inferido entre las calizas arcillosas paleozoicas y los conglomerados calcáreos de Tiburón. Esta estructura, a su vez, se ve afectada por una falla transversal al sistema de Fallas de Bucaramanga generando un desplazamiento lateral de la estructura más antigua. La estructura b1 controla el trazo de la quebrada Ceylán. La falla b2 permite que los conglomerados de la Formación Girón entren en contacto con la Formación Tiburón, este contacto es claro en la planta de tratamiento Los Angelinos.

Precisamente en la planta de tratamiento Los Angelinos, confluye la falla b2 y la falla t1, generando numerosas familias de diaclasas, estrías (apéndice 3) y desplazamientos de las rocas presentes. Además, por acción de estas fallas, la Formación Bocas sufre un pinchamiento entre las Formaciones Girón y Tiburón.

Únicamente en dos afloramientos se pueden observar orientación de los estratos claramente (Fm Bocas y Fm Diamante), en la mayoría de los afloramientos las rocas se encuentran fracturadas y diaclasadas.

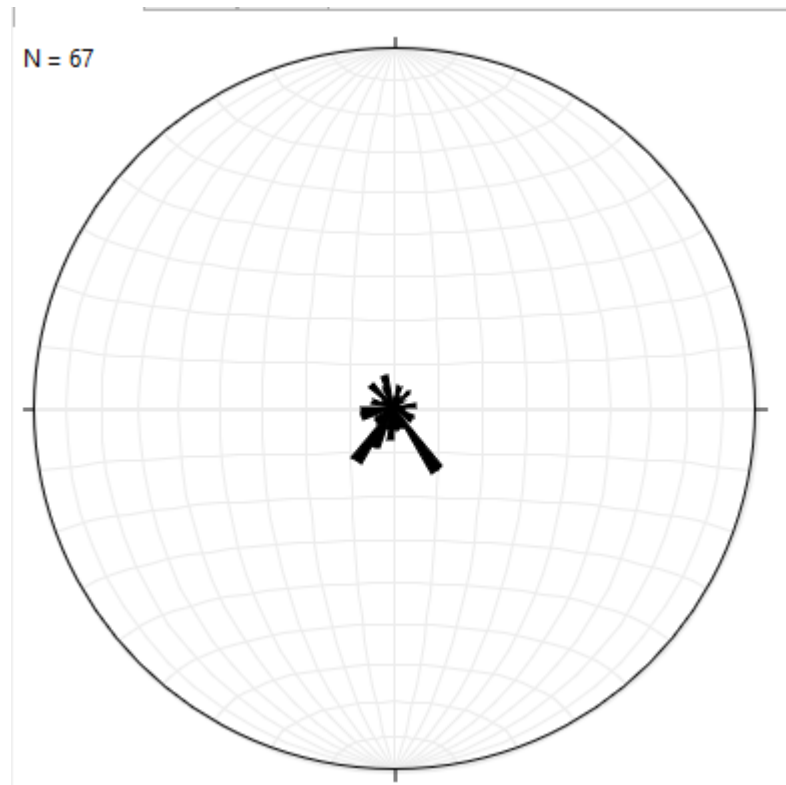


Figura 35. Diagrama de rosa para la planta de tratamiento Los Angelinos.

En la planta de tratamiento Los Angelinos se tomaron numerosos datos y se plasmaron en un diagrama de rosas, arrojando las direcciones predominantes en los planos del lugar. Las direcciones más comunes en el lugar son la S-E y la S-W, coincidiendo con las direcciones de las estructuras principales de la zona.

El buzamiento general de las capas en la zona es hacia el sureste, a excepción de la planta de tratamiento Los Angelinos donde las rocas se encuentran falladas y plegadas.

El sistema de fallas de Bucaramanga (trazo principal) actúa sirviendo como espacio para el emplazamiento de cuerpos ígneos al noreste de la zona de estudio (cuarzo monzonita).



Figura 36. Ligero plegamiento de capas conglomeráticas de Girón.

5.3 Análisis de sondeos:

La reinterpretación de los sondeos se realizó en la litoteca de la Escuela de Geología, mediante descripción de muestras de mano tanto de roca como de suelos. En el presente trabajo se comparan las descripciones realizadas por la empresa Consorcio Diseños Viales y las descripciones realizadas por el autor. Los sondeos analizados son:

- P3-d
- P4-1
- Pa2-d
- Pa1-i

CONSORCIO DISEÑOS VIALES					REGISTRO DE SONDEO EN SUELOS		
 CONSORCIO DISEÑOS VIALES CALLE 100 # 100-100 BOGOTÁ, COLOMBIA					PROYECTO: Actualización de Estudios y Diseños a Nive		
Sondeo No: P3-d					Localización: Puente Hierro		
Fecha: 13/04/2013					Profundidad (m): 20.25		
	Prof. (m)	Longitud tramo(m)	Nivel freático	Columna	Descripción	Muestra	
0,00	0,00				Suelos fluviotorrenciales recientes, conformado por una matriz arenogravosa a limosa con baja compactación.	1	
0,25							
0,50		1,00				2	
0,75							
1,00	1,00					3	
1,25	1,00						
1,50							
1,75							
2,00						4	
2,25							
2,50							
2,75							
3,00							
3,25							
3,50							
3,75							
4,00							
4,25							
4,50							
4,75							
5,00							
5,25							
5,50							
5,75	5,75						
6,00						5	
6,25							
6,50							
6,75							
7,00							
7,25							
7,50							
7,75							
8,00							
8,25							
8,50							
8,75	8,75						
9,00		17,50				6	
9,25							
9,50							
9,75							
10,00							
10,25							
10,50							
10,75	10,75						
11,00	10,75					7	
11,25							
11,50							
11,75							
12,00							
12,25							
12,50							
12,75							
13,00							
13,25	13,25						
13,50							
13,75							
14,00							
14,25							
14,50							
14,75							
15,00						8	
15,25							
15,50							
15,75							
16,00							
16,25							
16,50							
16,75							
17,00							
17,25							
17,50							
17,75							
18,00							
18,25						9	
18,50	18,50						
	OBSERVACIONES:					Continúa ...	

Figura 37. Sondeo P3-d descrito por la Empresa Consorcio Diseños Viales, parte 1.

