

**Aplicación de Técnicas Espectroscópicas y Difracción de Rayos X en la Caracterización del  
Macizo Rocoso de la Vía Tres Esquinas, Piedecuesta - La Punta, Mesa de los Santos  
(Santander)**

**César Orlando López Manrique, Fernando Esteban Grau Celis**

**Trabajo de grado como requisito para optar el título de: Geólogo**

**Director:**

**Carlos Alberto Ríos Reyes**

**Geólogo PhD**

**Codirector:**

**Enrique Mejía Ospino**

**Químico PhD**

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

**2017**

**DEDICATORIA**

*“Una vez te das cuenta que el camino es la meta y que siempre estás en el camino, no para alcanzar una meta, sino gozar de su belleza y sabiduría, la vida deja de ser una tarea y se torna natural y simple, se convierte en éxtasis...”*

***Nisargadatta***

*Este logro alcanzado se lo dedico a:*

*Mis padres German Grau y Myriam Celis quienes a lo largo de toda mi vida han estado acompañándome en cada nueva meta que deseo alcanzar , por brindarme toda la ayuda necesaria en cada proyecto e inculcarme valores para crecer como persona todos los días.*

*A Isabel Grau y familia que desde la distancia he sentido siempre su colaboración en momentos buenos y malos así como su cariño incondicional a lo largo de mi vida.*

*A mis amigos con los cuales compartí todo el trayecto de mi formación y estuvieron presentes con su ayuda en cada etapa de mi carrera.*

*A María Angélica Sarabia por su apoyo constante durante toda la realización del proyecto, por sus palabras, guía y amor en los momentos de mayor dificultad.*

***Esteban Grau Celis***

*A mi madre por su infinita bondad, por brindarme el más sincero y puro amor, su apoyo fundamental e incondicional y ser mi motivación.*

*A mi padre por su apoyo.*

*A mi hermanita por su apoyo fundamental e incondicional y ser mi motivación.*

*A Leins por brindarme siempre el más sincero y puro amor, su apoyo fundamental e incondicional y ser siempre mi motivación e inspiración. Para que siempre crea en ella así como yo creo, y para que siempre crea en mí. ¡Ánimo siempre!. ¡Te amo!.*

***César López Manrique.***

**AGRADECIMIENTOS**

A nuestras familias por ser el soporte y mayor motivación a lo largo de toda nuestra vida.

A nuestro director y codirector de proyecto de grado Carlos Alberto Ríos Reyes y Enrique Mejía Ospino por su acompañamiento y apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

A los profesores de la Universidad Industrial de Santander que hicieron parte de nuestra formación académica en estos años de universidad.

A todos nuestros amigos y compañeros por brindarnos precisamente su amistad y compañía.

¡Gracias totales!.

**Tabla de Contenido**

Introducción	19
1. Planteamiento Del Problema	20
2. Justificación	21
3. Objetivos	23
4.1. Objetivo General	23
4.2. Objetivos Específicos	23
4. Marco Teórico	24
4.1 Espectroscopia Raman	24
4.2 Espectroscopia Infrarroja (IR)	35
4.3 Difracción de rayos X (DRX)	38
5. Localización	46
6. Antecedentes	52
7. Marco Geológico	53
7.1 Geología Regional	53
7.2 Geología Local	59
7.2.1 Estratigrafía	60
7.2.1.1 Formación Silgará	60
7.2.1.2 Unidad Granito de Pescadero	61
7.2.1.3 Formación Jordán	61
7.2.1.4 Formación Girón	62
7.2.1.5 Formación Los Santos (Tambor)	64
7.2.1.6 Depósitos Cuaternarios	64

<b>TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS Y DIFRACCIÓN DE RAYOS X</b>	<b>9</b>
7.3 Geología Estructural	65
7.3.1 Falla de Bucaramanga-Santa Marta	65
7.3.2 Falla del Suárez	66
8. Estratigrafía	69
8.1 Columna estratigráfica de la Vereda El Volador	70
8.2 Columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo	87
8.3 Columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.	98
9. Petrografía	119
10. Espectroscopia Raman e Infrarroja (IR) y Difracción de Rayos X (DRX)	125
10.1 Espectroscopia Raman	126
10.2 Espectroscopia infrarroja (IR)	132
10.3 Difracción de rayos X (DRX)	138
11. Facies	152
12. Asociación de Facies y Ambientes de Depositación	158
13. Conclusiones	206
Referencias Bibliográficas	210

**Lista de Tablas**

Tabla 1. Condiciones de medición utilizadas en el espectrómetro Raman.	126
Tabla 2. Condiciones de medición utilizadas en el espectrómetro FTIR-ATR.	132
Tabla 3. Condiciones de medición utilizadas en el difractor de polvo.	139
Tabla 4. Relación de las facies con las unidades geológicas aflorantes en la zona de estudio	153
Tabla 5. Relación de facies con las columnas estratigráficas levantadas.	156
Tabla 6. Relación de litofacies con el mecanismo de transporte y acumulación y el ambiente de depósito.	202

## Lista de Figuras

Figura 1. Diagrama energético	27
Figura 2. Bandas Rayleigh, Raman Stokes y Raman anti-Stokes	29
Figura 3. Espectros del amarillo ternario obtenidos con láser rojo y láser verde.	30
Figura 4. Espectro Raman habitual	31
Figura 5. Ruidos más importantes en espectroscopia Raman	35
Figura 6. Las condiciones de la difracción de rayos X (DRX) en un grupo de planos reticulares (ley de Bragg)	40
Figura 7. Clasificación simplificada de los principales procedimientos instrumentales en la difracción de rayos X (DRX)	42
Figura 8. Difractogramas de dos muestras de TiO <sub>2</sub> . (A) anatasa pura. (B) mezcla de anatasa con rutilo (r).	44
Figura 9. Difractograma de un material procedente de una venilla	46
Figura 10. Localización del municipio de Piedecuesta en Colombia y en Santander	47
Figura 11. Localización del municipio de Los Santos en Colombia y en Santander	48
Figura 12. Localización geográfica de la zona de estudio	49
Figura 13. Índice de localización y mapa geológico de la zona de estudio a escala 1:25.000	50
Figura 14. Mapa geológico de la zona de estudio a escala 1:25.000	51
Figura 15. Esquema tectónico del departamento de Santander	58
Figura 16. Esquema estructural del departamento de Santander	68
Figura 17. Localización geográfica de las columnas estratigráficas levantadas	69
Figura 18. Localización geográfica de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador	70
Figura 19. Ilustración de parte del afloramiento de meta-arenisca de la Formación Silgará	72

<b>TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS Y DIFRACCIÓN DE RAYOS X</b>	<b>12</b>
Figura 20. Ilustración de parte del afloramiento de riolita de la Unidad Granito de Pescadero (Muestra GL-001 de riolita)	74
Figura 21. Ilustración de parte del afloramiento de meta-arenisca de la Formación Silgará	76
Figura 22. Ilustración de parte del afloramiento de meta-arenisca (Muestra GL-002) y conglomerado (Muestra GL-003) de las formaciones Silgará y Jordán	78
Figura 23. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Jordán	83
Figura 24. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Jordán (Muestra GL-004 de limolita)	86
Figura 25. Localización geográfica de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo	87
Figura 26. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Silgará (Muestra GL-005 de filita cuarcítica)	89
Figura 27. Ilustración de parte del afloramiento de filita cuarcítica (Muestra GL-005) y limolita arenosa (Muestra GL-006) de las formaciones Silgará y Jordán	91
Figura 28. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Jordán	94
Figura 29. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Jordán. Segmento 4 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.	97
Figura 30. Localización geográfica de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta	98
Figura 31. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Jordán (Muestra GL-007 de Limolita)	102
Figura 32. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Girón (Muestra GL-008; Muestra GL-009)	104
Figura 33. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Los Santos. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.	107
Figura 34. Ilustración de parte del afloramiento de limolita (Muestra GL-007) de la Formación Jordán	108
Figura 35. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Los Santos. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.	110
Figura 36. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Los Santos. Segmento 4 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.	113

- Figura 37. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Los Santos. Segmento 5 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta. 116
- Figura 38. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Los Santos. Segmento 5 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta. 118
- Figura 39. Microfotografías de la sección delgada de la Muestra GL-001 121
- Figura 40. Microfotografías de la sección delgada de la Muestra GL-001 de riolita de la Unidad Granito de Pescadero 121
- Figura 41. Microfotografías de la sección delgada de la Muestra GL-005 124
- Figura 42. Microfotografías de la sección delgada de la Muestra GL-005 de filita cuarcítica. Mostradas en nicoles paralelos (B) y nicoles cruzados (B') 125
- Figura 43. Espectro Raman de la muestra GL-001 de riolita de la Unidad Granito de Pescadero. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador. 127
- Figura 44. Espectro Raman de las muestras GL-002 de meta-arenisca de la Formación Silgará y GL-003 de conglomerado de la Formación Jordán. Segmento 3 y 4 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador. 128
- Figura 45. Espectro Raman de la muestra GL-004 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 6 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador. 128
- Figura 46. Espectro Raman de las muestras GL-005 de filita cuarcítica de la Formación Silgará y GL-006 de limolita arenosa de la Formación Jordán. Segmento 1 y 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo. 129
- Figura 47. Espectro Raman de las muestras GL-007 de limolita de la Formación Jordán y GL-008 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 1 y 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta. 130
- Figura 48. Espectro Raman de las muestras GL-009 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón y GL-010 de conglomerado arenoso de la Formación Los Santos. Segmento 2 y 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta. 131
- Figura 49. Espectro Raman de la muestra GL-011 de arenisca de grano fino de la Formación Los Santos. Segmento 5 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta. 131
- Figura 50. Espectro Raman de la muestra GL-001 de riolita de la Unidad Granito de Pescadero. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador. 133

- Figura 51. Espectro infrarrojo de las muestras GL-002 de meta-arenisca de la Formación Silgará y GL-003 de conglomerado de la Formación Jordán. Segmento 3 y 4 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador. 134
- Figura 52. Espectro infrarrojo de la muestra GL-004 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 6 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador. 134
- Figura 53. Espectro infrarrojo de las muestras GL-005 de filita cuarcítica de la Formación Silgará y GL-006 de limolita arenosa de la Formación Jordán. Segmento 1 y 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo. 135
- Figura 54. Espectro infrarrojo de las muestras GL-007 de limolita de la Formación Jordán y GL-008 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 1 y 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta. 136
- Figura 55. Espectro infrarrojo de las muestras GL-009 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón y GL-010 de conglomerado arenoso de la Formación Los Santos. Segmento 2 y 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta. 137
- Figura 56. Espectro infrarrojo de la muestra GL-011 de arenisca de grano fino de la Formación Los Santos. Segmento 5 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta. 138
- Figura 57. Difractograma de la muestra GL-001 de riolita de la Unidad Granito de Pescadero. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador. 140
- Figura 58. Difractograma de la muestra GL-002 de meta-arenisca de la Formación Silgará. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador. 141
- Figura 59. Difractograma de la muestra GL-003 de conglomerado de la Formación Jordán. Segmento 4 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador. 141
- Figura 60. Difractograma de la muestra GL-004 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 6 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador. 142
- Figura 61. Difractograma de la muestra GL-005 de filita cuarcítica de la Formación Silgará. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo. 143
- Figura 62. Difractograma de la muestra GL-006 de limolita arenosa de la Formación Jordán. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo. 144
- Figura 63. Difractograma de la muestra GL-007 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta. 144

Figura 64. Difractograma de la muestra GL-008 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta. 145

Figura 65. Difractograma de la muestra GL-009 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta. 146

Figura 66. Difractograma de la muestra GL-010 de conglomerado arenoso de la Formación Los Santos. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta. 146

Figura 67. Difractograma de la muestra GL-011 de arenisca de grano fino de la Formación Los Santos. Segmento 5 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta. 147

**LISTA DE APÉNDICES**

**(Ver apéndices adjuntos en el CD, pueden visualizarlos en la Base de Datos de la Biblioteca UIS)**

Apéndice A. Columna Estratigráfica de la Vereda El Volador a escala 1:100.

Apéndice B. Columna Estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo a escala 1:100.

Apéndice C. Columna Estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto–Sector del Peaje La Punta a escala 1:100.

Apéndice D. Asociación de Facies de la Columna Estratigráfica de la Vereda El Volador.

Apéndice E. Asociación de Facies de la Columna Estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.

Apéndice F. Asociación de Facies de la Columna Estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto–Sector del Peaje La Punta.

## RESÚMEN

**TITULO:** APLICACIÓN DE TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS Y DIFRACCIÓN DE RAYOS X EN LA CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO DE LA VÍA TRES ESQUINAS, PIEDECUESTA - LA PUNTA, MESA DE LOS SANTOS (SANTANDER).\*

**AUTORES:** Fernando Esteban Grau Celis,  
César Orlando López Manrique\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Espectroscopia Raman, Espectroscopia Infrarroja (IR), Difracción de Rayos X (DRX), Estratigrafía, Facies, Asociación de Facies, Ambientes de Depositación.

**DESCRIPCIÓN:** Investigar el uso de las técnicas espectroscópicas tanto infrarroja (IR) como Raman y difracción de rayos X (DRX) permitió determinar las fases minerales de los límites de las unidades geológicas que están representadas en las columnas estratigráficas semidetalladas a escala 1:100, denominadas como columna estratigráfica de la Vereda El Volador, columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo y columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta. Estas columnas estratigráficas representan las rocas metamórficas de la Formación Silgará tales como meta-arenisca y filita cuarcítica, ígneas de la Unidad Granito de Pescadero tales como riolita, sedimentarias siliciclásticas de las formaciones Jordán, Girón y Los Santos tales como conglomerado, arenisca, limolita y arcillolita, y sedimentarias carbonatadas de la Formación Jordán tales como limolita calcárea. Se identificaron para la Formación Jordán, 17 facies lodosas (arcillolita, lodolita y limolita), 2 facies calcáreas, 9 facies arenosas y 4 facies conglomeráticas; para la Formación Girón, 1 facie conglomerática; para la Formación Los Santos, 5 facies lodosas (limolita), 26 facies arenosas y 3 facies conglomeráticas. Posteriormente, según el estudio estratigráfico y sedimentológico de facies y asociación de facies de las unidades geológicas Jordán, Girón y Los Santos, representadas en las columnas estratigráficas, se determinaron que los ambientes de depositación de sedimentos corresponden a ambientes continentales fluviales como depósitos de abanicos aluviales, ríos meandriiformes, ríos trenzados; ambientes lacustres y ambientes paludales.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Carlos Alberto Ríos Reyes, Geólogo PhD. Codirector: Enrique Mejía Ospino, Químico PhD.

**ABSTRACT**

**TITLE:** APPLICATION OF SPECTROSCOPIC TECHNIQUES AND X-RAY DIFFRACTION IN THE CHARACTERIZATION OF THE ROCK MASS OF TRES ESQUINAS, PIEDECUESTA - LA PUNTA, MESA DE LOS SANTOS (SANTANDER).

**AUTHORS:** Fernando Esteban Grau Celis  
César Orlando López Manrique\*\*

**KEYWORDS:** Raman Spectroscopy, Infrared Spectroscopy (IR), X-ray Diffraction (XRD), Stratigraphy, Facies, Facies Association, Deposit Environments.

**DESCRIPTION:** The use of infrared (IR), Raman spectroscopic and X-ray diffraction (XRD) techniques determined mineral phases boundaries of the geological units that are represented in the semidetached stratigraphic columns at a scale of 1: 100, denominated as stratigraphic columns that were taken from El volador, Blanquiscal Bajo, Blanquiscal Alto and La Punta regions. These stratigraphic columns represent the metamorphic rocks of the Silgará formation such as meta-sandstone and quartzite phyllite, igneous from the Unidad Granito de Pescadero such as rhyolite, siliciclastic sedimentary formations from Jordan, Girón and Los Santos such as conglomerate, sandstone, siltstone and arcillolite and sedimentary carbonates formations from Jordan such as calcareous siltstone. In Jordán there were identified 17 muddy facies (arcillolite, mudstone and siltstone), 2 calcareous facies, 9 sandy facies and 4 conglomeratic facies were also determined; for the Girón Formation, 1 conglomeratic facie; for the Los Santos Formation, 5 muddy facies (siltstone), 26 sandy facies and 3 conglomeratic facies. Afterwards, according to the stratigraphic and sedimentological study of facies and facies association of the Jordan, Girón and Los Santos geological units, those represented in the stratigraphic columns, sediment deposition environments correspond to fluvial continental environments such as deposits of alluvial fans, meandering rivers, braided rivers; lacustrine environments and paludal environments.

---

\* Bachelor Thesis

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Carlos Alberto Ríos Reyes, Geólogo PhD. Codirector: Enrique Mejía Ospino, Químico PhD.

## Introducción

Este proyecto de grado se basó en investigar el uso de las técnicas espectroscópicas tanto infrarroja (IR) como Raman y difracción de rayos X (DRX), con lo cual se determinaron las fases minerales de los límites de las unidades geológicas Silgará, en concreto una muestra del Granito de Pescadero, Jordán, Girón y Los Santos que afloran sobre la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander.

En este estudio también se levantaron columnas estratigráficas, se tomaron datos estructurales, coordenadas, fotografías, se tomaron, describieron y clasificaron a escala macroscópica muestras de roca y se determinaron las facies y asociación de facies del macizo rocoso que aflora sobre la vía, además se realizó una comparación de los resultados obtenidos en la aplicación de las técnicas espectroscópicas tanto infrarroja (IR) como Raman y difracción de rayos X (DRX), y se describieron y clasificaron a escala microscópica dos muestras de roca de la Formación Silgará y de la Unidad Granito de Pescadero.

Este proyecto de grado se estructuró en seis fases con una duración total de ocho meses para la consecución de los objetivos del trabajo. Estas fases consistieron en primer lugar, hacer una búsqueda, compilación y análisis de la información bibliográfica de la zona de estudio, en segundo lugar, identificar la zona de estudio, en tercer lugar, hacer un levantamiento de las columnas estratigráficas y toma de muestras de roca, datos estructurales, coordenadas y fotografías del macizo rocoso que aflora sobre la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de

Santander, en cuarto lugar, hacer una descripción y clasificación macroscópica de las muestras de roca y una determinación de las facies y asociación de facies del macizo rocoso que aflora sobre la vía, en quinto lugar, preparar las muestras de roca tomadas de los límites de las unidades geológicas Silgará, en concreto una muestra del Granito de Pescadero, Jordán, Girón y Los Santos y aplicar sobre éstas las técnicas espectroscópicas tanto infrarroja (IR) como Raman y difracción de rayos X (DRX).

Hacer petrografía a dos muestras de roca de la Formación Silgará y de la Unidad Granito de Pescadero, y por último, presentar los resultados obtenidos, comparar los resultados obtenidos en la aplicación de las técnicas espectroscópicas tanto infrarroja (IR) como Raman y difracción de rayos X (DRX), concluir, elaborar y editar el documento final.

## **1. Planteamiento del Problema**

Son pocos los estudios de determinación de las fases minerales de las unidades geológicas que afloran en la zona de estudio que corresponde a la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander en donde afloran rocas metamórficas de la Formación Silgará, rocas ígneas de la Unidad Granito de Pescadero y rocas sedimentarias de las formaciones Jordán, Girón y Los Santos.

Estos estudios están basados en técnicas analíticas robustas, así que desde la aplicación de la espectroscopia tanto infrarroja (IR) como Raman y difracción de rayos X (DRX), contribuimos

con otro estudio de determinación de las fases minerales, aprovechando que las técnicas espectroscópicas tanto infrarroja (IR) como Raman y difracción de rayos X (DRX), para determinar o comprobar la identidad de una especie mineral, se muestran muchas veces superiores a cualquier otro método por su rapidez, irrefutabilidad, su carácter no destructivo y la poca cantidad de sustancia necesaria en la determinación.

Además, la zona de investigación cuenta también con estudios estratigráficos y sedimentológicos pero específicos, es por eso que se levantaron columnas estratigráficas, se tomaron datos estructurales, coordenadas y fotografías, se tomaron, describieron y clasificaron a escala macroscópica muestras de roca y se determinaron las facies y asociación de facies del macizo rocoso que aflora sobre la vía.

## **2. Justificación**

La zona de investigación cuenta con pocos estudios de determinación de las fases minerales de las unidades litoestratigráficas que afloran, particularmente con técnicas analíticas robustas. Por esta razón, fue importante investigar el uso de las técnicas espectroscópicas tanto infrarroja (IR) como Raman y difracción de rayos X (DRX), con el fin de contribuir a su conocimiento geológico, lo cual permitió determinar las fases minerales de los límites de las unidades geológicas Silgará, en concreto una muestra del Granito de Pescadero, Jordán, Girón y Los Santos que afloran sobre la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander, y realizar un estudio

comparativo de los resultados obtenidos en la aplicación de las técnicas espectroscópicas tanto infrarroja (IR) como Raman y difracción de rayos X (DRX). Además, describir y clasificar a escala microscópica dos muestras de roca de la Formación Silgará y de la Unidad Granito de Pescadero.

Asimismo, la zona de investigación cuenta también con estudios estratigráficos y sedimentológicos pero específicos, es por eso que se levantaron columnas estratigráficas, se tomaron datos estructurales, coordenadas y fotografías, se tomaron, describieron y clasificaron a escala macroscópica muestras de roca y se determinaron las facies y asociación de facies del macizo rocoso que aflora sobre la vía.

### 3. Objetivos

#### 4.1. Objetivo General

Investigar el uso de las técnicas espectroscópicas tanto infrarroja (IR) como Raman y difracción de rayos X (DRX) en la caracterización del macizo rocoso con considerable potencial para la determinación de las fases minerales y que aflora sobre la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander. Además, hacer un estudio estratigráfico y sedimentológico del macizo rocoso.

#### 4.2. Objetivos Específicos

- Aplicar las técnicas espectroscópicas tanto infrarroja (IR) como Raman y difracción de rayos X (DRX) en la determinación de las fases minerales de los límites de las unidades geológicas Silgará, en concreto una muestra del Granito de Pescadero, Jordán, Girón y Los Santos que afloran sobre la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander.
- Realizar una comparación de los resultados obtenidos en la aplicación de las técnicas espectroscópicas tanto infrarroja (IR) como Raman y difracción de rayos X (DRX).

- Levantamiento semidetallado de tres columnas estratigráficas para las unidades geológicas Silgará, Granito de Pescadero, Jordán, Girón y Los Santos a escala 1:100 que afloran sobre la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander.
- Determinar las facies y asociación de facies del macizo rocoso que aflora sobre la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander.
- Hacer petrografía a dos muestras de roca de la Formación Silgará y de la Unidad Granito de Pescadero.

## **4. Marco Teórico**

### **4.1 Espectroscopia Raman**

La espectroscopia Raman es una técnica fotónica de alta resolución que proporciona en pocos segundos información química y estructural de casi cualquier material o compuesto orgánico y/o inorgánico permitiendo así su identificación. El análisis mediante espectroscopia Raman se basa en el examen de la luz dispersada por un material al incidir sobre él un haz de luz monocromático. Una pequeña porción de la luz es dispersada inelásticamente experimentando ligeros cambios de frecuencia que son característicos del material analizado e independientes de la frecuencia de la luz incidente. Se trata de una técnica de análisis que se realiza directamente sobre el material a

analizar sin necesitar éste ningún tipo de preparación especial y que no conlleva ninguna alteración de la superficie sobre la que se realiza el análisis, es decir, es no destructiva (Pérez, 2005).

El fenómeno conocido como efecto Raman fue descrito por el físico indio Chandrasekhara Venkata Raman en el año 1928, lo que le supuso la obtención del premio Nobel de Física en 1930. Este científico dio nombre al fenómeno inelástico de dispersión de la luz que permite el estudio de rotaciones y vibraciones moleculares. Sus estudios sobre este fenómeno se inspiraron en los trabajos realizados anteriormente por Rayleigh (Raman como se citó en Pérez, 2005). A diferencia de Rayleigh que afirmaba que el color azul del mar no es más que el azul del cielo visto en reflexión, Raman realizó un experimento sencillo mediante el que pudo demostrar que el color azul del agua procedía de un fenómeno propio, posteriormente explicado como la dispersión de la luz debido a su interacción con las moléculas del agua.

En 1923, mientras estudiaba la dispersión de la luz en el agua y en alcoholes purificados, uno de sus alumnos observó un cambio de color en un rayo de luz solar al ser filtrado, él y su equipo no fueron capaces de eliminar este efecto y por tanto sospecharon que el fenómeno era una propiedad característica de la sustancia. Tras realizar diversos estudios durante los cinco años siguientes, Raman y su discípulo Krishnan, publicaron el famoso artículo en la revista Nature en 1928, en el que describieron este nuevo tipo de radiación secundaria (Raman y Krishnan como se citó en Pérez, 2005).

El análisis mediante espectroscopia Raman se basa en hacer incidir un haz de luz monocromática de frecuencia  $\nu_0$  sobre una muestra cuyas características moleculares se desean determinar, y examinar la luz dispersada por dicha muestra. La mayor parte de la luz dispersada presenta la misma frecuencia que la luz incidente pero una fracción muy pequeña presenta un cambio frecuencial, resultado de la interacción de la luz con la materia. La luz que mantiene la

misma frecuencia  $\nu_0$  que la luz incidente se conoce como dispersión Rayleigh y no aporta ninguna información sobre la composición de la muestra analizada. La luz dispersada que presenta frecuencias distintas a la de la radiación incidente, es la que proporciona información sobre la composición molecular de la muestra y es la que se conoce como dispersión Raman. Las nuevas frecuencias,  $+\nu_r$  y  $-\nu_r$ , son las frecuencias Raman, características de la naturaleza química y el estado físico de la muestra e independientes de la radiación incidente (Pérez, 2005).

Las variaciones de frecuencia observadas en el fenómeno de dispersión Raman, son equivalentes a variaciones de energía (Guineau como se citó en Pérez, 2005). Los iones y átomos enlazados químicamente para formar moléculas y redes cristalinas, están sometidos a constantes movimientos vibracionales y rotacionales; estas oscilaciones se realizan a frecuencias bien determinadas en función de la masa de las partículas que intervienen y del comportamiento dinámico de los enlaces existentes. A cada uno de los movimientos vibracionales y rotacionales de la molécula le corresponderá un valor determinado de la energía molecular. Un diagrama energético en el que cada estado de energía se representa por una línea horizontal se muestra en la siguiente figura (Pérez, 2005).

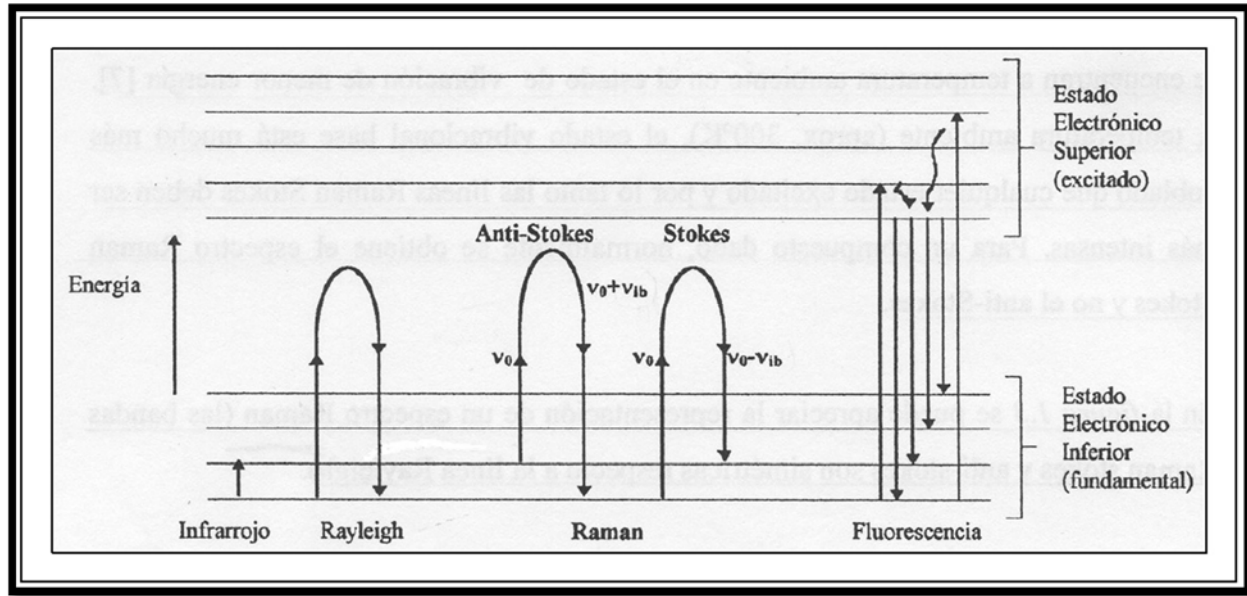


Figura 1. Diagrama energético. Las líneas horizontales representan distintos estados vibracionales y en el que se muestran las transiciones entre estados energéticos para diferentes interacciones luz-materia. Adaptado de Pérez (2005).

Cuando los fotones del haz de luz incidente, con energía  $h\nu_0$  (donde  $h$  es la constante de Plank) mucho mayor a la diferencia de energía entre dos niveles vibracionales (o rotacionales) de la molécula, chocan con ella, la mayor parte la atraviesan pero una pequeña fracción son dispersados (del orden de 1 fotón dispersado por cada  $10^{11}$  incidentes). Esta dispersión puede ser interpretada como el proceso siguiente: el fotón incidente lleva a la molécula transitoriamente a un nivel de energía vibracional (o rotacional) superior no permitido, el cual abandona rápidamente para pasar a uno de los niveles de energía permitidos emitiendo un fotón; la frecuencia a la cual es liberado este fotón dependerá del salto energético realizado por la molécula (Pérez, 2005).

Pueden distinguirse los siguientes casos:

- Si el resultado de la interacción fotón-molécula es un fotón dispersado a la misma frecuencia que el fotón incidente, se dice que el choque es elástico ya que ni el fotón ni la molécula sufren variaciones en su estado energético; la molécula vuelve al mismo nivel de energía que tenía antes del choque y el fotón dispersado tiene la misma frecuencia  $\nu_0$  que el incidente, dando lugar a la dispersión Rayleigh (Pérez, 2005).

- Si el resultado de la interacción fotón-molécula es un fotón dispersado a una frecuencia distinta de la incidente, se dice que el choque es inelástico (existe transferencia de energía entre la molécula y el fotón); en este caso pueden darse dos fenómenos:

- ✓ Si el fotón dispersado tiene una frecuencia menor a la del incidente, se produce una transferencia de energía del fotón a la molécula que, después de saltar al estado de energía no permitido, vuelve a uno permitido mayor al que tenía inicialmente; el fotón es dispersado con frecuencia  $\nu_0 - \nu_r$  y se produce la dispersión Raman Stokes (Pérez, 2005).
- ✓ Si el fotón dispersado tiene una frecuencia mayor a la del incidente, se produce una transferencia de energía de la molécula al fotón; esto significa que la molécula, inicialmente antes del choque no se encontraba en su estado vibracional fundamental sino en uno de mayor energía y después del choque pasa a este estado; el fotón es dispersado con frecuencia  $\nu_0 + \nu_r$  y se produce la dispersión Raman anti-Stokes (Pérez, 2005).

Cada material tendrá un conjunto de valores  $\nu_r$  característicos de su estructura poliatómica y de la naturaleza de los enlaces químicos que la forman (Pérez, 2005).

El espectro Raman recoge estos fenómenos representando la intensidad óptica dispersada en función del número de onda normalizado  $\bar{\nu}$  al que se produce. El número de onda normalizado es

una magnitud proporcional a la frecuencia e inversamente proporcional a la longitud de onda, que se expresa en  $\text{cm}^{-1}$  (Pérez, 2005).

$$\nu = \nu/c = 1/\lambda [\text{cm}^{-1}]$$

Como se observa en la siguiente figura, el espectro Raman (Contreras como se citó en Pérez, 2005) está formado por una banda principal o Rayleigh y dos series de bandas secundarias correspondientes a las bandas Raman Stokes y anti-Stokes, situadas simétricamente a ambos lados de la banda Rayleigh.

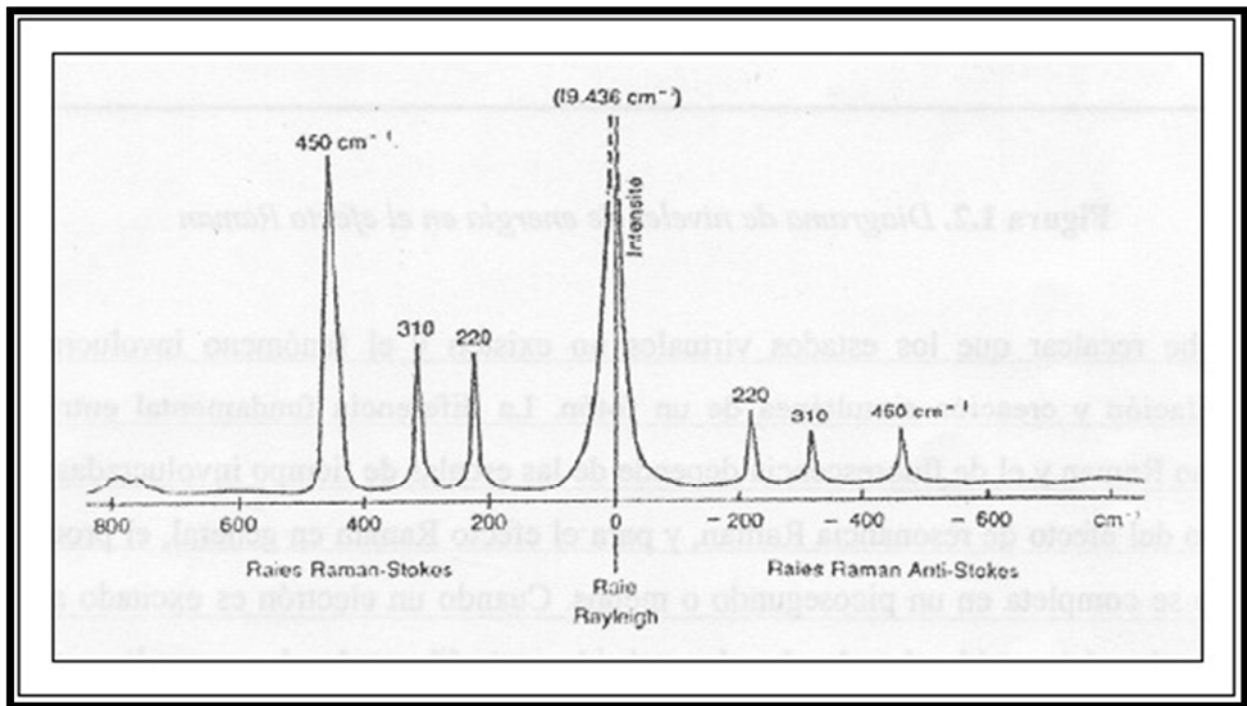


Figura 2. Bandas Rayleigh, Raman Stokes y Raman anti-Stokes. Adaptado de Pérez (2005).

Es importante resaltar que el desplazamiento de las frecuencias Raman respecto a la frecuencia incidente  $\nu_0$  es independiente de esta última como se observa en la siguiente figura, y por ello suele

tomarse como abscisa para representar los espectros Raman este desplazamiento, situando el centro de la banda Rayleigh como origen del eje. Así, en el eje de las abscisas en realidad aparecerá la diferencia entre la frecuencia Raman y la de excitación del láser, normalizada respecto a la velocidad de la luz (Pérez, 2005):

$$\upsilon = (\nu - \nu_0)/c \text{ [cm}^{-1}\text{]}$$

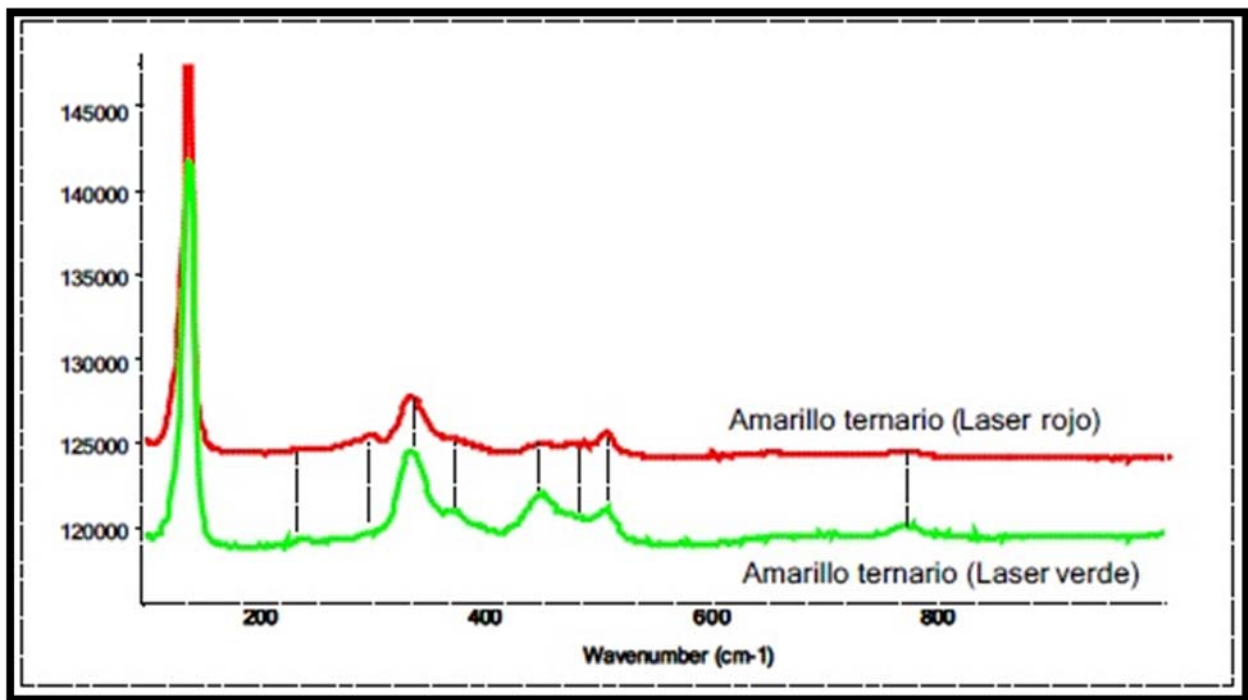


Figura 3. Espectros del amarillo ternario obtenidos con láser rojo y láser verde. Se observa que las bandas Raman aparecen en las mismas posiciones frecuenciales en ambos casos. Adaptado de Pérez (2005).

A temperatura ambiente, según la ley de distribución de energías de Maxwell-Boltzman, el 99% de las moléculas se encuentra en el estado vibracional de menor energía, y por tanto, la probabilidad de que ocurran transferencias de energía que den lugar a la dispersión Raman Stokes es mucho mayor que la de la dispersión Raman anti-Stokes. Esto se traduce en que la intensidad

de la dispersión Raman Stokes es del orden de 100 veces superior a la de la dispersión Raman anti-Stokes (Turrell, (1996) en Pérez, (2005)). La diferencia entre la intensidad del efecto Stokes y el anti-Stokes hace que habitualmente se trabaje midiendo sólo el efecto Stokes y por comodidad se sitúa el resultado en la parte positiva del eje como se observa en la siguiente figura.