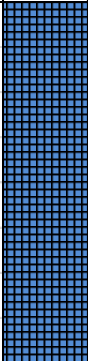
CONSORCIO DISEÑOS VIALES					REGISTRO DE SONDEO EN ROCA	
					PROYECTO: Actualización de Estudios y Diseños	
Sondeo No: P3-d					Localización: Puente Hierro	
Fecha: 13/04/2013					Profundidad (m): 20.25	
	Prof. (m)	Longitud tramo(m)	Nivel freático	Columna	Descripción del testigo	Muestra
18,50	18,50				Formacion Diamante (PCd), conformada por capas de calizas intercaladas con lodolitas calcáreas roca con un buen RQD, determinando una roca tipo II-B parcialmente meteorizada.	10
18,75						
19,00						
19,25		1,75				
19,50						
19,75						
20,00						
20,25	20,25					
Fin de la perforación.						

Figura 38. Sondeo P3-d descrito por la Empresa Consorcio Diseños Viales, parte 2.

Para el sondeo P3-d la empresa Consorcio Diseños Viales describe la parte más profunda como calizas intercaladas con lodolitas pertenecientes a la Formación Diamante. En la reinterpretación del sondeo, estas rocas se clasificaron con areniscas calcáreas pertenecientes a la misma Diamante. En cuanto a la clasificación de los suelos y los depósitos hay bastante similitud entre la descripción de la empresa y la realizada en el presente trabajo. Los depósitos pertenecen a la actividad del río Suratá en sus terrazas. Los materiales coinciden con los mismos encontrados a orilla del río (neises, granitos, tonalitas, conglomerados y areniscas).

SONDEO: P3-d					LOCALIZACIÓN: Puente Hierro																				
DESCRITO POR: Nicolás Jaimes Gualdrón															FECHA: Noviembre 2018										
PROFUNDIDAD	UNIDAD	LITOLOGÍA	Md	Wc	Pc - Gra										ESTRUCTURAS SEDIMENTARIA	FRACTURAS	COLOR	% MATRIZ	CALBRADO	AMBIENTE		Observaciones			
			LODO		ARENA					GRAVA															
			A	L	Mf	F	M	G	Mg	Gr	Gj	Go	B												
1.20																				Suelos de composición arenosa, con presencia de fragmentos rocosos .Color marrón grisáceo. Consistencia moderada. Sin presencia de carbonatos					
																				Depósito de terraza perteneciente al río Suratá con cantos redondeados por acción fluvial. Se presentan litologías ígneas, metamórficas y sedimentarias. Los materiales encontrados provienen de unidades del macizo de Santander.					
18		Qtz																							
		PcD																	Deltaico	Areniscas cálcareas. Roca muy dura. Parcialmente meteorizada. Pertenec a la formación Diamante.					

Figura 39. Análisis del sondeo.

CONSORCIO DISEÑOS VIALES					REGISTRO DE SONDEO EN SUELOS		
					PROYECTO: Actualización de Estudios y Diseños a Nivel de Fase III		
Sondeo No: P4-i					Localización:		
Fecha: 7/04/2013					Profundidad (m): 20.00		
	Prof. (m)	Longitud tramo(m)	Nivel freático	Columna	Descripción	Muestra	
0,00	0,00	1,00			Suelos aluviales recientes con matriz arenosa de grano medio, con limo arcilloso, ligera y compacta.	1	
0,25							
0,50							
0,75							
1,00	1,00					2	
1,25	1,00	19,00			Deposito aluvial (Qal) - (Qt), conformado por fragmentos de rocas ígneas y metamórficas, granitos y neis, redondeados y re trabajados, en una matriz gravoarenosa, depositados por el Rio Suratá y alojadas en terrazas aluviales bajas del mismo. No se reporta la existencia de roca in situ.	3	
1,50							
1,75							
2,00							
2,25							
2,50	2,40						
2,75							
3,00							
3,25							
3,50							
3,75							
4,00							
4,25							
4,50							
4,75							
5,00							
5,25							
5,50							
5,75							
6,00							
6,25							
6,50							
6,75							
7,00							
7,25							
7,50							
7,75	7,75						
8,00							
8,25							
8,50							
8,75	8,75						
9,00							
9,25							
9,50							
9,75							
10,00	10,00						
10,25							
10,50							
10,75							
11,00							
11,25							
11,50							
11,75							
12,00	12,00	19,00			Deposito aluvial (Qal) - (Qt), conformado por fragmentos de rocas ígneas y metamórficas, granitos y neis, redondeados y re trabajados, en una matriz gravoarenosa, depositados por el Rio Suratá y alojadas en terrazas aluviales bajas del mismo. No se reporta la existencia de roca in situ.	8	
12,25							
12,50							
12,75							
13,00							
13,25							
13,50							
13,75							
14,00	14,00						
14,25							
14,50							
14,75							
15,00							
15,25							
15,50							
15,75							
16,00							
16,25							
16,50							
16,75							
17,00							
17,25							
17,50							
17,75							
18,00							
18,25							
18,50							
18,75							
19,00							
19,25							
19,50							
19,75							
20,00	20,00						
OBSERVACIONES:					Continúa ...		

Figura 40. Descripción del sondeo P4-i por la empresa consorcio diseños viales.

En el sondeo P4-i no hubieron diferencias grandes en las descripciones.