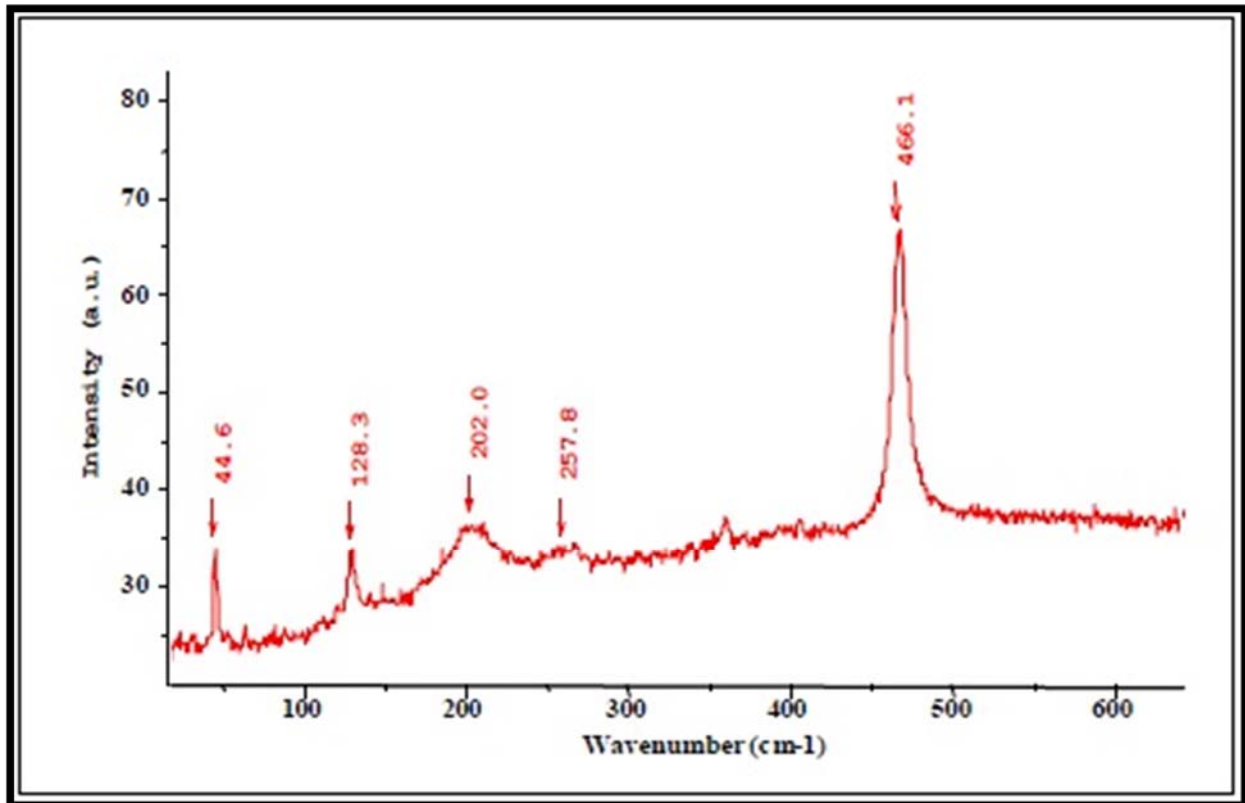


Figura 4. Espectro Raman habitual, compuesto por las bandas Raman Stokes. Adaptado de Pérez (2005).

En ocasiones, debido a la naturaleza química del material que se analiza, unido al efecto Raman se produce un efecto de fluorescencia (fenómeno de absorción de luz) que puede llegar a enmascarar las bandas Raman; en estos casos, podría resultar de interés medir el espectro anti-Stokes ya que a estas frecuencias, aunque el efecto Raman es más débil, también lo es el efecto de

la fluorescencia y pueden aparecer bandas Raman en la parte anti-Stokes del espectro, que se encuentran enmascaradas en la parte Stokes (Pérez, 2005).

La espectroscopia Ráman es una técnica que se realiza directamente sobre el material a analizar, y que tiene las ventajas frente a otras técnicas de caracterización de compuestos que no requiere ningún tipo de preparación y que no conlleva ninguna alteración de la superficie sobre la que se realiza el análisis. Con esta técnica se puede analizar la composición química de compuestos orgánicos e inorgánicos sin destruir las muestras y sin preparación especial y además se pueden analizar materiales en cualquier estado: sólido, líquido o gaseoso (Pérez, 2005).

Uno de los problemas inherentes a la adquisición de cualquier señal es el ruido presente en la medida. En el caso de la obtención de espectros Raman, los ruidos más habituales pueden ser clasificados en cinco grupos diferentes (Pelletier como se citó en Pérez, 2005): ruido shot, ruido generado por la muestra, ruido generado por la instrumentación, ruido computacional y ruido generado por fuentes externas:

- El ruido shot es el resultado de la naturaleza aleatoria de la luz. Su intensidad es igual a la raíz cuadrada del número de fotones detectados. Es una fuente de ruido inevitable en la medida de espectros Raman (Pérez, 2005).
- El ruido generado por la muestra incluye emisiones ópticas no deseadas y generadas por la propia muestra, como es el caso de la fluorescencia, fenómeno que se produce si, al incidir un fotón sobre una molécula, éste es absorbido y la molécula pasa a un estado electrónico excitado donde permanece unas decenas de nanosegundos, para saltar a otro estado excitado pero de menor energía, liberando un fotón de frecuencia más baja que el incidente (Rendell como se citó en Pérez, 2005). En los espectros Raman, la fluorescencia suele presentarse como una suave curvatura de la línea de base y puede alcanzar una intensidad que llegue a enmascarar por completo la intensidad

de las bandas Raman. El ruido generado por la muestra incluye también los cambios de intensidad Raman debidos a cambios en la muestra no relacionados con la concentración; por ejemplo, tanto la intensidad de las bandas como la posición pueden variar en función de la temperatura de la muestra, aunque estos cambios tienden a ser pequeños. La heterogeneidad de la muestra también puede crear ruido ya que el análisis realizado en un punto de la muestra no tiene porqué ser representativo de la muestra completa.

- El ruido generado por la instrumentación depende del diseño específico de la instrumentación empleada en el análisis. Este tipo de ruido incluye los ruidos introducidos por el detector como el ruido térmico, el ruido de lectura o la dependencia de la eficiencia cuántica del detector con la longitud de onda (Pérez, 2005).

- El ruido computacional se refiere al introducido en el proceso de digitalización de la señal de salida del detector (Pérez, 2005).

- El ruido generado por fuentes externas es el generado externamente al equipo Raman o la muestra que se está analizando. Generalmente es causado por alguna fuente de luz externa que contamina la señal en algún punto del equipo de medida, aunque, si el equipo y el contenedor de la muestra a medir están cuidadosamente diseñados, deberían ser inmunes a las radiaciones externas. Pueden ser por ejemplo fuentes externas de ruido la luz de los fluorescentes y la luz solar. Una fuente de ruido externo de origen no-óptico es la generada por partículas de alta energía como los rayos cósmicos que llegan al detector del equipo de medida. Los rayos cósmicos liberan un gran número de electrones que son indistinguibles de los fotoelectrones. Los electrones generados por los rayos cósmicos se concentran en uno o máximo dos de los elementos del detector. El resultado es un pico muy estrecho y de gran intensidad en el espectro de dispersión Raman. Estos picos ocurren infrecuentemente, en tiempo aleatorio y posiciones también aleatorias del espectro

Raman. Estas partículas de alta densidad (Rey Sendón como se citó en Pérez, 2005) de energía son las que componen la radiación cósmica que llega a la órbita terrestre y que está formada en un 98% por nucleones (cada uno de los corpúsculos que intervienen en la constitución de un núcleo atómico). Hasta el momento no se tienen pruebas muy concluyentes de dónde y cómo se produce la conversión de la materia en radiación cósmica ni de los mecanismos que aceleran los núcleos de los rayos cósmicos y les proporcionan energía. Se cree que los núcleos se propagan desde los campos interestelares hacia los campos interplanetarios de origen solar, colisionando con las partículas que los constituyen y que algunas de estas colisiones contribuyen a la aceleración de estas partículas. Así, después de múltiples colisiones, algunas partículas muy aceleradas y con muy alta densidad de energía atraviesan la atmósfera terrestre. Estas partículas, calificadas como altamente penetrantes (se comprobó que atravesaban una placa de platino), provenientes de los rayos cósmicos, son principalmente muones, producto de las múltiples colisiones de los nucleones con otras partículas presentes en el espacio.

De todos estos posibles ruidos que nos podemos encontrar en un espectro, los más habituales son el ruido shot, el cósmico y la fluorescencia, como se observa en la siguiente figura (Pérez, 2005).

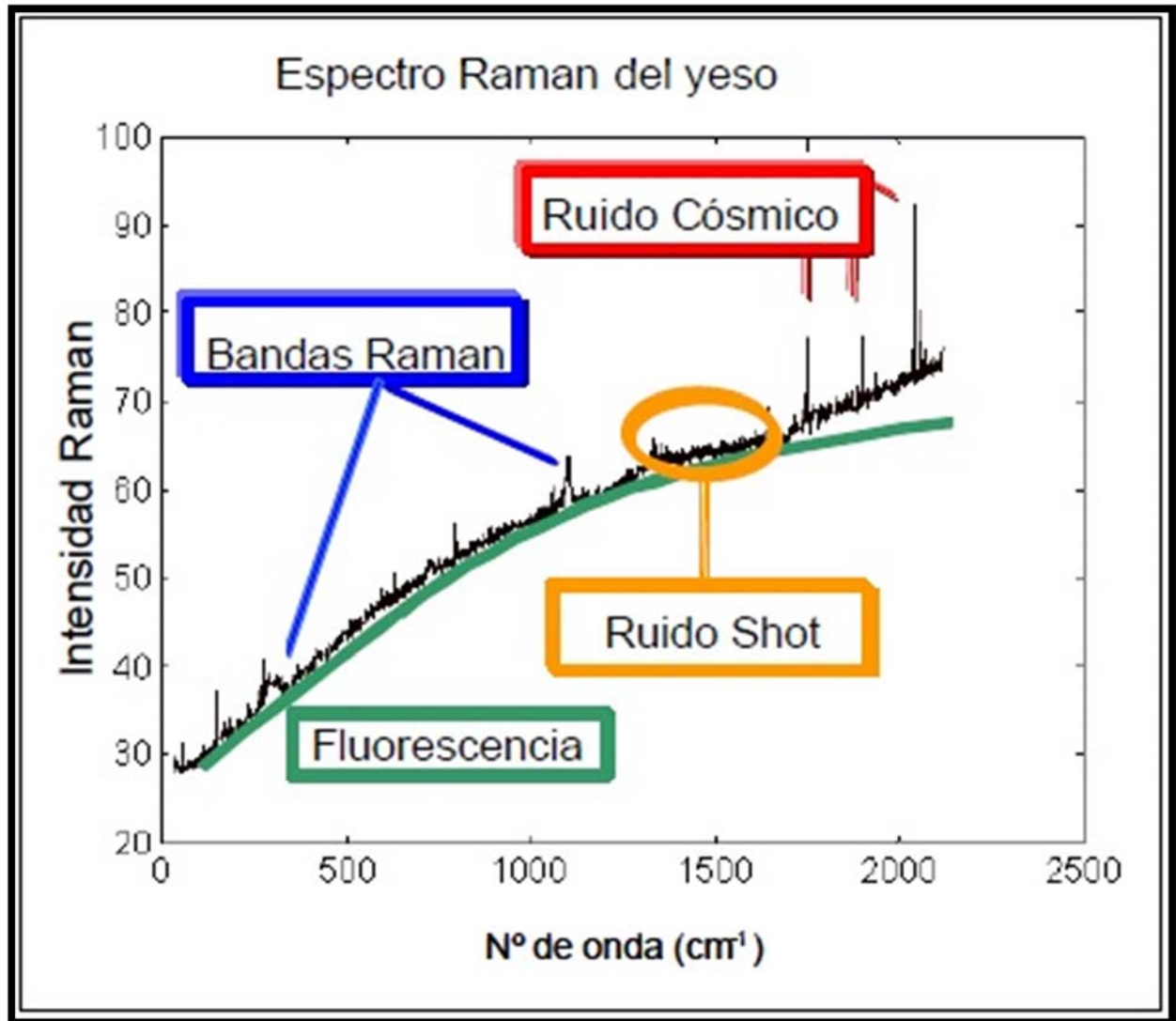


Figura 5. Ruidos más importantes en espectroscopia Raman. Adaptado de Pérez (2005).

#### 4.2 Espectroscopia Infrarroja (IR)

La porción infrarroja (IR) del espectro electromagnético se divide en tres regiones; el infrarrojo (IR) cercano, medio y lejano, así nombrados por su relación con el espectro visible. El infrarrojo (IR) lejano (aproximadamente 400-10 cm<sup>-1</sup>) se encuentra adyacente a la región de Microondas,

posee una baja energía y puede ser usado en espectroscopia rotacional. El infrarrojo (IR) medio (aproximadamente  $4000-400\text{ cm}^{-1}$ ) puede ser usado para estudiar las vibraciones fundamentales y la estructura rotacional vibracional, mientras que el infrarrojo (IR) cercano ( $14000-4000\text{ cm}^{-1}$ ) puede excitar sobretonos o vibraciones armónicas.

Se trata de una técnica de análisis, para obtener información acerca de los procesos de absorción y emisión sobre las moléculas que se encuentran en la materia. Esta técnica espectroscópica se fundamenta en la interacción de la materia con la radiación. Esta interacción provoca procesos como la absorción o la difusión (scattering). Cuando una molécula absorbe o emite un fotón, su estado energético cambia.

En general este cambio se manifiesta como un cambio en la energía traslacional de la molécula, y como un cambio en su estado electrónico vibracional o rotacional. Como las energías asociadas a cada uno de estos cambios son muy diferentes, cada uno de estos procesos se pueden tratar de manera independiente. Exceptuando los cambios traslacionales, los estados energéticos de las moléculas están cuantizados, consecuentemente, los procesos de absorción y emisión sólo pueden darse a determinadas frecuencias de los fotones. Además, el conjunto de frecuencias a las que se producen estos procesos es propio de cada molécula. Para cada molécula dada, su espectro de absorción/emisión constituye una “huella” de la misma.

Las absorciones que se producen en la región espectral del infrarrojo (IR) involucran energías mucho más pequeñas si las comparamos con las energías de absorción relacionadas con la estructura electrónica de la molécula (Ultravioleta y Visible). Con un modelo sencillo de molécula, se obtienen resultados buenos, como un conjunto de masas unidas por muelles. Según este sencillo modelo mecánico, esta puede absorber energía para rotar o para vibrar, es decir, para cambiar su estado energético rotacional o vibracional.

Sin embargo no todas las vibraciones y/o rotaciones producen una absorción de radiación incidente. Sólo los modos vibracionales y rotacionales de moléculas con momento bipolar diferente de cero, o bien aquellos modos que induzcan un momento diferente de cero en la molécula, son activos al infrarrojo (IR). Para que exista un espectro rotacional activo en el infrarrojo (IR) se requiere que la molécula sea polar, mientras que para tener un espectro vibracional activo en el infrarrojo (IR) basta que el movimiento vibracional de los átomos de la molécula induzca un momento bipolar no nulo. Por ejemplo, las moléculas diatómicas así como la de gases nobles no presentan espectros de absorción en el infrarrojo (IR) (2-20 micras).

Las moléculas diatómicas simples tienen solamente un enlace, el cual se puede estirar. Moléculas más complejas pueden tener muchos enlaces, y las vibraciones pueden ser conjugadas, llevando a absorciones en el infrarrojo (IR) a frecuencias características que pueden relacionarse a grupos químicos. Los átomos en un grupo  $\text{CH}_2$ , encontrado comúnmente en compuestos orgánicos pueden vibrar de seis formas distintas, estiramientos simétricos y asimétricos, flexiones simétricas y asimétricas en el plano (tijereteo o scissoring y balanceo o rocking, respectivamente), y flexiones simétricas y asimétricas fuera del plano (aleteo o wagging y torsión o twisting, respectivamente).

Para medir una muestra, un rayo de luz Infrarroja (IR) atraviesa la muestra. Cuando la frecuencia de excitación de un enlace (o grupo de enlaces) coincide con alguna de las frecuencias incluidas en las ondas componentes del rayo, se produce absorción. Lo que se va a registrar es la cantidad de energía absorbida en cada longitud de onda. Esto puede lograrse escaneando el espectro con un rayo monocromático, el cual cambia de longitud de onda a través del tiempo, o usando una transformada de Fourier para medir todas las longitudes de onda a la vez.

A partir de esto, se puede trazar un espectro de transmitancia o absorbancia, el cual muestra a cuales longitudes de onda la muestra absorbe el infrarrojo (IR), y permite una interpretación de qué enlaces están presentes.

Esta técnica funciona exclusivamente con enlaces covalentes, y como tal es de gran utilidad en química orgánica. Espectros nítidos se obtienen de muestras con pocos enlaces activos al infrarrojo (IR) y altos niveles de pureza. Estructuras moleculares más complejas llevan a más bandas de absorción y a un espectro más complejo. Sin embargo esta técnica se ha podido utilizar para la caracterización de mezclas muy complejas.

### **4.3 Difracción de rayos X (DRX)**

Aunque el descubrimiento de la radiación X por el físico alemán Roentgen data del año 1895, en 1912 un grupo de físicos, los alemanes Laue, Knipping y Friedrich y el inglés W.L. Bragg, aclararon exactamente la naturaleza de los rayos X, y los fenómenos que se producen cuando éstos inciden sobre un cristal (Wolf, 1980).

El descubrimiento de que los cristales actúan como una red difractante tridimensional frente a la radiación electromagnética de los rayos X, con longitudes de onda parecidas a las distancias interplanares de los cristales, no sólo sirvió para comprobar el carácter ondulatorio de los rayos X, sino creó, con los métodos de difracción de rayos X (DRX), una herramienta que revolucionó la investigación de la estructura fina de la materia (Wolf, 1980).

Resultó que la difracción es un fenómeno de dispersión de rayos X en el cual participan todos los átomos de la sustancia irradiada. Debido al ordenamiento periódico de los átomos en una estructura cristalina, los rayos dispersados en distintos átomos llevan entre sí un cierto desfase.

Interfiriendo estos rayos dispersados en su trayectoria posterior, la mayoría de ellos son extinguidos porque su diferencia de fases  $\Delta \lambda = n \lambda$  ( $n = 1,2,3\dots$ ), y sólo en algunas direcciones, donde las diferencias de fase son  $\Delta \lambda = n \lambda$  se forman por interferencia constructiva rayos difractados. Como deriva fácilmente de la siguiente figura, las condiciones para la interferencia constructiva, es decir, para una diferencia de fase  $n \cdot \lambda$  entre ondas diferentes se cumple sólo cuando:

$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \Theta$$

$\lambda$  = Longitud de onda del haz incidente de rayos X;

$d$  = Distancia entre los planos difractantes en cuestión, es decir, la distancia interplanar o el espaciado del grupo de planos reticulares sobre el cual incide la radiación;

$\Theta$  = Ángulo de incidencia (también ángulo de Bragg) medido entre los planos en consideración y el haz incidente. (Wolf, 1980)

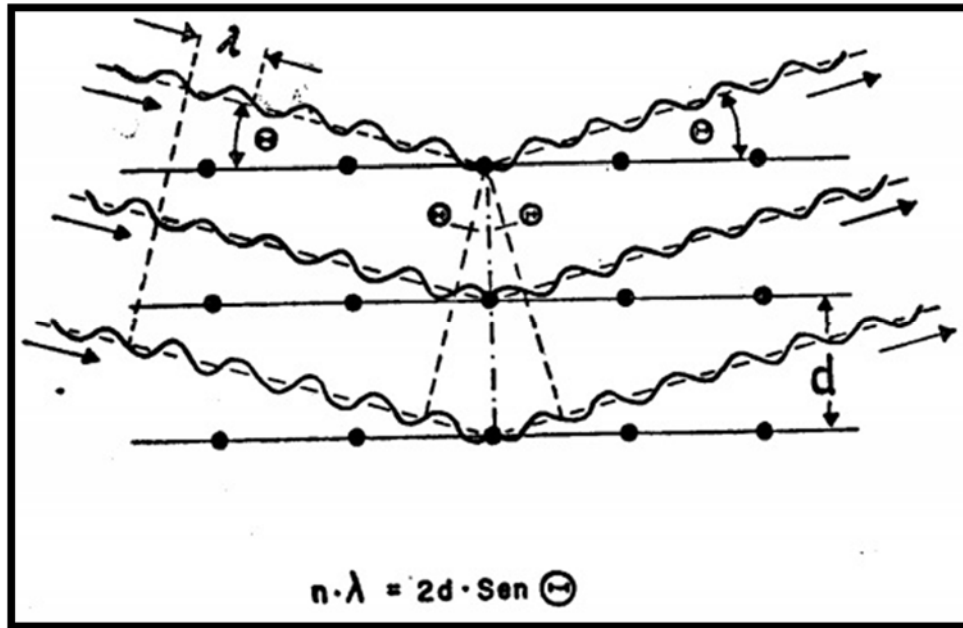


Figura 6. Las condiciones de la difracción de rayos X (DRX) en un grupo de planos reticulares (ley de Bragg). Adaptado de Wolf (1980).

Esta fórmula se llama ley de Bragg y es la ecuación fundamental de la difracción de rayos X (DRX). Podemos decir, en otras palabras, que la difracción de rayos X (DRX) en una muestra cristalina produce un campo de interferencias de rayos X, o un campo de rayos difractados. Este campo se compone de todas las interferencias producidas por los grupos de planos reticulares que existen en la muestra y se caracteriza fundamentalmente por dos factores:

- La distribución (ubicación) de las interferencias frente al haz incidente. Esta es determinada a través de la ley de Bragg (Wolf, 1980).
- Las intensidades de estas interferencias. La intensidad de un haz difractado depende, además de factores netamente instrumentales en la medición, de la estructura del cristal difractante, de su absorción frente al haz incidente, y de su grado de perfección (Wolf, 1980).

Cuando se trata, como en la mayoría de las aplicaciones comprendidas en nuestra rama, de mezclas de diferentes cristales o minerales, influye también la absorción de los otros componentes (de la tan llamada matriz), y la cantidad presente del mineral en estudio (Wolf, 1980).

Prácticamente, todos los métodos y procedimientos que se basan en los fenómenos de la difracción de rayos X (DRX), tienen como objeto determinar estas dos características de una sustancia cristalina dada, para llegar a través de estos datos a la información correspondiente sobre el material en estudio (Wolf, 1980).

Según el estado en que se presenta el material de estudio, podemos generalmente diferenciar entre monocristales y policristales. Bajo este último término entiéndase cualquier sustancia o agregado que consiste de un conjunto de granos, fragmentos o partículas cristalinas, es decir que carece de continuidad en la red cristalina dentro de la muestra. El ejemplo más claro de una sustancia policristalina es un polvo. Sin embargo, muchos cuerpos sólidos como por ejemplo metales también son policristales porque se componen de un gran número de cristalitos firmemente entrecrecidos. Además se denomina de multicomponente todas aquellas sustancias en las que participan varias especies cristalinas. Obviamente, la mayoría de los objetos de investigación en geología, materias primas y metalurgia son sustancias policristalinas y, en general, también multicomponentes.

En cambio, los monocristales son el objeto principal en la cristalografía, la física del estado sólido, la tecnología de semiconductores y otras ramas de la aplicación de difracción de rayos X (DRX). Sin embargo, esta diferenciación es muy generalizada y no le faltan excepciones. Pero en el fondo y por otras razones físicas decisivas, es una de las causas por la cual en el estudio de muestras de interés geológico y afines predomina tan claramente la difracción de rayos X mediante goniómetros. La siguiente figura muestra, en forma simplificada y sin considerar los

casos muy especiales, un intento de clasificación de los métodos de difracción de rayos X (DRX), según las técnicas de medición (Wolf, 1980).

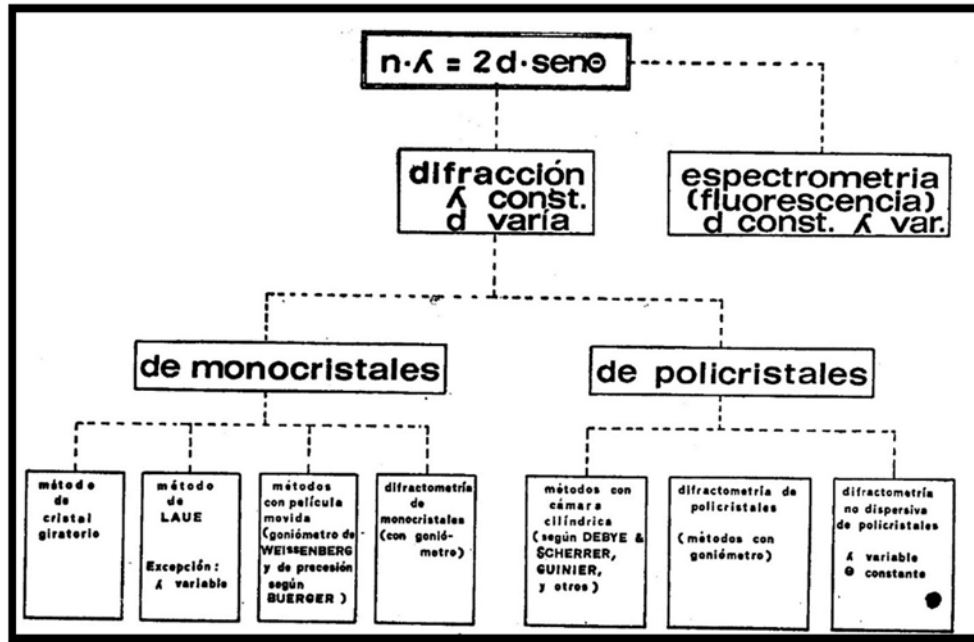


Figura 7. Clasificación simplificada de los principales procedimientos instrumentales en la difracción de rayos X (DRX). Adaptado de Wolf (1980).

Para determinar o comprobar la identidad de una especie mineral, la difracción de rayos X (DRX) se muestra muchas veces superior a cualquier otro método por su rapidez, irrefutabilidad, su carácter no destructivo y la poca cantidad de sustancia necesaria para la determinación (pocos miligramos para el trabajo con cámaras cilíndricas; algunos cien miligramos para el difractómetro). Sin embargo, para interpretar los resultados de medición, es decir, para encontrar la especie mineral que corresponde al conjunto medido de espaciados y sus respectivas intensidades relativas, se necesita una colección de datos de referencia (Berry y Thompson como se citó en Wolf, 1980).

Encontrándose el mineral en cuestión en una mezcla con otros, aumentan mucho los problemas en la identificación, tanto por posibles coincidencias entre las interferencias de diferentes

minerales como por la ambigüedad de formar los conjuntos de espaciados e intensidades que correspondan a cada uno de los minerales presentes. A veces se puede llegar a una solución reduciendo el número de minerales no identificados uno tras otro, o sea en base de informaciones previas o adicionales sobre la mezcla, o sea por variar la supuesta composición mineral hasta encontrar una correlación cabal con los datos medidos (Wolf, 1980).

Por estas razones y cuando sea posible, resulta preferible gastar más tiempo y trabajo en la separación del mineral puro, antes de efectuar el análisis por difracción de rayos X (DRX). En estos casos de un patrón difractométrico puro, la identificación es bastante rutinaria y fácilmente accesible al tratamiento de los datos de búsqueda por computadora. En la práctica, la identificación de minerales por difracción de rayos X (DRX) será destinada sobre todo a los siguientes casos:

- Material de grano muy fino y por lo tanto inapropiado hasta inaccesible a estudios con el microscopio de polarización. Como ejemplos los minerales arcillosos (Wolf, 1980).
- Minerales raros o difíciles en el diagnóstico químico o con otros métodos (Wolf, 1980).
- En caso de compuestos polimórficos, para determinar cuál es la especie presente. Teniendo en cuenta el gran número de compuestos químicos que se presentan tanto en la naturaleza como también en la tecnología en diferentes estructuras cristalinas (por ejemplo,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{FeS}_2$ , etc.), la difracción de rayos X (DRX) es muchas veces el método estándar para la identificación de las fases cristalinas correspondientes (por ejemplo, cuarzo-cristobalita-tridimita, anatasa-rutilo-brookita, calcita-aragonita-vaterita, esfalerita-wurtzita, pirita-marcasita, etc.). La siguiente figura presenta los difractogramas de dos modificaciones polimórficas del  $\text{TiO}_2$ , de la anatasa y del rutilo. La comparación entre el difractograma de la anatasa pura y el de una mezcla anatasa-rutilo demuestra en forma elocuente la efectividad de la difracción de rayos X (DRX) para

la determinación de dos fases cristalinas que son idénticas en su composición química (Wolf, 1980).

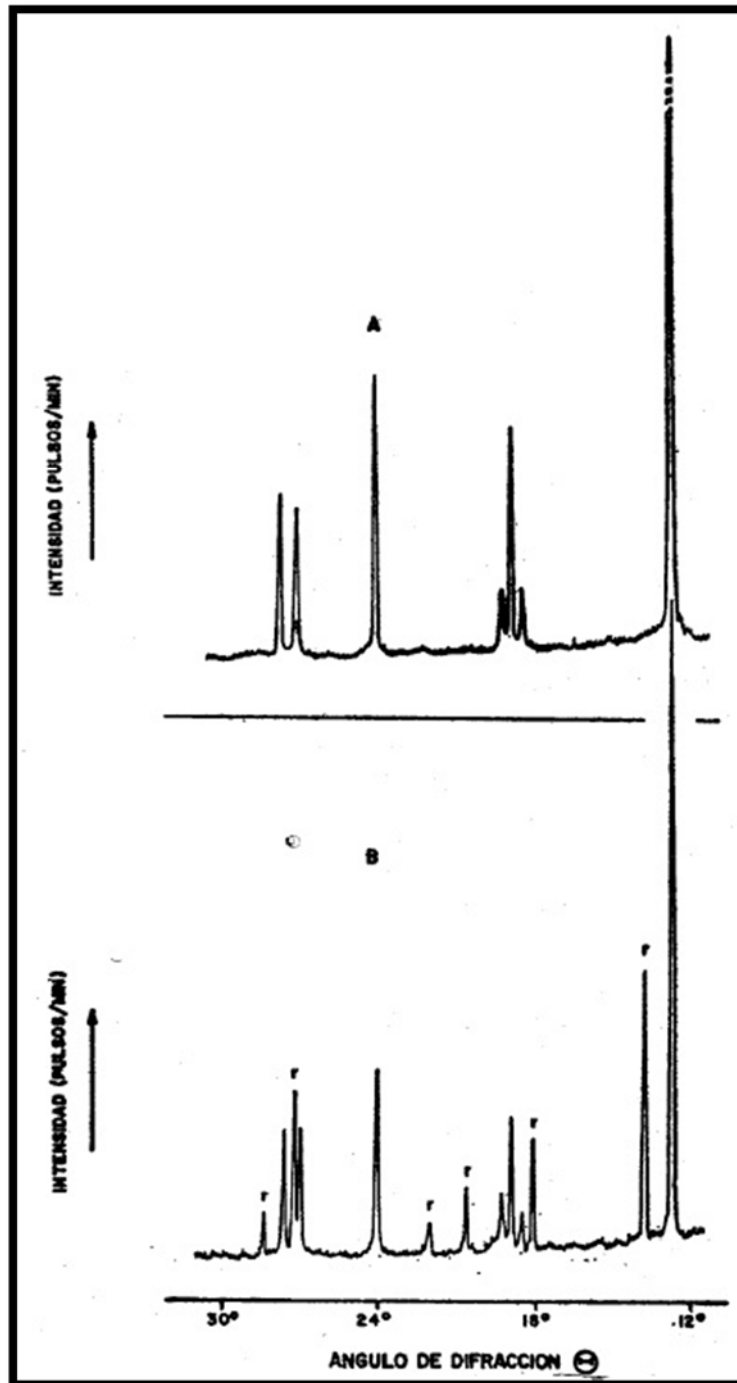


Figura 8. Difractogramas de dos muestras de  $\text{TiO}_2$ . (A) anatasa pura. (B) mezcla de anatasa con rutilo (r). Radiación  $\text{CuK}\alpha$ . Adaptado de Wolf (1980).

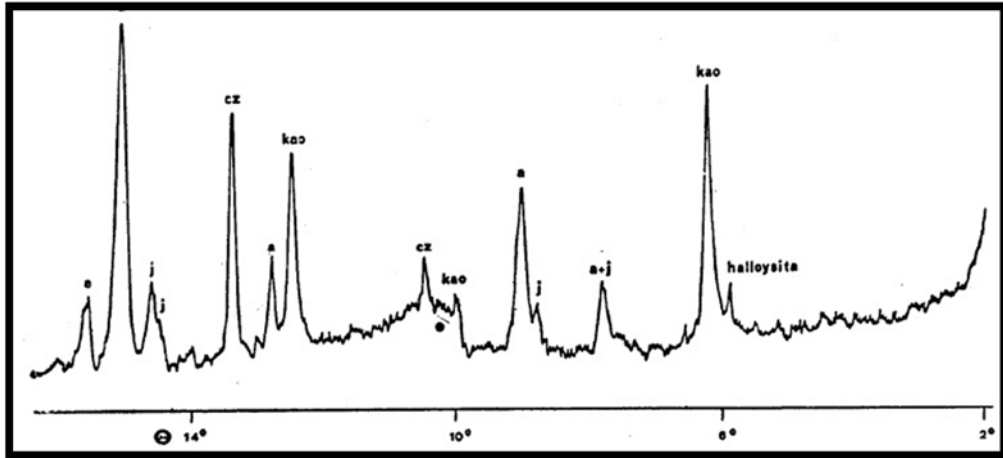
Sin embargo, no faltan los casos donde también la difracción de rayos X (DRX) no llega a una identificación unívoca de un supuesto mineral desconocido, sea por no poder separar las interferencias del compuesto de aquéllas de los acompañantes, o por encontrarse el mineral X en una cantidad demasiado baja para su determinación directa o para su separación previa (Wolf, 1980).

Debido a su semejanza estructural, a su tamaño de grano muy reducido (generalmente menor de 2  $\mu\text{m}$ ) y a las propiedades físicas bastante parecidas hasta iguales entre sí, los minerales arcillosos y más todavía sus mezclas naturales generalmente muy íntimas requieren métodos particulares para su análisis mineralógico. Entre ellos el método fundamental y prácticamente insustituible es la difracción de rayos X (DRX). (Brown, Carroll, Grim, Hutchison, Richards, Roesler y Starke, Scott, Warshaw, Roy como se citó en Wolf, 1980).

En la geología, el estudio de las arcillas y de sus componentes es de especial interés para la litología: sirve para caracterizar los sedimentos y los procesos de su formación y diagénesis. En muchos casos, por ejemplo en la exploración petrolífera o de yacimientos sedimentarios, facilita la correlación geológica a través de la composición cualitativa y cuantitativa de las arcillas. Además, es conocido el efecto catalítico de las arcillas en la génesis de los hidrocarburos lo que es objeto de investigaciones de la geología de petróleo. En la petrografía, permite la investigación hipógena o supérgena (meteorización) (Wolf, 1980).

Por ejemplo, la siguiente figura muestra un difractograma de un material procedente de una venilla que se compone de alunita, cuarzo, jarosita, caolinita y halloysita. Sin embargo, esta composición mineral y sobre todo la asociación con minerales arcillosos recién ha sido determinada mediante difracción de rayos X (DRX). La alunita por ejemplo ha dado lugar anteriormente a confusiones con rodocrosita y ortosa, debido al color rosáceo y la ocurrencia en

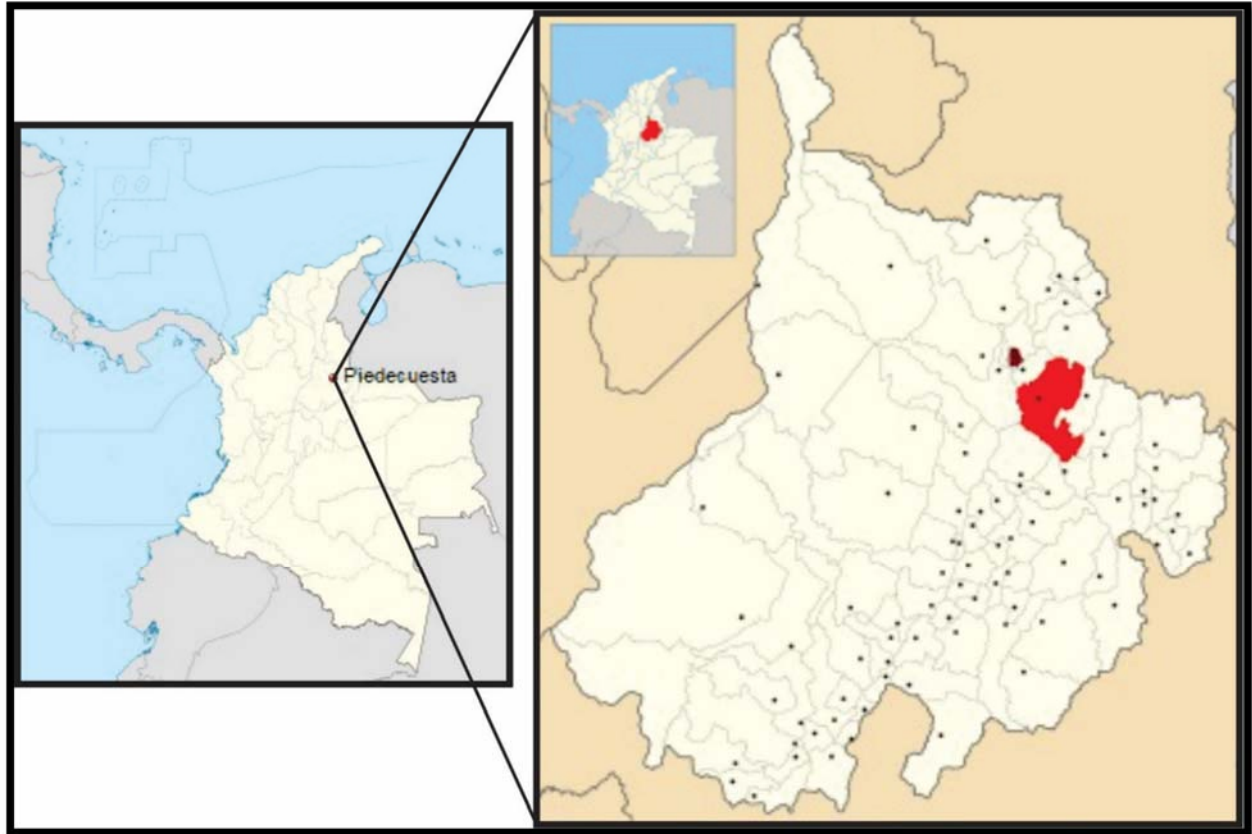
venillas, de este material. Asimismo, de ningún modo hubiera sido posible detectar la halloysita en mezclas con la caolinita, sin la aplicación de la difracción de rayos X (DRX) (Wolf, 1980).



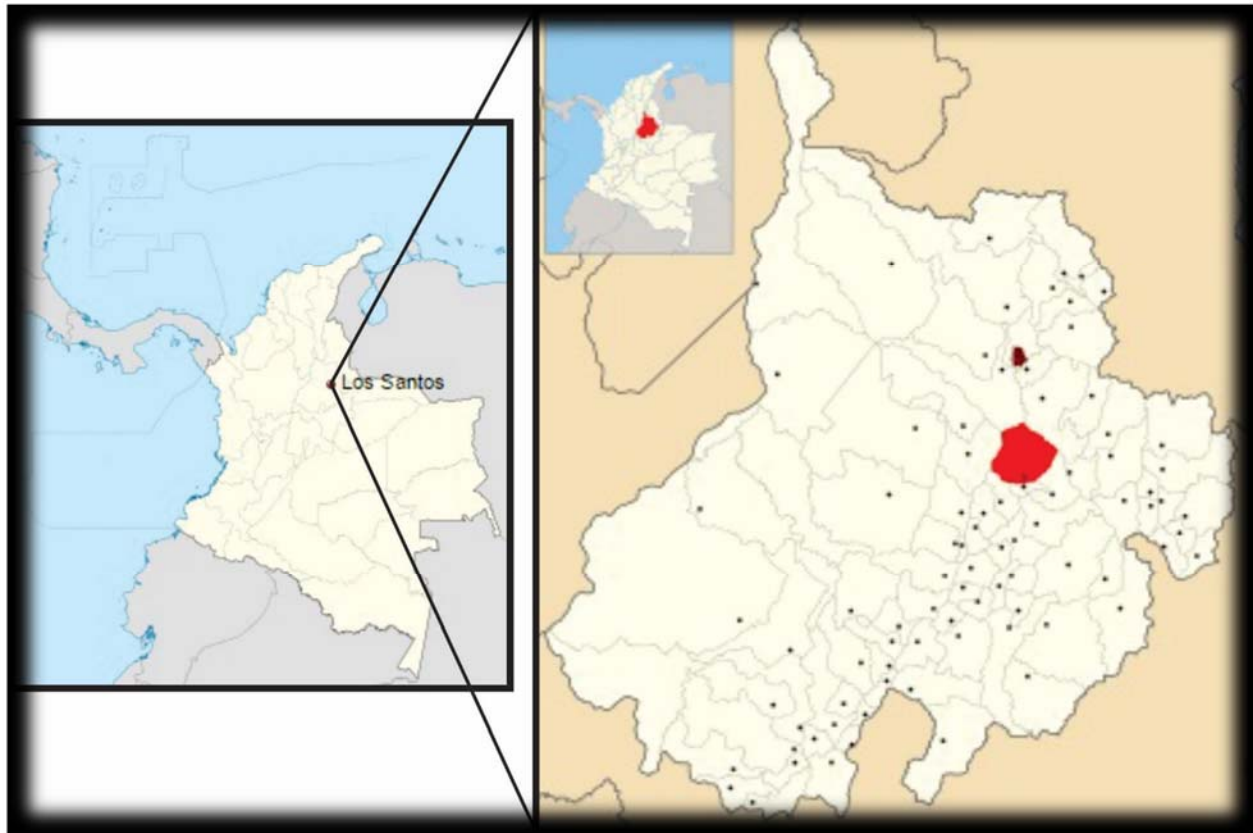
*Figura 9.* Diffractograma de un material procedente de una venilla. Se revela la presencia de halloysita, asociada con alunita (a), cuarzo (cz), jarosita (j) y caolinita (Kao). Radiación  $\text{CuK}\alpha$ , muestra preparada con orientación preferida. Adaptado de Wolf (1980).