CONSORCIO DISEÑOS VIALES					REGISTRO DE SONDEO EN SUELOS	
 CONSORCIO DISEÑOS VIALES					PROYECTO: Actualización de Estudios y Diseños a Nivel de Fase III Bucarmanga - Alto del Escorial	
Sondeo No: PA2-d					Localización: Puer	
Fecha: 11/03/2013					Profundidad (m): 19.30	
	Prof. (m)	Longitud tramo(m)	Nivel freático	Columna	Descripción	Muestra
0,00	0,00	0,75			Suelo aluvial reciente, matriz limo arcilloarenoso color café con gravas. Muy suelto y blando	1
0,25						
0,50	0,50					2
0,75	0,75					
1,00	0,75					
1,25		18,55			Depositos aluviales de terrazas bajas (Qal-Qt), del Rio Suratá, conformados por cantos redondeados de variada litología, en una matriz arenosa a gravoarenosa, los fragmentos se observan oxidados y con alteraciones minerales.	3
1,50						
1,75						
2,00						
2,25						
2,50						
2,75	2,80					
3,00	2,80					4
3,25	3,20					
3,50						
3,75						
4,00						5
4,25						
4,50						
4,75	4,90					
5,00	4,90					
5,25	5,40					6
5,50	5,40					
5,75						
6,00						
6,25						
6,50						7
6,75						
7,00						
7,25						
7,50						
7,75						
8,00						
8,25						
8,50						
8,75						
9,00	9,00					8
9,25						
9,50	9,50					
9,75						
10,00	10,00					
10,25						
10,50						9
10,75						
11,00	11,00					
11,25						
11,50						
11,75						
12,00	11,80					
12,25	11,80			Depositos aluviales de terrazas bajas (Qal-Qt), del Rio Suratá, conformados por cantos redondeados de variada litología, en una matriz arenosa a gravoarenosa, los fragmentos se observan oxidados y con alteraciones minerales.	10	
12,50						
12,75	12,60					
13,00						
13,25						
13,50						
13,75	13,60					
14,00						
14,25					11	
14,50						
14,75	14,80					
15,00	14,80					
15,25						
15,50						
15,75					12	
16,00						
16,25						
16,50						
16,75						
17,00						
17,25						
17,50	17,50					
17,75						
18,00						
18,25						
18,50						
18,75						
19,00						
19,25						
19,50	19,30	18,55			Continúa ...	
OBSERVACIONES:						

Figura 42. Descripción del sondeo Pa2-d

En el sondeo Pa2-d se pudo identificar la presencia de un coluvión gracias a información de campo en vez de un depósito fluvial. Los materiales presentes en el coluvión son angulares y han sido afectados por procesos de remoción.

SONDEO: Pa2-d				LOCALIZACIÓN: Puente Tiburón																
DESCRITO POR: Nicolás Jaimes Gualdron				FECHA: Noviembre 2018																
PROFUNDIDAD	UNIDAD	LITOLOGÍA	Md	Wc	Pc - Gra								ESTRUCTURAS SEDIMENTARIA	FRACTURAS	COLOR	% MATRIZ	CALIBRADO	AMBIENTE		Observaciones
			LODO		ARENA				GRAVA											
			A	L	Mf	F	M	G	Mg	Gr	Gj	Go								
2		Suelos																	Suelo no cohesivo. Consistencia blanda. Se caracteriza por tener una matriz lodos. Aparecen pequeños fragmentos de roca.	
		Coluvión															Continental, removido de materiales preexistentes		Depósito conformado por cantos angular y subangulares, diversas litologías. La matriz está conformada por partículas tamaño arena. Aproximanadamente la mitas de los clastos se presentan con alteraciones u oxidados. Los clastos van des del centimetro de diametro hasta más de 5 cm de diámetro	
19																				

Figura 43. Análisis sondeo Pa2-d.

CONSORCIO DISEÑOS VIALES				REGISTRO DE SONDEO EN SUELOS		
				PROYECTO: Actualización de Estudios y Diseños a Nivel de Fase III Bucarmanga - Alto del Escorial		
Sondeo No: PA1-i				Locali		
Fecha: 11/03/2013				Profundidad (m): 19.30		
	Prof. (m)	Longitud tramo(m)	Nivel freático	Columna	Descripción	Muestra
0,00	0,00				Suelos aluviales recientes, con matriz Limo arcilloarenoso color café con gravas. Muy suelto y blando	1
0,25						2
0,50	1,00					3
0,75						
1,00	1,00				Depositos aluviales (Qal) conformando terrazas bajas del Rio Suratá, conformdas por cantos redondeados, con una variada composicion litologica, encontrando fragmentos de rocas metamorficas e igneas. Los fragmentos se encuentran altamente meteorizados y oxidados. No se encuentran con buenas condiciones fisicas.	4
1,25	1,00					
1,50						
1,75						
2,00						
2,25						
2,50						
2,75						
3,00						
3,25						
3,50						
3,75						
4,00						
4,25						
4,50						
4,75	8,00					
5,00						
5,25						
5,50						
5,75						
6,00						
6,25						
6,50						
6,75						
7,00						
7,25						
7,50						
7,75						
8,00						
8,25						
8,50						
8,75						
9,00	9,00					
9,25					Continúa ...	
9,50	OBSERVACIONES:					

Figura 44. Descripción sondeo Pa1-i, parte 1.

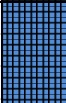
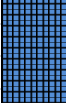
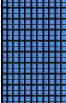
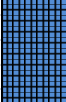
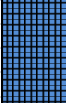
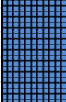
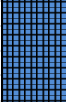
CONSORCIO DISEÑOS VIALES					REGISTRO DE SONDEO EN ROCA			
					PROYECTO: Actualización de Estudios y Diseños a Nivel de Fase III Bucarmanga - Alto			
Sondeo No: PA1-i					Localización: Puente Tiburones			
Fecha: 11/03/2013					Profundidad (m): 19.30			
	Prof. (m)	Longitud tramo(m)	Nivel freático	Columna	Descripción del testigo	Muestra		
9,00	9,00	0,6			Unidad de Tonalitas (TRt), Roca ignea tipo tonalita muy alterada por tectonismo, roca tipo IIA, con permeabilidad alta y una resistencia al corte media a baja.	5		
9,25								
9,50								
9,75								
10,00	10,00	1,07						
10,25								
10,50								
10,75								
11,00								
11,25								
11,50								
11,75		12,00						
12,00	12,00							
12,25								
12,50								
12,75		1,3						
13,00								
13,25								
13,50								
13,75								
14,00								
14,25		0,6						
14,50								
14,75								
15,00	15,00							
15,25		17,00						
15,50								
15,75								
16,00								
16,25								
16,50		18,70						
16,75								
17,00	17,00							
17,25								
17,50		1,27						
17,75								
18,00								
18,25								
18,50		1,45						
18,75	18,70							
19,00								
19,25								
19,50								
19,75								
20,00								
20,25								
20,50	20,50							
					Fin de la perforación.			
OBSERVACIONES:								

Figura 45. Descripción del sondeo Pa1-i, parte 2.

En el sondeo Pa1-i se pudo determinar que el depósito aluvial es más bien un coluvión y es el mismo del sector de Santos Bajo. Adicionalmente la empresa Consorcio Diseños Viales habla de una unidad de tonalita luego de los 9 metros pero a la hora de analizar el sondeo se verificó que la unidad corresponde a lodolitas grisáceas de la Formación Bocas.