## 5. Localización

La zona de estudio se localiza geográficamente sobre la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander y geológicamente sobre el flanco occidental de la Cordillera Oriental de Colombia. Este sector regionalmente se encuentra en el margen noreste del departamento de Santander. Ambos municipios pertenecen a la Provincia de Soto del departamento de Santander.



*Figura 10.* Localización del municipio de Piedecuesta en Colombia y en Santander. Adaptado de Piedecuesta (2017).



*Figura 11.* Localización del municipio de Los Santos en Colombia y en Santander. Adaptado de Los Santos, Santander (2017).

La zona de estudio tiene coordenadas X: 1°115.358,843, Y: 1°260.138,932 a X: 1°115.302,192, Y: 1°256.817,545 que corresponden al sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta y al sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander, respectivamente.



Figura 12. Localización geográfica de la zona de estudio. Adaptado de Google Earth (2016).

La zona de estudio está cartografiada en las planchas 120-IV-B y 120-II-D a escala 1:25.000 (Arguello y Guerrero, 2015). Las coordenadas de la zona de estudio corresponden a las adoptadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), según el cual, se toma como referencia de origen las coordenadas planas ubicadas en Bogotá D.C que están representadas por  $X=1'000.000$ ;  $Y=1'000.000$ .



Para mayor detalle en la identificación de las unidades geológicas de interés en el área de estudio, se utilizó las planchas 120-IV-B y 120-II-D a escala 1:25.000 en donde se representa la geología de los cuadrángulos D-11, D-12, E-11 y E-12 de la plancha 120 de Bucaramanga a escala 1:100.000. (Arguello y Guerrero, 2015)

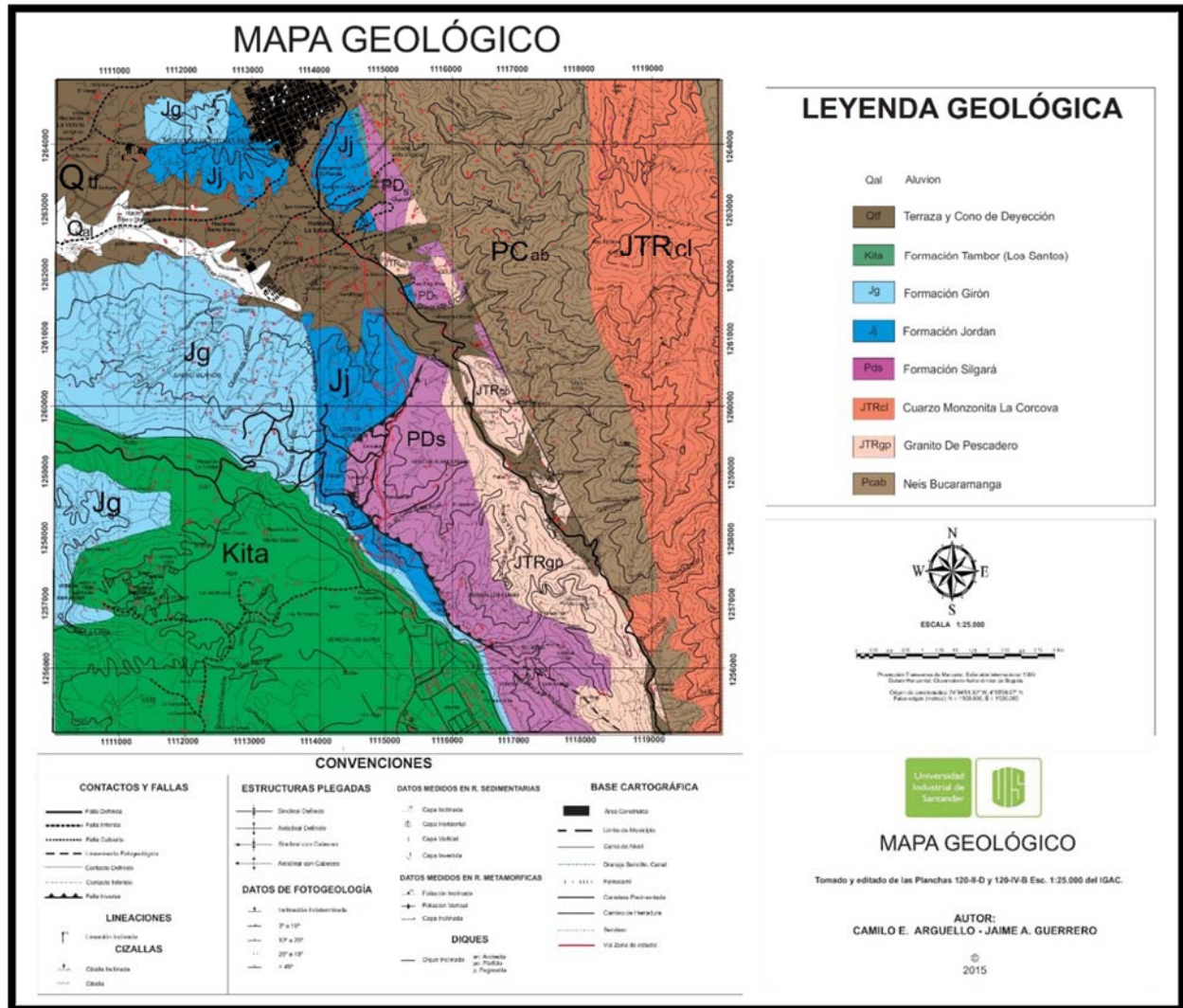


Figura 14. Mapa geológico de la zona de estudio a escala 1:25.000. Adaptado de Arguello y Guerrero (2015).

## 6. Antecedentes

Algunos trabajos realizados en el área de la Mesa de Los Santos del municipio de Los Santos en el departamento de Santander, comprenden al de Julivert (1958) quien realiza un estudio de la morfoestructura de la zona de las mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S.A.), es decir, un estudio de las estructuras y la evolución morfoestructural de la zona de mesas en Santander, que incluye la Mesa de Los Santos

Posteriormente Julivert, Barrero y Navas (1964) realizan un estudio de la geología de la Mesa de Los Santos, es decir, se estudia la región de la Mesa de Los Santos, dándose de la misma un mapa a escala 1:50.000 y una breve descripción estratigráfica y tectónica.

Luego Etayo y Rodríguez (1985) realizan un estudio de la edad de la Formación Los Santos, es decir, publican una edición especial del Proyecto Cretácico, el cual contiene un análisis sedimentológico y tectónico de las unidades cretácicas.

Posteriormente Díaz y Suárez (1998) realizan un estudio de evidencias neotectónicas del sistema de fallas del Suárez en su confluencia con el sistema de fallas de Bucaramanga, es decir, relacionan el sistema de fallas del Suárez y de Bucaramanga, en donde realizan un análisis estadístico de diaclasas tomadas de diferentes formaciones.

Luego Vargas (2008) realiza un estudio de cartografía geológica a escala 1:25.000 de la Mesa de Lo Santos, departamento de santander, en donde explica que la cartografía geológica de la Mesa de Los Santos, localizada al occidente de la Cordillera Oriental (departamento de Santander), presenta características estratigráficas, petrográficas y estructurales; la cual se constituye por rocas

metamórficas de la Formación Silgará (Ordovícico-Silúrico), rocas ígneas del Granito de Pescadero (Jurásico), cuerpos intrusivos (Jurásico? y Cretácico) y rocas sedimentarias de las formaciones Jordán (Jurásico), Los Santos, Rosablanca, Paja y Tablazo (Cretácico). La zona presenta fallas normales con una cinemática dextral; las cuales tienen un alto grado de penetratividad debido a que toda la zona las contiene, además, se observan fallas inversas subordinadas en relación de corte por fallas normales.

El análisis de datos estructurales de fracturas muestra para la zona una distribución radial lo cual indica relajación, resaltando una dirección preferencial N70°-80°W. La interacción de los datos de fracturas con los tipos de fallas, manifiestan en la zona cuatro bloques estructurales, que presentan características particulares de fracturamiento. El análisis de estrías confirma para la zona un dominio tectónico de tipo transcurrente, con un sistema compresivo en dirección N-S y distensivo en dirección E-O.

## **7. Marco Geológico**

### **7.1 Geología Regional**

Colombia está ubicada geográficamente en la parte norte de Suramérica, en una zona de alta complejidad tectónica, en donde interactúan las placas tectónicas de Nazca, del Caribe y Suramericana, como resultado de esta interacción a través del tiempo geológico, se formó el

orógeno de los Andes, el cual está dividido en tres cinturones plegados, el occidental, central y oriental.

Por su parte, el nororiente colombiano de los Andes es un territorio geológicamente complejo y tectónicamente dinámico; su conformación está relacionada con la interacción de las placas tectónicas de Nazca, del Caribe y Suramericana. El área de Santander por encontrarse dentro de este dominio, despierta gran interés y genera discusiones sobre su origen y su conformación geológica (Royero y Clavijo, 2001).

Existen interpretaciones relacionadas con la aplicación del concepto de “terrenos geológicos o estratigráfico-tectónicos”, plasmado en el Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia (Etayo, et al., como se citó en Royero y Clavijo, 2001), en donde el territorio del departamento de Santander forma parte del “supraterreno de la Cordillera Oriental” y de los “terrenos geológicos del Valle Medio del Magdalena (Payandé), Floresta y de Santander”. Estos conceptos no son aplicados en la memoria de Royero y Clavijo (2001); ellos prefieren utilizar el término de provincias tectónicas para sustituir el de “terreno geológico” y así obviar confusiones en su interpretación.

El departamento de Santander se encuentra localizado en una región tectónica compleja y dinámica, que representa a una zona de influencia entre los límites de las placas tectónicas del Caribe y la Suramericana, conocida como bloque Andes del Norte o bloque Norandino en los trabajos de Kellogg, Case, et al., Kellogg, et al., James y Boinet (como se citó en Royero y Clavijo, 2001).

En el Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia (Etayo, et al., como se citó en Royero y Clavijo, 2001), el departamento de Santander se encuentra conformado por el “supraterreno cretácico de la Cordillera Oriental” y los “terrenos de Santander, Floresta y del Valle Medio del

Magdalena”; sin embargo, en la memoria de Royero y Clavijo (2001) se ha utilizado de manera preferencial, el término de provincias para sustituir el de “terrenos estratigráfico-tectónicos” y así obviar grandes confusiones en la aplicación e interpretación del mismo.

Para la caracterización tectónica del territorio de Santander se ha subdividido en tres provincias tectónicas como son la del Macizo de Santander, que está conformada por los bloques de Floresta, Cucutilla, Pamplona y de Ocaña; la del Valle Medio del Magdalena, y la de la Cordillera Oriental, de conformidad con el esquema tectónico, presentado por Clavijo, et al., (como se citó en Royero y Clavijo, 2001).

- **Provincia Macizo de Santander.** Esta provincia corresponde en buena parte a los macizos de Santander y de Floresta, y ocupan la región oriental estructural del territorio santandereano. La provincia del Macizo de Santander está subdividida en los bloques de Floresta, Cucutilla, Pamplona y Ocaña (Royero y Clavijo, 2001).

- ✓ **Bloque de Floresta:** Está caracterizado tectónicamente por fallas inversas y de cabalgamiento e incluye pequeños pliegues de dirección predominante hacia el SW-NE. Este bloque se encuentra localizado en el extremo nororiental del departamento; está constituido principalmente por rocas metamórficas precámbricas y paleozoicas, y rocas ígneas paleozoicas y mesozoicas. El bloque está limitado al oriente por las fallas de Soápaga y Bucaramanga-Santa Marta y al occidente por la Falla de Riachuelo (Royero y Clavijo, 2001).

- ✓ **Bloque de Cucutilla:** Este bloque se caracteriza por un sistema de fallamiento en bloques pequeños, separados por fallas inversas con inclinación principalmente hacia el occidente y por anticlinales y sinclinales estrechos truncados por el fallamiento de dirección SE-NW. Se trata de un bloque hundido, ubicado en la región más oriental de Santander; se encuentra conformado por

rocas sedimentarias paleozoicas, jurásicas, cretácicas y terciarias. El bloque se presenta limitado al oriente por el sistema de fallas de Chitagá, en territorio de Norte de Santander y al occidente por las fallas de Baraya y Servitá (Royero y Clavijo, 2001).

✓ **Bloque de Ocaña:** Se caracteriza tectónicamente por presentar un estilo estructural de fallamiento en bloques menores, separados por fallas inversas de dirección predominantemente SW-NE. Se presenta como un bloque levantado, que ocupa el sector nororiental del departamento; está constituido esencialmente por rocas ígneas triásico-jurásicas y metamórficas precámbricas y paleozoicas. Este bloque está limitado al occidente por la Falla Bucaramanga-Santa Marta y al suroriente por la Falla de Baraya (Royero y Clavijo, 2001).

✓ **Bloque de Pamplona:** Bloque pequeño levantado, caracterizado por rocas metamórficas precámbricas y sedimentarias paleozoicas. Este bloque se encuentra localizado en el sector oriental del departamento (Royero y Clavijo, 2001).

• **Provincia Valle Medio del Magdalena.** Es una provincia caracterizada tectónicamente por un estilo estructural de plegamiento donde las estructuras anticlinales y sinclinales son amplias y suaves, limitadas por fallas inversas escalonadas, con inclinación preferencial hacia el oriente (Royero y Clavijo, 2001).

Corresponde a la región occidental estructural del departamento de Santander, hundida, moderadamente deformada. Se encuentra representada por rocas cretácicas, terciarias y está cubierta en un 65% por sedimentos recientes. Esta provincia se encuentra limitada al oriente por la Falla La Salina y al occidente (fuera del área del departamento de Santander) por las fallas Mulatos y Morales (Royero y Clavijo, 2001).

- **Provincia Cordillera Oriental.** Esta provincia se caracteriza por pliegues anticlinales y sinclinales amplios, limitados por fallas inversas y de cabalgamiento, de direcciones NE y NW, con inclinación predominante hacia el oriente (Royero y Clavijo, 2001).

Constituye una cobertura sedimentaria con cubrimiento de una gran extensión de la Cordillera Oriental. En el departamento de Santander, está restringida a dos bloques, el principal localizado en la región central estructural y el menor ubicado en la región oriental. Esta provincia está conformada por rocas sedimentarias generalmente plegadas, de edades jurásicas y cretácicas; el bloque principal o central está limitado al oriente por las fallas Riachuelo y Bucaramanga-Santa Marta, y al occidente por la Falla La Salina, mientras el bloque oriental está limitado al oriente por la Falla de Servitá y al occidente por las fallas Bucaramanga-Santa Marta y de Baraya (Royero y Clavijo, 2001).

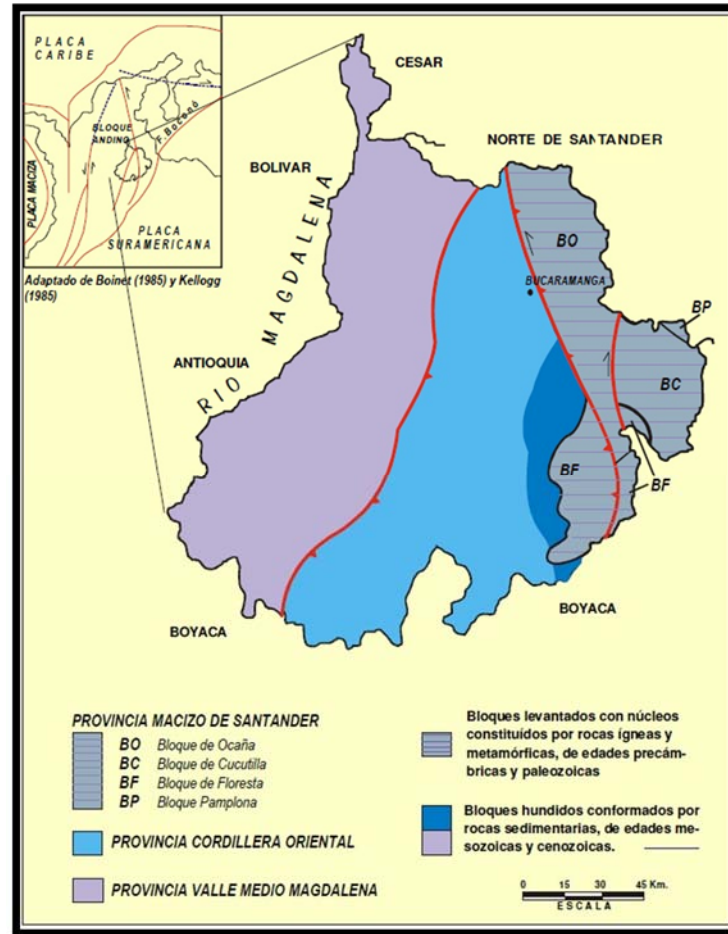


Figura 15. Esquema tectónico del departamento de Santander. Adaptado de Clavijo, et al., (como se citó en Royero y Clavijo, 2001).

- **Estructuras.** El territorio santandereano se caracteriza por presentar tres estilos estructurales diferenciados, los cuales identifican tres regiones estructuralmente bien definidas del departamento: uno de fallamiento en bloques en la región oriental; otro de plegamientos en la región central, y el Graben del Magdalena, en la región occidental (Royero y Clavijo, 2001).

- ✓ **Región Oriental:** Esta región comprende el Macizo de Santander, en donde predomina un sistema de fallamiento en bloques, de rumbo norte-sur a noreste y un sector de pliegues anticlinales y sinclinales estrechos, ubicados en el extremo más oriental del departamento (Royero y Clavijo, 2001).

✓ **Región Central:** Está localizada entre la Falla de Bucaramanga-Santa Marta al oriente y la Falla La Salina al occidente. Geográficamente conforma la cadena montañosa de las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental, en donde se destacan estructuras anticlinales y sinclinales amplias, limitadas por fallas inversas y de cabalgamiento con inclinación hacia el oriente (Royero y Clavijo, 2001).

✓ **Región Occidental:** Representa una región hundida, que corresponde a buena parte del valle medio del Río Magdalena. Esta región está limitada al oriente por el sistema de Falla La Salina y al occidente por la Falla Mulatos-Morales que pasa por fuera del área del departamento. Presenta estructuras anticlinales y sinclinales amplias, conformadas por rocas del Terciario y fallas inversas con inclinación al oriente (Royero y Clavijo, 2001).

## 7.2 Geología Local

La zona de estudio se localiza geológicamente sobre el flanco occidental de la Cordillera Oriental de Colombia, se encuentra enmarcada regionalmente entre las fallas Bucaramanga-Santa Marta y Suárez y en esta afloran las unidades geológicas Silgará, Granito de Pescadero, Jordán, Girón y Los Santos. Además, en la zona de estudio, hay depósitos cuaternarios.

- **Estratigrafía.** En la zona de estudio afloran rocas metamórficas de la Formación Silgará, rocas ígneas de la Unidad Granito de Pescadero, rocas sedimentarias de las formaciones Jordán, Girón y Los Santos, y depósitos cuaternarios. A la Formación Silgará le han asignado tentativamente una edad del Cámbrico al Ordovícico (Ward, et al., como se citó en Royero y Clavijo, 2001), la Unidad Granito de Pescadero data del Jurásico inferior-medio, la Formación Jordán por sus relaciones estratigráficas se considera de edad Jurásico inferior y medio, para la Formación Girón se ha establecido una edad Jurásico superior (Pons como se citó en Royero y Clavijo, 2001), la Formación Los Santos es considerada de edad Berriasiano (Cediel, Etayo y Rodríguez como se citó en Royero y Clavijo, 2001), los depósitos no consolidados aluviales en abanicos y terrazas son considerados de edad Pleistoceno y los depósitos no consolidados de aluvi3n, coluvi3n y derrubios son considerados de edad Holoceno (Royero y Clavijo, 2001).

**7.2..1 Formación Silgará:** Nombre propuesto por Ward, et al., (como se citó en Royero y Clavijo, 2001) para referirse a una secuencia de rocas clásticas metamorfizadas de estratificaci3n delgada, compuestas por filitas, cuarcitas, esquistos, metareniscas y menores cantidades de pizarra y filita calcárea, cuya secci3n tipo se localiza en la Quebrada Silgará, afluente del Río Salamanca, al occidente de Cáchira.

Las relaciones estratigráficas, las diferencias composicionales y algunos datos estructurales, por lo menos sugieren que la Formación Silgará suprayace al Complejo Bucaramanga e infrayace discordantemente a las formaciones El Tibet y Floresta del Devónico (Royero y Clavijo, 2001).

Equivalente en parte al Grupo Quetame (Campbell como se citó en Royero y Clavijo, 2001), al Grupo Gúejar (Trumpy como se citó en Royero y Clavijo, 2001) y posiblemente es comparable con la Serie de Perijá (Raddelli, Forero, Tschanz, et al., como se citó en Royero y Clavijo, 2001).

**7.2..2      *Unidad Granito de Pescadero.*** Aflora en los alrededores de Umpalá, municipio de Piedecuesta; se considera una variedad del Batolito de Mogotes. El granito es de color rosado naranja, de grano fino a muy fino, equigranular a ligeramente porfirítico; está compuesto de plagioclasa (albita), ortoclasa, micropertita y cuarzo en cantidades casi iguales; los accesorios son óxidos de hierro, muscovita, biotita y zircón (Royero y Clavijo, 2001).

**7.2..3      *Formación Jordán.*** Descrita inicialmente por Cediél (como se citó en Royero y Clavijo, 2001) quien estableció su sección tipo en la pendiente norte del Cañón del Río Chicamocha, a 1 kilómetro al occidente de la cabecera municipal de Jordán, Santander. Está constituida por areniscas gris verdosas, de grano grueso a ligeramente conglomerática, con estratificación cruzada; intercalados se presentan niveles de arcillolitas gris verdosas. En la parte superior se encuentran intercalaciones de limolitas, color marrón rojizo a rojo grisáceo y areniscas de grano fino en capas medianas.

También existen dos capas delgadas de tobas soldadas félsicas. El ambiente de depósito es continental vulcanoclástico. El espesor varía entre 300 y 660 metros (Ward, et al., como se citó en Royero y Clavijo, 2001).

La Formación Jordán infrayace en discontinuidad estratigráfica a las formaciones Girón y Los Santos; suprayace concordantemente a la Formación Bocas. Es correlacionable, en buena parte, con la Formación Guatapurí al sur de la Sierra Nevada de Santa Marta (Tschanz, et al., como se

citó en Royero y Clavijo, 2001); también puede ser correlacionable con las secuencias de dominios volcanoclásticos localizados en territorios del Cesar, Norte de Santander y Bolívar, estudiadas por Bayer, et al., Arias y Vargas, Daconte y Salinas, Bogotá y Aluja, Geyer, Clavijo y Royero (como se citó en Royero y Clavijo, 2001).

**7.2..4 Formación Girón.** Inicialmente el término “Girón Series” fue creado por Hettner (como se citó en Royero y Clavijo, 2001) para designar una megasecuencia aflorante al occidente de Bucaramanga en los alrededores de Girón, Santander. Se adelantaron varios estudios y entre éstos se destaca el de Trumpy (como se citó en Royero y Clavijo, 2001) pero fue Langenheim (como se citó en Royero y Clavijo, 2001) quien fijó la sección tipo en la angostura del Río Lebrija y la dividió en tres miembros: uno inferior arenoso (750 metros), uno intermedio lodoso (1250 metros) y otro superior arenoso (1500 metros) para un espesor total de 3500 metros.

Entre otros autores que realizaron estudios del Grupo Girón, se incluye a Julivert (como se citó en Royero y Clavijo, 2001) y también a Navas (como se citó en Royero y Clavijo, 2001), quien midió la sección del Río Lebrija y la subdividió en siete facies con un espesor de 2690 metros. Sin embargo, el estudio más detallado y completo es el de Cediél (como se citó en Royero y Clavijo, 2001), quien en la sección tipo del Río Lebrija, describió y midió un total de 4650 metros y lo dividió en ocho conjuntos litológicos (A-H), que corresponden a las formaciones Girón (Conjuntos A-G) y Los Santos (H). Clavijo, et al., (como se citó en Royero y Clavijo, 2001) en la guía de excursiones geológicas del IV Simposio de Geología Regional, propuso el término de Formación Angostura del Río Lebrija, para reemplazar el de Formación Girón del Jurásico superior que corresponde a la unidad inferior del Grupo Girón de Cediél (como se citó en Royero y Clavijo, 2001).

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 centímetros. El espesor de esta unidad varía considerablemente de un sitio a otro, desde unos pocos metros hasta 4650 metros en el Río Lebrija. El ambiente de sedimentación es continental, fluvial a lacustre-fluviátil (Royero y Clavijo, 2001).

La Formación Girón reposa en discontinuidad estratigráfica sobre las formaciones Bocas y Jordán e infrayace concordantemente a la Formación Los Santos (Tambor). Para el Grupo Girón se ha establecido una edad Jurásico superior-Cretácico inferior (Pons como se citó en Royero y Clavijo, 2001). En general la Formación Girón ha sido correlacionada con la Formación La Quinta del Jurásico superior en el occidente de Venezuela (Oppenheim como se citó en Royero y Clavijo, 2001).

**7.2..5** *Formación Los Santos (Tambor)*. Fue definida por primera vez por Cediel (como se citó en Royero y Clavijo, 2001) y redefinida por Laverde (como se citó en Royero y Clavijo, 2001). Está constituida por areniscas conglomeráticas, lodolitas rojo grisáceas y cuarzoareniscas gris amarillentas, con estratificación cruzada, en capas tabulares de espesores variables. En la localidad tipo, el espesor es de 218 metros. Estas facies han sido interpretadas como depósitos fluviales acumulados por corrientes trenzadas (Clavijo, Laverde y Clavijo, Laverde, como se citó en Royero y Clavijo, 2001).

El contacto inferior de esta unidad es una discontinuidad estratigráfica con la Formación Girón, mientras que el contacto superior es concordante con la suprayacente Formación Cumbre. Litológicamente es comparable con la Formación Río Negro de la Cuenca de Catatumbo-Maracaibo (Royero y Clavijo, 2001).

**7.2..6** *Depósitos Cuaternarios*. Los depósitos cuaternarios se encuentran ampliamente distribuidos a lo largo de los valles de los ríos y quebradas (Royero y Clavijo, 2001).

Los depósitos no consolidados aluviales en abanicos y terrazas son considerados de edad Pleistoceno y los depósitos no consolidados de aluvión, coluvión, derrubios son considerados de edad Holoceno (Royero y Clavijo, 2001).

### 7.3 Geología Estructural

La zona de estudio geográficamente conforma la cadena montañosa de las estribaciones occidentales de la Cordillera Oriental. Entre las estructuras que ejercen gran influencia en la zona de estudio están las fallas de Bucaramanga-Santa Marta al este y del Suárez al oeste.

- **Falla de Bucaramanga-Santa Marta.** Es el rasgo estructural más evidente y de gran extensión que cruza la región centro-oriental del departamento de Santander, en dirección aproximada N20°W y cuyo trazo rectilíneo se expresa claramente en imágenes de satélites y fotografías aéreas. Es considerada un sistema de fallas de rumbo (Campbell, León, Vargas y Niño, Clavijo, et al., Clavijo como se citó en Royero y Clavijo, 2001), con movimiento sinistral, cuyo desplazamiento es calculado por Campbell y Tschanz, et al., (como se citó en Royero y Clavijo, 2001) en unos 100 a 110 km; tiene una componente vertical importante, según Julivert, Ward, et al., París y Sarria, Royero (como se citó en Royero y Clavijo, 2001), que hace que esta falla se comporte en algunos sectores como inversa y en su extremo meridional aún de cabalgamiento (Boinet, Ulloa como se citó en Royero y Clavijo, 2001).

La historia geológica de la Falla Bucaramanga-Santa Marta es bastante compleja y en cuanto a la edad máxima de su actividad tectónica, se puede establecer que es posterior al Neis de Bucaramanga; es decir, se encuentra cortado por esta falla en los sectores entre Río de Oro (Cesar) y El Carmen (Norte de Santander) dentro de la plancha 76, Ocaña (Daconte y Salinas como se citó en Royero y Clavijo, 2001). Boinet, et al., (como se citó en Royero y Clavijo, 2001) considera que durante el Cretácico inferior hasta el Paleoceno no hubo actividad tectónica de la falla; además los mismos autores, señalan que la importancia de la mayor actividad de esta falla es el desplazamiento

de rumbo sinistral, el cual ocurrió a partir del Mioceno superior, simultáneamente con la Orogenia Andina.

En el territorio del departamento de Santander se han encontrado evidencias de actividad neotectónica (lineamientos, facetas triangulares, lomos de ganchos, drenajes adaptados, laguna de falla, lomo de obturación) de la Falla Bucaramanga-Santa Marta, especialmente en la Meseta de Bucaramanga (donde afecta los niveles inferiores de la secuencia estratigráfica) de edad Plioceno-Pleistoceno, según Julivert, París y Sarria, León, Vargas y Niño, Reyes y Barbosa (como se citó en Royero y Clavijo, 2001). En el Cañón del Río Chicamocha también se han encontrado evidencias de neotectónica de esta falla (drenaje desplazado, terraza basculada, cantos rotos, lomo de obturación), según Castro y Bernal, y Carrillo y Bernal (como se citó en Royero y Clavijo, 2001).

- **Falla del Suárez.** Esta falla se extiende por una longitud de unos 120 kilómetros desde Barbosa al sur hasta la Falla de Bucaramanga-Santa Marta 5 kilómetros al norte de la capital santandereana; su trazo tiene una dirección N20°E y N25°E, con inclinación al occidente y sigue el curso de los ríos Suárez y Río de Oro. Es una falla inversa de ángulo alto, con una componente vertical importante. París y Sarria (como se citó en Royero y Clavijo, 2001) calculan una velocidad de desplazamiento vertical de 0,1 mm/año; además, se trata de una falla de rumbo con desplazamiento sinistral. El desplazamiento vertical se ha calculado entre 400 y 2300 metros (Ward, et al., como se citó en Royero y Clavijo, 2001).

La Falla del Suárez, al occidente del pueblo de Girón afecta capas de la Formación Girón, las cuales se pliegan por arrastre, alcanzando posiciones verticales y en algunos casos invertidas. En cercanías de la falla se observa un fuerte fracturamiento y un alto grado de meteorización de las

rocas hasta el punto de llegarse a confundir con depósitos cuaternarios (Julivert, como se citó en Royero y Clavijo, 2001).

Esta falla a lo largo de su trayectoria afecta rocas jurásicas y cretácicas, principalmente de las formaciones Jordán, Girón, Los Santos (Tambor), Rosa Blanca, Paja y cerca de su terminación en la Falla Bucaramanga-Santa Marta, afecta rocas del Paleozoico como son las formaciones Floresta y Diamante. Existen evidencias de campo que indican actividad tectónica reciente para esta falla (Julivert, Ward, et al., París y Sarria, como se citó en Royero y Clavijo, 2001).

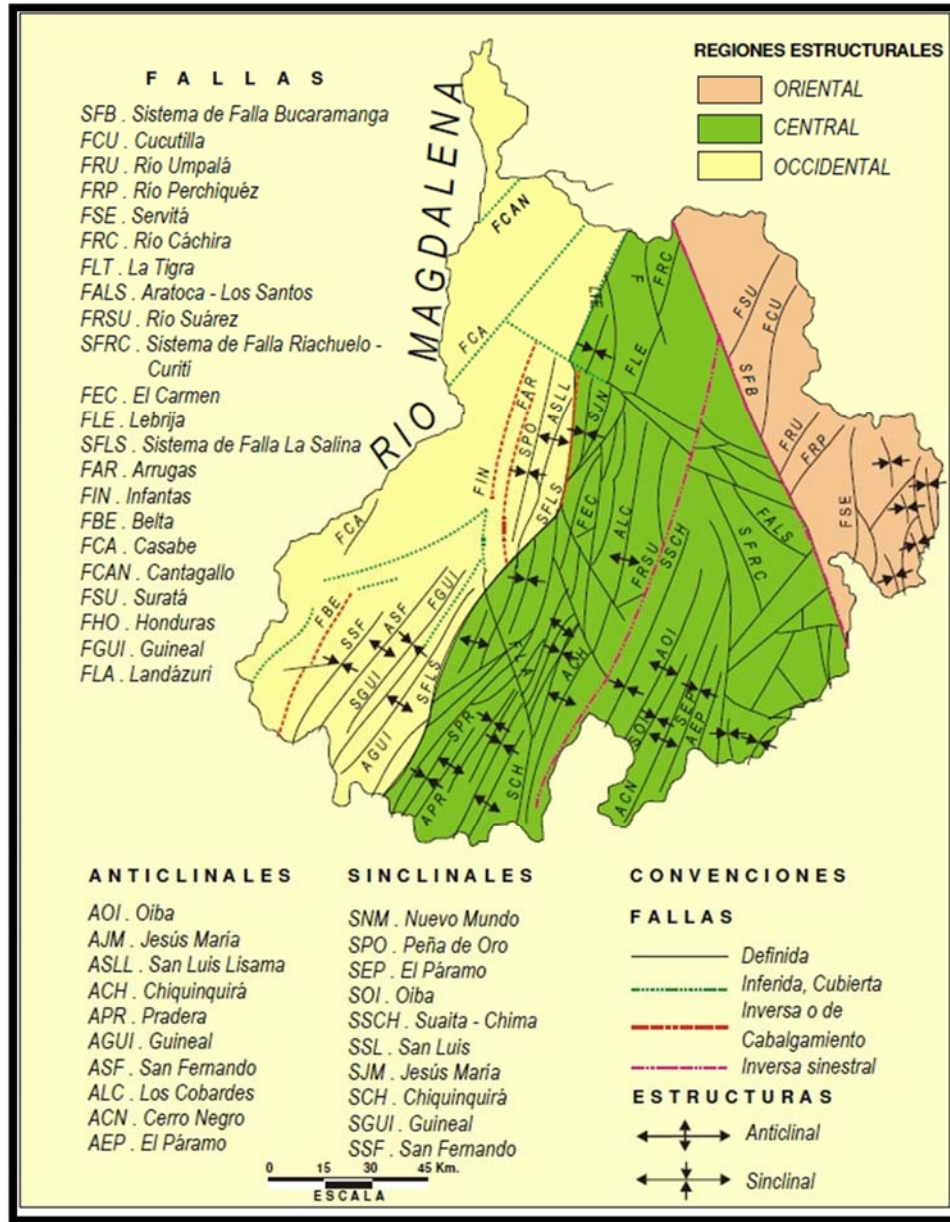


Figura 16. Esquema estructural del departamento de Santander. Adaptado de Vargas, León, Clavijo, et al., (como se citó en Royero y Clavijo, 2001).

## 8. Estratigrafía

En este trabajo se realizó el levantamiento de tres columnas estratigráficas semidetalladas a escala 1:100 (Figura 17), denominadas como columna estratigráfica de la Vereda El Volador (Apéndice A), columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo (Apéndice B) y columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta (Apéndice C), en donde se representan las unidades geológicas Silgará, Granito de Pescadero, Jordán, Girón y Los Santos que afloran a lo largo de la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander.

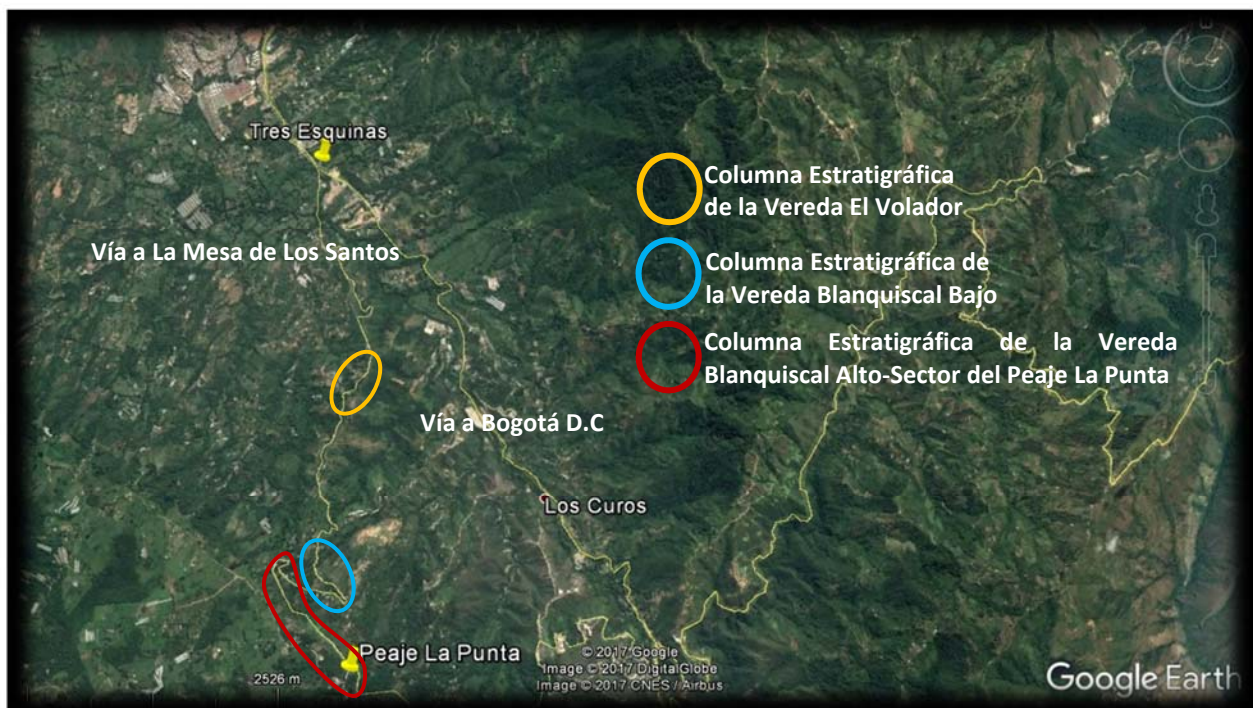
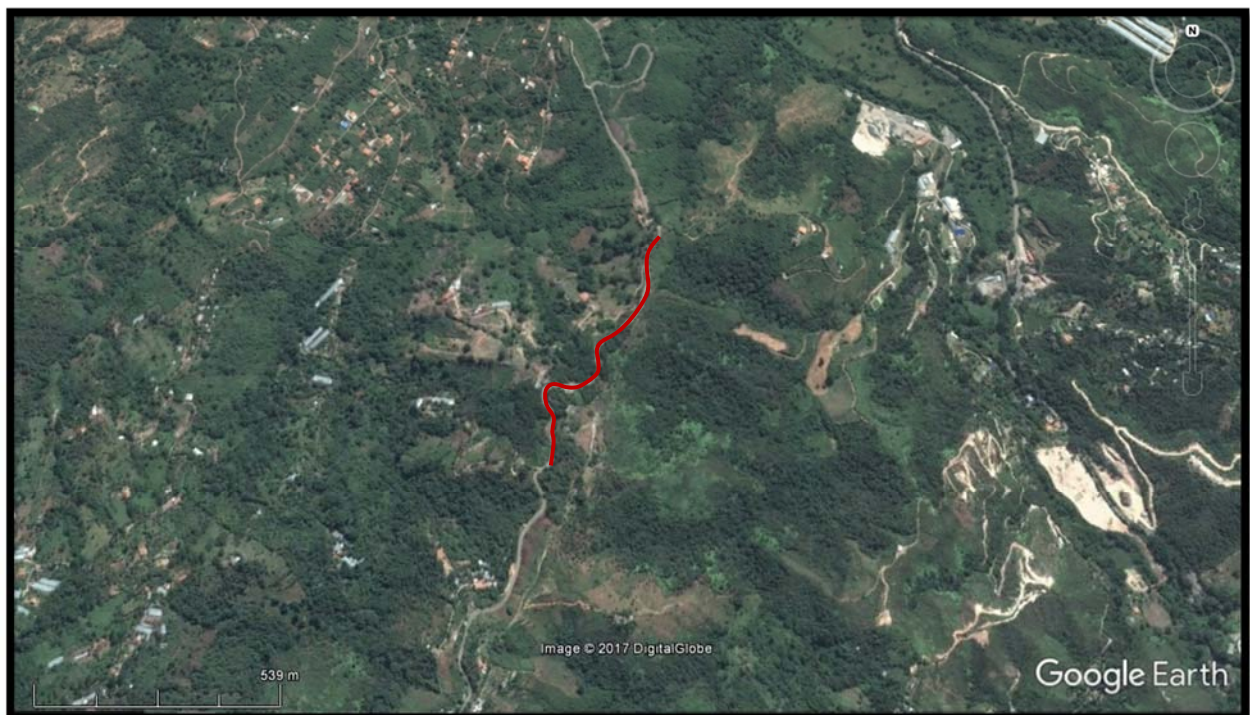


Figura 17. Localización geográfica de las columnas estratigráficas levantadas. Adaptado de Google Earth (2016).