SONDEO: Pa1-i				LOCALIZACIÓN: Puente Tiburón																	
DESCRITO POR: Nicolás Jaimes Gualdrón										FECHA: Noviembre 2018											
PROFUNDIDAD	UNIDAD	LITOLOGÍA	Md	Wc	Pc - Gra										ESTRUCTURAS SEDIMENTARIA	FRACTURAS	COLOR	% MATRIZ CALIBRADO	AMBIENTE		Observaciones
			LODO		ARENA					GRAVA											
			A	L	Mf	F	M	G	Mg	Gr	Gj	Go	B								
1		Suelos																	Suelos aluviales, con matriz limoarenosa, color café y presencia de gravas. La consistencia blanda y suelta.		
9		Coluvión																	Depósitos conformados por rocas metamórficas (gneis) y rocas ígneas (tonalitas) y rocas sedimentarias (cuarzoarenitas). Los clastos se encuentran meteorizados y oxidados, adquiriendo una tonalidad rojiza. La matriz es arenolodosa		
9		Bocas																	Lodolitas de color pardo grisáceo. Se fracturan fácilmente. Ligeramente carbonatadas. Pertenecen a la formación Bocas.		
20																					

Figura 46. Análisis sondeo Pa1-i.

CONSORCIO DISEÑOS VIALES				REGISTRO DE SONDEO EN SUELOS	
				PROYECTO: Actualización de Estudios y Diseños a Nivel de Fase III Bucarmanga - Alto del Escorial	
Sondeo No: 2			Localización: K1+100		
Fecha:			Profundidad (m): 11,30		
Prof. (m)	Longitud tramo(m)	Nivel freático	Columna	Descripción	Muestra
0,00	0,50			Escombros con limoarcilloso color gris blancuzco	
0,50					
0,50	1,50			Gravas con matriz arenosa de grano fino	
2,00					
2,00	1,00				
3,00					
3,00	4,00			Material aluvial y bolos de Neis fracturados	
7,00					
OBSERVACIONES:					

Figura 47. Descripción sondeo 2.

Para el sondeo 2 no fue posible realizar una descripción en laboratorio debido a que en la caja había material extraviado.

5.4 Análisis de resistencia a la compresión inconfina:

El procedimiento consiste en aplicar una carga axial a una probeta de roca en forma cilíndrica hasta que esta falle. Las rocas seleccionadas cumplen con ciertos parámetros de cohesión para poder ser sometidas a este método. La resistencia a la compresión inconfina se define como el esfuerzo máximo alcanzado durante el ensayo. Las alteraciones de las muestras juegan un papel

importante a la hora de realizar los ensayos, por eso se escogieron tres muestras en buenas condiciones para realizar el estudio.

Las muestras pertenecen a la Formación Diamante, a la Formación Tiburón y a la Formación Bocas. Los datos obtenidos en el ensayo mecánico se dan en kN y son utilizados para encontrar la resistencia a una carga axial de cada probeta, en este procedimiento también es necesario previamente haber calculado el área de cada probeta.

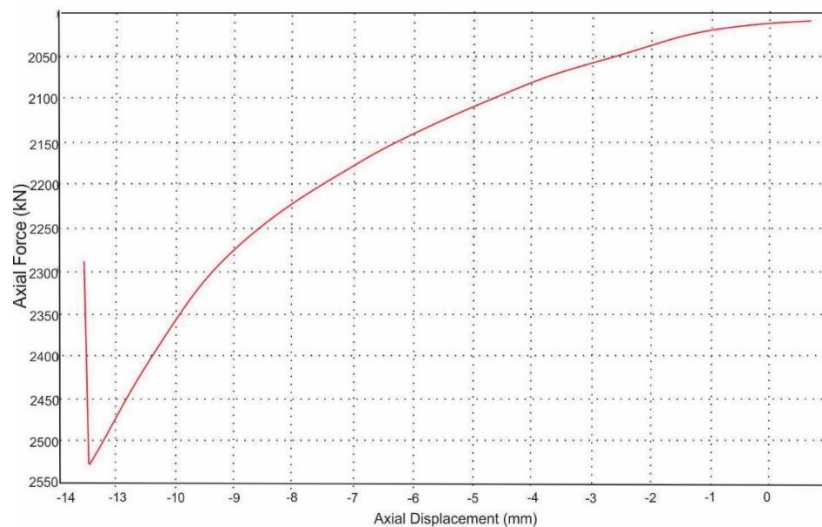


Figura 48. Relación entre fuerza axial y desplazamiento axial en la Formación Tiburón.

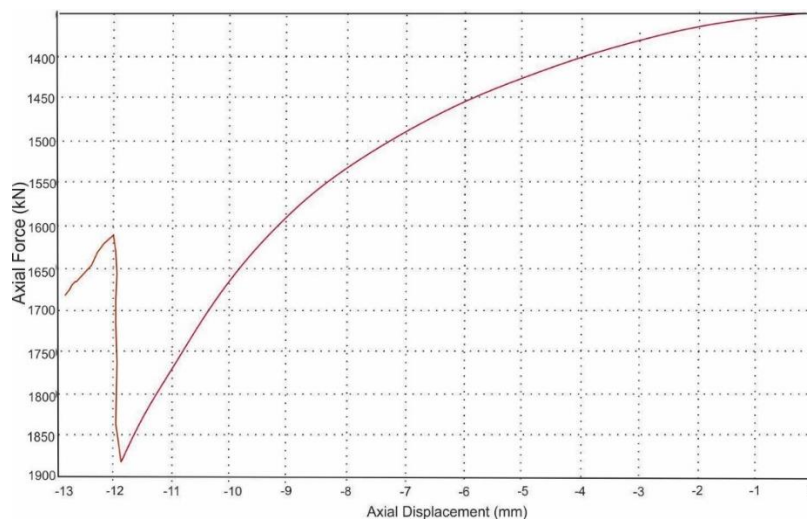


Figura 49. Relación entre fuerza axial y desplazamiento axial en la Formación Diamante.