### 8.1 Columna estratigráfica de la Vereda El Volador

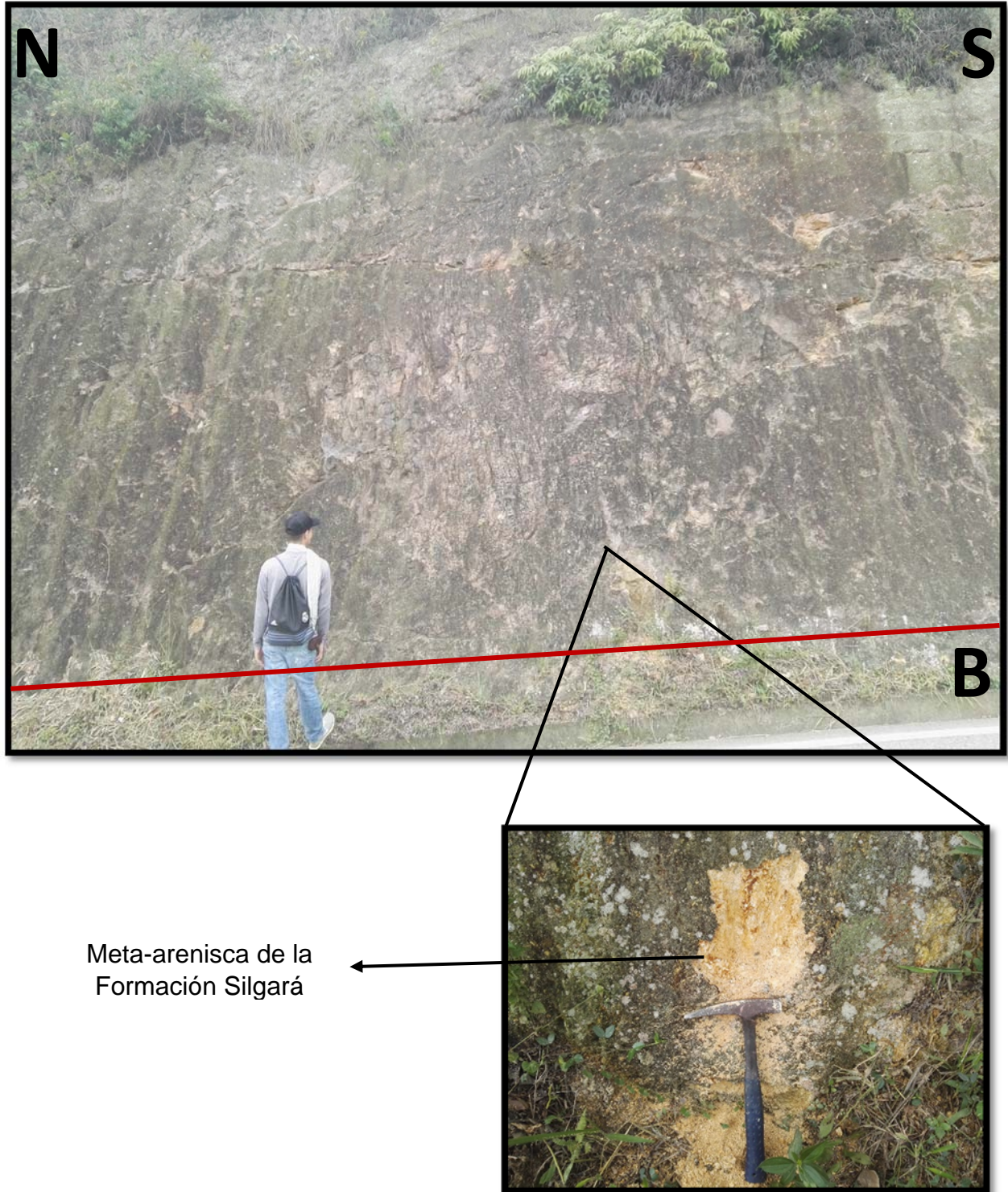
La siguiente sección estratigráfica de la Vereda El Volador (Figura 18; Apéndice A) es una sucesión de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias siliciclásticas que afloran a lo largo de la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander. Fueron medidos y descritos 332,7 metros de espesor estratigráfico, representados por las unidades geológicas Silgará, Granito de Pescadero y Jordán.

La sección en coordenadas tiene como punto inicial X: 1'115.358,843, Y: 1'260.138,932 y como punto final X: 1'115.084,761, Y: 1'259.590,528.



*Figura 18.* Localización geográfica de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador. Adaptado de Google Earth (2016).

- **Segmento 1: Formación Silgará.** El segmento (Figura 19) presenta un espesor de 19,6 metros y está constituido por roca metasedimentaria de tipo meta-arenisca de grano fino de color moderadamente rosado (5R 7/4) y gris amarillento (5Y 8/1) que está en contacto difuso con la suprayacente riolita de la Unidad Granito de Pescadero. Esta meta-arenisca presenta alta oxidación y se encuentra altamente alterada afectando su color original. También existen bloques rodados angulares y subangulares los cuales se encuentran altamente meteorizados y oxidados. Los bloques de arenisca de grano fino presentan alto contenido de muscovita.



*Figura 19.* Ilustración de parte del afloramiento de meta-arenisca de la Formación Silgará. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.

- **Segmento 2: Unidad Granito de Pescadero (Muestra GL-001 de riolita).** El segmento (Figura 20) presenta un espesor de 61,7 metros y está constituido por un cuerpo ígneo de tipo riolita (Muestra GL-001) de color blanco grisáceo (10G 6/2) que está en contacto difuso con la infrayacente meta-arenisca de la Formación Silgará. Este cuerpo ígneo es producto de pulsos tempranos del Jurásico, presenta una geoforma redondeada y se encuentra altamente alterado afectando su color original, es decir, esta roca presenta un color de meteorización oscuro en algunas partes debido al fuerte control de erosión efectuado por aguas lluvias principalmente.

La presencia de un patrón de fracturamiento hace que la textura de la roca carezca de una cohesión circunvecina con los minerales que la conforman. En escala macroscópica se puede observar que la roca presenta friabilidad, es decir, se disgrega muy fácil y se puede clasificar como una roca cristalina con textura porfírica que mineralógicamente está constituida por cuarzo, muscovita, ortoclasa, albita, dickita, hematita, goethita y zircón

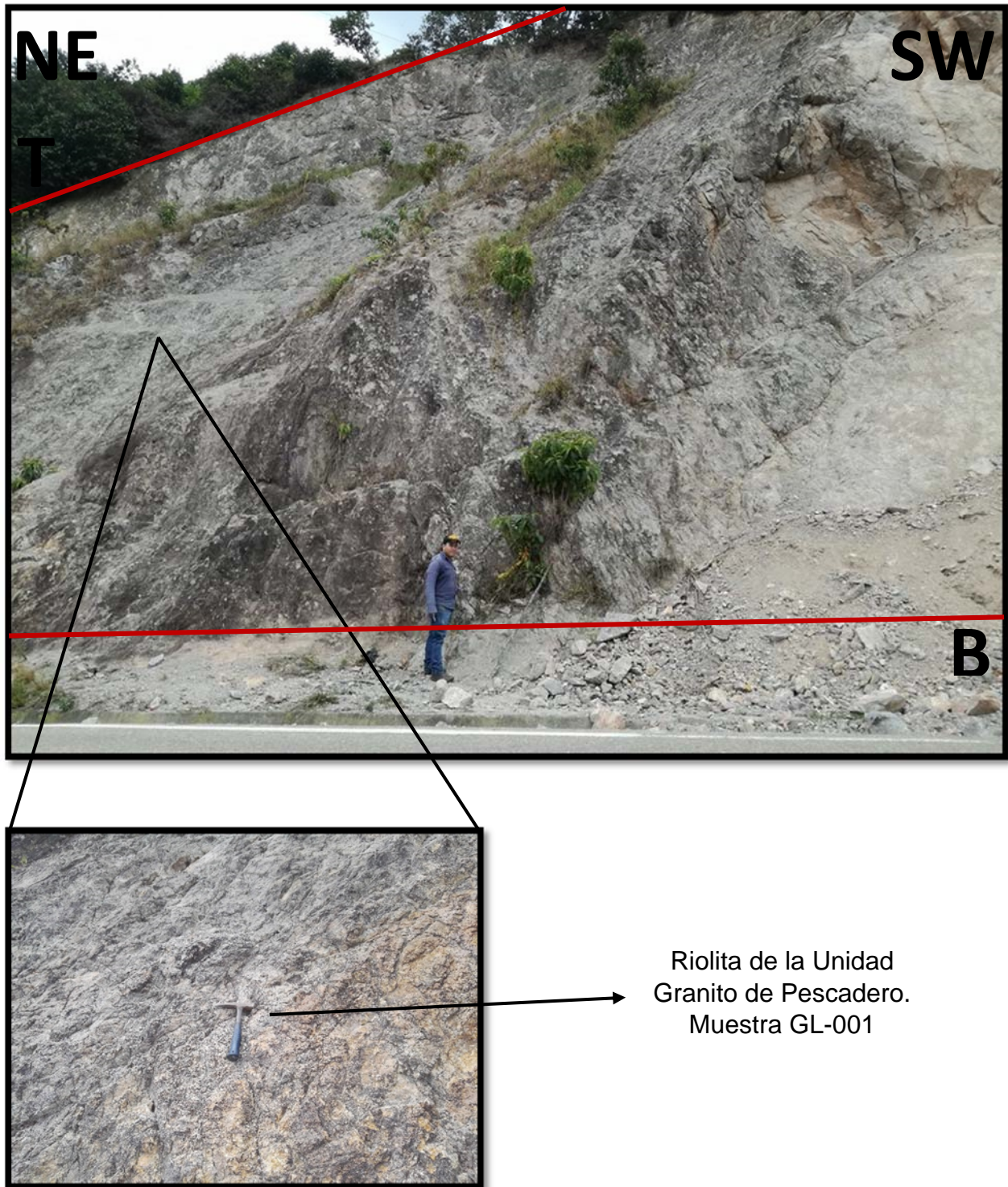


Figura 20. Ilustración de parte del afloramiento de riolita de la Unidad Granito de Pescadero (Muestra GL-001 de riolita). Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.

- **Segmento 3: Formación Silgará (Muestra GL-002 de meta-arenisca).** El segmento (Figura 21) presenta un espesor de 8 metros y está constituido por roca metasedimentaria de tipo meta-arenisca (Muestra GL-002) de grano fino de color moderadamente rosado (5R 7/4) y gris amarillento (5Y 8/1) que está en contacto difuso con la suprayacente capa de conglomerado (Muestra GL-003) de la Formación Jordán. Esta meta-arenisca presenta alta oxidación y se encuentra altamente alterada afectando su color original. Hacia la parte superior del segmento hay clastos angulares y subangulares entre 0,6 centímetros y 6 centímetros de tamaño, los cuales se encuentran altamente meteorizados y oxidados. Los clastos presentan alto contenido de cuarzo.

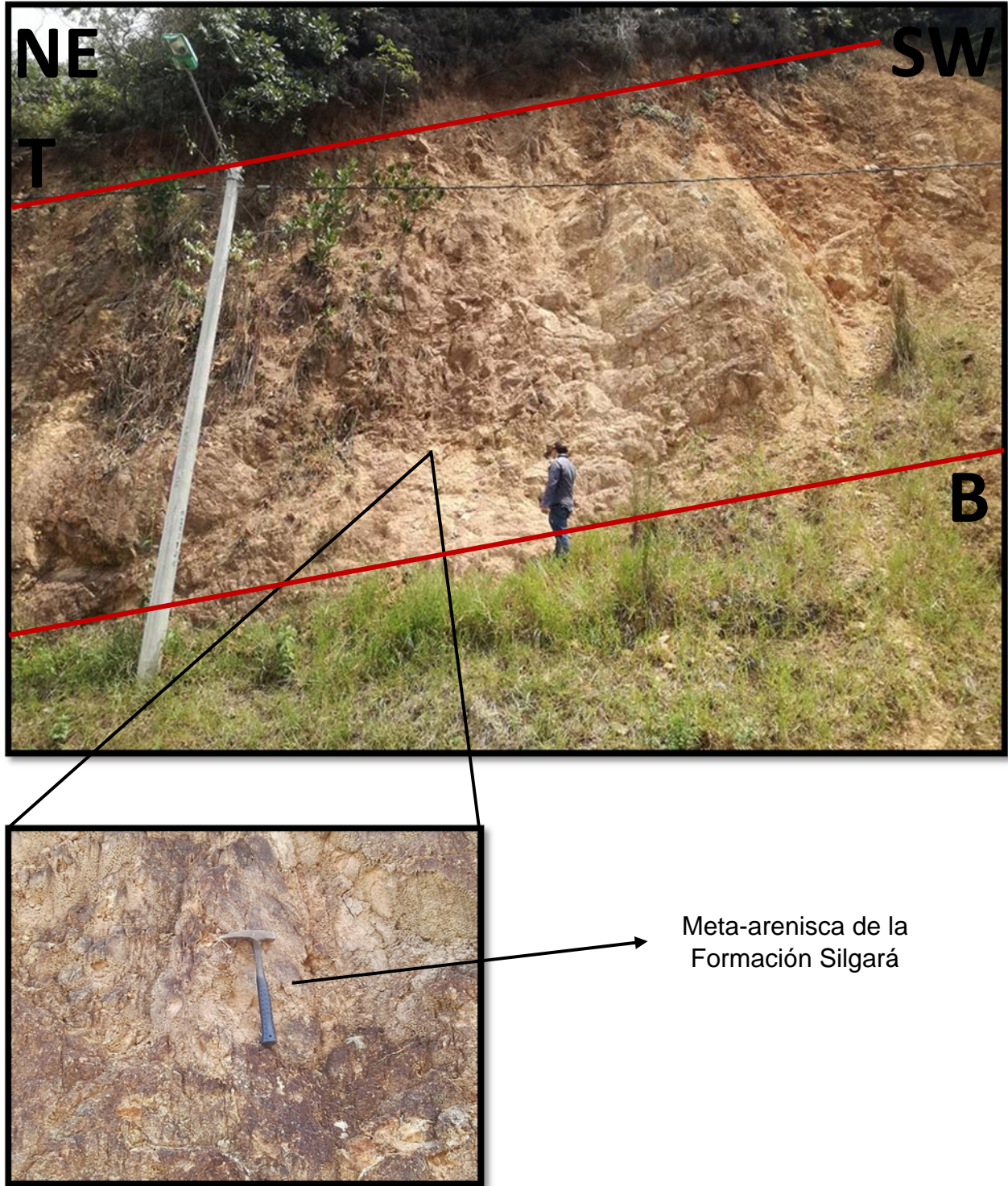
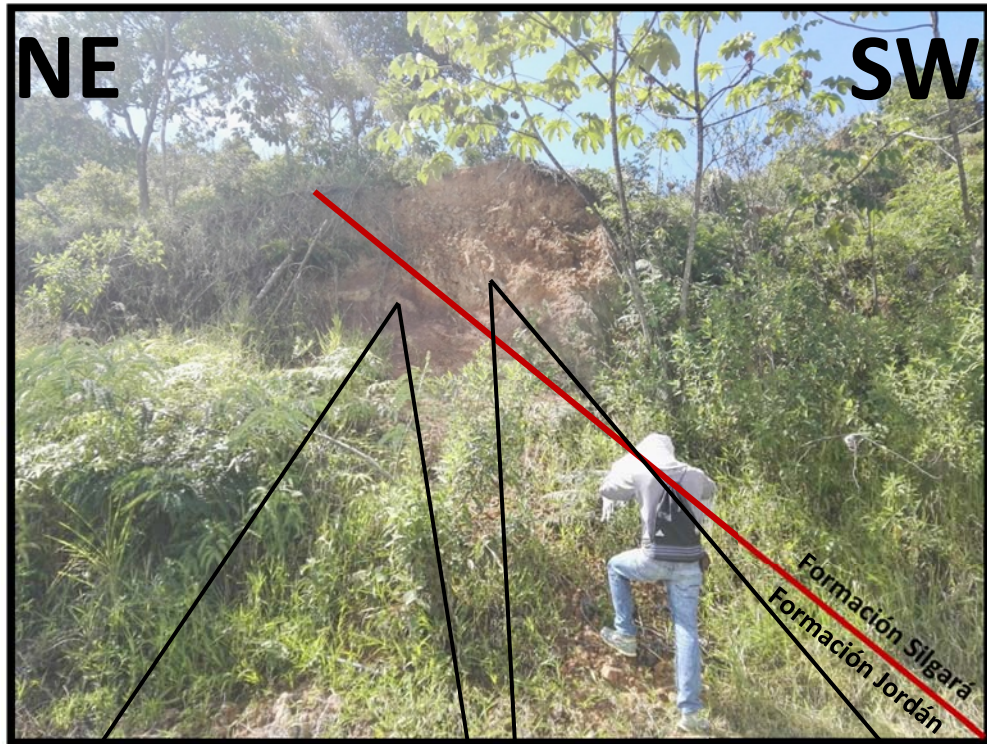


Figura 21. Ilustración de parte del afloramiento de meta-arenisca de la Formación Silgará. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.

- **Segmento 4: Formación Jordán (Muestra GL-003 de conglomerado).** El segmento (Figura 22) presenta un espesor de 2 metros y está constituido de base a techo por una capa muy gruesa de conglomerado (Muestra GL-003) con guijas de hasta 4 milímetros de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que presenta geometría irregular y texturalmente granos angulares a subangulares, pobremente calibrado y contacto longitudinal entre estos. Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 20% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 18%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 22%, 41% y 37% respectivamente (Folk, 1974). Esta capa de conglomerado está en contacto difuso con la infrayacente meta-arenisca (Muestra GL-002) de la Formación Silgará.



Conglomerado de la Formación Jordán.  
Muestra GL-003

Meta-arenisca de la Formación Silgará.  
Muestra GL-002

*Figura 22.* Ilustración de parte del afloramiento de meta-arenisca (Muestra GL-002) y conglomerado (Muestra GL-003) de las formaciones Silgará y Jordán. Segmento 3 y 4 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador en donde limitan las formaciones Silgará y Jordán.

- **Segmento 5: Formación Jordán.** El segmento (Figura 23) presenta un espesor de 51,4 metros y está constituido de base a techo por una capa muy gruesa de conglomerado con guijas de hasta 4 milímetros de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que presenta geometría irregular y texturalmente granos angulares a subangulares, pobremente calibrado y contacto longitudinal entre estos. Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 20% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 18%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 22%, 41% y 37% respectivamente (Folk, 1974).

Esta capa de conglomerado está en contacto difuso con la suprayacente capa gruesa de conglomerado arenolodoso que está constituida por guijas de hasta 4 milímetros de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que presenta geometría irregular y texturalmente granos angulares a subangulares, pobremente calibrado y contacto longitudinal entre estos. Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 23% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 19%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 24%, 43% y 33% respectivamente (Folk, 1974).

Esta capa de conglomerado arenolodoso está en contacto erosivo con una capa muy gruesa de arenisca de grano medio de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que presenta geometría irregular y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 28% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 10%. Composicionalmente es una Litarenita feldespática con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 22%, 31% y 47% respectivamente (Folk, 1974).

Esta capa de arenisca está en contacto erosivo con una capa gruesa de conglomerado arenolodoso que está constituida por guijas de hasta 4 milímetros de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que presenta geometría irregular y texturalmente granos angulares a subangulares, pobremente calibrado y contacto puntual y flotante entre estos. Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 18% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 14%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 29%, 28% y 43% respectivamente (Folk, 1974).

Esta capa de conglomerado arenolodoso está en contacto difuso con una capa gruesa de conglomerado que está constituida por guijas de hasta 16 milímetros de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que presenta geometría irregular y texturalmente granos subredondeados, pobremente calibrado y contacto puntual y flotante entre estos. Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 38% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 18%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 35%, 32% y 33% respectivamente (Folk, 1974).

Esta capa de conglomerado está en contacto erosivo con una capa mediana de arenisca de grano medio de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que presenta geometría tabular y texturalmente granos subredondeados, regularmente calibrado y contacto longitudinal y puntual entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 23% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 13%. Composicionalmente es una Arcosa lítica con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 29%, 46% y 25% respectivamente (Folk, 1974).

Seguidamente hay una capa muy gruesa de limolita arenosa (limo 71%; arena 29%) (Folk, 1974) de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que está en contacto neto con la

infrayacente capa de arenisca, posteriormente hay una capa muy gruesa de limolita arenosa (limo 69%; arena 31%) (Folk, 1974) de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6), la cual presenta gradación normal y está en contacto difuso con una capa muy gruesa de conglomerado que está constituido por gránulos y guijas de hasta 4 milímetros de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que presenta texturalmente granos angulares a subangulares, pobremente calibrado y contacto longitudinal entre estos.

Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 47% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 25%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 42%, 32% y 24% respectivamente (Folk, 1974), luego hay un cubierto, seguidamente hay una capa gruesa de arenisca de grano muy grueso de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que presenta geometría irregular y texturalmente granos angulares a subangulares, pobremente calibrado y contacto puntual y flotante entre estos.

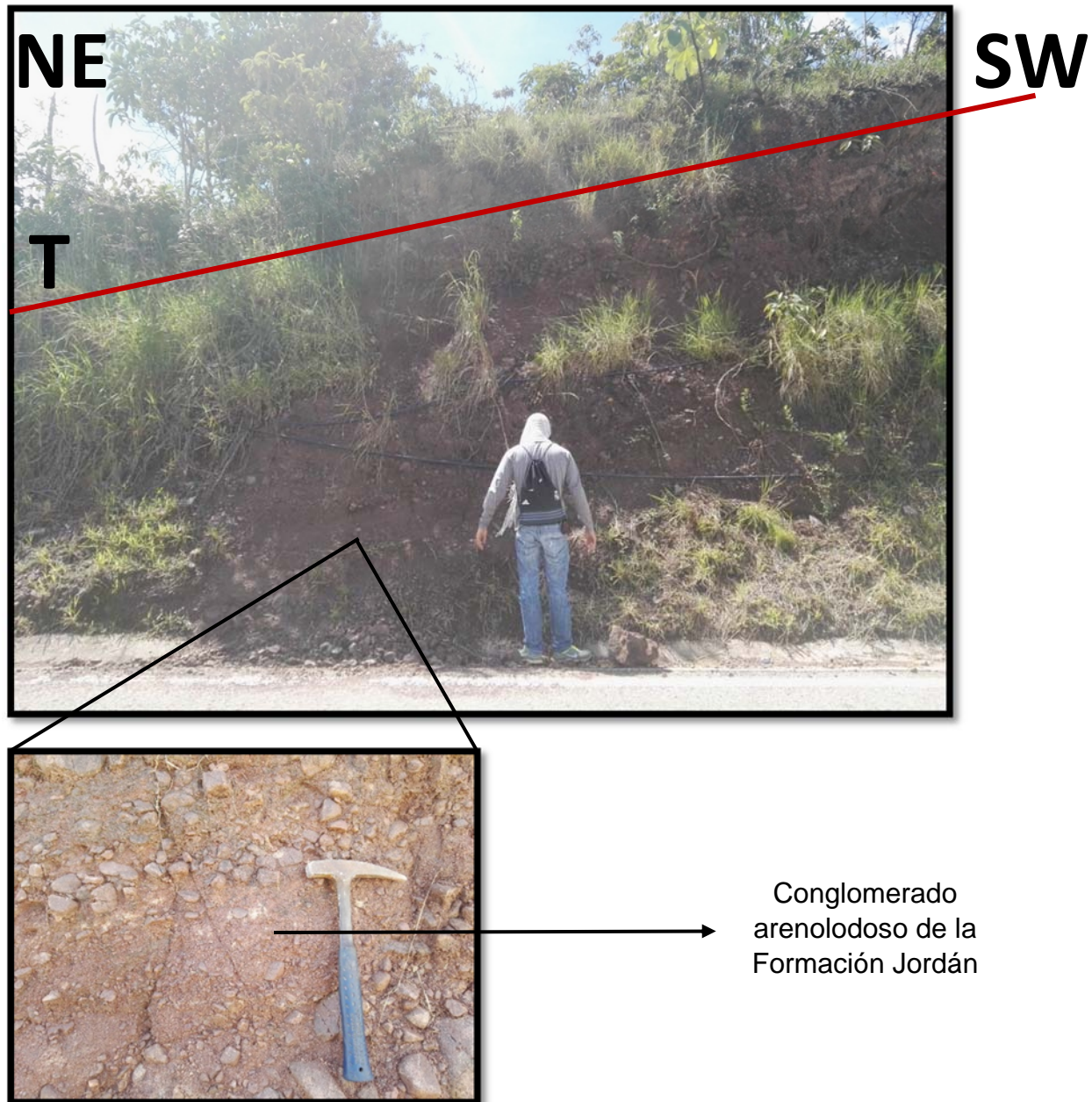
Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 28% y cemento silíceo con un porcentaje de 20%. Composicionalmente es una Arcosa lítica con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 32%, 38% y 30% respectivamente (Folk, 1974), posteriormente hay una capa muy gruesa de limolita arenosa (limo 70%; arena 30%) de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que está en contacto difuso con la infrayacente capa de arenisca, luego hay un cubierto, seguidamente hay una capa muy gruesa de paraconglomerado lítico que está constituido por guijas y guijarros de hasta 64 milímetros de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que presenta texturalmente granos subredondeados a redondeados, pobremente calibrado y contacto longitudinal y flotante entre estos. Este paraconglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 43% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 21%.

Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 42%, 30% y 28% respectivamente (Folk, 1974). Esta capa de paraconglomerado está orientada en dirección N57°W y las guijas y guijarros de este paraconglomerado son pórfidos provenientes del granito de pescadero, posteriormente hay una capa gruesa de limolita de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que está en contacto difuso con la infrayacente capa de paraconglomerado lítico y neto con la suprayacente capa gruesa de paraconglomerado lítico que está constituido por guijas y guijarros de hasta 64 milímetros de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que presenta texturalmente granos subredondeados, pobremente calibrado y contacto longitudinal y flotante entre estos.

Este paraconglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 41% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 19%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 38%, 32% y 30% respectivamente (Folk, 1974).

Esta capa de paraconglomerado está orientada en dirección N61°W y las guijas y guijarros de este paraconglomerado son pórfidos provenientes del granito de pescadero, luego hay una capa muy gruesa de limolita arenosa (limo 69%; arena 31%) (Folk, 1974) de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6), la cual presenta bioturbación y está en contacto difuso con una capa muy gruesa de limolita de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6), la cual presenta bioturbación y está en contacto difuso con una capa muy gruesa de limolita arenosa (limo 67%; arena 33%) (Folk, 1974) de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6), la cual presenta espejos y estrías de falla de dirección N16°E y está en contacto difuso con una capa gruesa de lodolita conglomerática (limo 38%; arcilla 38%; grava 24%) de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6).

Todas las capas de este segmento se encuentran altamente fracturadas y presentan moderada meteorización.



*Figura 23.* Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Jordán. Segmento 5 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.

- **Segmento 6: Formación Jordán (Muestra GL-004 de Limolita).** El segmento (Figura 24) presenta un espesor de 38,6 metros y está constituido de base a techo por una capa gruesa de limolita de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que está en contacto difuso con una capa mediana de limolita arenosa (limo 78%; arena 14%, arcilla 8%) de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que está en contacto difuso con una capa gruesa de limolita de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6), la cual presenta bioturbación y oxidación, seguidamente hay una capa mediana de limolita de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que está en contacto difuso con una capa mediana de limolita arenosa (limo 80%; arena 14%; arcilla 6%) de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6) que está en contacto difuso con una capa mediana de lodolita arenosa (limo 38%; arcilla 36%; arena 26%) de color marrón moderadamente rojizo (10R 4/6), la cual presenta bioturbación, oxidación y está en contacto difuso con una capa muy gruesa de lodolita conglomerática (limo 40%; arcilla 40%; grava 20%) de color rojo muy oscuro (5R 2/6), la cual presenta bioturbación y oxidación.

Posteriormente hay una capa mediana de limolita de color rojo claro (5R 6/6), la cual presenta bioturbación, alta meteorización, oxidación y está en contacto difuso con la infrayacente capa de lodolita conglomerática. Luego hay una capa gruesa de limolita de color rojo claro (5R 6/6), la cual tiene venas de calcita desde 0,2 centímetros hasta 0,4 centímetros de espesor y nódulos de calcita de hasta 3 centímetros de diámetro, presenta bioturbación y oxidación, seguidamente hay una capa gruesa de limolita de color púrpura muy oscuro (5RP 4/2), la cual tiene venas de calcita desde 0,1 centímetros hasta 0,2 centímetros de espesor y nódulos de calcita de hasta 2 centímetros de diámetro, presenta recristalización y está en contacto neto con unas capas medianas de arenisca de grano medio de color amarillo grisáceo (5Y 8/4) que presentan geometría tabular y texturalmente granos angulares y subangulares, regularmente calibrado y contacto longitudinal

entre estos. Estas areniscas presentan una matriz lodosa con un porcentaje de 33% y cemento silíceo con un porcentaje de 8%. Composicionalmente son Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 61%, 34% y 5% respectivamente (Folk, 1974). En estas capas de arenisca se logra evidenciar laminación paralela y bioturbación, posteriormente hay un cubierto.

Luego hay una capa muy gruesa de limolita de color marrón rojizo oscuro (10R 3/4), la cual tiene venas de calcita y presenta bioturbación, seguidamente hay una capa de gruesa de limolita de color rojo muy oscuro (5R 2/6), la cual tiene venas de calcita y presenta bioturbación, posteriormente hay una capa mediana de limolita de color rojo muy oscuro (5R 2/6), la cual tiene venas y nódulos de calcita desde 6 centímetros hasta 9 centímetros de diámetro. En estas capas de limolita, las venas de calcita tienen un espesor de hasta 0,2 centímetros.

Luego hay una capa gruesa de limolita de color rojo oscuro (5R 3/4), la cual presenta estrías de falla, seguidamente hay una capa muy gruesa de limolita de color moderadamente amarillo (5Y 7/6), la cual tiene venas de calcita de hasta 0,3 centímetros de espesor y alto porcentaje en fragmentos de roca, presenta estrías de falla y está en contacto neto con unas capas medianas de arenisca de grano muy fino de color rosado naranja (10R 7/4) que presentan geometría tabular y texturalmente granos redondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Estas areniscas presentan una matriz lodosa con un porcentaje desde 42% hasta 44% y cemento silíceo con un porcentaje desde 17% hasta 19%. Composicionalmente son Litarenita con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca desde 30% hasta 32%, 20% hasta 26% y 44% hasta 48% respectivamente (Folk, 1974). En estas capas de arenisca se logra evidenciar laminación paralela, estrías de falla con plano N80°E/28SE y venas de calcita de hasta 0,2 centímetros de espesor.

Posteriormente hay una capa muy gruesa de limolita arenosa (limo 78%; arena 22%) (Folk, 1974) de color rojo oscuro (5R 3/4) que está en contacto neto con las infrayacentes capas de

arenisca y difuso con la suprayacente capa gruesa de limolita de color rojo negruzco (5R 2/2), la cual tiene venas de calcita de hasta 0,3 centímetros de espesor y está en contacto difuso con una capa gruesa de limolita arenosa (limo 63%; arcilla 19%; arena 18%) de color naranja grisáceo (5YR 6/4) que está en contacto difuso con una capa muy gruesa de limolita (Muestra GL-004) de color rojo grisáceo (10R 4/2), la cual tiene venas de calcita desde 0,1 centímetros hasta 0,3 centímetros de espesor y nódulos de calcita de hasta 2 centímetros de diámetro.



*Figura 24.* Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Jordán (Muestra GL-004 de limolita). Segmento 6 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.

## 8.2 Columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo

La siguiente sección estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo (Figura 25; Apéndice B) es una sucesión de rocas metamórficas y sedimentarias siliciclásticas y carbonatadas que afloran a lo largo de la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander. Fueron medidos y descritos 334 metros de espesor estratigráfico, representados por las unidades geológicas Silgará y Jordán.

La sección en coordenadas tiene como punto inicial X: 1°14.893,703, Y: 1°258.172,043 y como punto final X: 1°115.111,776, Y: 1°257.636,143.



*Figura 25.* Localización geográfica de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo. Adaptado de Google Earth (2016).

- **Segmento 1: Formación Silgará (Muestra GL-005 de filita cuarcítica).** El segmento (Figura 26) presenta un espesor de 16,6 metros y está constituido por roca metamórfica de tipo filita cuarcítica (Muestra GL-005) de grano fino de color naranja amarillento pálido (10YR 8/6) que presenta una dirección preferencial de foliación de N5°E/17NW, alta meteorización, oxidación, textura lepidogranoblástica, está definida por la orientación de los minerales constituyentes tales como muscovita, biotita, cuarzo, minerales opacos y minerales secundarios y está en contacto difuso y fallado con la suprayacente capa de limolita arenosa (Muestra GL-006) de la Formación Jordán, ésto se logra determinar por el alto fracturamiento de la roca y la presencia de estrías y espejos de falla.

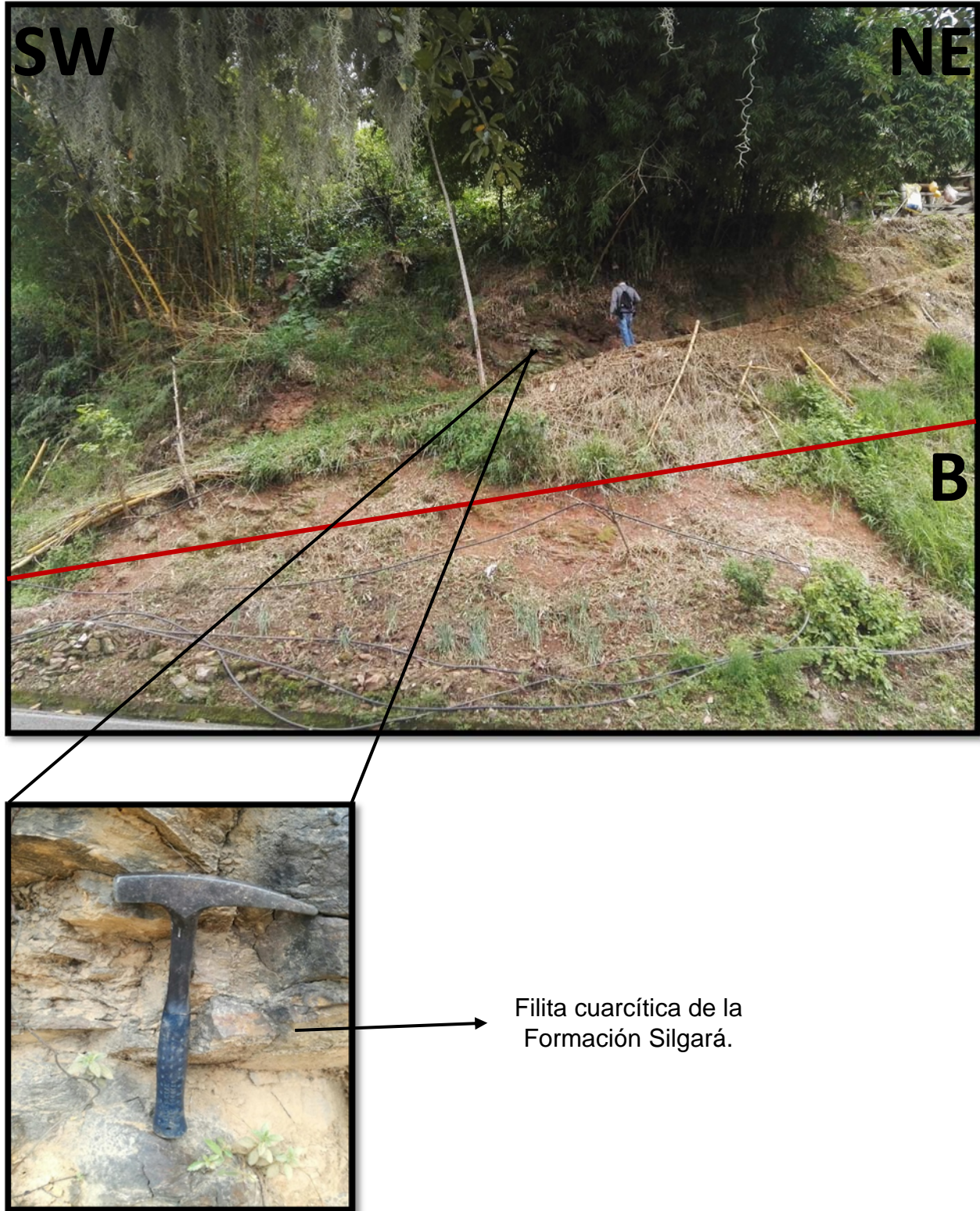


Figura 26. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Silgará (Muestra GL-005 de filita cuarcítica). Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.

- **Segmento 2: Formación Jordán (Muestra: GL-006 de limolita arenosa).** El segmento (Figura 27) presenta un espesor de 11,7 metros y está constituido de base a techo por una capa muy gruesa de limolita arenosa (Muestra GL-006) (limo 70%; arena 30%) (Folk, 1974) de color rojo pálido (10R 6/2) que presenta geometría tabular, estrías y espejos de falla, alta meteorización y está en contacto difuso y fallado con la infrayacente filita cuarcítica (Muestra GL-005) de la Formación Silgará y en contacto difuso con la suprayacente capa gruesa de arcillolita de color rojo muy oscuro (5R 2/6) que presenta geometría tabular, estrías y espejos de falla, fisilidad, fragmentos de roca, fracturamiento alto, moderada meteorización y está en contacto difuso con una capa muy gruesa de limolita de color moderadamente rojizo (5R 4/6) que presenta geometría tabular.

Seguidamente hay una capa muy gruesa de limolita de color moderadamente rojizo (5R 4/6) que está en contacto difuso con la infrayacente capa de limolita y con la suprayacente capa gruesa de limolita calcárea de color púrpura pálido (5P 6/2) que presenta geometría tabular, venas de calcita de hasta 0,2 centímetros de espesor, oxidación y que está en contacto difuso con una capa gruesa de limolita de color moderadamente rojizo (5R 4/6) que está en contacto difuso con una capa mediana de limolita calcárea de color púrpura pálido (5P 6/2) que presenta geometría tabular y venas de calcita de hasta 0,3 centímetros.

Todas las capas de este segmento presentan bioturbación.



*Figura 27.* Ilustración de parte del afloramiento de filita cuarcítica (Muestra GL-005) y limolita arenosa (Muestra GL-006) de las formaciones Silgará y Jordán, respectivamente. Segmento 1 y 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo en donde limitan las Formaciones Silgará y Jordán.

- **Segmento 3: Formación Jordán.** El segmento (Figura 28) presenta un espesor de 75,2 metros y está constituido de base a techo por una capa muy gruesa de arcillolita arenosa (arcilla 65%; arena 35%) (Folk, 1974) de color naranja moderadamente rojizo (10R 6/6) que presenta geometría tabular, estrías y espejos de falla y está en contacto difuso con una capa muy gruesa de limolita de color rojo claro (5R 6/6) que presenta geometría tabular y está en contacto difuso con una capa muy gruesa de arcillolita arenosa (arcilla 68%; arena 32%) (Folk, 1974) de color naranja moderadamente rojizo (10R 6/6) que está en contacto difuso con una capa mediana de limolita de color rojo claro (5R 6/6) que está en contacto difuso con una capa mediana de arcillolita arenosa (arcilla 69%; arena 31%) (Folk, 1974) de color naranja moderadamente rojizo (10R 6/6) que está en contacto difuso con una capa mediana de limolita de color rojo claro (5R 6/6) que presenta geometría tabular y está en contacto difuso con una capa mediana de arcillolita arenosa (arcilla 66%; arena 34%) (Folk, 1974) de color naranja moderadamente rojizo (10R 6/6) que está en contacto difuso con una capa muy gruesa de limolita de color rojo claro (5R 6/6) que está en contacto difuso con una capa mediana de arcillolita arenosa (arcilla 67%; arena 33%) (Folk, 1974) de color naranja moderadamente rojizo (10R 6/6) que presenta geometría tabular y está en contacto difuso con una capa muy grande de limolita de color rojo claro (5R 6/6) que presenta estrías y espejos de falla y está en contacto difuso con una capa mediana de arcillolita arenosa (arcilla 68%; arena 32%) (Folk, 1974) de color naranja moderadamente rojizo (10R 6/6) que está en contacto difuso con una capa muy gruesa de limolita de color rojo claro (5R 6/6) que presenta geometría tabular y está en contacto difuso con una capa gruesa de arcillolita arenosa (arcilla 69%; arena 31%) (Folk, 1974) de color naranja moderadamente rojizo (10R 6/6) que presenta geometría tabular. En estas capas de arcillolita arenosa se logra evidenciar alto fracturamiento y alta oxidación, luego hay un cubierto.

Seguidamente hay una capa gruesa de limolita de color rojo oscuro (5R 3/4) que presenta geometría tabular y está en contacto difuso con una capa mediana de lodolita de color naranja moderadamente rojizo (10R 6/6) que presenta geometría tabular y está en contacto difuso con una capa muy gruesa de limolita de color rojo oscuro (5R 3/4) que presenta geometría tabular, bioturbación y está en contacto difuso con una capa muy gruesa de limolita arenosa (limo 72%; arena 28%) (Folk, 1974) de color rojo oscuro (5R 3/4) que presenta geometría tabular, estrías y espejos de falla, micropliegues, alto fracturamiento, oxidación y está en contacto difuso con una capa muy gruesa de limolita de color rojo oscuro (5R 3/4) que presenta geometría tabular, bioturbación y está en contacto difuso con una capa muy gruesa de limolita arenosa (limo 75%; arena 25%) (Folk, 1974) de color rojo oscuro (5R 3/4) que presenta geometría tabular, grietas de desecación y está en contacto difuso con una capa gruesa de limolita de color rojo oscuro (5R 3/4) que presenta bioturbación y está en contacto difuso con una capa mediana de arcillolita de color rojo muy oscuro (5R 2/6) que presenta geometría tabular y está en contacto difuso con una capa muy gruesa de limolita arenosa (limo 70%; arena 30%) (Folk, 1974) de color rojo oscuro (5R 3/4) que presenta geometría tabular.

Todas las capas de este segmento presentan mediana a alta meteorización.



*Figura 28.* Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Jordán. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.

- **Segmento 4: Formación Jordán.** El segmento (Figura 29) presenta un espesor de 10,1 metros y está constituido de base a techo por una capa muy gruesa de limolita arenosa (limo 75%; arena 25%) (Folk, 1974) de color moderadamente rojizo (5R 5/4) que está en contacto neto con una capa gruesa de arenisca de grano muy fino de color gris amarillento (2.5GY 9/4) que presenta geometría tabular y texturalmente granos subangulares, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 35% y cemento silíceo con un porcentaje de 7%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 48%, 40% y 12% respectivamente (Folk, 1974). Esta capa de arenisca está en contacto difuso con una capa mediana de limolita de color moderadamente rojizo (5R 4/6) que está en contacto difuso con una capa mediana de arcillolita de color verde moderadamente amarillento (5GY 6/4), la cual presenta bioturbación y está en contacto neto con una capa gruesa de arenisca de grano fino de color rosa grisáceo naranja (5YR 7/2) que presenta geometría tabular, gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 22% y cemento silíceo con un porcentaje de 10%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 68%, 26% y 6% respectivamente (Folk, 1974). Esta capa de arenisca está en contacto difuso con una capa mediana de limolita de color moderadamente rojizo (5R 4/6) que está en contacto neto con una capa gruesa de arenisca de grano fino de color rojo claro (5R 6/6) que presenta geometría tabular, gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos.

Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 24% y cemento silíceo con un porcentaje de 9%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 69%, 29% y 2% respectivamente (Folk, 1974). Esta capa de arenisca está

en contacto difuso con una capa mediana de limolita de color moderadamente rojizo (5R 4/6) que está en contacto difuso con una capa mediana de arenisca de grano fino de color rojo claro (5R 6/6) que presenta gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 25% y cemento silíceo con un porcentaje de 10%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 66%, 28% y 6% respectivamente (Folk, 1974). Esta capa de arenisca está en contacto difuso con una capa mediana de limolita de color moderadamente rojizo (5R 4/6) que está en contacto difuso con una capa mediana de arenisca de grano fino de color rojo claro (5R 6/6) que presenta gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 26% y cemento silíceo con un porcentaje de 11%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 67%, 29% y 4% respectivamente (Folk, 1974).



Figura 29. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Jordán. Segmento 4 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.

### 8.3 Columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

La siguiente sección estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto (Figura 30; Apéndice C) es una sucesión de rocas sedimentarias siliciclásticas que afloran a lo largo de la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander. Fueron medidos y descritos 154,8 metros de espesor estratigráfico, representados por las unidades geológicas Jordán, Girón y Los Santos.

La sección en coordenadas tiene como punto inicial X: 1'114.503,246, Y: 1'257.950,158 y como punto final X: 1'115.302,192, Y: 1'256.817,545.

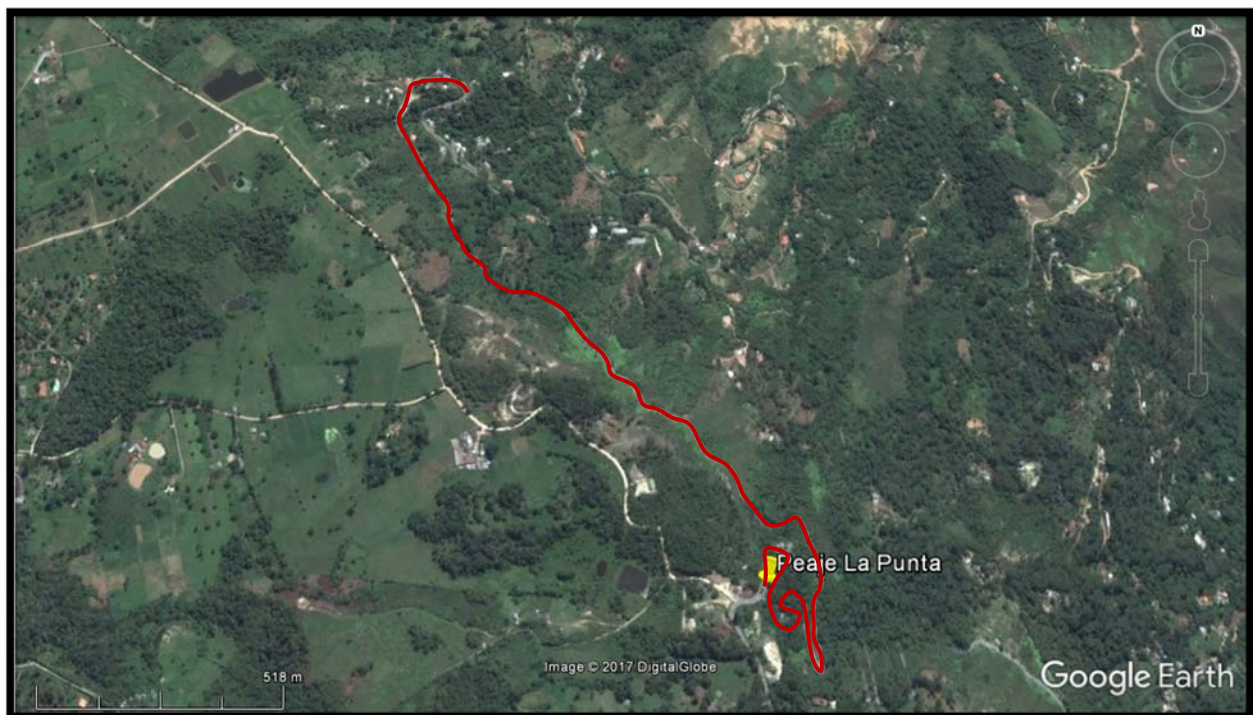


Figura 30. Localización geográfica de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta. Adaptado de Google Earth (2016).

- **Segmento 1: Formación Jordán (Muestra GL-007 de Limolita).** El segmento (Figura 31) presenta un espesor de 44,8 metros y está constituido de base a techo por una capa mediana de arcillolita arenosa (arcilla 68%; arena 32%) (Folk, 1974) de color moderadamente rosado naranja (10R 7/4) que está en contacto difuso con una capa mediana de arenisca lodosa de grano medio de color moderadamente rosado naranja (10R 7/4) que presenta geometría tabular y texturalmente granos angulares a subangulares, pobremente calibrado y contacto puntual y flotante entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 38% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 15%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca de 48%, 42% y 10% respectivamente (Folk, 1974). Esta capa de arenisca lodosa está en contacto difuso con una capa mediana de arcillolita arenosa (arcilla 65%; arena 35%) (Folk, 1974) de color moderadamente rosado naranja (10R 7/4) que está en contacto neto con una capa gruesa de arenisca lodosa de grano fino de color moderadamente rosado naranja (10R 7/4) que presenta geometría tabular y texturalmente granos angulares a subangulares, bien calibrado y contacto puntual y flotante entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 33% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 13%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca de 47%, 41% y 12% respectivamente (Folk, 1974), seguidamente hay un cubierto.

Posteriormente hay una capa muy gruesa de limolita arenosa (limo 75%; arena 25%) (Folk, 1974) de color moderadamente rojizo (5R 5/4) que está en contacto neto con una capa gruesa de arenisca de grano muy fino de color rojo claro (5R 6/6) que presenta geometría tabular y texturalmente granos subangulares, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos.

Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 35% y cemento silíceo con un porcentaje de 7%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespatos y

fragmentos de roca de 48%, 40% y 12% respectivamente (Folk, 1974). Esta capa de arenisca está en contacto difuso con una capa mediana de limolita de color moderadamente rojizo (5R 4/6) que está en contacto difuso con una capa mediana de arcillolita de color verde moderadamente amarillento (5GY 6/4), la cual presenta bioturbación y está en contacto neto con una capa gruesa de arenisca de grano fino de color rosa grisáceo naranja (5YR 7/2) que presenta geometría tabular, gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos.

Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 22% y cemento silíceo con un porcentaje de 10%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 68%, 26% y 6% respectivamente (Folk, 1974). Esta capa de arenisca está en contacto difuso con una capa mediana de limolita de color moderadamente rojizo (5R 4/6) que está en contacto neto con una capa gruesa de arenisca de grano fino de color rojo claro (5R 6/6) que presenta geometría tabular, gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos.

Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 24% y cemento silíceo con un porcentaje de 9%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 69%, 29% y 2% respectivamente (Folk, 1974). Esta capa de arenisca está en contacto difuso con una capa mediana de limolita de color moderadamente rojizo (5R 4/6) que está en contacto difuso con una capa mediana de arenisca de grano fino de color rojo claro (5R 6/6) que presenta gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 25% y cemento silíceo con un porcentaje de 10%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 66%, 28% y 6% respectivamente (Folk,

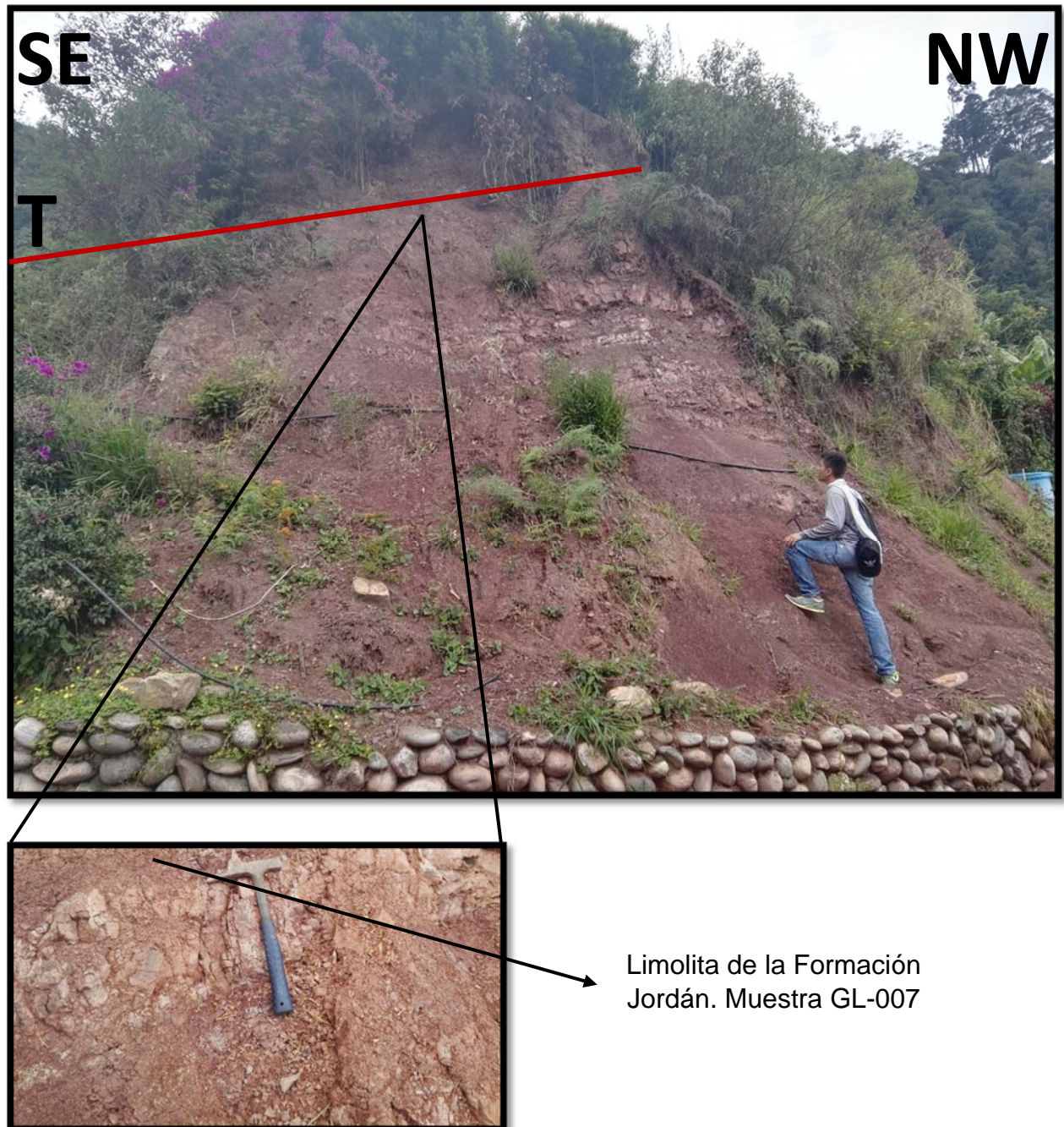
1974). Esta capa de arenisca está en contacto difuso con una capa mediana de limolita de color moderadamente rojizo (5R 4/6) que está en contacto difuso con una capa mediana de arenisca de grano fino de color rojo claro (5R 6/6) que presenta gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos.

Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 26% y cemento silíceo con un porcentaje de 11%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 67%, 29% y 4% respectivamente (Folk, 1974). Esta capa de arenisca está en contacto difuso con una capa gruesa de limolita de color moderadamente rojizo (5R 4/6) que está en contacto difuso con una capa mediana de arenisca de grano muy fino de color rojo claro (5R 6/6) que presenta geometría tabular, laminación paralela y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 24% y cemento silíceo con un porcentaje de 10%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 68%, 27% y 5% respectivamente (Folk, 1974).

Esta capa de arenisca está en contacto neto con una capa mediana de limolita de color moderadamente rojizo (5R 4/6) que está en contacto neto con una capa mediana de arenisca de grano muy fino de color rojo claro (5R 6/6) que presenta geometría tabular, laminación paralela y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 21% y cemento silíceo con un porcentaje de 15%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 37%, 51% y 12% respectivamente (Folk, 1974).

Esta capa de arenisca está en contacto difuso con una capa mediana de limolita (Muestra GL-007) de color moderadamente rojizo (5R 4/6) que está en contacto difuso y discordante con la

suprayacente capa de conglomerado arenolodoso (Muestra GL-008) de la Formación Girón. En estas capas de arenisca se logra evidenciar alto fracturamiento, baja meteorización y oxidación.



*Figura 31.* Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Jordán (Muestra GL-007 de Limolita). Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

- **Segmento 2: Formación Girón (Muestra GL-008 de conglomerado arenolodoso; Muestra GL-009 de conglomerado arenolodoso).** El segmento (Figura 32) presenta un espesor de 2,9 metros y está constituido de base a techo por una capa muy gruesa de conglomerado arenolodoso (Muestra GL-008) con guijas y guijarros desde 8 milímetros hasta 64 milímetros de color rojo púrpura pálido (5RP 6/2) que presenta geometría tabular, gradación normal y texturalmente granos subredondeados, pobremente calibrado y contacto flotante entre estos. Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 19% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 9%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 38%, 32% y 30% respectivamente (Folk, 1974).

Esta capa de conglomerado arenolodoso está en contacto difuso y discordante con la infrayacente capa de limolita (Muestra GL-007) de la Formación Jordán y en contacto neto con la suprayacente capa gruesa de conglomerado arenolodoso (Muestra GL-009) que está constituida por guijas y guijarros desde 4 milímetros hasta 32 milímetros de color rojo grisáceo púrpura (5RP 4/2) que presenta geometría tabular, gradación normal y texturalmente granos subredondeados, pobremente calibrado y contacto flotante entre estos. Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 17% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 11%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 36%, 34% y 30% respectivamente (Folk, 1974). Esta capa de conglomerado arenolodoso está en contacto neto con la suprayacente capa de conglomerado arenoso (Muestra GL-010) de la Formación Los Santos.



*Figura 32.* Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Girón (Muestra GL-008; Muestra GL-009). Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

- **Segmento 3: Miembro inferior de la Formación Los Santos (Muestra GL-010 de conglomerado arenoso).** El segmento (Figura 33) presenta un espesor de 34,2 metros. En la parte inferior, estructuralmente se observan capas de espesor grueso y medio, la forma de los planos de estratificación corresponde a geometrías planas y en artesa en contacto difuso. Se presenta arreglo de las partículas con gradación normal en capas conglomeráticas arenosas con guijas y gránulos.

La parte media corresponde a capas de espesor grueso y medio con geometría cuneiforme y planos de estratificación irregulares en contacto difuso en capas arenolodas. La parte superior corresponde a capas de espesor grueso, medio y fino de areniscas de grano muy grueso a grueso, intercaladas en contacto neto con capas de areniscas de grano medio con geometría cuneiforme. Dirección de rumbo S36°E/7SW. La base se caracteriza texturalmente por capas de conglomerado arenoso con guijas y gránulos (GL-010), de geometría tabular, color rojizo (10R 5/8), mal calibrados, granos esféricos subredondeados, arenosoportados con matriz arenolodosa, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y gradación normal de guijas a gránulos.

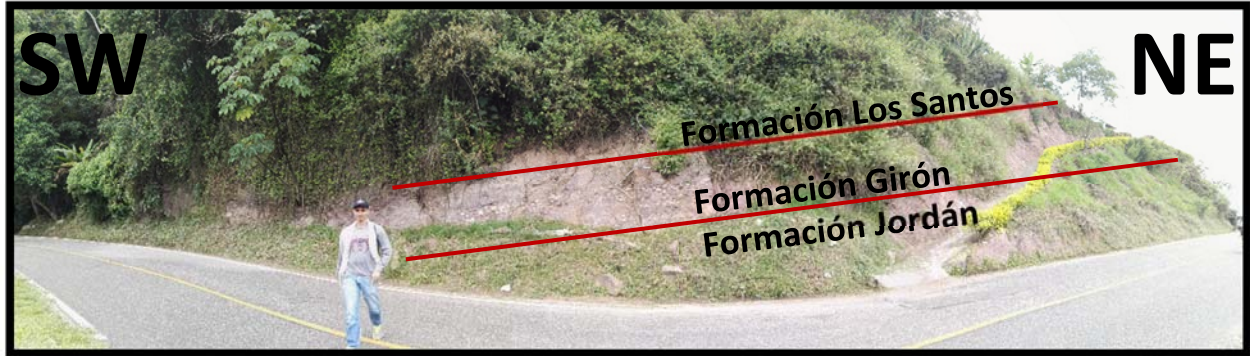
Estas capas están intercaladas con capas de conglomerado arenoso con guijas de color gris claro (7.5B 5/2), mal calibrados, granos esféricos subredondeados, arenosoportados con matriz arenolodosa, buena porosidad y contacto puntual entre los granos. Se presenta laminación cruzada en una de las capas. La parte media a superior se caracteriza por capas de conglomerado arenolodoso con gránulos de color rojizo (10R 5/8), moderadamente calibrados, granos subredondeados, arenosoportados con matriz arenolodosa, buena porosidad y contacto tangencial entre los granos y capas de arenisca de grano muy grueso, de color amarillo pardo, moderadamente calibradas, granos esféricos subangulares, arenosoportadas con matriz lodosa, buena porosidad, contacto tangencial entre los granos y laminación cruzada en algunas capas.

Se observan también capas de arenisca de grano muy grueso con geometría tabular principalmente y cuneiforme en una de las capas, de color amarillo pardo (5Y 9/4), moderadamente calibradas, granos subangulares, arenosoportadas con matriz arenolodosa, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y laminación plano paralela. El tope del segmento presenta capas de arenisca lodosa de tamaño de grano grueso a muy grueso de color gris oscuro (7.5B 5/2) y amarillo pardo (5Y 9/4), moderadamente calibradas, granos esféricos subredondeados, arenosoportadas con matriz lodosa, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y laminación cruzada en algunas capas.

Estos estratos están intercalados con capas de arenisca lodosa de grano medio, de color gris claro (7.5B 5/2), bien calibradas, granos esféricos subredondeados, arenosoportadas con matriz lodosa, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y en algunas capas laminación ondulosa y plano paralela. Las rocas composicionalmente se clasifican como Conglomerado Lítico Feldespático con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 28%, 45% y 27% respectivamente; Arcosa Lítica con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 40%, 49% y 11% respectivamente y Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 83%, 11% y 6% respectivamente (Folk, 1974).



*Figura 33.* Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Los Santos. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.



*Figura 34.* Ilustración de parte del afloramiento de limolita (Muestra GL-007) de la Formación Jordán, conglomerado arenolodoso (Muestra GL-008; Muestra GL-009) de la Formación Girón y conglomerado arenoso (Muestra GL-010) de la Formación Los Santos. Segmento 1, 2 y 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta en donde limitan las formaciones Jordán, Girón y Los Santos.

Posteriormente hay un cubierto, luego el segmento (Figura 35) estructuralmente presenta una intercalación de capas de arenisca de espesor grueso y medio con capas de arenisca lodosa de espesor medio y capas de limolita de espesor fino. La forma de los planos de estratificación de las capas de limolita corresponde a geometrías en artesa en contacto neto con las capas de arenisca lodosa. Se presenta arreglo de las partículas en laminación horizontal y laminación paralela curvada continua en las capas de arenisca gruesa a media.

En la parte baja del afloramiento se observa una geometría cuneiforme en una capa de arenisca lodosa que está en contacto neto con una capa de arenisca de grano medio. El afloramiento está altamente afectado por tectonismo y presenta dirección de rumbo  $S38^{\circ}E/5SW$ . Texturalmente las capas corresponden a areniscas de tamaño de grano medio a fino con geometría tabular, de color amarillo pardo (5Y 9/4), bien calibradas, granos esféricos subredondeados, arenosoportadas con matriz lodosa, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y gradación normal.

Estas capas de arenisca están intercaladas con capas de arenisca lodosa con geometría tabular y cuneiforme en una de las capas, tamaño de grano muy fino, de color gris claro (7.5B 5/2), bien calibradas, granos esféricos subredondeados, arenosoportadas con matriz lodosa, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos, laminación cruzada; y capas de limolita con geometría tabular, de color gris claro, lodosoportadas y matriz arenolodosa, buena porosidad y laminación plano paralela. Las rocas composicionalmente se clasifican como Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 80%, 14% y 6% respectivamente y Arcosa Lítica con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 72%, 22% y 6% respectivamente (Folk, 1974).

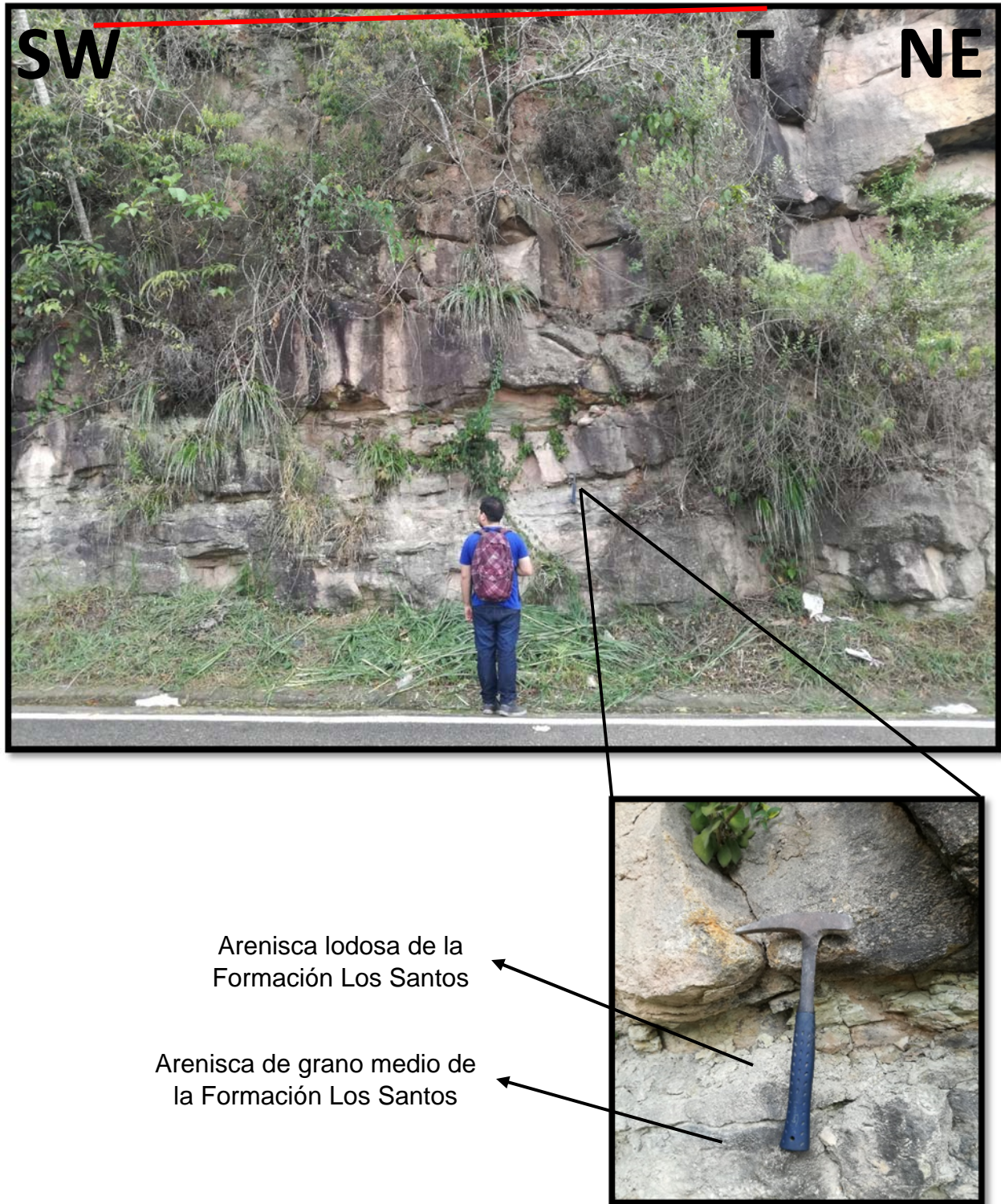


Figura 35. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Los Santos. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

- **Segmento 4: Miembro medio de la Formación Los Santos.** El segmento (Figura 36) presenta un espesor de 20,8 metros, estructuralmente en la parte inferior se observan capas de espesor grueso, medio y finos de limolita arenosa y arenisca de grano medio y fino, la forma de los planos de estratificación corresponden a geometrías planas en contacto neto, se observa laminación horizontal y laminación plano paralela discontinua en la configuración interna de los estratos. La parte media exhibe capas de espesor grueso, medio y fino con intercalación de capas de limolita arenosa y limolita con capas de arenisca lodosa, se presentan geometrías cuneiforme y lenticular en algunas capas, la forma de los planos de estratificación corresponden a geometrías planas en contacto neto, se observa laminación horizontal, como estructura interna presentan laminación plano paralela continua, discontinua y hay presencia de grietas de desecación. En la parte superior del segmento se observan capas de espesor muy grueso, grueso y medio de arenisca de grano fino y arenisca lodosa, la forma de los planos de estratificación corresponde a geometrías planas y en algunos estratos en artesa en contacto neto, se observa laminación horizontal, laminación plano paralela y ondulosa como estructuras internas de los estratos. Dirección de rumbo S35°E/9SW.

El segmento se caracteriza texturalmente por capas de limolita y limolita arenosa de grano muy fino con geometría tabular, de color rojizo (10R 5/8), moderadamente calibradas, granos esféricos redondeados, lodosoportadas con matriz lodosa, buena porosidad, contacto tangencial entre los granos y gradación normal, en unas de las capas hay presencia de un lente de arenisca lodosa y también se observa una capa de arenisca de grano medio con geometría tabular y cuneiforme en uno de los estratos, de color amarillo pardo (5Y 9/4) bien calibrada, granos no esféricos subangulares, arenosoportada con matriz arenolodosa, mala porosidad, contacto puntual entre las partículas y laminación plano paralela discontinua.

También hay capas de arenisca de grano fino, de color amarillo pardo (5Y 9/4), moderadamente calibradas, granos esféricos subredondeados, arenosoportadas con matriz arenolodosa, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y laminación plano paralela discontinua. Además se presentan capas de limolita con laminación plano paralela, de color marrón oscuro (7.5R 4/12) y capas de arenisca lodosa de grano fino y muy fino y limolita de color gris (5G 9/2) y gris claro (5PB 9/2).

Las capas de arenisca lodosa de grano fino y muy fino están moderadamente calibradas, presentan granos no esféricos subredondeados, arenosoportadas con matriz lodosa, buena porosidad, contacto puntual entre los granos, laminación plano paralela y bioturbación en algunas capas. Las rocas composicionalmente se clasifican como Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 85%, 4% y 11% respectivamente; Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 96%, 2% y 2% respectivamente y Subarcosa con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 85%, 9% y 6% respectivamente (Folk, 1974).

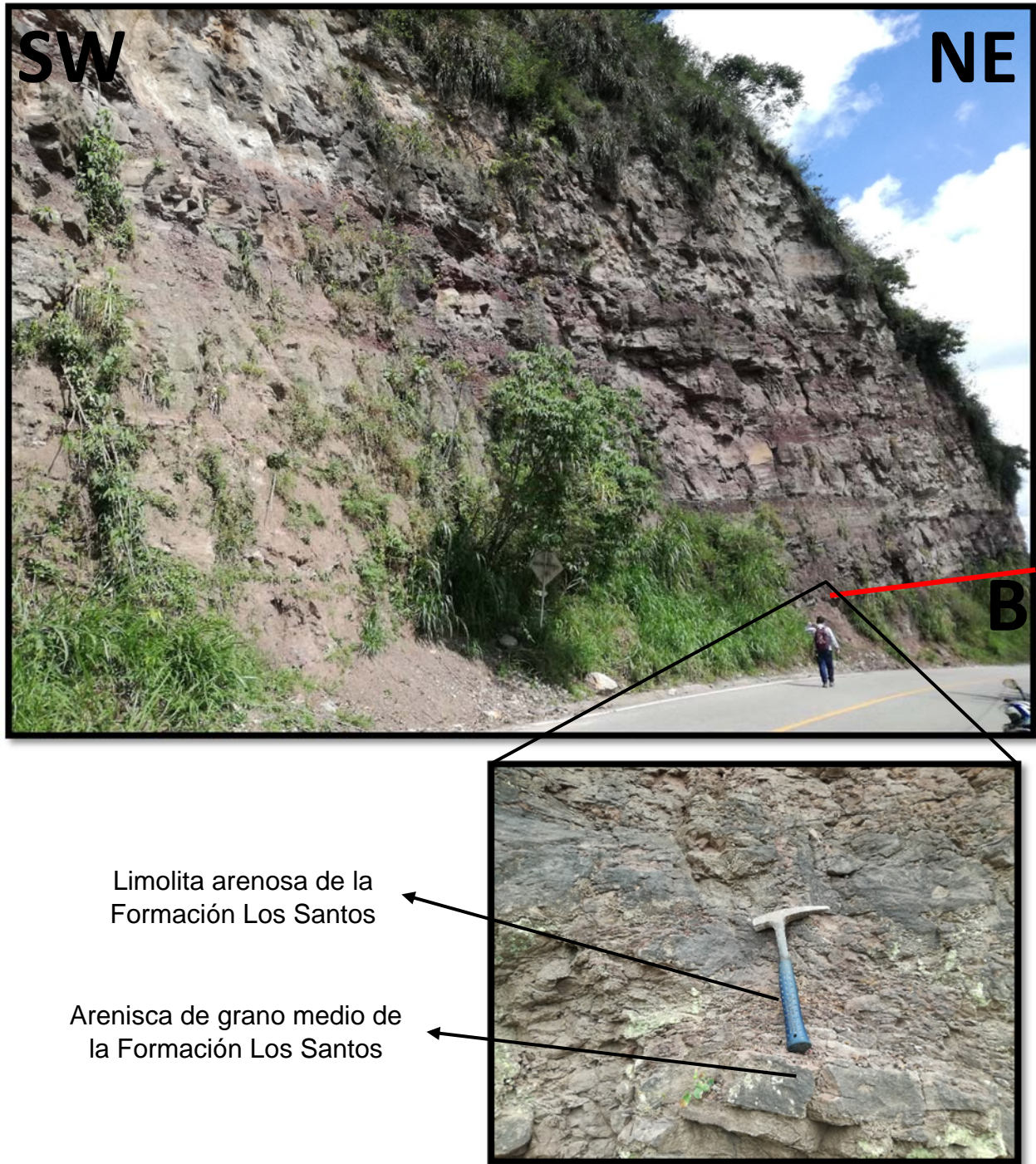


Figura 36. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Los Santos. Segmento 4 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

- **Segmento 5: Miembro superior de la Formación Los Santos (Muestra GL-011 de arenisca de grano fino).** El segmento (Figura 37) presenta un espesor de 52,8, estructuralmente se observan capas de espesor grueso, medio y fino de areniscas de grano medio y fino intercaladas con areniscas lodosas de grano fino, con geometría tabular, la forma de los planos de estratificación corresponden a geometrías planas en contacto neto y en artesa en algunas capas, como configuración interna se observa laminación plano paralela continua y discontinua. Dirección de rumbo S35°E/6SW. Texturalmente se caracteriza por presentar en la parte inferior a media capas de arenisca de grano medio a fino con geometría tabular, de color amarillo pardo (5Y 9/4), bien calibradas, granos esféricos subredondeados, arenosoportadas con matriz lodosa, mala porosidad, contacto longitudinal entre partículas, gradación normal y laminación cruzada.

También se presentan capas de arenisca de grano medio con geometría tabular y cuneiforme en algunas capas, de color amarillo pardo (5Y 9/4) y gris claro (5PB 9/2), bien calibradas, granos esféricos subredondeados, arenosoportadas con matriz arenolodosa, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos, laminación plano paralela. Además se presentan capas de arenisca lodosa de grano fino con geometría tabular principalmente y lenticular en una de las capas, de color gris claro (5PB 9/2), moderadamente calibradas, granos no esféricos subredondeados, arenosoportadas con matriz lodosa, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y laminación plano paralela discontinua.

En la parte media a superior se presentan capas de arenisca de grano medio intercaladas con capas de arenisca de grano fino de color amarillo pardo (5Y 9/4) y gris claro (5PB 9/2), moderadamente calibradas, granos esféricos redondeados y subredondeados, arenosoportadas con matriz arenolodosa, mala porosidad, contacto tangencial entre los granos y laminación plano paralela. Las rocas composicionalmente se clasifican como Sublitaranita con porcentaje promedio

de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 82%, 6% y 12% respectivamente; Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 95%, 3% y 2% respectivamente y Subarcosa con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 84%, 10% y 6% respectivamente (Folk, 1974).



*Figura 37.* Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Los Santos. Segmento 5 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

Posteriormente hay un cubierto, luego el segmento (Figura 38) estructuralmente presenta capas de espesor medio y fino de arenisca de grano medio a fino y capas de espesor muy fino de limolita arenosa, algunas capas presentan geometría cuneiforme, tabular y lenticular, la forma de los planos de estratificación corresponden a geometrías planas y en artesa en contacto neto en unas capas de arenisca de grano medio, como configuración interna se observa laminación plano paralela discontinua y continua. Dirección de rumbo S44°E/7SW. Texturalmente las capas corresponden a limolita y limolita arenosa de grano muy fino de color gris claro (5PB 9/2), bien calibradas, granos esféricos redondeados, lodosoportadas con matriz lodosa, buena porosidad y contacto tangencial entre los granos.

También se observan capas de arenisca de grano medio de color amarillo pardo (5Y 9/4) y gris claro (5PB 9/2), moderadamente calibradas, granos no esféricos subangulares, arenosoportadas con matriz arenolodosa, mala porosidad y contacto longitudinal entre los granos. Además se presentan capas de arenisca de grano fino de color gris claro (5PB 9/2) y amarillo pardo (5Y 9/4), moderadamente calibradas, granos esféricos subredondeados, arenosoportadas con matriz arenolodosa, mala porosidad y contacto convexo entre los granos. Las rocas composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 92%, 5% y 3% respectivamente y Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 88%, 7% y 5% respectivamente (Folk, 1974).