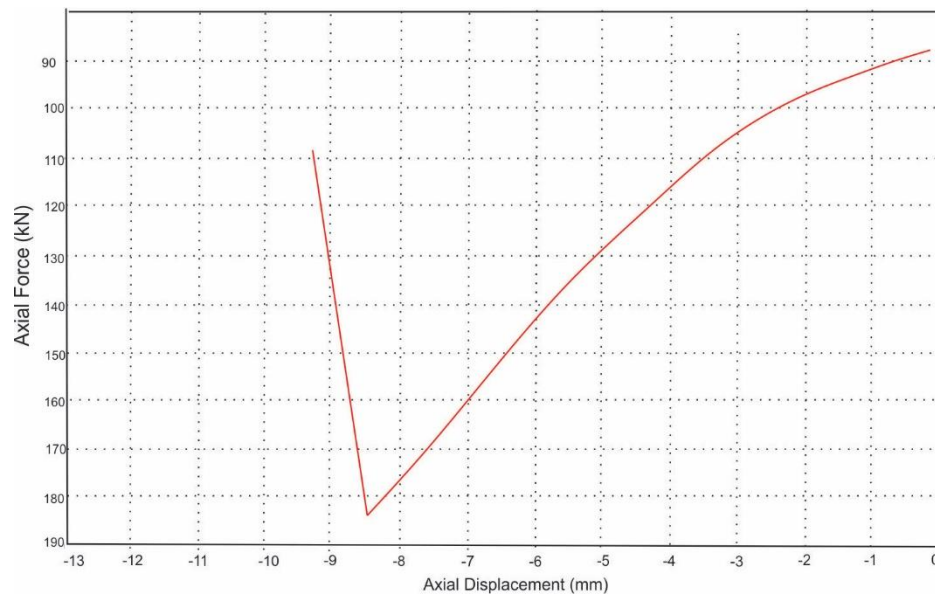


Figura 50. Relación entre fuerza axial y desplazamiento axial en la Formación Bocas.

Para determinar la resistencia de cada material se relacionan los datos de carga máxima, con las unidades correspondientes, obtenidos a partir de las gráficas con el dato de área (cm²) previamente calculado. El resultado de la resistencia será en megapascuales.

Tabla 1. Datos de resistencia a partir del área y carga máxima.

Muestra	Área [cm ²]	Carga máxima	Resistencia [MPa]
		[kN]	
Tiburón	196	2550	130
Diamante	180	1890	105
Bocas	144	188	13

Para la realización de las pruebas mecánicas era necesario que las muestras no tuvieran mucho contenido de fluidos y que tuvieran características intrínsecas que les permitieran ser sometidas a la compresión simple.

De acuerdo a la siguiente tabla se pueden clasificar la clase de las muestras, según su resistencia.

Para la muestra de Tiburón y Diamante el rango de clasificación es el de roca muy dura. En el caso de la muestra de Bocas, el rango de clasificación pertenece a roca débil o blanda.

Tabla 2. Clasificación de una masa rocosa en base a la resistencia a la compresión simple.

Clase	Rango aproximado de resistencia a la compresión simple (MPa)	Resistencia	Definición de campo
R0	<1	Extremadamente débil	Se desmorona en la mano
R1	1-5	Muy débil	Se rompe fácilmente al aplicar presión con la mano
R2	5-25	Débil	Se rompe al aplicar fuerte presión con la mano
R3	25-50	Moderadamente dura	Se rompe con golpes ligeros del martillo
R4	50-100	Dura	Se rompe con golpes duros del martillo
R5	100-250	Muy dura	Se forman astillas con golpes duros del martillo
R5	>250	Extremadamente dura	Se producen chispas al golpear con el martillo

Nota: Adaptada de Isrm, 1981.

Para realizar una caracterización geotécnica se emplea la clasificación *rmr* de Bieniawski del año 1989. La clasificación consta de un puntaje para distintos ítems de acuerdo a las características de la roca. El puntaje final dictará la calidad del macizo de roca.

1) Resistencia de la roca:*Tabla 3. Parámetro de una roca de acuerdo a su resistencia*

Resistencia de la roca	Compresión simple (MPa)	>250	100- 250	50- 100	25- 50	5-25	1- 5
	Puntaje	15	12	7	4	2	1

Nota: Tomado de Bieniawski (1989).

Los datos para cada muestra se obtuvieron anteriormente gracias al análisis de compresión simple o inconfiada. De esta manera se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4. Puntaje de una masa de roca de acuerdo a su resistencia.

Muestra	Puntaje
Formación Tiburón	10
Formación Diamante	10
Formación Bocas	2

2) Rqd: se calcula teniendo en cuenta el número de discontinuidades que afectan 1m³ de roca.

Se utiliza la fórmula:

$$rqd = 115 - 3.3J_v$$

Donde J_v es el número de discontinuidades que aparecen en un metro cuadrado determinado de roca.

Tabla 5. Puntaje asignado a una roca de acuerdo a su rqd.

Índice de calidad rqd (%)	Puntaje
0-25	3
25- 50	8
50-75	13
75-90	17
90-100	20

Nota: tomado de Bieniawski (1989).

Tabla 6. Puntaje para las muestras basado en rqd.

Muestra	Puntaje
Formación Tiburón	13
Formación Diamante	13
Formación Bocas	13

3) Espaciamiento entre discontinuidades: Se refiere al espaciamiento medido entre los planos de cada discontinuidad.

Tabla 7. Puntaje asignado a una roca de acuerdo al espaciamiento entre discontinuidades.

Espaciamiento entre discontinuidades	Puntaje
>2m	20
0.6- 2m	15

200-600mm	10
60-20mm	8
<60mm	5

Nota: Tomado de Bieniawski (1989).

Tabla 8. Puntaje de las muestras de acuerdo a su espaciamiento.

Muestra	Puntaje
Formación Tiburón	15
Formación Diamante	10
Formación Bocas	10

4) Condiciones de las discontinuidades: tiene en cuenta la naturaleza de las diaclasas, la rugosidad, la continuidad, relleno y aperturas.

Tabla 9. Puntaje asignado a una roca de acuerdo a las condiciones de las discontinuidades.

Condiciones de las discontinuidades	Puntaje
Muy rugosa, no hay continuidad, no hay separación, roca no alterada	30
Ligeramente rugosa, separación <1mm, ligeramente alterada	25
Ligeramente rugosa, separación <1mm, altamente alterada	20

Superficie lisa, presencia de gouge, separación de 1-5mm	10
Superficie muy lisa, separación >5mm	0

Nota: Tomado de Bieniawski (1989).

Tabla 10. Puntaje de las muestras de acuerdo a las condiciones de las discontinuidades.

Muestra	Puntaje
Formación Tiburón	25
Formación Diamante	20
Formación Bocas	20

5) Presencia de agua: la cantidad de agua en un macizo rocoso afecta su comportamiento.

Tabla 11. Puntaje asignado a una roca de acuerdo a la presencia de agua.

Presencia de agua: condiciones generales	Puntaje
Seco	15
Ligeramente húmedo	10
Húmedo	7
Goteando	4
Fluyendo	0

Nota: Tomado de Bieniawski (1989).

Tabla 12. Puntaje de las muestras de acuerdo a la presencia de agua.

Muestra	Puntaje
Formación Tiburón	10
Formación Diamante	10
Formación Bocas	7

Clasificación final. Después de clasificar en cada criterio a las muestras se realiza la suma de los puntajes para obtener la clasificación Rock Mass Rating (rmr):

Tabla 13. Clasificación rmr de una masa de roca luego de sumar los puntajes.

Clase	Puntaje	Calidad
I	81-100	Muy buena
II	61-80	Buena
III	41-60	Media
IV	21-40	Mala
V	<20	Muy mala

Nota: Tomada de Bieniawski (1989).

Tabla 14. Puntaje final y clasificación de las muestras de interés.

Muestra	Puntaje total	Calidad
Formación Tiburón	73	Buena
Formación Diamante	63	Buena
Formación Bocas	52	Media

Los datos de la clasificación *rmr* arrojan una calidad buena para los análisis realizados en Diamante y Tiburón y una calidad media para la Formación Bocas.

6. Discusión

En el presente estudio se tuvieron en cuenta factores geológicos y geotécnicos para realizar una caracterización que en estudios anteriores no se había realizado.

La presente investigación contribuyó a la actualización geológica de la zona mediante mapa geológico y toma de datos. En estudios anteriores, debido a condiciones de acceso algunas extensiones eran inferidas. Debido a obras de infraestructura dentro de la zona de estudio fue posible aportar más datos para entender la real extensión de algunas formaciones.

Fue posible identificar la aparición de la Formación Diamante, que en estudios anteriores era restringida o completamente nula. Evidencias litológicas, estructurales y petrográficas soportan esta idea.

Adicionalmente, fue posible cartografiar un nuevo segmento de la Formación Bocas que en estudios anteriores aparecía como un depósito de ladera. Esto se logró gracias, en parte, al crecimiento urbano de la zona de Santos Bajos el cual ha permitido que se realicen varias excavaciones exponiendo así la litología característica de la Formación Bocas.

Otro avance importante se dio al mejorar la extensión de la Formación Girón en la zona de estudio, en estudios anteriores aparecía en una extensión más pequeña. Debido a la construcción de la planta de tratamiento Los Angelinos fue posible redefinir la extensión de Girón y sus límites dentro de la zona.

En cuanto a los análisis de sondeos, fue posible mejorar las descripciones al recopilar la información de los núcleos con la información del mapa geológico. Algunos depósitos que

aparecían descritos como producto de la actividad del Río Suratá se pudieron catalogar como coluviones.

Adicionalmente, el estudio brinda una clasificación geotécnica de las muestras más representativas y cercanas a los sondeos.

7. Conclusiones

Las calizas arcillosas que afloran en la antigua vía a Ríonegro, constituyen la sección superior de la Formación Diamante y pertenecen al período Pensilvaniano del Carbonífero (310 ma). La Formación Diamante entra en contacto con la Formación Diamante debido a la acción de estructuras de tipo normal que generan un desplazamiento de la Formación Tiburón.

La Formación Tiburón está constituida por conglomerados calcáreos, los cuales proceden de la erosión parcial de una porción de la infrayacente Formación Diamante. Los conglomerados de la Formación Tiburón están conformados por clastos de calizas, cuarzo y líticos.

La Formación Girón se extiende hasta la vereda los Angelinos y se encuentra en contacto fallado con la Formación Tiburón. Adicionalmente, se encuentra afectado por intrusiones graníticas.

La unidad Órganos aparece removida hacia los barrios Lizcano I y Los Ángeles, esto se sustenta debido a que en los afloramientos no se presenta un patrón de secuencia granular dominante.

La integración de la información de los núcleos y la información de campo es importante ya que al relacionar los datos los resultados obtenidos son más precisos. La reinterpretación de los sondeos de perforación mostró diferencias principalmente en la descripción de los depósitos presentes en la zona. Consorcio Diseños Viales clasificó los depósitos como derivados de procesos fluviales pero, mediante control de campo estos depósitos se pudieron asociar más a procesos

gravitacionales. La ubicación de los sondeos sugiere que el trazo de la carretera sería por el coluvión cercano al barrio Santos Bajo, por lo cual es necesario tener más información en pro de asegurar la estabilidad de la posible obra.

La Formación Bocas se encuentra más afectada que el resto por procesos de meteorización afectando de esa manera la calidad del macizo de roca.

8. Recomendaciones

Se sugiere promover estudios a mayor detalle y más técnicos, con el fin de seguir conociendo mejor los límites y características de cada unidad. Además, es importante conservar los sondeos P3-d y Pa1-i ya que brindan información a profundidad sobre que unidad aparece debajo de los depósitos.

Adicionalmente, es importante tener más control sobre el crecimiento urbano de la ladera de Santos Bajo ya que hay muchas construcciones actualmente y ninguna tiene en cuenta el alcantarillado y tuberías de agua, por lo cual puede haber filtraciones en la zona.

Se recomienda realizar análisis estructurales que brinden mayor información sobre el comportamiento tectónico en el norte de Bucaramanga.