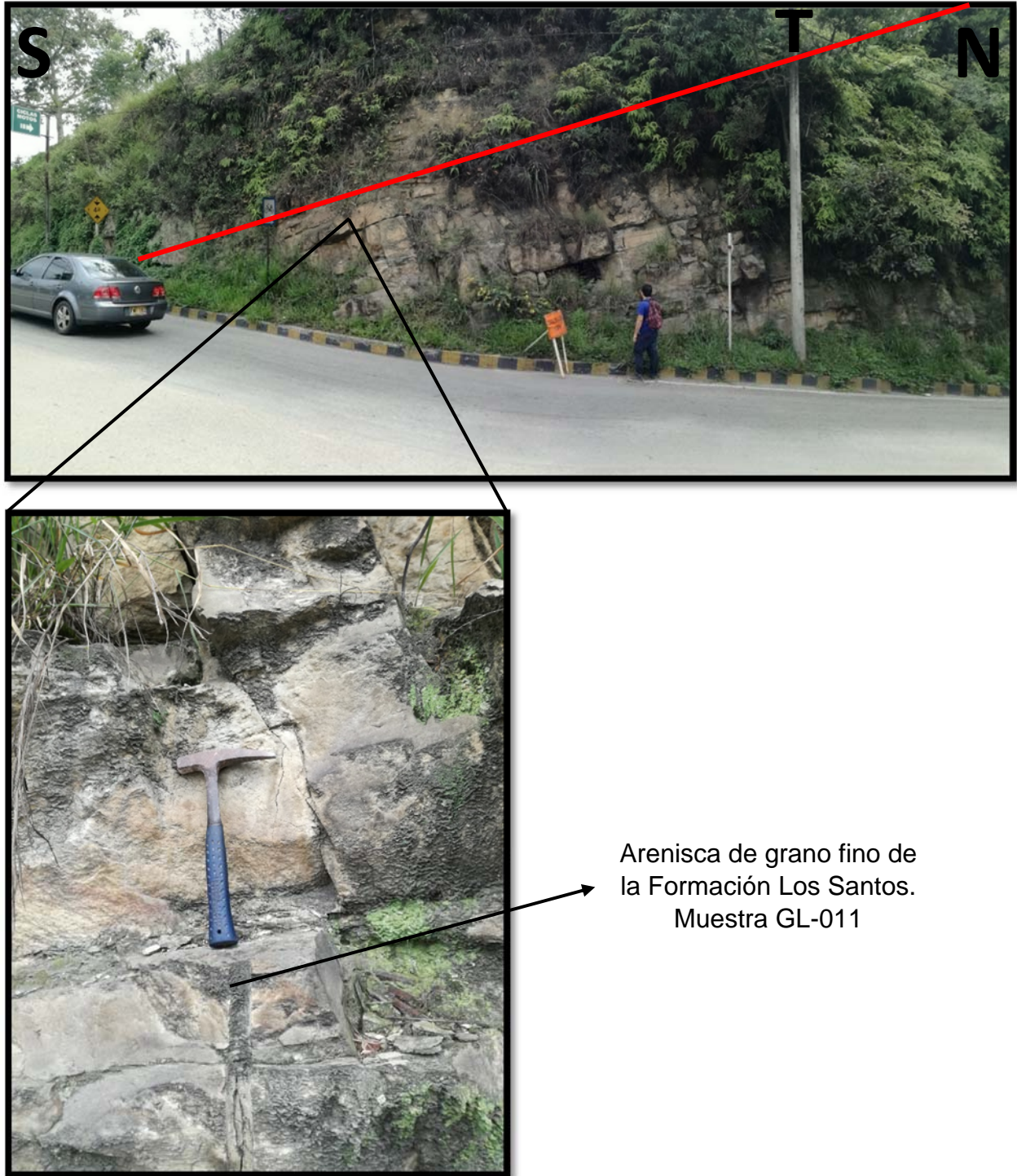


Figura 38. Ilustración de parte del afloramiento de la Formación Los Santos. Segmento 5 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

## 9. Petrografía

La petrografía es un campo que se ocupa de la descripción y clasificación de las rocas mediante la observación microscópica de secciones o láminas delgadas derivadas de las rocas en estudio en un microscopio petrográfico, clasificándolas según su textura y composición mineralógica. Este tipo de análisis revela una serie de características y/o propiedades evaluables en los cristales y la relación que existe entre ellos, lo que va a ayudar a determinar la composición de la roca, centrándose principalmente en la naturaleza y origen de la misma.

En este trabajo se tomaron dos muestras de roca que macroscópicamente eran difícil de describir y clasificar, es decir, su reconocimiento en campo era difícil, para ser analizadas mediante un microscopio de luz transmitida marca NIKON ECLIPSE E200 50/POL con cámara y pantalla incorporada: Digital Sight DS-SM y Digital Sight DS-L1, utilizando objetivos 5X y 10X. Estas muestras corresponden a la riolita de la Unidad Granito de Pescadero y a la filita cuarcítica de la Formación Silgará que afloran a lo largo de la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander.

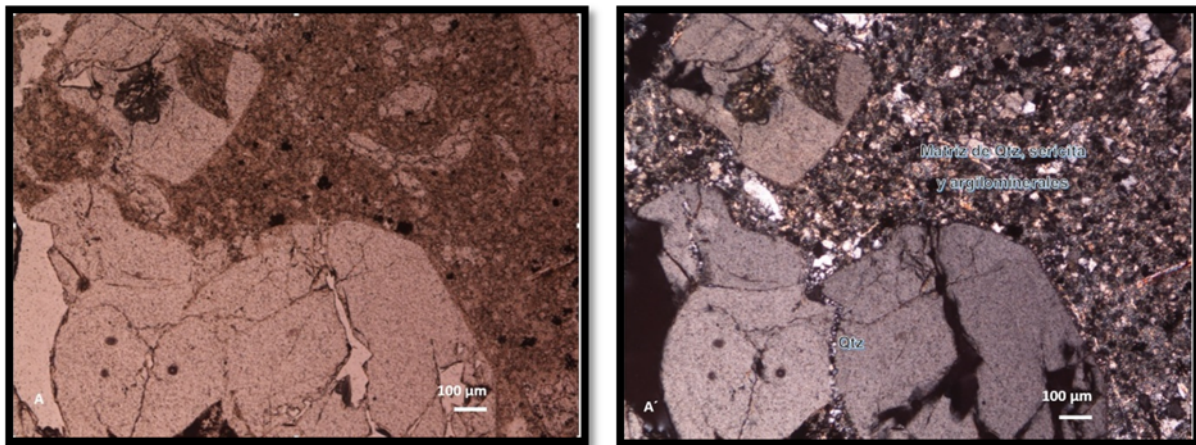
- **Muestra G1-001 de riolita de la Unidad Granito de Pescadero. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador**
  - Textura general: Porfirítica.
  - Textura específica: Poiquilítica.

- Tamaño de grado relativo: Inequigranular.
- Grado de cristalinidad: holocristalino.
- Tipo de roca: Volcánica
- Clasificación según Streckeisen (1979): Riolita.
- Minerales primarios: Cuarzo, muscovita, feldespato potásico, opacos, zircón.
- Minerales de alteración: sericitización, caolinitización, feldespato potásico alterando a sericita, opatización.
- Forma (conjunto de cristales): idiomórfica en fenocristales.
- Índice de color: hololeucocrático.

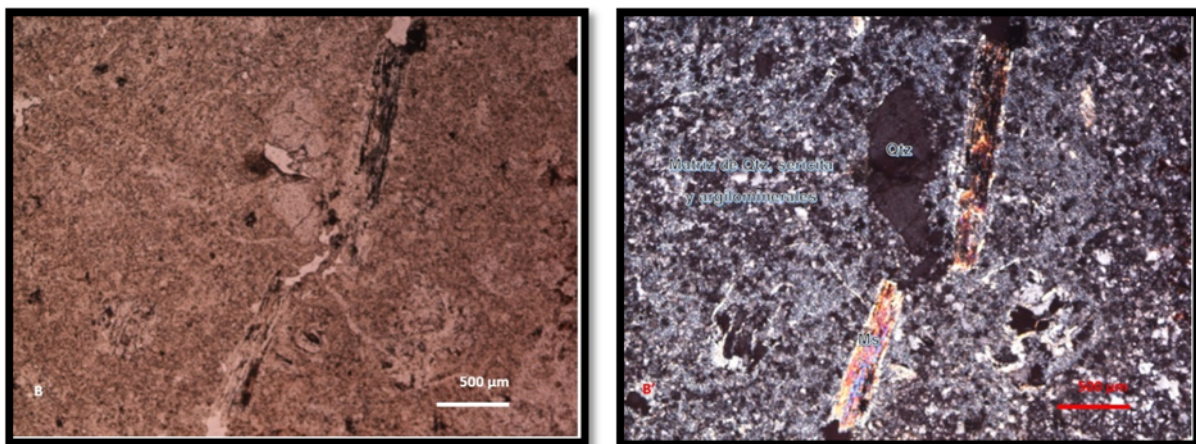
Roca ígnea de origen volcánico con textura general porfírica, conformada por fenocristales de cuarzo y localmente minerales opacos en una masa fundamentalmente de minerales de la arcilla, cuarzo y sericita, localmente se presenta la textura poiquilítica constituida por fenocristales de muscovita de menor tamaño que el cuarzo, los cuales poseen inclusiones de magnetita y hematita, además se observan texturas de reemplazamiento a pseudomorfosis de óxidos e hidróxidos de hierro que reemplazan minerales con morfologías tabulares y prismáticas y pseudomorfosis de argilominerales que reemplazan feldespatos.

El tamaño de grano relativo de los minerales es inequigranular, lo que sugiere un emplazamiento en una corteza somera y por lo menos dos etapas de cristalización durante el ascenso magmático. El grado de cristalinidad es holocristalino debido a la ausencia de vidrio. En términos generales la muestra se encuentra fuertemente afectada por diferentes procesos de alteración, que incluyen, sericitización y argilitización de feldespatos y opatización de micas y tal vez de algún anfíbol. No se encontró evidencia alguna de algún feldespato, ni rastro de macla,

tampoco relictos de anfíboles, debido a esto, la roca presenta un índice de color hololeucocrático. Los porcentajes modales de la muestra son los siguientes: cuarzo: 50%, plagioclasa: 10% y feldespato Alcalino: 40%, lo que da como resultado una riolita porfírica.



*Figura 39.* Microfotografías de la sección delgada de la Muestra GL-001 de riolita de la Unidad Granito de Pescadero mostradas en nicoles paralelos (A) y nicoles cruzados (A') en donde se observan fenocristales de cuarzo embebidos en una masa fundamentalmente de cuarzo, sericita y minerales de la arcilla. El cristal de cuarzo exhibe fracturas rellenas de cuarzo muy fino pero distinguible. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.



*Figura 40.* Microfotografía de la sección delgada de la Muestra GL-001 de riolita de la Unidad Granito de Pescadero mostradas en nicoles paralelos (B) y nicoles cruzados (B') en donde se observan fenocristales de muscovita que engloban cristales pequeños de óxidos de hierro, también se observan puntos luminosos de sericita en la matriz. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador

- **Muestra GL-005 de filita cuarcítica de la Formación Silgará. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo**
  - Composición mineralógica:
    - ✓ Minerales mayores: Muscovita, cuarzo y biotita
    - ✓ Minerales menores: Cloritoide
    - ✓ Minerales accesorios: Opacos
    - ✓ Minerales secundarios: Hematita, goethita

Muscovita (44%): Agregados incoloros hojosos, compuestos de individuos homeoblásticos y subidioblásticos de hábito laminar con terminaciones irregulares en contacto neto con cuarzo y biotita. Presenta un patrón de textura alargada. Se presenta concordante con la dirección de clivaje principal Sn. Su distribución en la roca es abundante, homogénea y en un patrón de foliación continuo junto con el cuarzo y la biotita. Algunos individuos ocurren aislados y en otros sectores aparecen formando bandas tipo kink.

Cuarzo (40%): Ocurren en dominios poliminerale con la muscovita y biotita de manera homogénea y abundante. Son homeoblásticos y xenoblásticos. La mayoría de individuos aparecen alargados según la esquistosidad principal de la roca Sn. Algunos pocos presentan extinción ondulante formando bandas de deformación. Se asocia en contacto neto con la muscovita y la biotita.

Biotita (8%): Agregados de color marrón con un pleocroísmo no tan marcado, constituidos por individuos homeoblásticos y subidioblásticos de hábito laminar, en su mayoría concordantes con la dirección principal de esquistosidad Sn. Está asociada en contacto neto con muscovita, cuarzo y minerales opacos. Su distribución en la roca es más restringida que la muscovita, pero homogénea.

Cloritoide (4%): Poiquiloblastos con inclusiones de cuarzo y algunas muscovitas, por las relaciones entre la esquistosidad interna y la externa, las cuales presentan un patrón concordante, se deduce que son porfidoblastos postectónicos asociados paragenéticamente con cuarzo y muscovita.

Minerales Opacos (1%): Agregados homeoblásticos de forma subhedral a euhedral conformando un conjunto de minerales asociados con cuarzo y muscovita.

Óxidos e hidróxidos de hierro (3%): Ocurren como agregados de grano muy fino alterando a morfologías pseudomórficas.

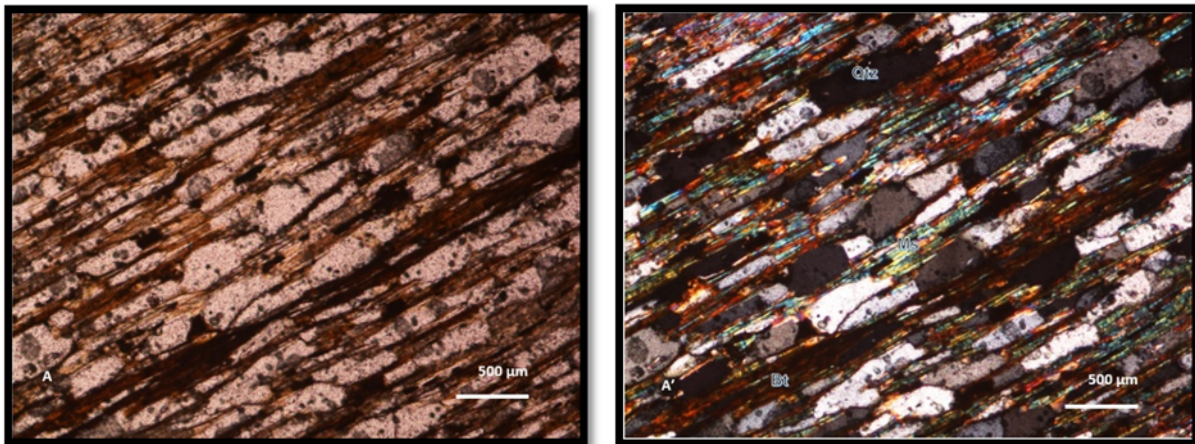
- Textura

La textura predominante en la roca es lepidogranoblástica, localmente se desarrolla la textura poiquiloblástica.

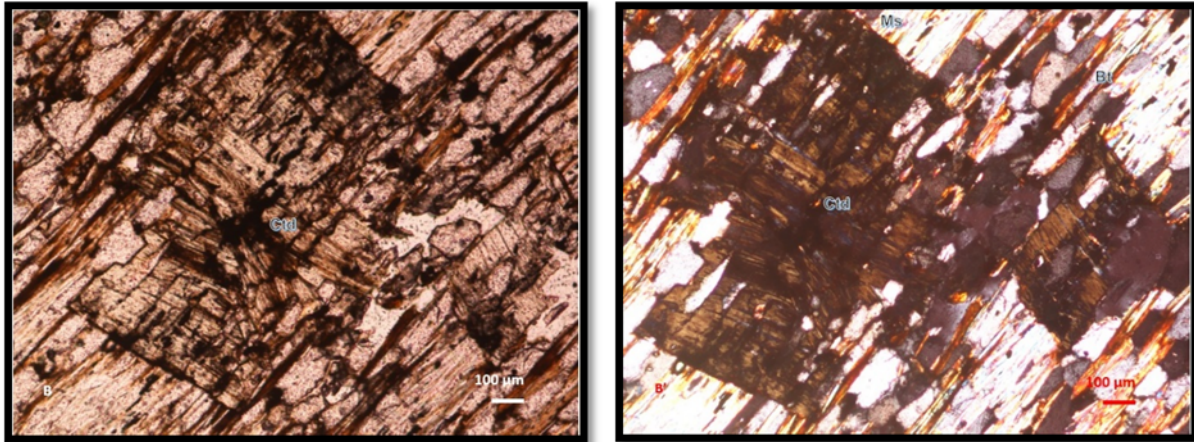
- Paragénesis mineral

Ms + Qtz + Ctd + Bt

- Facie de metamorfismo  
Esquistos Verdes
- Zona de metamorfismo  
Biotita
- Clasificación de la roca según Robertson (1999).  
Pelita (filita cuarcítica)



*Figura 41.* Microfotografías de la sección delgada de la Muestra GL-005 de filita cuarcítica mostradas en nicols paralelos (A) y nicols cruzados (A') en donde se observa una marcada foliación continua con dominios ricos en cuarzo elongado, muscovita y biotita, producto de la segregación metamórfica. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.



*Figura 42.* Microfotografías de la sección delgada de la Muestra GL-005 de filita cuarcítica. Mostradas en nicoles paralelos (B) y nicoles cruzados (B') en donde se observan porfidoblastos posttectónicos de cloritoide con maclado polisintético sobre una matriz constituida por muscovita, biotita y cuarzo. Se deduce que los cloritoides representan un evento de blastesis posterior a un evento tectonometamórfico que generó la esquistosidad principal de la roca. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.

## 10. Espectroscopia Raman e infrarroja (IR) y difracción de rayos X (DRX)

En este trabajo se tomaron once muestras de roca para ser analizadas mediante las técnicas analíticas de espectroscopia Raman, espectroscopia infrarroja (IR) y difracción de rayos X (DRX), lo cual permitió determinar las fases minerales de los límites de las unidades geológicas Silgará, en concreto una muestra del Granito de Pescadero, Jordán, Girón y Los Santos que están representadas en las columnas estratigráficas de la Vereda El Volador, la Vereda Blanquiscal Bajo y la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta y que afloran sobre la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander.

Las muestras de roca seleccionadas fueron trituradas en un molino de bolas, molturadas y homogenizadas en un mortero de ágata y posteriormente montadas en un portamuestra de polimetilmetacrilato (PMMA) mediante la técnica de llenado frontal.

### 10.1 Espectroscopia Raman

La medición se realizó en un espectrómetro Raman LabRAM HR Evolution marca Horiba Scientific, equipado con un microscopio confocal Leica acoplado a una cámara de video. El sistema se compone de un filtro Notch para eliminar la dispersión Rayleigh, dos redes de difracción (600 y 2400 líneas/mm) y un detector tipo CCD con refrigeración eléctrica.

Tabla 1.

*Condiciones de medición utilizadas en el espectrómetro Raman*

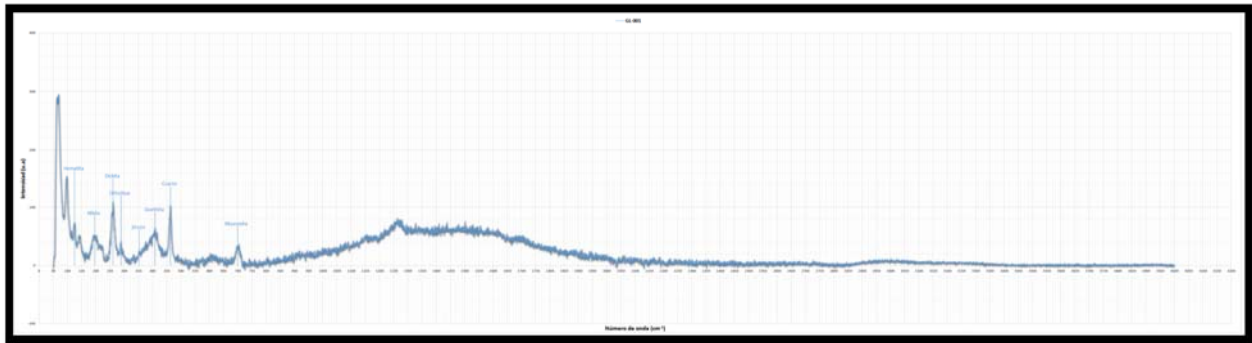
Condiciones de Medición	
Fuente de Luz Láser de Excitación (Longitud de Onda)	Infrarrojo (785 nm)
Rejilla de Difracción	600 líneas/mm
Tiempo de Muestreo	2, 5 y 10 Segundos
Acumulación Espectral	2, 5 y 10
Corrección de Fluorescencia	Si
Energía	50 y 100%
Objetivo	100X

Posteriormente, para el análisis de los resultados arrojados por el espectrómetro Raman, se realizaron consultas en las bases de datos del RRUFF, Infrared & Raman Users Group (IRUG), Laboratory of Photoinduced Effects Vibrational and X-Ray Spectroscopies y Handbook of Minerals Raman Spectra. Siendo así, se tiene que:

- **Unidad Granito de Pescadero**

- ✓ **Muestra GL-001 de riolita de la Unidad Granito de Pescadero. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa, albita, dickita, hematita, goethita y zircón.



*Figura 43.* Espectro Raman de la muestra GL-001 de riolita de la Unidad Granito de Pescadero. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.

- **Formación Silgará**

- ✓ **Muestra GL-002 de meta-arenisca de la Formación Silgará. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, albita, fengita y hematita.

- **Formación Jordán**

- ✓ **Muestra GL-003 de conglomerado de la Formación Jordán. Segmento 4 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita y ortoclasa.

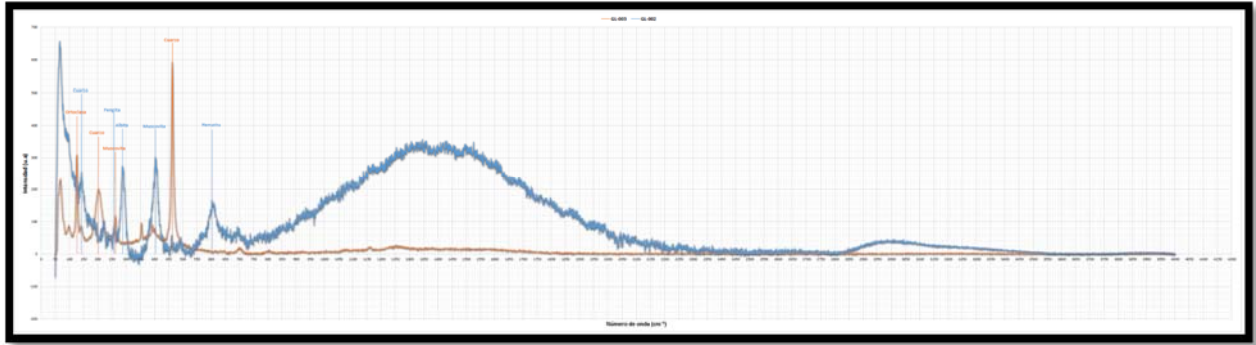


Figura 44. Espectro Raman de las muestras GL-002 de meta-arenisca de la Formación Silgará y GL-003 de conglomerado de la Formación Jordán. Segmento 3 y 4 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.

- ✓ **Muestra GL-004 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 6 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa, albita e illita.

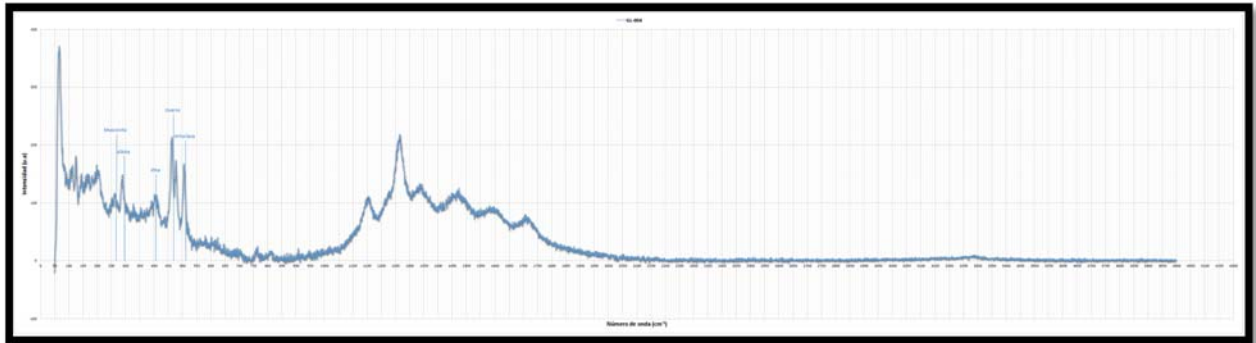


Figura 45. Espectro Raman de la muestra GL-004 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 6 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.

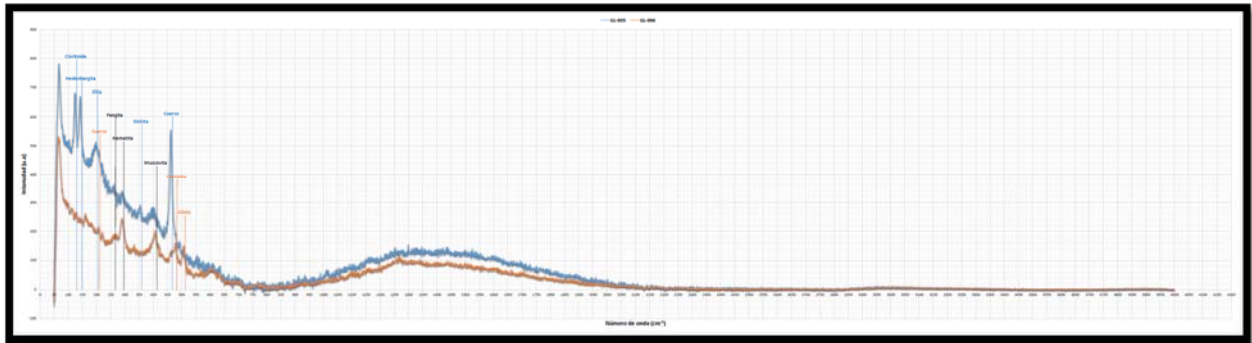
- **Formación Silgará**
  - ✓ **Muestra GL-005 de filita cuarcítica de la Formación Silgará. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, cloritoide, hedenbergita, fengita, dickita, illita y hematita.

▪ **Formación Jordán**

- ✓ **Muestra GL-006 de limolita arenosa de la Formación Jordán. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, albita, fengita, caolinita y hematita.



*Figura 46.* Espectro Raman de las muestras GL-005 de filita cuarcítica de la Formación Silgará y GL-006 de limolita arenosa de la Formación Jordán. Segmento 1 y 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.

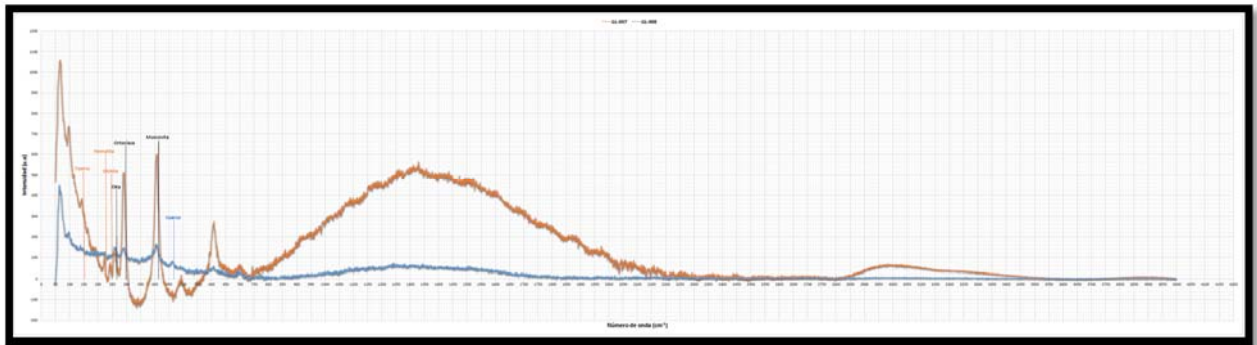
- ✓ **Muestra GL-007 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa, dickita, illita y hematita.

- **Formación Girón**

- ✓ **Muestra GL-008 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa e illita.



*Figura 47.* Espectro Raman de las muestras GL-007 de limolita de la Formación Jordán y GL-008 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 1 y 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

- ✓ **Muestra GL-009 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, albita, fengita, illita y hematita.

- **Formación Los Santos**

- ✓ **Muestra GL-010 de conglomerado arenoso de la Formación Los Santos. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, dickita, illita y hematita.

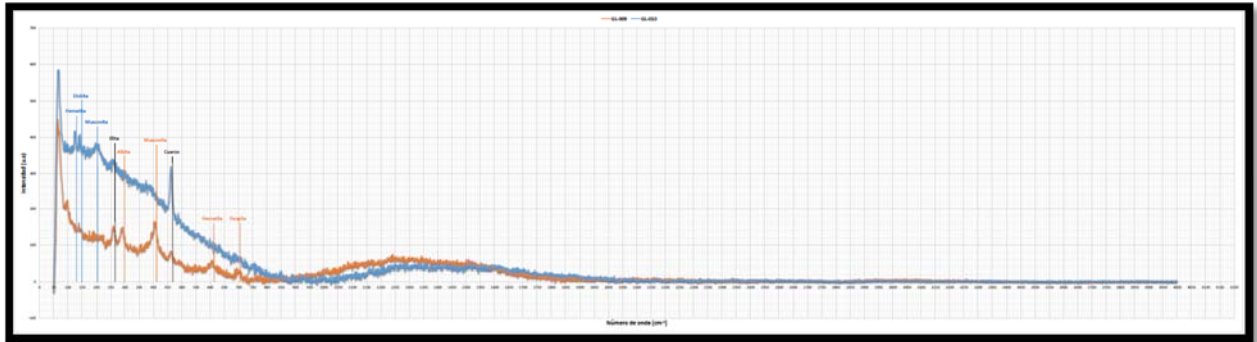


Figura 48. Espectro Raman de las muestras GL-009 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón y GL-010 de conglomerado arenoso de la Formación Los Santos. Segmento 2 y 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

- ✓ **Muestra GL-011 de arenisca de grano fino de la Formación Los Santos. Segmento 5 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, dickita y hematita.

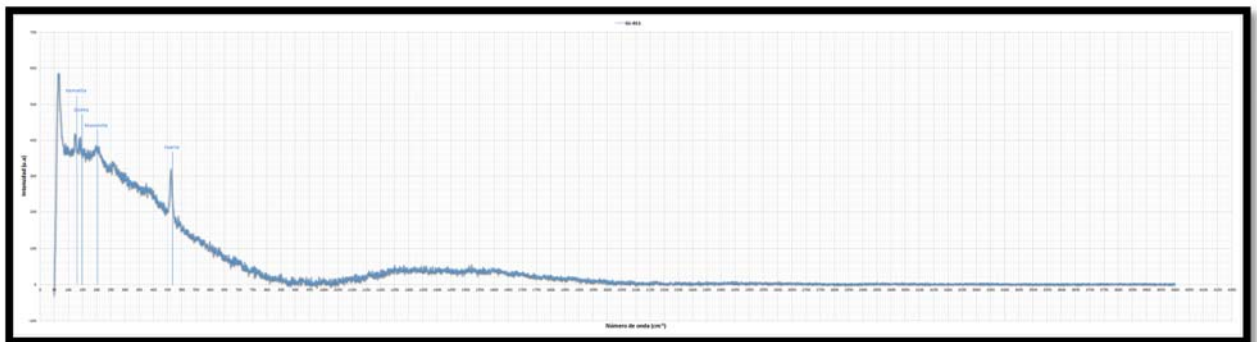


Figura 49. Espectro Raman de la muestra GL-011 de arenisca de grano fino de la Formación Los Santos. Segmento 5 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

## 10.2 Espectroscopia infrarroja (IR)

La medición se realizó en un espectrómetro FT-IR Thermo Scientific Nicolet iS50, el cual tiene acoplado una celda ATR equipada con un cristal de reflexión de diamante de un solo paso, con ángulo de incidencia fijo de  $45^\circ$ , en el rango de  $400\text{ cm}^{-1}$  a  $4000\text{ cm}^{-1}$  que corresponde al rango espectral de infrarrojo medio (MIR).

Tabla 2.

*Condiciones de medición utilizadas en el espectrómetro FTIR-ATR*

Barridos	32 Scan
Rango	$400\text{ cm}^{-1}$ a $4000\text{ cm}^{-1}$
Resolución	$4\text{ cm}^{-1}$
Ángulo de Incidencia del Haz	$45^\circ$
Velocidad del Espejo del Interferómetro	$0,4747\text{ cm}^{-1}/\text{s}$
Temperatura	$19^\circ\text{C}$

Posteriormente, para el análisis de los resultados arrojados por el espectrómetro infrarrojo con transformada de Fourier (FT-IR), se realizaron consultas en las bases de datos del RRUFF e Infrared & Raman Users Group (IRUG). Siendo así, se tiene que:

- **Unidad Granito de Pescadero**
  - ✓ **Muestra GL-001 de riolita de la Unidad Granito de Pescadero. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, albita, dickita, hematita y goethita.

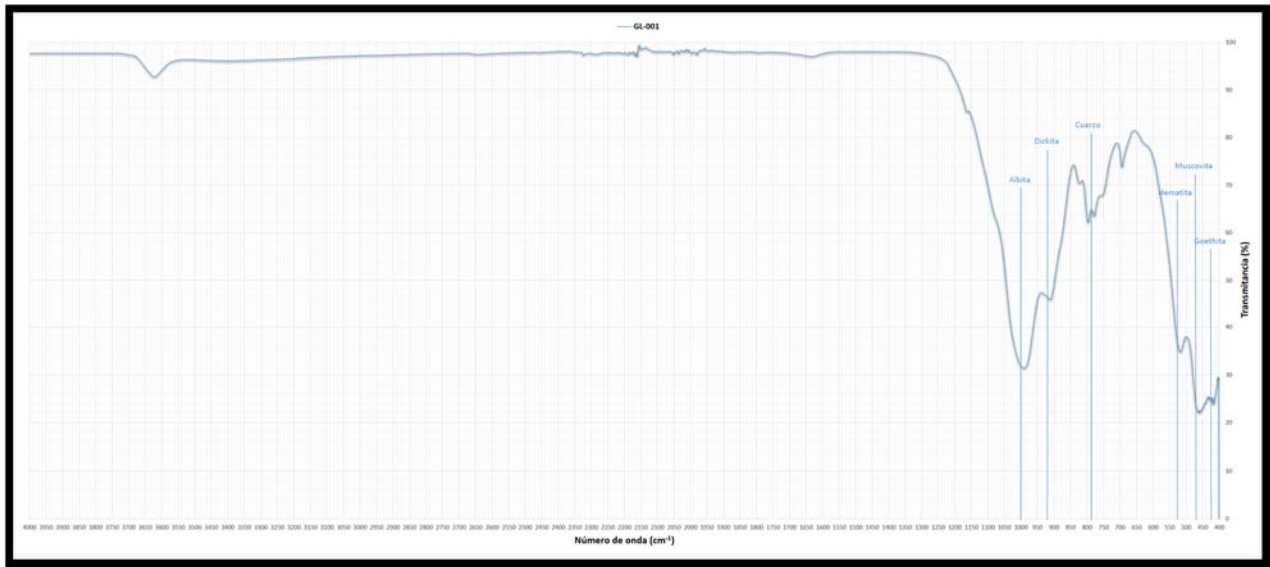


Figura 50. Espectro Raman de la muestra GL-001 de riolita de la Unidad Granito de Pescadero. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.

- **Formación Silgará**

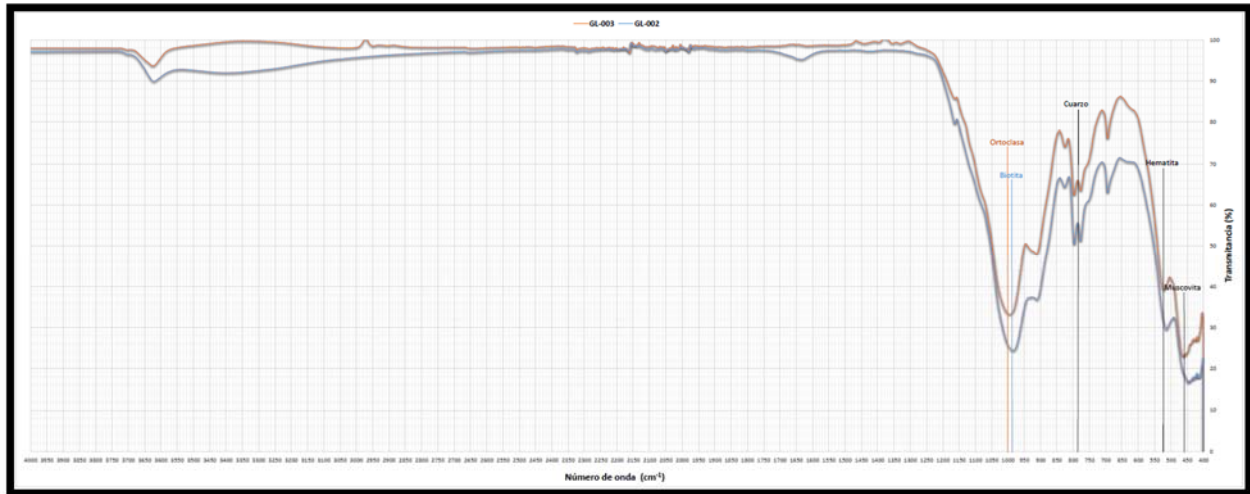
- ✓ **Muestra GL-002 de meta-arenisca de la Formación Silgará. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, biotita y hematita.

- **Formación Jordán**

- ✓ **Muestra GL-003 de conglomerado de la Formación Jordán. Segmento 4 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

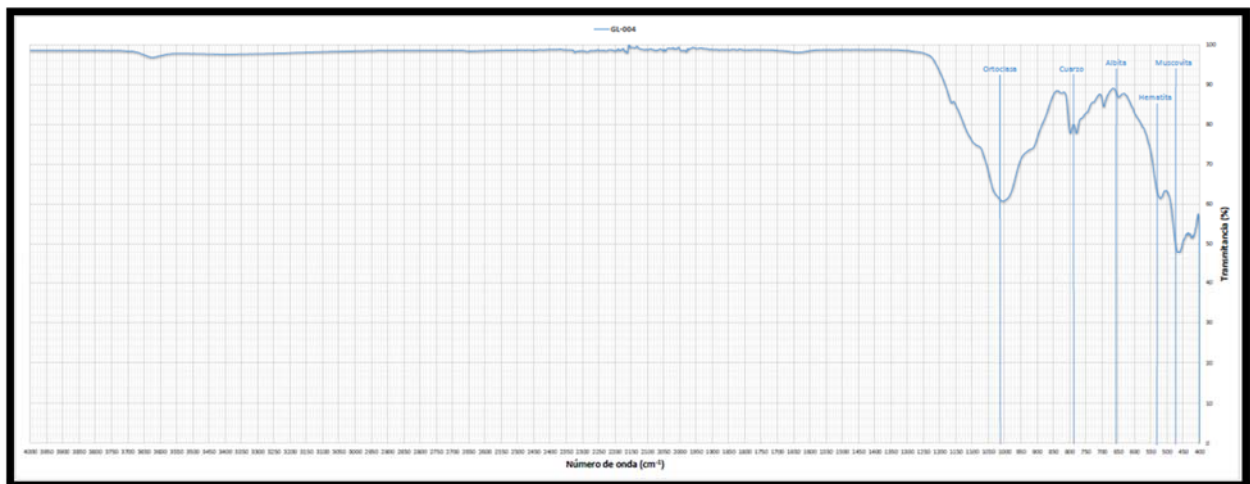
La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa y hematita.



*Figura 51.* Espectro infrarrojo de las muestras GL-002 de meta-arenisca de la Formación Silgará y GL-003 de conglomerado de la Formación Jordán. Segmento 3 y 4 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.

- ✓ **Muestra GL-004 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 6 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa, albita y hematita.



*Figura 52.* Espectro infrarrojo de la muestra GL-004 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 6 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.

- **Formación Silgará**

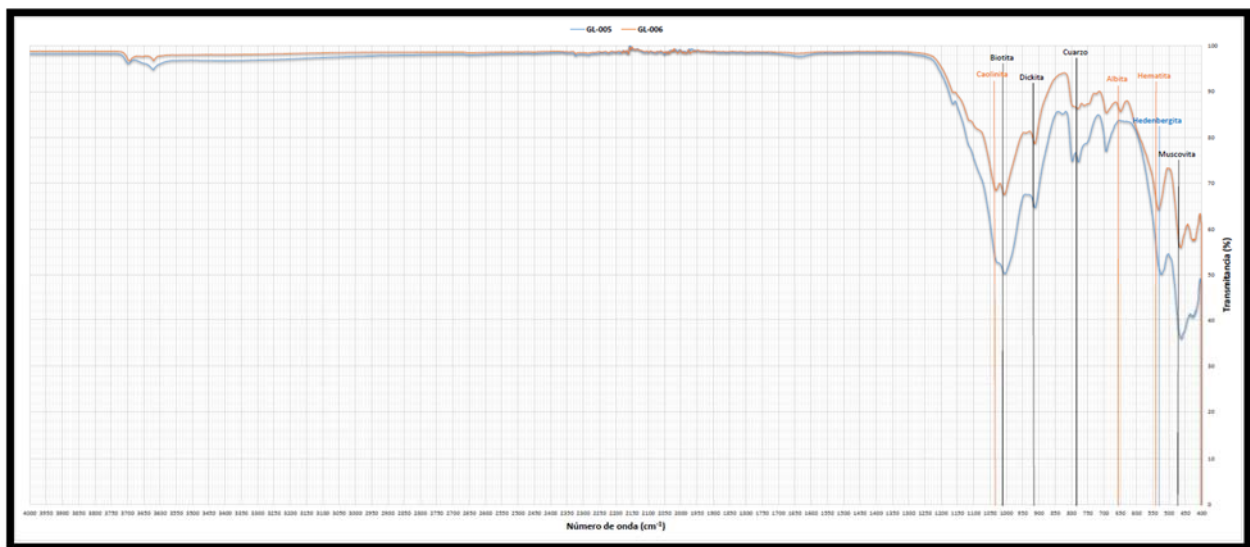
- ✓ **Muestra GL-005 de filita cuarcítica de la Formación Silgará. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, biotita, hedenbergita y dickita.

- **Formación Jordán**

- ✓ **Muestra GL-006 de limolita arenosa de la Formación Jordán. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, biotita, albita, caolinita, dickita y hematita.



*Figura 53.* Espectro infrarrojo de las muestras GL-005 de filita cuarcítica de la Formación Silgará y GL-006 de limolita arenosa de la Formación Jordán. Segmento 1 y 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.

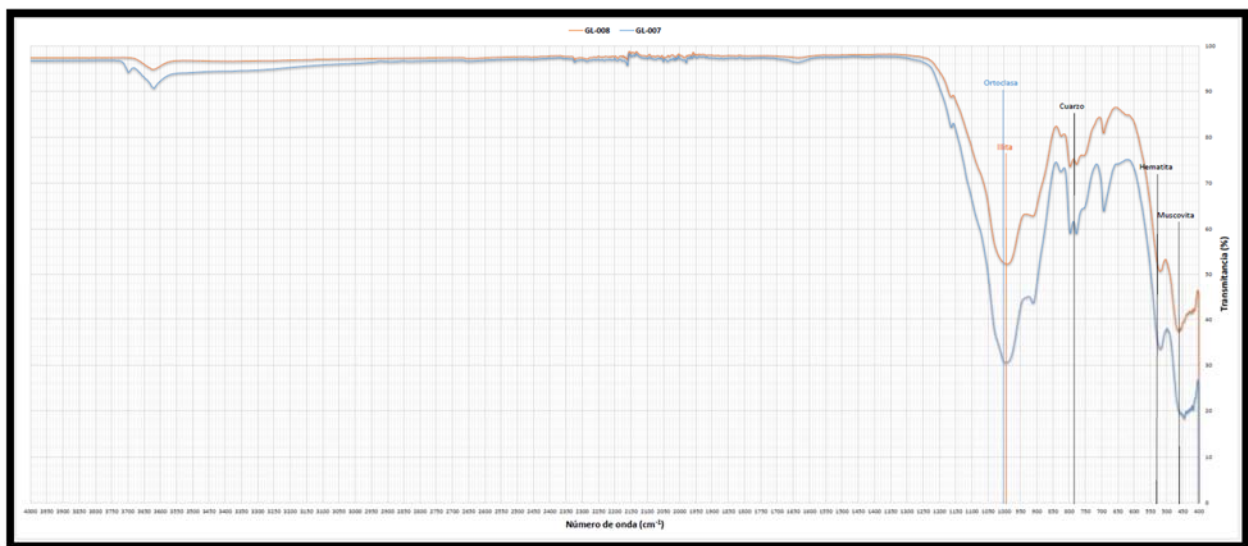
- ✓ **Muestra GL-007 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa y hematita.

- **Formación Girón**

- ✓ **Muestra GL-008 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, illita y hematita.



*Figura 54.* Espectro infrarrojo de las muestras GL-007 de limolita de la Formación Jordán y GL-008 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 1 y 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

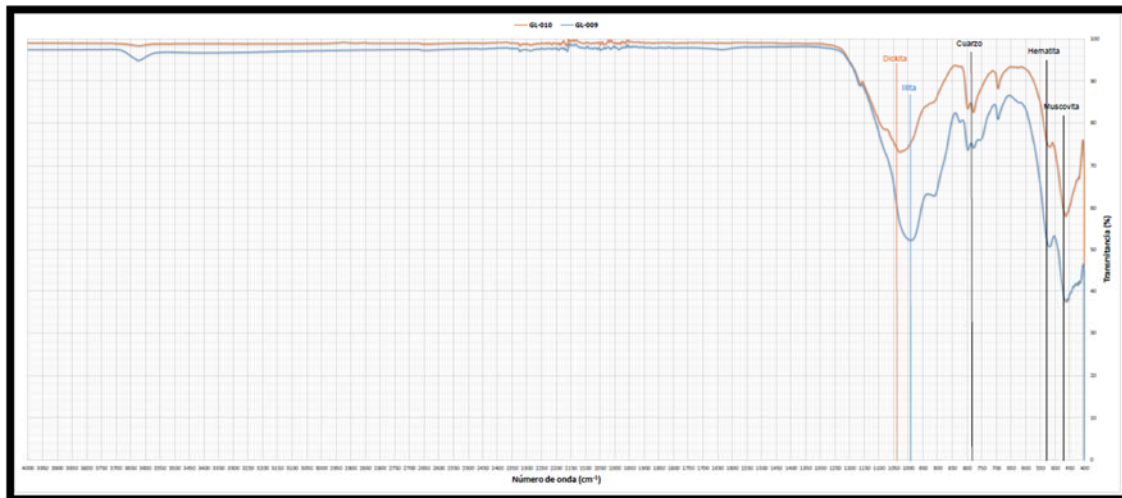
- ✓ **Muestra GL-009 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, illita y hematita.

- **Formación Los Santos**

- ✓ **Muestra GL-010 de conglomerado arenoso de la Formación Los Santos. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

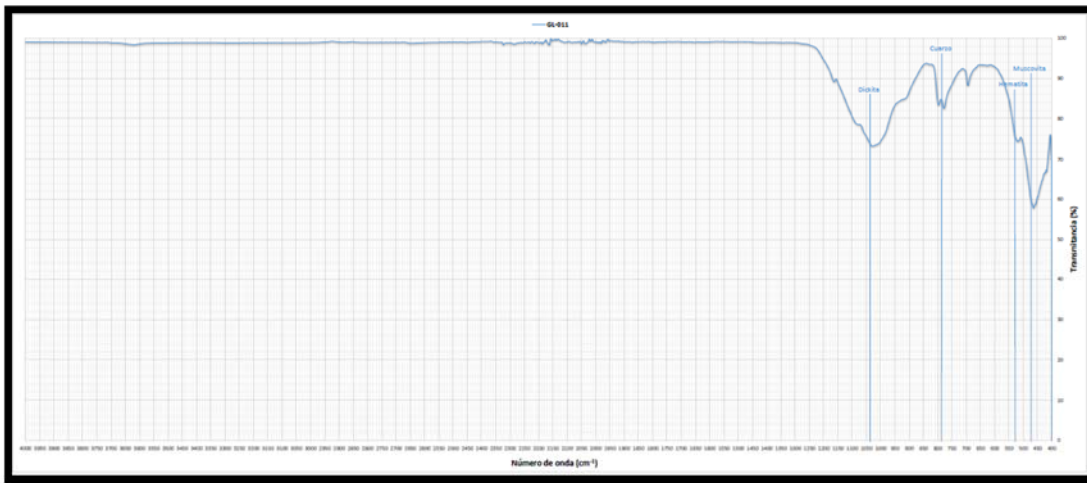
La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, dickita y hematita.



*Figura 55.* Espectro infrarrojo de las muestras GL-009 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón y GL-010 de conglomerado arenoso de la Formación Los Santos. Segmento 2 y 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

- ✓ **Muestra GL-011 de arenisca de grano fino de la Formación Los Santos. Segmento 5 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, dickita y hematita.



*Figura 56.* Espectro infrarrojo de la muestra GL-011 de arenisca de grano fino de la Formación Los Santos. Segmento 5 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

### 10.3 Difracción de rayos X (DRX)

La medición se realizó en un difractómetro de polvo de marca BRUKER modelo D8 ADVANCE con geometría DaVinci bajo las siguientes condiciones:

Tabla 3.

*Condiciones de medición utilizadas en el difractómetro de polvo.*

Condiciones de Medición	
Voltaje	40 (kV)
Corriente	(40 mA)
Rendija de Divergencia	0,6 mm
Rendijas Soller Primario y Secundario	2,5°
Muestreo	0,02035° 2Theta
Rango de Medición	2°-70° 2Theta
Radiación	CuK $\alpha$ l
Filtro	Níquel
Uso de Anti-dispersor de Aire	Si
Detector	Lineal LynxEye
Tipo de Barrido	A Pasos
Tiempo de Muestreo	0,8 Segundos

Posteriormente, para el análisis de los resultados arrojados por el difractómetro de polvo, se utilizó el software DIFFRAC.EVA, el cual es un software para evaluar los datos de difracción de rayos X (DRX). Éste software proporciona herramientas generales para evaluar picos, antecedentes y áreas, así como poderosas herramientas para trabajar con patrones y realizar búsquedas de las fases minerales en bases de datos. Para este proyecto de investigación se realizaron consultas en las bases de datos del año 2004 y 2012 incluidas en el software DIFFRAC.EVA. Siendo así, se tiene que:

- **Unidad Granito de Pescadero**
  - ✓ **Muestra GL-001 de riolita de la Unidad Granito de Pescadero. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa, albita, dickita, hematita y zircón.

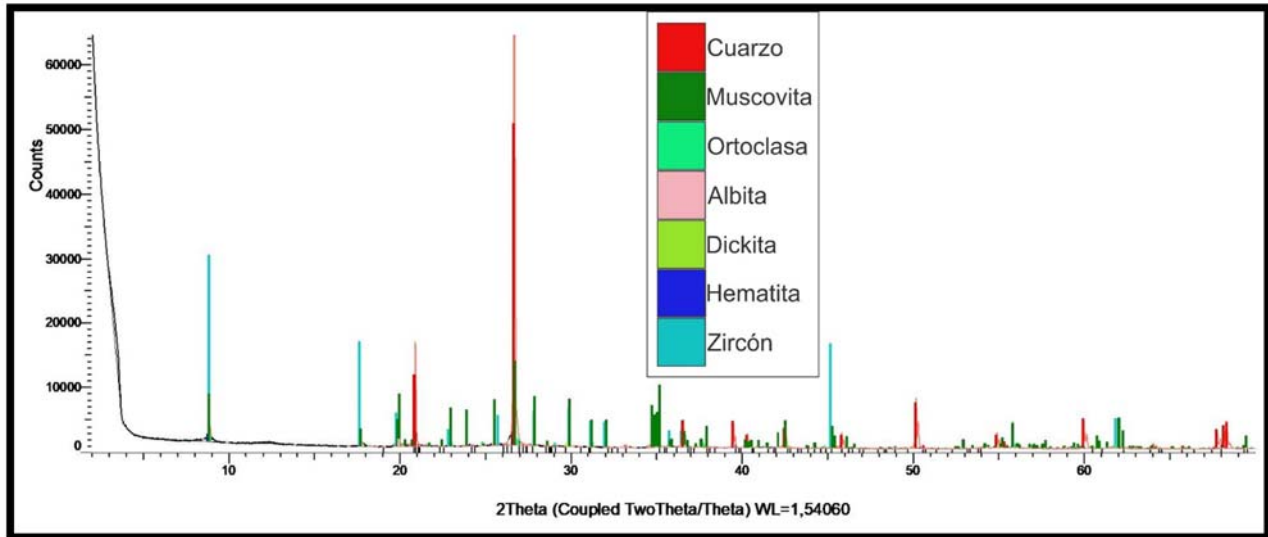


Figura 57. Difractograma de la muestra GL-001 de riolita de la Unidad Granito de Pescadero. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.

▪ **Formación Silgará**

- ✓ **Muestra GL-002 de meta-arenisca de la Formación Silgará. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, biotita, fengita y hematita.

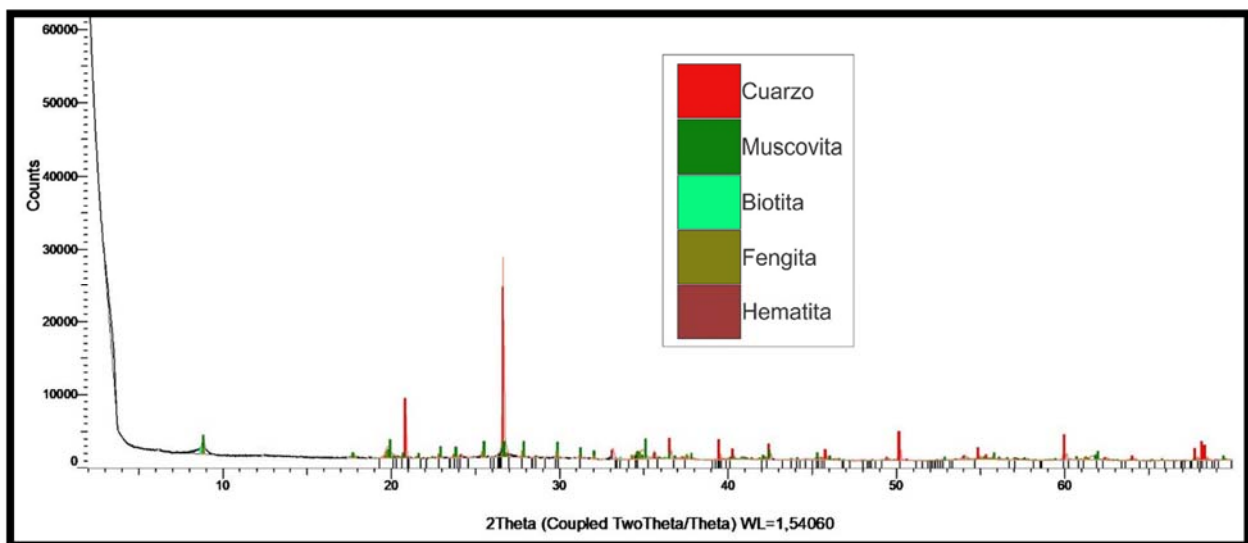


Figura 58. Difractograma de la muestra GL-002 de meta-arenisca de la Formación Silgará. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.

▪ **Formación Jordán**

- ✓ **Muestra GL-003 de conglomerado de la Formación Jordán. Segmento 4 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa.

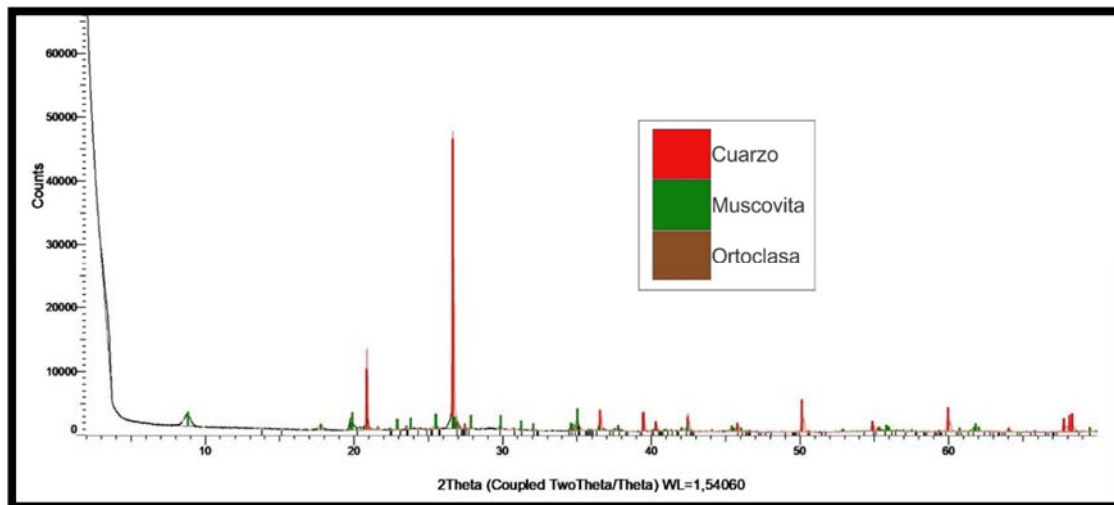


Figura 59. Difractograma de la muestra GL-003 de conglomerado de la Formación Jordán. Segmento 4 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.

- ✓ **Muestra GL-004 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 6 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa, albita e illita.

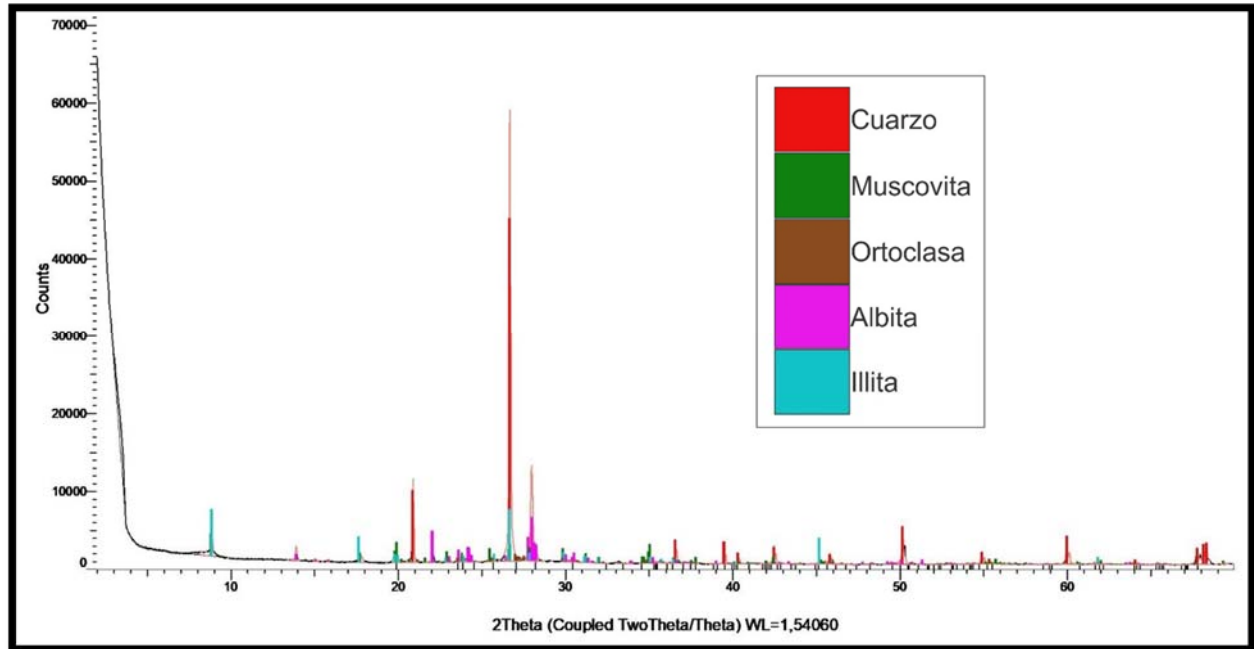


Figura 60. Difractograma de la muestra GL-004 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 6 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.

- **Formación Silgará**

- ✓ **Muestra GL-005 de filita cuarcítica de la Formación Silgará. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, biotita, cloritoide, hedenbergita, dickita e illita.

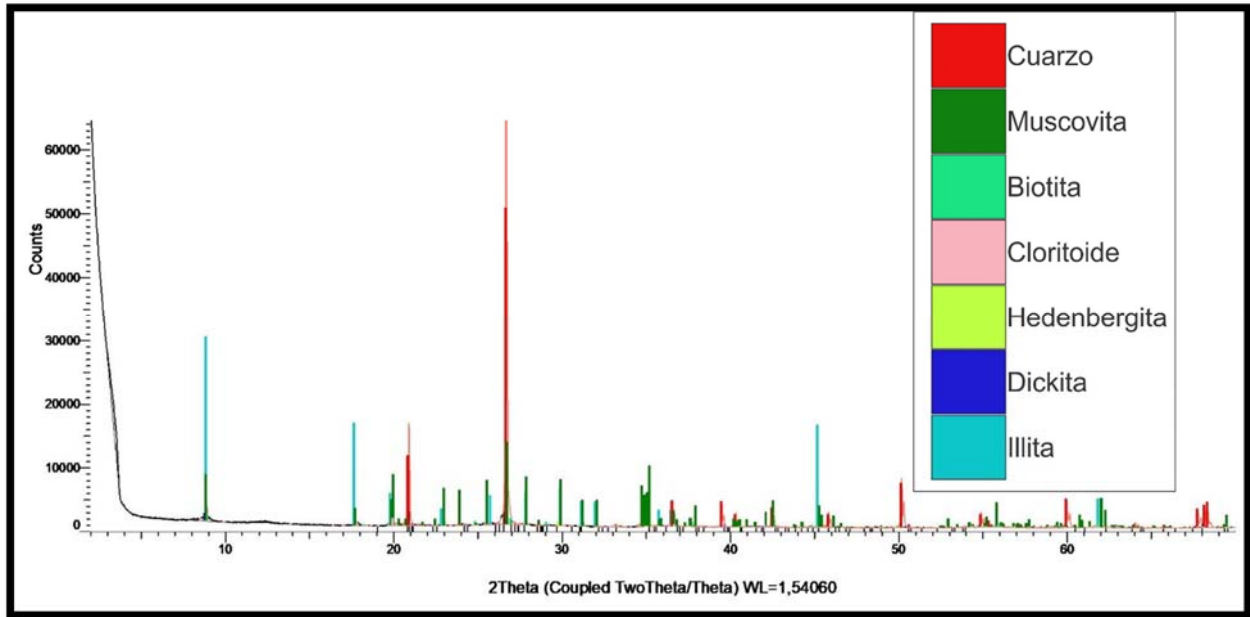


Figura 61. Difractograma de la muestra GL-005 de filita cuarcítica de la Formación Silgará. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.

▪ **Formación Jordán**

- ✓ **Muestra GL-006 de limolita arenosa de la Formación Jordán. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, albita, fengita, caolinita y hematita.

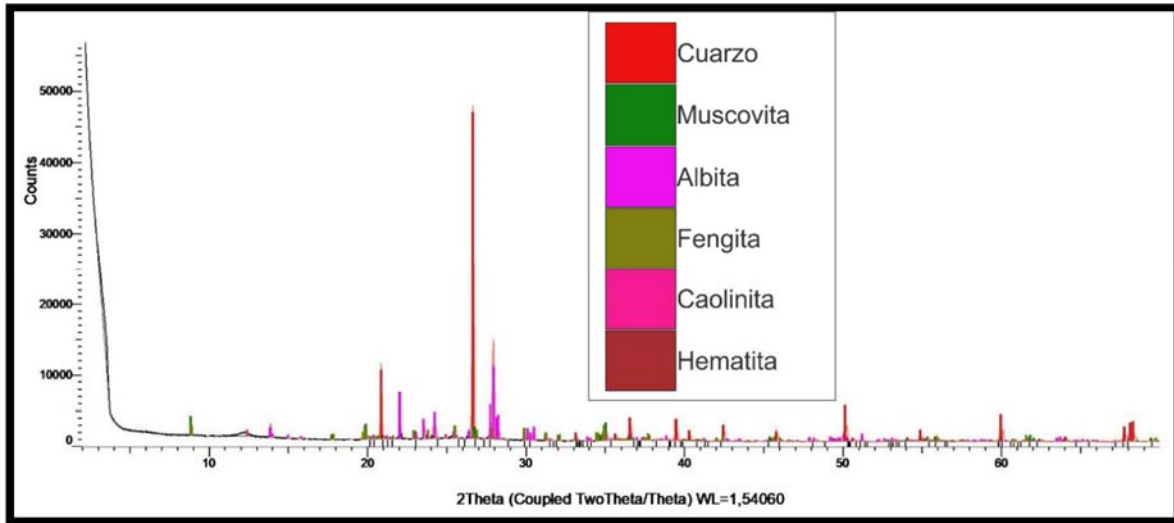


Figura 62. Difractograma de la muestra GL-006 de limolita arenosa de la Formación Jordán. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.

- ✓ **Muestra GL-007 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

La fase mineral encontrada es cuarzo y muscovita.

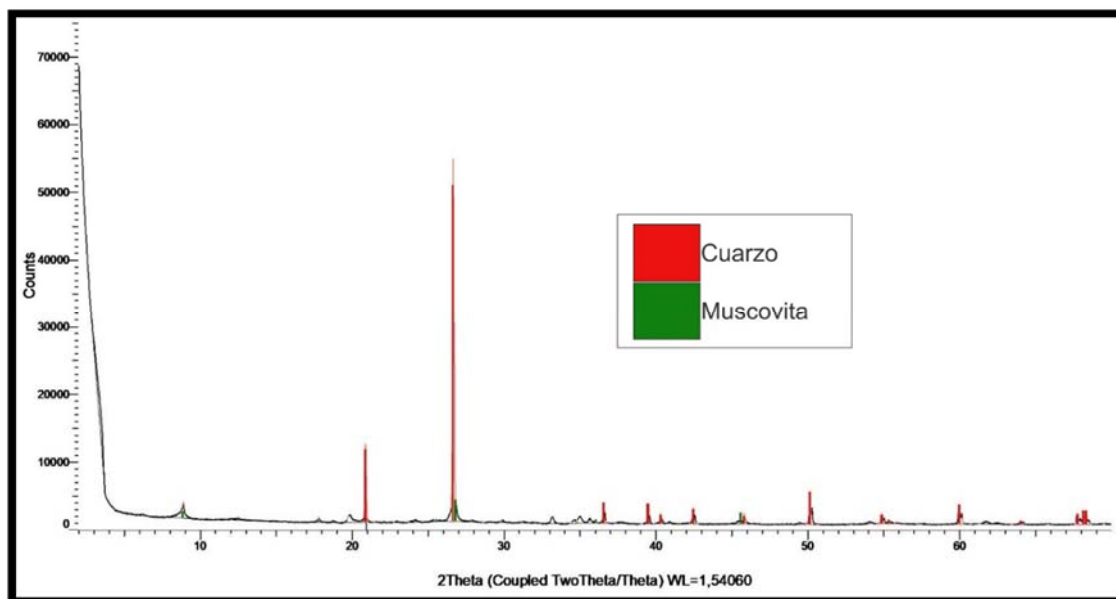
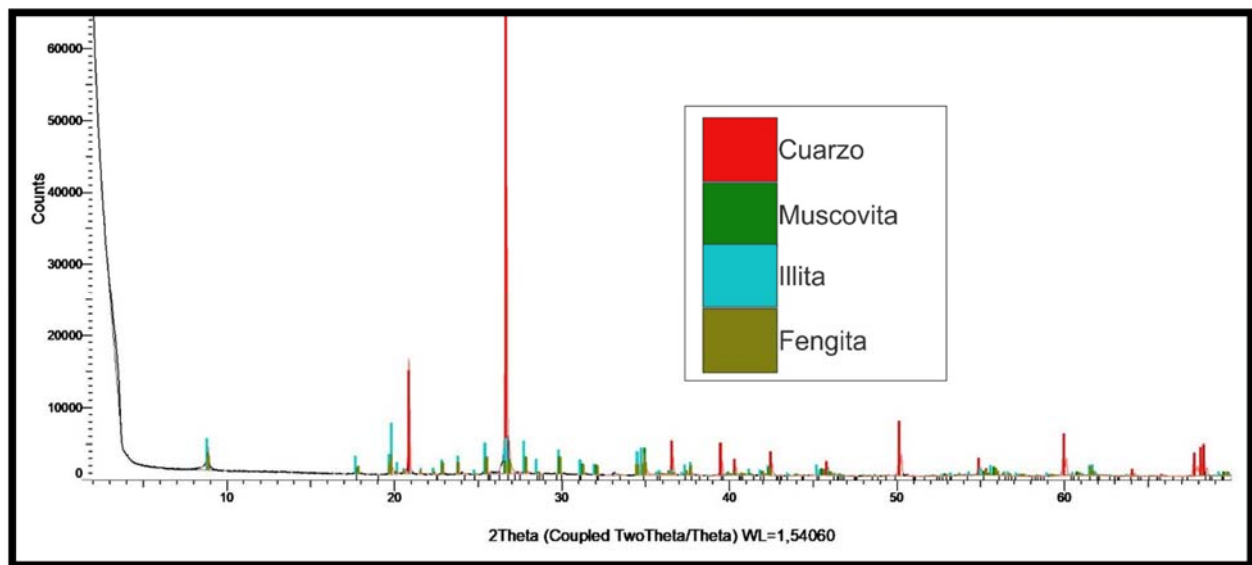


Figura 63. Difractograma de la muestra GL-007 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

- **Formación Girón**

- ✓ **Muestra GL-008 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, illita y fengita.



*Figura 64.* Diffractograma de la muestra GL-008 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

- ✓ **Muestra GL-009 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, illita y fengita.

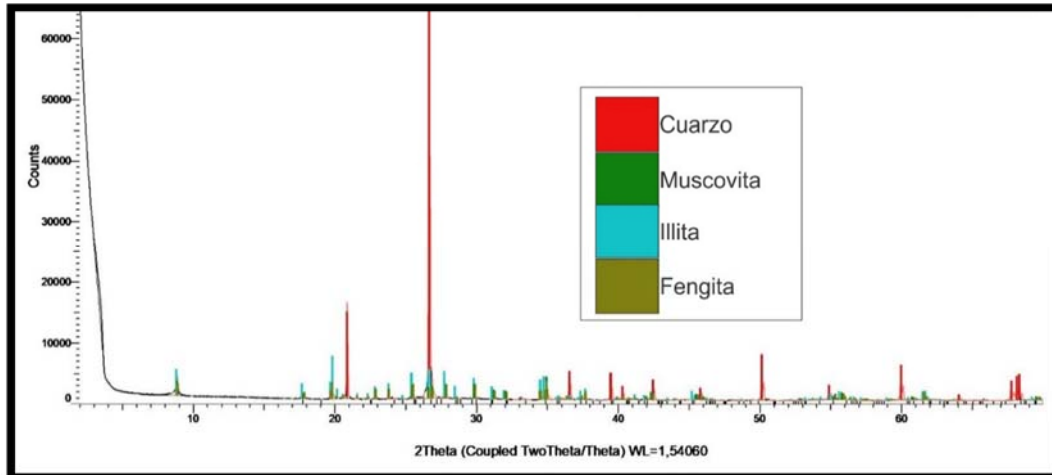


Figura 65. Difractograma de la muestra GL-009 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

- **Formación Los Santos**

- ✓ **Muestra GL-010 de conglomerado arenoso de la Formación Los Santos. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

La fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, illita y fengita.

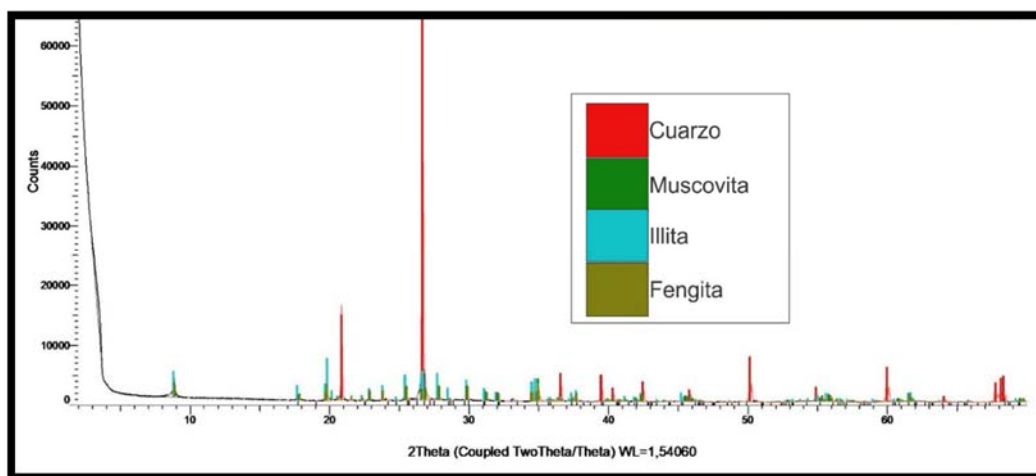
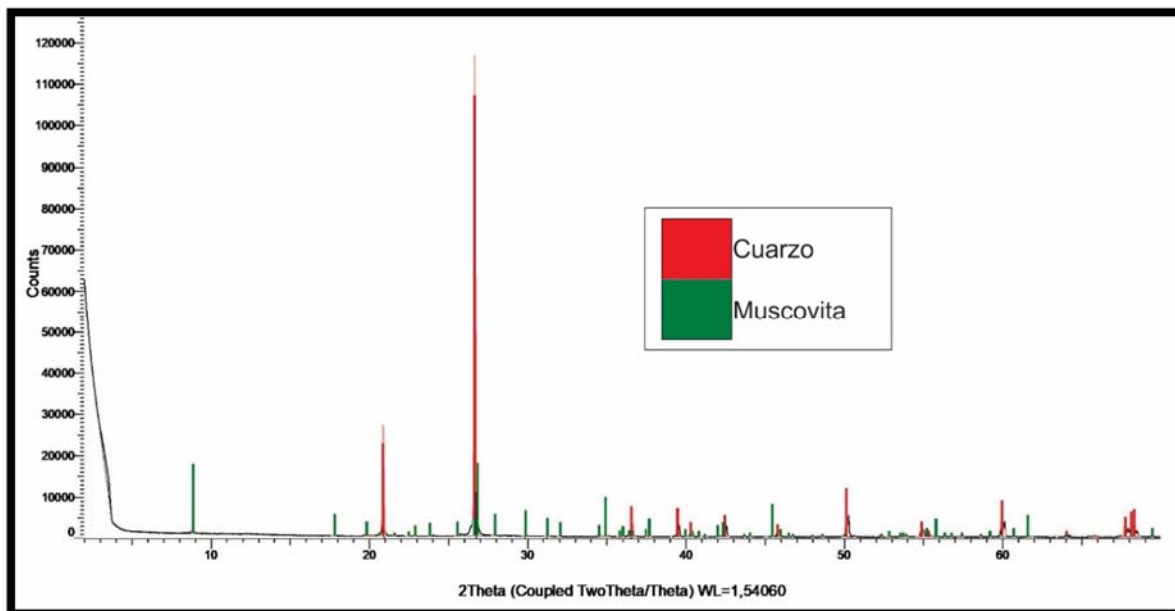


Figura 66. Difractograma de la muestra GL-010 de conglomerado arenoso de la Formación Los Santos. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

- ✓ **Muestra GL-011 de arenisca de grano fino de la Formación Los Santos. Segmento 5 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

La fase mineral encontrada es cuarzo y muscovita.



*Figura 67.* Diffractograma de la muestra GL-011 de arenisca de grano fino de la Formación Los Santos. Segmento 5 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.

Entre los diversos métodos del análisis instrumental que han sido introducidos durante las últimas décadas, en las investigaciones geológicas, las espectroscopias tanto infrarroja (IR) como Raman y la difracción de rayos X (DRX) juega un papel de particular importancia. Eso se debe al hecho de que la espectroscopia infrarroja (IR) y Raman y la difracción de rayos X no sólo suministran al geólogo datos de identificación de minerales, sino hoy en día representa también una herramienta principal en la petrografía y litología, siendo muchas veces los únicos métodos

capaz de entregar datos tanto cualitativos como cuantitativos sobre la composición mineralógica (composición de fases) de rocas.

A manera de comparación, según los datos cualitativos arrojados por las espectroscopias tanto infrarroja (IR) como Raman y la difracción de rayos X (DRX) sobre la composición mineralógica (composición de fases) de las rocas de los límites de las unidades geológicas Silgará, en concreto una muestra del Granito de Pescadero, Jordán, Girón y Los Santos que afloran sobre la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander se infiere que estos métodos de análisis instrumental se complementan, ya que los minerales encontrados se lograron evidenciar en muchos casos en los tres métodos analíticos aplicados en este proyecto de investigación, en algunos casos en dos de los tres métodos y en otros casos solo en uno de los tres métodos. Siendo así, se tiene que:

- **Unidad Granito de Pescadero**

- ✓ **Muestra GL-001 de riolita de la Unidad Granito de Pescadero. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

En espectroscopia Raman, la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa, albita, dickita, hematita, goethita y zircón; en espectroscopía infrarroja (IR), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, albita, dickita, hematita y goethita; y en difracción de rayos X (DRX), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa, albita, dickita, hematita y zircón.

- **Formación Silgará**

- ✓ **Muestra GL-002 de meta-arenisca de la Formación Silgará. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

En espectroscopía Raman, la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, albita, fengita y hematita; en espectroscopia infrarroja (IR), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, biotita y hematita; y en difracción de rayos X (DRX), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, biotita, fengita y hematita.

- **Formación Jordán**

- ✓ **Muestra GL-003 de conglomerado de la Formación Jordán. Segmento 4 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

En espectroscopia Raman, la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita y ortoclasa; en espectroscopia infrarroja (IR), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa y hematita; y en difracción de rayos X (DRX), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa.

- ✓ **Muestra GL-004 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 6 de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

En espectroscopia Raman, la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa, albita e illita; en espectroscopia infrarroja (IR), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa, albita y hematita; y en difracción de rayos X (DRX), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa, albita e illita.

- **Formación Silgará**

- ✓ **Muestra GL-005 de filita cuarcítica de la Formación Silgará. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.**

En espectroscopia Raman, la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, cloritoide, hedenbergita, fengita, dickita, illita y hematita; en espectroscopia infrarroja (IR), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, biotita, hedenbergita y dickita; y en difracción de rayos X (DRX), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, biotita, cloritoide, hedenbergita, dickita e illita.

- **Formación Jordán**

- ✓ **Muestra GL-006 de limolita arenosa de la Formación Jordán. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.**

En espectroscopia Raman, la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, albita, fengita, caolinita y hematita; en espectroscopia infrarroja (IR), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, biotita, albita, caolinita, dickita y hematita; y en difracción de rayos X (DRX), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, albita, fengita, caolinita y hematita.

- ✓ **Muestra GL-007 de limolita de la Formación Jordán. Segmento 1 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

En espectroscopia Raman, la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa, dickita, illita y hematita; en espectroscopia infrarroja (IR), la fase mineral encontrada es

cuarzo, muscovita, ortoclasa y hematita; y en difracción de rayos X (DRX), la fase mineral encontrada es cuarzo y muscovita.

- **Formación Girón**

- ✓ **Muestra GL-008 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

En espectroscopia Raman, la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, ortoclasa e illita; en espectroscopia infrarroja (IR) la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, illita y hematita; y en difracción de rayos X (DRX), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, illita y fengita.

- ✓ **Muestra GL-009 de conglomerado arenolodoso de la Formación Girón. Segmento 2 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

En espectroscopia Raman, la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, albita, fengita, illita y hematita; en espectroscopia infrarroja (IR), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, dickita y hematita; y en difracción de rayos X (DRX), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, illita y fengita.

- **Formación Los Santos**

- ✓ **Muestra GL-010 de conglomerado arenoso de la Formación Los Santos. Segmento 3 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

En espectroscopia Raman, la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, dickita, illita y hematita; en espectroscopia infrarroja (IR), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, dickita y hematita; y en difracción de rayos X (DRX), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, illita y fengita.