Referencias Bibliográficas

- Arias, A., & Gomez, M. (1993). *Contribucion al conocimiento geologico de la formacion tiburon, en un sector al norte de bucaramanga (tesis de pregado)*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Bieniawski, Z.T. (1989) *Engineering Rock Mass Classifications*. Dile, New York.
- Bogota , J., & Mendoza, H. (s.f.). *El paleozoico superior y el jurá triásico al norte de Bucaramanga*. Bucaramanga: Minatome Colombiana LTDA.
- Cediel, F. (1968). El grupo Girón, una molasa mesozoica de la cordillera oriental. *Boletín geológico*, 5-96.
- Cruz, L. E., & Caballero, V. (2007). *Guia de Laboratorio de Sedimentología para geólogos*. Bucaramanga: Escuela de Geología.
- Dickey, P. (1941). Pre-creatceous sediments in cordillera oriental of Colombia: *Am. Assoc. petroleum geologists bull* , 1789- 1795.
- Gómez, S. (2018). *Modelamiento geotécnico para el análisis de movimientos en masa en el sector norte de Bucaramanga (trabajo de maestría)*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Gonzalez de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson.
- Ingeominas. (2001). *Zonificación sismogeotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga*. Bucaramanga: Publicaicones Especiales Ingeominas.
- Julivert, M. (1959). Geología de la vertiente -w del -macizo de Santander en el sector de Bucaramanga. *Boletin de geología*, 33-52.
- K.BouDagher-Fadel, M. (2008). *Developments in Palaeontology and Stratigraphy, Chapter 2 The Palaeozoic larger benthic foraminifera: the Carboniferous and Permian*. Elsevier.
- Maldonado, E., & Chio, G. (2005). Identificación de las zonas sísmicas mas vulnerables en la ciudad de Bucaramanga. *Facultad de ingenierías fisicomecánicas*, 99-116.
- Vargas, G., & Niño, A. (1992). *Geología y geotecnia de la escarpa noroccidental de la meseta de Bucaramanga (tesis de pregrado)*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Rabe, V., & Eschwege, A. (1974). *Zur stratigraphie des ostandinen raumes von Kolumbien*. Giessen: Geologissch palaontologisches Institut.
- Royero, J., & Clavijo, J. (2001). *Mapa geológico generalizado departamento de Santander*. Bogotá: Ministerio de minas y energía.

Servicio Geológico Colombiano. (s.f.). *Glosario de unidades y subunidades geomorfológicas*. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.

Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Mapa geológico de Colombia* . Bogotá.

Ward, D., Goldsmith, R., Jimeno, A., Cruz, J., Restrepo, H., & Gómez , E. (1973). *Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona*. Bucaramanga: Instituto de investigaciones geológico- mineras.

Apéndices

Apéndice A. Mapa geológico (ver carpeta de apéndices).

Apéndice B. Mapa de estaciones (ver carpeta de apéndices).

Apéndice C. Datos estructurales tabulados.

Ubicación	Tipo de dato	Dato	Unidad
x: 1105962 y: 1283418	Estria	N 77°E / 66°SE Trend:42° Plunge :33°	Tiburón
x: 1105962 y: 1283418	Estria	N 52°E /23° SE Trend:35° Plunge :12°	Tiburón
x: 1105962 y: 1283418	Estria	N 9°E /31° SE Trend:20° Plunge: 10°	Tiburón
x: 1105962 y: 1283418	Estria	N 28°E / 43° SE Trend:14° Plunge: 9°	Tiburón
x: 1105962 y: 1283418	Estria	N 45°E / 32° SE Trend:7° Plunge: 2°	Tiburón
x: 1105962 y: 1283418	Estria	N 71°E / 36° SE Trend:18° Plunge: 14°	Tiburón
x: 1105962 y: 1283418	Plano de falla	N 25°W/14° SW	posible contacto Tiburón-"Girón"
x: 1105962 y: 1283418	Plano de estratificación	N 78°W /23° NE	Girón
x: 1105962 y: 1283418	Vena	N 25°E /84° NW	Tiburón
x: 1105962 y: 1283418	Vena	N 15°W /78° NE	Tiburón
x: 1105962 y: 1283418	Vena	N 35°W /77° NE	Tiburón

x: 1105962 y: 1283418	Diaclasa	N 12°E /60° NW	Tiburón
x: 1105989 y: 1283431	Plano de estratificación	N 28°E /62° NW	Girón
x: 1105989 y: 1283431	Contacto	N 26°W /54° NE	Girón-Igneo
x: 1105989 y: 1283431	Estria	N 65°W /76° SW Trend:4° Plunge: 42°	Girón
x: 1105992 y: 1283419	Estria	N 14°E /77° NW Trend:10° Plunge: 5°	Girón
x: 1105992 y: 1283419	Estria	N 16°E /35° NW Trend:43° Plunge: 74°	Girón
x: 1105992 y: 1283419	Estria	N 34°E /68° NW Trend:14° Plunge: 28°	Girón
x: 1105992 y: 1283419	Estria	N 34°E /88° NW Trend:26° Plunge: 64°	Girón
x: 1105992 y: 1283419	Vena	N 65°W /69° NE	Girón
x: 1105992 y: 1283419	Diaclasa	N 62°W /88° NE	Girón
x: 1105992 y: 1283419	Diaclasa	N 11°W /49° NE	Girón
x: 1105992 y: 1283419	Diaclasa	N 34°W /46 SW	Girón
	Diaclasa	N 5°E /71° NW	Girón

x: 1105992 y: 1283419			
x: 1105972 y: 1283377	Estria	N 38°E / 54° SE Trend: 1° Plunge: 6°	Girón
x: 1105972 y: 1283377	Estria	N 50°E / 40° SE	Girón
x: 1105972 y: 1283377	Estria	N 27°E / 46° SE Trend: 1° Plunge: 3°	Girón
x: 1105972 y: 1283377	Diaclasa	N 25°E / 51° SE	Girón
x: 1105960 y: 1283375	Plano de estratificación	N 15°E / 63° NE	Girón
x: 1105958 y: 1283375	Diaclasa	N 70°E / 70° NW	Girón
x: 1105958 y: 1283375	Diaclasa	N 40°W / 85° SW	Tiburón
x: 1105958 y: 1283375	Diaclasa	N 70°E / 82° NW	Tiburón
x: 1105958 y: 1283375	Diaclasa	N 50°W / 40° NE	Tiburón
x: 1105958 y: 1283375	Diaclasa	N 80°E / 25° SE	Tiburón
x: 1105958 y: 1283375	Diaclasa	N 60°W / 35° SW	Tiburón
x: 1105958 y: 1283375	Diaclasa	N 12°W / 57° NE	Tiburón

x: 1105991 y: 1283414	Diaclasa	N 83°W / 73° SW	Girón
x: 1105991 y: 1283414	Estría	N 21°E / 77° SE	Girón
x: 1105991 y: 1283414	Diaclasa	N 28°W / 34° NE	Girón
x: 1105991 y: 1283414	Diaclasa	N 65°W / 65°SW Trend:31° Plunge: 64°	Girón
x: 1105991 y: 1283414	Diaclasa	N 3°E / 77° NW	Girón
x: 1105991 y: 1283414	Plano de falla	N 36°E / 84° NW	Girón
x: 1105991 y: 1283414	Diaclasa	N 87°E / 34° SE	Girón
x: 1105991 y: 1283414	Diaclasa	N 54°E / 54° NW	Girón
x: 1105991 y: 1283414	Diaclasa	N 20°W / 89° NE	Girón
x: 1105991 y: 1283414	Diaclasa	N 31°W / 60° SW	Girón
x: 1105991 y: 1283414	Diaclasa	N 43°E / 48° NW	Girón
x: 1105991 y: 1283414	Diaclasa	N 5°W / 50° SW	Girón
x: 1105991 y: 1283414	Diaclasa	N 30°W / 44° SW	Girón
	Diaclasa	N 81°W / 70° NE	Girón

x: 1105991 y: 1283414			
x: 1105991 y: 1283414	Diaclasa	N 40°W / 55° SW	Girón
x: 1105997 y: 1283404	Plano de Falla	N 76°E / 57° NW	Girón
x: 1105997 y: 1283404	Plano de Falla	N 80°W / 56° NE	Girón
x: 1105997 y: 1283404	Plano de Falla	N 46°E / 36° SE	Girón
x: 1105997 y: 1283404	Plano de Falla	N 82°E / 42° NW	Girón
x: 1105997 y: 1283404	Diaclasa	N 7°W / 57° SW	Girón
x: 1105997 y: 1283404	Diaclasa	N 34°E / 63° NW	Girón
x: 1105997 y: 1283404	Diaclasa	N 16°E / 84° SE	Girón
x: 1105997 y: 1283404	Diaclasa	N 46°W / 85° NE	Girón
x: 1105997 y: 1283404	Diaclasa	N 32°E / 64° NW	Girón
x: 1105997 y: 1283404	Diaclasa	N 25°E / 80° NW	Girón
x: 1105997 y: 1283404	Diaclasa	N 32°W / 55° SW	Girón

x: 1105997 y: 1283404	Diaclasa	N 55°W / 85° NE	Girón
x: 1105997 y: 1283404	Diaclasa	N 30°E / 55° NW	Girón
x: 1105997 y: 1283404	Diaclasa	N 65°W / 85° SW	Girón
x: 1105990 y: 1283388	Diaclasa	N 28°E / 70° NW	Tiburón
x: 1105990 y: 1283388	Diaclasa	N 36°E / 54° NW	Tiburón
x: 1105990 y: 1283388	Diaclasa	N 35°E / 60° NW	Tiburón
x: 1106004 y: 1283390	Plano de falla	N 87°E / 51° NW	Girón
x: 1106004 y: 1283390	Plano de falla	N 51°E / 55° SE	Girón
x: 1106004 y: 1283390	Plano de falla	N 7°E / 66° NW	Girón
x: 1106004 y: 1283390	Diaclasa	N 49°E / 58° SE	Girón
x: 1106004 y: 1283390	Diaclasa	N 19°W / 54° SW	Girón
	Diaclasa	N 15°W / 52° SW	Girón

x: 1106004 y: 1283390			
x: 1106034 y: 1283362	Plano de falla	N 80°E / 30° NW	Girón
x: 1106034 y: 1283362	Diaclasa	N 46°E/ 86° NW	Girón
x: 1106034 y: 1283362	Diaclasa	N 56°W / 65° SW	Girón
x: 1106034 y: 1283362	Diaclasa	N 33°E / 85° SE	Girón
x: 1106034 y: 1283362	Diaclasa	N 72°W / 60° SW	Girón
x: 1106034 y: 1283362	Diaclasa	N 15°E / 86° NW	Girón
x: 1106026 y: 1283366	Plano de Falla	N 11°E / 86° NW	Girón
x: 1106026 y: 1283366	Plano de Falla	N 60°W / 45° SW	Girón
x: 1106026 y: 1283366	Plano de estratificación	N 45°W / 34° NE	Girón
x: 1106026 y: 1283366	Plano de estratificación	N 53°E / 67° NE	Girón
x: 1106026 y: 1283366	Plano de estratificación	N 40°W / 28° NE	Girón

Apéndice D. Catálogo de muestras.



La roca presenta guijos de caliza, de chert y areniscas en menor proporción. Los granos presentan una forma angular y un calibrado moderado. La unidad se encuentra muy bien cementada. Los conglomerados también aparecen con tamaños de guijarros. Composicionalmente la roca es un conglomerado calcáreo. Unidad: Formación Tiburón.



Limolita gris verdosa de dureza media, con presencia de micas. Se encuentra algo meteorizada. Aparece a profundidad en el sector Santos Bajo siendo cubierta por un coluvión.

Unidad: Formación Bocas



Arenisca gruesa ligeramente gravosa con presencia de cemento calcáreo. Presenta un color verde grisáceo y se encuentra granosoportada. Composicionalmente se clasifica como una sublitoraenita calcárea ligeramente gravosa. Sus granos son subangulares y tiene un calibrado moderado.
Unidad: Formación Bocas



Conglomerado de gránulos areno lodos rojizo rico en fragmentos de roca ígneos, granos de cuarzo y feldespato. El calibrado de la roca es moderado. La forma de los granos va de subredondeada a subangular. Composicionalmente la roca es un conglomerado lítico feldespático.
Unidad: Formación Girón



Arenisca muy fina con contenido calcáreo. Presenta un armazón arenosoportado y una matriz lodosa. La roca se encuentra bien calibrada y con granos subredondeados y subangulares. Cemento de tipo micrita en baja proporción. Unidad: Formación Diamante



Roca de tipo chert, rica en cuarzo microcristalino, ocurre en un depósito en capas. Se caracteriza por sus fracturas en punta al romperse. Presenta un brillo de tipo sedoso. Suprayace areniscas conglomeráticas de la Formación Bocas. Unidad: Formación Bocas



Roca calcárea con contenido arcilloso. Presenta cemento de tipo micrita. Se presentan en bancos de roca con espesor de al menos 5 mts, presentan nódulos calcáreos. La roca es una mudstone ligeramente arcillosa
Unidad: Formación Diamante.