- ✓ **Muestra GL-011 de arenisca de grano fino de la Formación Los Santos. Segmento 5 de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

En espectroscopia Raman, la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, dickita y hematita; en espectroscopia infrarroja (IR), la fase mineral encontrada es cuarzo, muscovita, dickita y hematita; y en difracción de rayos X (DRX), la fase mineral encontrada es cuarzo y muscovita.

## **11. Facies**

De acuerdo con Selley (1970), una facies es un conjunto de rocas que puede ser definido y separado de otros por su geometría, litología, estructuras sedimentarias, fósiles, entre otras características,

por lo tanto, a continuación, se determinan y se describen las facies de las columnas estratigráficas levantadas a lo largo de la vía que comunica al sector de Tres Esquinas del Municipio de Piedecuesta con el Peaje La Punta del Municipio de Los Santos en el departamento de Santander, para posteriormente determinar la asociación de facies y con esto, el ambiente de depositación de los sedimentos.

Después de haber realizado el levantamiento de las columnas estratigráficas de las Veredas El Volador, Blanquiscal Bajo y Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta a lo largo de la vía que comunica al sector de Tres Esquinas del Municipio de Piedecuesta con el Peaje La Punta del Municipio de Los Santos en el departamento de Santander, se identificaron para la Formación Los Santos, 5 facies lodosas (limolita), 26 facies arenosas y 3 facies conglomeráticas; para la Formación Girón, 1 facie conglomerática; para la Formación Jordán, 17 facies lodosas (arcillolita, lodolita y limolita), 2 facies calcáreas, 9 facies arenosas y 4 facies conglomeráticas; para la Unidad Granito de Pescadero, 1 facie volcánica; y para la Formación Silgará, 2 facies metamórficas.

Tabla 4.

*Relación de las facies con las unidades geológicas aflorantes en la zona de estudio.*

Facies	Formación Silgará	Unidad Granito de Pescadero	Formación Jordán	Formación Girón	Formación Los Santos
Arcillolita					
Arcillolita con bioturbación					
Arcillolita arenosa					
Lodolita					
Lodolita arenosa con bioturbación					
Lodolita conglomerática					
Lodolita conglomerática con bioturbación					
Limolita					
Limolita con laminación plano paralela continua					
Limolita con bioturbación					
Limolita con venas de calcita					
Limolita con venas y nódulos de calcita					
Limolita con venas de calcita y bioturbación					

Facie	Formación Silgará	Unidad Granito de Pescadero	Formación Jordán	Formación Girón	Formación Los Santos
Limolita con venas y nódulos de calcita y bioturbación			■		
Limolita arenosa			■		■
Limolita arenosa con bioturbación			■		
Limolita arenosa con gradación normal			■		■
Limolita arenosa con laminación plano paralela continua					■
Limolita arenosa con grietas de desecación			■		
Limolita calcárea con venas de calcita			■		
Limolita calcárea con venas de calcita y bioturbación			■		
Arenisca de grano muy fino			■		
Arenisca de grano muy fino con laminación paralela			■		
Arenisca de grano muy fino con laminación paralela y venas de calcita			■		
Arenisca de grano fino con gradación inversa			■		
Arenisca de grano fino con grietas de desecación					■
Arenisca de grano fino con laminación plano paralela continua					■
Arenisca de grano fino con laminación plano paralela discontinua					■
Arenisca de grano fino a medio con gradación normal					■
Arenisca de grano fino a medio con laminación cruzada					■
Arenisca lodosa de grano muy fino con laminación cruzada					■
Arenisca lodosa de grano muy fino con laminación plano paralela continua					■
Arenisca lodosa de grano fino			■		■
Arenisca lodosa de grano fino con bioturbación					■
Arenisca lodosa de grano fino con bioturbación y laminación plano paralela continua					■
Arenisca lodosa de grano fino con laminación cruzada					■
Arenisca lodosa de grano fino con laminación ondulosa					■
Arenisca lodosa de grano fino con laminación plano paralela continua					■
Arenisca lodosa de grano fino con laminación plano paralela discontinua					■
Arenisca de grano medio			■		
Arenisca lodosa de grano medio			■		
Arenisca lodosa de grano medio con laminación plano paralela continua					■

Facie	Formación Silgará	Unidad Granito de Pescadero	Formación Jordán	Formación Girón	Formación Los Santos
Arenisca lodosa de grano grueso a muy grueso con gradación normal y laminación ondulosa					
Arenisca de grano medio con laminación ondulosa					
Arenisca de grano medio con laminación cruzada					
Arenisca de grano medio con gradación normal					
Arenisca de grano medio con grietas de desecación					
Arenisca de grano medio con laminación plano paralela continua					
Arenisca de grano medio con laminación plano paralela discontinua					
Arenisca de grano medio con laminación paralela y bioturbación					
Arenisca de grano muy grueso con gradación normal					
Arenisca de grano muy grueso con gradación normal y laminación ondulosa					
Arenisca de grano muy grueso					
Arenisca de grano muy grueso con laminación plano paralela continua					
Conglomerado con gránulos y guijas					
Conglomerado con guijas					
Paraconglomerado con guijas y guijarros					
Conglomerado arenolodoso con gránulos					
Conglomerado arenolodoso con guijas					
Conglomerado arenolodoso con guijas y guijarros y gradación normal					
Conglomerado arenoso con gránulos y guijas y gradación normal					
Conglomerado arenoso con guijas y laminación cruzada					
Riolita					
Meta-arenisca					
Filita Cuarcítica					

Tabla 5.

Relación de facies con las columnas estratigráficas levantadas.

FACIES \ COLUMNA	VEREDA EL VOLADOR	VEREDA BLANQUISCAL BAJO	VEREDA BLANQUISCAL ALTO - SECTOR DEL PEAJE LA PUNTA
Arcillolita			
Arcillolita con bioturbación			
Arcillolita arenosa			
Lodolita			
Lodolita arenosa con bioturbación			
Lodolita conglomerática			
Lodolita conglomerática con bioturbación			
Limolita			
Limolita con laminación plano paralela continua			
Limolita con bioturbación			
Limolita con venas de calcita			
Limolita con venas y nódulos de calcita			
Limolita con venas de calcita y bioturbación			
Limolita con venas y nódulos de calcita y bioturbación			
Limolita arenosa			
Limolita arenosa con bioturbación			
Limolita arenosa con gradación normal			
Limolita arenosa con laminación plano paralela continua			
Limolita arenosa con grietas de desecación			
Limolita calcárea con venas de calcita			
Limolita calcárea con venas de calcita y bioturbación			
Arenisca de grano muy fino			
Arenisca de grano muy fino con laminación paralela			
Arenisca de grano muy fino con laminación paralela y venas de calcita			
Arenisca de grano fino con gradación inversa			
Arenisca de grano fino con grietas de desecación			
Arenisca de grano fino con laminación plano paralela continua			
Arenisca de grano fino con laminación plano paralela discontinua			
Arenisca de grano fino a medio con gradación normal			
Arenisca de grano fino a medio con laminación cruzada			
Arenisca lodosa de grano muy fino con laminación cruzada			
Arenisca lodosa de grano muy fino con laminación plano paralela continua			

FACIES	COLUMNA	VEREDA EL VOLADOR	VEREDA BLANQUISCAL BAJO	VEREDA BLANQUISCAL ALTO - SECTOR DEL PEAJE LA PUNTA
Arenisca lodosa de grano fino				
Arenisca lodosa de grano fino con bioturbación				
Arenisca lodosa de grano fino con bioturbación y laminación plano paralela continua				
Arenisca lodosa de grano fino con laminación cruzada				
Arenisca lodosa de grano fino con laminación ondulosa				
Arenisca lodosa de grano fino con laminación plano paralela continua				
Arenisca lodosa de grano fino con laminación plano paralela discontinua				
Arenisca de grano medio				
Arenisca lodosa de grano medio				
Arenisca lodosa de grano medio con laminación plano paralela continua				
Arenisca lodosa de grano grueso a muy grueso con gradación normal y laminación ondulosa				
Arenisca de grano medio con laminación ondulosa				
Arenisca de grano medio con laminación cruzada				
Arenisca de grano medio con gradación normal				
Arenisca de grano medio con grietas de desecación				
Arenisca de grano medio con laminación plano paralela continua				
Arenisca de grano medio con laminación plano paralela discontinua				
Arenisca de grano medio con laminación paralela y bioturbación				
Arenisca de grano muy grueso con gradación normal				
Arenisca de grano muy grueso con gradación normal y laminación ondulosa				
Arenisca de grano muy grueso				
Arenisca de grano muy grueso con laminación plano paralela continua				
Conglomerado con gránulos y guijas				
Conglomerado con guijas				
Paraconglomerado con guijas y guijarros				
Conglomerado arenolodoso con gránulos				
Conglomerado arenolodoso con guijas				
Conglomerado arenolodoso con guijas y guijarros y gradación normal				
Conglomerado arenoso con gránulos y guijas y gradación normal				
Conglomerado arenoso con guijas y laminación cruzada				
Riolita				

FACIES		COLUMNA		
		VEREDA EL VOLADOR	VEREDA BLANQUISCAL BAJO	VEREDA BLANQUISCAL ALTO - SECTOR DEL PEAJE LA PUNTA
Meta-arenisca				
Filita Cuarcítica				

**12. Asociación de Facies y Ambientes de Depositación**

El estudio de las facies y de la asociación de facies sirve para reconstruir, a lo largo del tiempo geológico, la historia de depositación sedimentaria.

Para determinar y delimitar la asociación de facies de las unidades geológicas Silgará, Granito de Pescadero, Jordán, Girón y Los Santos representadas en las columnas estratigráficas de las Veredas El Volador, Blanquiscal Bajo y Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta, levantadas a lo largo de la vía que comunica al sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander, se describieron los contactos entre capas, texturalmente las secuencias granocrecientes y granodecrecientes, es decir, las secuencias negativas y positivas según Lombard (1956), respectivamente y la asociación de estratos, ya sean estratocrecientes o estratodecrecientes.

Según el estudio estratigráfico y sedimentológico de facies y asociación de facies de las unidades geológicas Silgará, Granito de Pescadero, Jordán, Girón y Los Santos, representadas en las columnas estratigráficas de las Veredas El Volador, Blanquiscal Bajo y Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta, levantadas a lo largo de la vía que comunica al sector de Tres Esquinas

del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander, se determinaron que los ambientes de depositación de sedimentos corresponden a ambientes continentales fluviales como depósitos de abanicos aluviales, ríos meandriiformes, ríos trenzados; ambientes lacustres, ambientes paludales y ambientes volcánicos.

- **Asociación de facies de la columna estratigráfica de la Vereda El Volador.**

- ✓ **Formación Silgará.**

Asociación de facies 1 (meta-arenisca):

Asociación facial de roca metasedimentaria caracterizada por facie meta-arenisca de grano fino de la Formación Silgará. Esta meta-arenisca presenta alta oxidación y se encuentra altamente alterada afectando su color original. También existen bloques rodados angulares y subangulares los cuales se encuentran altamente meteorizados y oxidados. Hacia la parte superior del segmento hay clastos angulares y subangulares entre 0,6 centímetros y 6 centímetros de tamaño, los cuales se encuentran altamente meteorizados y oxidados. Los bloques de arenisca de grano fino presentan alto contenido de muscovita, mientras que los clastos presentan alto contenido de cuarzo.

Ambiente: Metamorfismo regional de muy bajo grado, caracterizado por la deformación del protolito y la presencia de foliación (Tarbuck y Lutgens, 1999).

✓ **Unidad Granito de Pescadero.**

Asociación de facies 2 (riolita).

Asociación facial de roca ígnea caracterizada por facie Riolita del Granito de Pescadero, el cual es producto de pulsos tempranos del Jurásico. Este cuerpo ígneo presenta una geoforma redondeada y se encuentra altamente alterada afectando su color original, es decir, esta roca presenta un color de meteorización oscuro en algunos partes debido al fuerte control de erosión efectuado por aguas lluvias principalmente y la presencia de un patrón de fracturamiento hace que la textura de la roca carezca de una cohesión circunvecina con los minerales que la conforman. En escala macroscópica se puede observar que la roca presenta friabilidad, es decir, se disgrega muy fácil y se puede clasificar como una roca cristalina con textura porfirítica que mineralógicamente está constituida por cuarzo, clorita y arcillas.

Ambiente: Las riolitas se forman a partir de erupciones volcánicas como granito y ceniza y son el resultado del enfriamiento de un magma viscoso. Los magmas riolíticos pueden taponar la chimenea del volcán y provocar una sobrepresión por acumulación de gases.

✓ **Formación Silgará.**

Asociación de facies 3 (meta-arenisca).

Asociación facial de roca metasedimentaria caracterizada por facie meta-arenisca de grano fino de la Formación Silgará. Esta meta-arenisca presenta alta oxidación y se encuentra altamente alterada afectando su color original. También existen bloques rodados angulares y subangulares los cuales se encuentran altamente meteorizados y

oxidados. Hacia la parte superior del segmento hay clastos angulares y subangulares entre 0,6 centímetros y 6 centímetros de tamaño, los cuales se encuentran altamente meteorizados y oxidados. Los bloques de arenisca de grano fino presentan alto contenido de muscovita, mientras que los clastos presentan alto contenido de cuarzo.

Ambiente: Metamorfismo regional de muy bajo grado, caracterizado por la deformación del protolito y la presencia de foliación (Tarbuck y Lutgens, 1999).

✓ **Formación Jordán.**

Asociación de facies 4 (conglomerado con guijas).

Asociación facial con secuencia homogénea de facie de conglomerado con guijas de hasta 4 milímetros que presenta geometría irregular y texturalmente granos angulares a subangulares, pobremente calibrado y contacto longitudinal entre estos. Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 20% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 18%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 22%, 41% y 37% respectivamente (Folk, 1974). La capa de conglomerado se encuentra altamente fracturada y presenta moderada meteorización.

Ambiente: Depósito de zona proximal de abanico aluvial, caracterizado por presentar acumulación de conglomerados.

Asociación de facies 5 (conglomerado con guijas, conglomerado arenolodoso con guijas, arenisca de grano medio).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de conglomerado con guijas de hasta 4 milímetros que presenta geometría irregular y texturalmente granos angulares a subangulares, pobremente calibrado y contacto longitudinal entre estos. Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 20% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 18%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 22%, 41% y 37% respectivamente (Folk, 1974), seguidamente de conglomerado arenolodoso con guijas de hasta 4 milímetros que presenta geometría irregular y texturalmente granos angulares a subangulares, pobremente calibrado y contacto longitudinal entre estos.

Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 23% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 19%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 24%, 43% y 33% respectivamente (Folk, 1974), posteriormente de arenisca de grano medio que presenta geometría irregular y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos.

Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 28% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 10%. Composicionalmente es una Litarenita feldespática con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 22%, 31% y 47% respectivamente (Folk, 1974). Las capas de conglomerado, conglomerado arenolodoso y arenisca se encuentran altamente fracturadas y presentan moderada meteorización.

Ambiente: Depósito de barra de canal, caracterizado por la progresiva disminución del tamaño de grano hacia las facies superiores, es decir, de gravas a arenas.

Asociación de facies 6 (conglomerado arenolodoso con guijas, conglomerado con guijas).

Asociación facial con secuencia granocreciente, es decir, negativa según Lombard (1956) de facies de conglomerado arenolodoso con guijas de hasta 4 milímetros que presenta geometría irregular y texturalmente granos angulares a subangulares, pobremente calibrado y contacto puntual y flotante entre estos. Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 18% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 14%.

Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 29%, 28% y 43% respectivamente (Folk, 1974), seguidamente de conglomerado con guijas de hasta 16 milímetros que presenta geometría irregular y texturalmente granos subredondeados, pobremente calibrado y contacto puntual y flotante entre estos. Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 38% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 18%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 35%, 32% y 33% respectivamente (Folk, 1974). Las capas de conglomerado arenolodoso y conglomerado se encuentran altamente fracturadas y presentan moderada meteorización.

Ambiente: Depósito de zona proximal de abanico aluvial, caracterizado por presentar acumulación de conglomerados.

Asociación de facies 7 (arenisca de grano medio, limolita arenosa, limolita arenosa con gradación normal).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de arenisca de grano medio que presenta geometría tabular y texturalmente granos subredondeados, regularmente calibrado y contacto longitudinal y puntual entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 23% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 13%.

Composicionalmente es una Arcosa lítica con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 29%, 46% y 25% respectivamente (Folk, 1974), seguidamente de limolita arenosa (limo 71%; arena 29%) (Folk, 1974), posteriormente de limolita arenosa (limo 69%; arena 31%) (Folk, 1974), la cual presenta gradación normal. Las capas de arenisca y limolita arenosa se encuentran altamente fracturadas y presentan moderada meteorización.

Ambiente: Depósito de zona media y distal de abanico aluvial, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría media y fina.

Asociación de facies 8 (conglomerado con gránulos y guijas).

Asociación facial con secuencia homogénea de facie de conglomerado con gránulos y guijas de hasta 4 milímetros que presenta texturalmente granos angulares a subangulares, pobremente calibrado y contacto longitudinal entre estos. Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 47% y cemento

ferruginoso con un porcentaje de 25%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 42%, 32% y 24% respectivamente (Folk, 1974). La capa de conglomerado se encuentra altamente fracturada y presenta moderada meteorización.

Ambiente: Depósito de zona proximal de abanico aluvial, caracterizado por presentar acumulación de conglomerados.

Asociación de facies 9 (arenisca de grano muy grueso, limolita arenosa).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de arenisca de grano muy grueso que presenta geometría irregular y texturalmente granos angulares a subangulares, pobremente calibrado y contacto puntual y flotante entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 28% y cemento silíceo con un porcentaje de 20%. Composicionalmente es una Arcosa lítica con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 32%, 38% y 30% respectivamente (Folk, 1974), seguidamente de limolita arenosa (limo 70%; arena 30%). Las capas de arenisca y limolita arenosa se encuentran altamente fracturadas y presentan meteorización.

Ambiente: Depósito de zona proximal y media de abanico aluvial, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría gruesa y media.

Asociación de facies 10 (paraconglomerado con guijas y guijarros, limolita).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de paraconglomerado lítico con guijas y guijarros de hasta 64 milímetros que presenta texturalmente granos subredondeados a redondeados, pobremente calibrado y contacto longitudinal y flotante entre estos. Este paraconglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 43% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 21%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca con porcentaje de 42%, 30% y 28% respectivamente (Folk, 1974).

Esta capa de paraconglomerado está orientada en dirección N57°W y las guijas y guijarros de este paraconglomerado son pórfidos provenientes del granito de pescadero, seguidamente de limolita. Las capas de paraconglomerado y limolita se encuentran altamente fracturadas y presentan meteorización.

Ambiente: Depósito de abanico aluvial, caracterizado por una sucesión vertical de facies características de una zona de pie intermedio y externo con materiales conglomeráticos alternando con lutíticos (Cabrera, Colombo y Robles, 1985).

Asociación de facies 11 (paraconglomerado con guijas y guijarros, limolita arenosa con bioturbación, limolita con bioturbación).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de paraconglomerado lítico con guijas y guijarros de hasta 64 milímetros que presenta texturalmente granos subredondeados, pobremente calibrado y

contacto longitudinal y flotante entre estos. Este paraconglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 41% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 19%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con porcentaje de 38%, 32% y 30% respectivamente (Folk, 1974).

Esta capa de paraconglomerado está orientada en dirección N61°W y las guijas y guijarros de este paraconglomerado son pórfidos provenientes del granito de pescadero, seguidamente de limolita arenosa (limo 69%; arena 31%) (Folk, 1974), la cual presenta bioturbación, posteriormente de limolita, la cual presenta bioturbación. Las capas de paraconglomerado y limolita arenosa se encuentran altamente fracturadas y presentan meteorización.

Ambiente: Depósito de abanico aluvial, caracterizado por una sucesión vertical de facies características de una zona de pie intermedio y externo con materiales conglomeráticos alternando con lutíticos (Cabrera, Colombo y Robles, 1985).

*Asociación de facies 12 (limolita arenosa, lodolita conglomerática).*

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de limolita arenosa (limo 67%; arena 33%) (Folk, 1974), la cual presenta espejos y estrías de falla de dirección N16°E, seguidamente de lodolita conglomerática (limo 38%; arcilla 38%; grava 24%). Las capas de limolita arenosa y lodolita conglomerática se encuentran altamente fracturadas y presentan meteorización.

Ambiente: Depósito de abanico aluvial, caracterizado por una sucesión vertical de facies características de una zona de pie intermedio y externo con materiales lutíticos (Cabrera, Colombo y Robles, 1985).

Asociación de facies 13 (limolita, limolita arenosa, limolita con bioturbación).

Asociación facial con secuencia granocreciente, es decir, negativa según Lombard (1956) de facies de limolita, seguidamente de limolita arenosa (limo 78%; arena 14%, arcilla 8%), posteriormente de limolita, la cual presenta bioturbación y oxidación, luego de limolita, seguidamente de limolita arenosa (limo 80%; arena 14%; arcilla 6%).

Ambiente: Depósito lacustre, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina con bioturbación, típico de este ambiente de baja energía (Arche, 2010).

Asociación de facies 14 (lodolita arenosa con bioturbación, lodolita conglomerática con bioturbación).

Asociación facial con secuencia granocreciente, es decir, negativa según Lombard (1956) de facies de lodolita arenosa (limo 38%; arcilla 36%; arena 26%), la cual presenta bioturbación, oxidación, seguidamente de lodolita conglomerática (limo 40%; arcilla 40%; grava 20%), la cual presenta bioturbación y oxidación.

Ambiente: Depósito lacustre, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina con bioturbación, típico de este ambiente de baja energía (Arche, 2010).

Asociación de facies 15 (limolita con bioturbación, limolita con venas y nódulos de calcita y bioturbación, limolita con venas y nódulos de calcita, arenisca de grano medio con laminación paralela y bioturbación).

Asociación facial con secuencia granocreciente, es decir, negativa según Lombard (1956) de facies de limolita, la cual presenta bioturbación, alta meteorización, oxidación, seguidamente de limolita, la cual tiene venas de calcita desde 0,2 centímetros hasta 0,4 centímetros de espesor y nódulos de calcita de hasta 3 centímetros de diámetro, presenta bioturbación y oxidación, posteriormente de limolita, la cual tiene venas de calcita desde 0,1 centímetros hasta 0,2 centímetros de espesor y nódulos de calcita de hasta 2 centímetros de diámetro, presenta recristalización y luego de areniscas de grano medio que presentan geometría tabular y texturalmente granos angulares y subangulares, regularmente calibrado y contacto longitudinal entre estos.

Estas areniscas presentan una matriz lodosa con un porcentaje de 33% y cemento silíceo con un porcentaje de 8%. Composicionalmente son Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 61%, 34% y 5% respectivamente (Folk, 1974). En estas capas de arenisca se logra evidenciar laminación paralela y bioturbación.

Ambiente: Depósito lacustre, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría media y fina con bioturbación, venas y nódulos de calcita y geometría tabular, típico de este ambiente de baja energía (Arche, 2010).

Asociación de facies 16 (limolita con venas de calcita y bioturbación, limolita con venas y nódulos de calcita, limolita, limolita con venas de calcita, arenisca de grano muy fino con laminación paralela y venas de calcita).

Asociación facial con secuencia granocreciente, es decir, negativa según Lombard (1956) de facies de limolita, la cual tiene venas de calcita y presenta bioturbación, seguidamente de limolita, la cual tiene venas de calcita y presenta bioturbación, posteriormente de limolita, la cual tiene venas y nódulos de calcita desde 6 centímetros hasta 9 centímetros de diámetro.

En estas capas de limolita, las venas de calcita tienen un espesor de hasta 0,2 centímetros, luego de limolita, la cual presenta estrías de falla, seguidamente de limolita, la cual tiene venas de calcita de hasta 0,3 centímetros de espesor y alto porcentaje en fragmentos de roca, presenta estrías de falla, posteriormente de areniscas de grano muy fino que presentan geometría tabular y texturalmente granos redondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos.

Estas areniscas presentan una matriz lodosa con un porcentaje desde 42% hasta 44% y cemento silíceo con un porcentaje desde 17% hasta 19%. Composicionalmente son Litarenita con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca desde 30% hasta 32%, 20% hasta 26% y 44% hasta 48% respectivamente (Folk, 1974). En estas capas de arenisca se logra evidenciar laminación paralela, estrías de falla con plano N80°E/28°SE y venas de calcita de hasta 0,2 centímetros de espesor.

Ambiente: Depósito lacustre, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina con bioturbación, venas y nódulos de calcita y geometría tabular, típico de este ambiente de baja energía (Arche, 2010).

Asociación de facies 17 (limolita arenosa, limolita con venas de calcita, limolita con venas y nódulos de calcita).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de limolita arenosa (limo 78%; arena 22%) (Folk, 1974), seguidamente de limolita, la cual tiene venas de calcita de hasta 0,3 centímetros de espesor, posteriormente de limolita arenosa (limo 63%; arcilla 19%; arena 18%), luego de limolita, la cual tiene venas de calcita desde 0,1 centímetros hasta 0,3 centímetros de espesor y nódulos de calcita de hasta 2 centímetros de diámetro.

Ambiente: Depósito lacustre, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina con venas y nódulos de calcita, típico de este ambiente de baja energía (Arche, 2010).

- **Asociación de facies de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo.**
  - ✓ **Formación Silgará.**

Asociación de facies 1 (filita cuarcítica).

Asociación facial de roca metamórfica caracterizada por facie filita cuarcítica de grano fino de la Formación Silgará. Esta filita cuarcítica presenta una dirección preferencial de foliación de N5°E/17NW, alta meteorización, oxidación, textura granolepidoblástica

y está definida por la orientación de los minerales constituyentes tales como muscovita, biotita, cuarzo, minerales opacos y minerales secundarios. Esta roca presenta alto fracturamiento y estrías y espejos de falla.

Ambiente: Metamorfismo regional de bajo grado, caracterizado por la deformación del protolito y la presencia de foliación (Tarbuck y Lutgens, 1999).

✓ **Formación Jordán.**

Asociación de facies 2 (limolita arenosa con bioturbación, arcillolita con bioturbación).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de limolita arenosa (limo 70%; arena 30%) (Folk, 1974) que presenta geometría tabular, estrías y espejos de falla, alta meteorización, seguidamente de arcillolita que presenta geometría tabular, estrías y espejos de falla, fisilidad, fragmentos de roca, fracturamiento alto y moderada meteorización. Las capas de limolita y arcillolita presentan bioturbación.

Ambiente: Depósito de lagos efímeros asociado a canales fluviales meandriiformes.

Asociación de facies 3 (limolita con bioturbación, limolita calcárea con venas de calcita y bioturbación, limolita calcárea con venas de calcita).

Asociación facial con secuencia homogénea de facies de limolita que presenta geometría tabular, seguidamente de limolita, posteriormente de limolita calcárea que presenta geometría tabular, venas de calcita de hasta 0,2 centímetros de espesor, oxidación, luego

de limolita, seguidamente de limolita calcárea que presenta geometría tabular y venas de calcita de hasta 0,3 centímetros. Las capas de limolitas presentan bioturbación.

Ambiente: Depósito de lagos efímeros asociado a canales fluviales meandriformes, caracterizado porque se puede generar roca calcárea con fauna debido a la precipitación de micrita en una masa de agua dulce con escasa energía mecánica. (Marren et al., Pla et al., como se citó en Arche, 2010).

Asociación de facies 4 (arcillolita arenosa, limolita).

Asociación facial con secuencia granocreciente, es decir, negativa según Lombard (1956) de facies de arcillolita arenosa (arcilla 65%; arena 35%) (Folk, 1974) que presenta geometría tabular, estrías y espejos de falla, seguidamente de limolita que presenta geometría tabular, posteriormente de arcillolita arenosa (arcilla 68%; arena 32%) (Folk, 1974), luego de limolita, seguidamente de arcillolita arenosa (arcilla 69%; arena 31%) (Folk, 1974), posteriormente de limolita que presenta geometría tabular, luego de arcillolita arenosa (arcilla 66%; arena 34%) (Folk, 1974), seguidamente de limolita, posteriormente de arcillolita arenosa (arcilla 67%; arena 33%) (Folk, 1974) que presenta geometría tabular, luego de limolita que presenta estrías y espejos de falla, seguidamente de arcillolita arenosa (arcilla 68%; arena 32%) (Folk, 1974), posteriormente de limolita que presenta geometría tabular. Las capas de arcillolita arenosa presentan alto fracturamiento y alta oxidación.

Ambiente: Depósito lacustre, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina y muy fina, típico de este ambiente de baja energía (Arche, 2010).

Asociación de facies 5 (arcillolita arenosa).

Asociación facial con secuencia homogénea de facie de arcillolita arenosa (arcilla 69%; arena 31%) (Folk, 1974) que presenta geometría tabular, alto fracturamiento y alta oxidación.

Ambiente: Depósito lacustre, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría muy fina, típico de este ambiente de baja energía (Arche, 2010).

Asociación de facies 6 (limolita, lodolita).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de limolita que presenta geometría tabular, seguidamente de lodolita que presenta geometría tabular. Las capas de limolita y lodolita presentan mediana a alta meteorización.

Ambiente: Depósito lacustre, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina y muy fina, típico de este ambiente de baja energía (Arche, 2010).

Asociación de facies 7 (limolita con bioturbación, limolita arenosa, limolita arenosa con grietas de desecación).

Asociación facial con secuencia granocreciente, es decir, negativa según Lombard (1956) de facies de limolita que presenta geometría tabular, bioturbación, seguidamente de limolita arenosa (limo 72%; arena 28%) (Folk, 1974) que presenta geometría tabular, estrías y espejos de falla, micropliegues, alto fracturamiento y oxidación, posteriormente de limolita que presenta geometría tabular, bioturbación, luego de limolita arenosa (limo

75%; arena 25%) (Folk, 1974) que presenta geometría tabular y grietas de desecación. Las capas de limolita y limolita arenosa presentan mediana a alta meteorización.

Ambiente: Depósito lacustre, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina y bioturbación, típico de este ambiente de baja energía (Arche, 2010).

*Asociación de facies 8 (limolita con bioturbación, arcillolita).*

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de limolita que presenta bioturbación, seguidamente de arcillolita que presenta geometría tabular. Las capas de limolita y arcillolita presentan mediana a alta meteorización.

Ambiente: Depósito lacustre, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina y muy fina, típico de este ambiente de baja energía (Arche, 2010).

*Asociación de facies 9 (limolita arenosa).*

Asociación facial con secuencia homogénea de facie de limolita arenosa (limo 70%; arena 30%) (Folk, 1974) que presenta geometría tabular y mediana a alta meteorización.

Ambiente: Depósito lacustre, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina, típico de este ambiente de baja energía (Arche, 2010).

Asociación de facies 10 (limolita arenosa, arenisca de grano muy fino).

Asociación facial con secuencia granocreciente, es decir, negativa según Lombard (1956) de facies de limolita arenosa (limo 75%; arena 25%) (Folk, 1974), seguidamente de arenisca de grano muy fino que presenta geometría tabular y texturalmente granos subangulares, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 35% y cemento silíceo con un porcentaje de 7%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 48%, 40% y 12% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Depósito de zona paludal asociado a pantanos, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina.

Asociación de facies 11 (limolita, arcillolita con bioturbación).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de limolita, seguidamente de arcillolita, la cual presenta bioturbación.

Ambiente: Depósito de zona paludal asociado a pantanos, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina y muy fina y bioturbación.

Asociación de facies 12 (arenisca de grano fino con gradación inversa, limolita).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de arenisca de grano fino que presenta geometría tabular, gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 22% y

cemento silíceo con un porcentaje de 10%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 68%, 26% y 6% respectivamente (Folk, 1974), seguidamente de limolita, posteriormente de arenisca de grano fino que presenta geometría tabular, gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos.

Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 24% y cemento silíceo con un porcentaje de 9%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 69%, 29% y 2% respectivamente (Folk, 1974), luego de limolita, seguidamente de arenisca de grano fino que presenta gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 25% y cemento silíceo con un porcentaje de 10%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 66%, 28% y 6% respectivamente (Folk, 1974), posteriormente de limolita.

Ambiente: Depósito de zona paludal asociado a pantanos, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina.

*Asociación de facies 13 (arenisca de grano fino con gradación inversa).*

Asociación facial con secuencia homogénea de facie de arenisca de grano fino que presenta gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 26% y cemento silíceo con un porcentaje de 11%. Composicionalmente

es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 67%, 29% y 4% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Depósito de zona paludal asociado a pantanos, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina.

- **Asociación de facies de la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta.**

- ✓ **Formación Jordán.**

Asociación de facies 1 (arcillolita arenosa, arenisca lodosa de grano medio, arenisca lodosa de grano fino).

Asociación facial con secuencia granocreciente, es decir, negativa según Lombard (1956) de facies de arcillolita arenosa (arcilla 68%; arena 32%) (Folk, 1974), seguidamente de arenisca lodosa de grano medio que presenta geometría tabular y texturalmente granos angulares a subangulares, pobremente calibrado y contacto puntual y flotante entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 38% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 15%.

Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 48%, 42% y 10% respectivamente (Folk, 1974), posteriormente de arcillolita arenosa (arcilla 65%; arena 35%) (Folk, 1974), luego de arenisca lodosa de grano fino que presenta geometría tabular y texturalmente granos angulares a subangulares, bien calibrado y contacto puntual y flotante entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 33% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 13%.

Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 47%, 41% y 12% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Depósito de llanura de inundación asociado a río meandriforme, caracterizado por pequeñas secuencias granocrecientes e intercalaciones de arcillolita arenosa con arenisca lodosa, lo que indica que el depósito se forma cuando la orilla de un meandro es quebrada, dando paso al flujo superior con sedimento de granulometría muy fina en suspensión y posteriormente al sedimento arenoso.

Asociación de facies 2 (limolita arenosa, arenisca de grano muy fino).

Asociación facial con secuencia granocreciente, es decir, negativa según Lombard (1956) de facies de limolita arenosa (limo 75%; arena 25%) (Folk, 1974), seguidamente de arenisca de grano muy fino que presenta geometría tabular y texturalmente granos subangulares, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 35% y cemento silíceo con un porcentaje de 7%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 48%, 40% y 12% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Depósito de zona paludal asociado a pantanos, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina.

Asociación de facies 3 (limolita, arcillolita con bioturbación).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de limolita, seguidamente de arcillolita, la cual presenta bioturbación.

Ambiente: Depósito de zona paludal asociado a pantanos, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina y muy fina y bioturbación.

Asociación de facies 4 (arenisca de grano fino con gradación inversa, limolita, arenisca de grano muy fino con laminación paralela).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de arenisca de grano fino que presenta geometría tabular, gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 22% y cemento silíceo con un porcentaje de 10%.

Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 68%, 26% y 6% respectivamente (Folk, 1974), seguidamente de limolita, posteriormente de arenisca de grano fino que presenta geometría tabular, gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 24% y cemento silíceo con un porcentaje de 9%.

Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 69%, 29% y 2% respectivamente (Folk, 1974), luego de limolita, seguidamente de arenisca de grano fino que presenta gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos. Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 25% y cemento silíceo con un porcentaje de 10%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 66%, 28% y 6% respectivamente (Folk, 1974),

posteriormente de limolita, luego de arenisca de grano fino que presenta gradación inversa y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos.

Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 26% y cemento silíceo con un porcentaje de 11%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 67%, 29% y 4% respectivamente (Folk, 1974), seguidamente de limolita, posteriormente de arenisca de grano muy fino que presenta geometría tabular, laminación paralela y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos.

Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 24% y cemento silíceo con un porcentaje de 10%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 68%, 27% y 5% respectivamente (Folk, 1974), luego de limolita, seguidamente de arenisca de grano muy fino que presenta geometría tabular, laminación paralela y texturalmente granos subredondeados, bien calibrado y contacto longitudinal entre estos.

Esta arenisca presenta una matriz lodosa con un porcentaje de 21% y cemento silíceo con un porcentaje de 15%. Composicionalmente es una Arcosa con porcentaje de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 37%, 51% y 12% respectivamente (Folk, 1974), posteriormente de limolita. Las capas de arenisca se encuentran altamente fracturadas, presentan baja meteorización y oxidación.

Ambiente: Depósito de zona paludal asociado a pantanos, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina.

✓ **Formación Girón.**

Asociación de facies 5 (conglomerado arenolodoso con guijas y guijarros y gradación normal).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de conglomerado arenolodoso con guijas y guijarros desde 8 milímetros hasta 64 milímetros que presenta geometría tabular, gradación normal y texturalmente granos subredondeados, pobremente calibrado y contacto flotante entre estos. Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 19% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 9%.

Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca con porcentaje de 38%, 32% y 30% respectivamente (Folk, 1974), seguidamente de conglomerado arenolodoso con guijas y guijarros desde 4 milímetros hasta 32 milímetros que presenta geometría tabular, gradación normal y texturalmente granos subredondeados, pobremente calibrado y contacto flotante entre estos. Este conglomerado presenta una matriz arenolodosa con un porcentaje de 17% y cemento ferruginoso con un porcentaje de 11%. Composicionalmente está constituido por cuarzo, feldespatos y fragmentos de roca con porcentaje de 36%, 34% y 30% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Depósito de zona proximal de abanico aluvial, caracterizado por presentar acumulación de conglomerados con clastos de forma angular y subangular y mal calibrado, escasa estructura sedimentaria y espesor de capas grueso (Scholle, 1982).

✓ **Formación Los Santos.**

**Miembro Inferior**

Asociación de facies 6 (conglomerado arenoso con gránulos y guijas y gradación normal, conglomerado arenoso con guijas y laminación cruzada).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de conglomerado arenoso con gránulos y guijas desde 2 milímetros hasta 16 milímetros que presentan geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, mal calibrados, arenosoportados con matriz arenolodosa con un porcentaje de 19% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 9% en promedio, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y gradación normal de guijas a gránulos.

Composicionalmente están constituidos por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con un porcentaje promedio de 28%, 45% y 27% respectivamente (Folk, 1974). Conglomerado arenoso con guijas de 16 milímetros que presentan geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, moderadamente calibrados, arenosoportados con matriz arenolodosa con un porcentaje de 17% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 10% en promedio, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y laminación cruzada. Composicionalmente están constituidos por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con un porcentaje promedio de 25%, 47% y 28% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Depósito de zona proximal de abanico aluvial, caracterizado por presentar acumulación de conglomerados con clastos de forma angular y subangular y mal calibrado, escasa estructura sedimentaria y espesor de capas grueso (Scholle, 1982).

Asociación de facies 7 (conglomerado arenoso con guijas y gránulos y gradación normal, arenisca de grano muy grueso con laminación plano paralela, conglomerado arenolodoso con gránulos).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de conglomerado arenoso con guijas y gránulos desde 2 milímetros hasta 16 milímetros que presentan geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, mal calibrados, arenosoportados con matriz arenolodosa con un porcentaje de 19% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 9% en promedio, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y gradación normal de gránulos a guijas.

Composicionalmente están constituidos por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con un porcentaje promedio de 28%, 45% y 27% respectivamente (Folk, 1974). Conglomerado arenolodoso con gránulos de 2 milímetros que presentan geometría tabular, texturalmente granos subredondeados, moderadamente calibrados, arenosoportados con matriz arenolodosa con un porcentaje de 20% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 11% en promedio, buena porosidad y contacto tangencial entre los granos.

Composicionalmente están constituidos por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con un porcentaje promedio de 30%, 44% y 26% respectivamente (Folk, 1974).

Arenisca de grano muy grueso que presentan geometría tabular y cuneiforme, texturalmente granos esféricos subangulares, moderadamente calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 18% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 10% en promedio, buena porosidad, contacto tangencial entre los granos y laminación plano paralela. Composicionalmente están constituidas por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con un porcentaje promedio de 82%, 13% y 5% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Típico de depósitos de abanico aluvial asociado a ríos trenzados en donde pudieron estar involucrados flujos de corrientes y de detritos. Estos depósitos muestran características de un abanico medio debido a la presencia de granos de tamaño grueso, pocas estructuras sedimentarias y mal selección de granos.

Asociación de facies 8 (arenisca lodosa de grano grueso a muy grueso con gradación normal y laminación ondulada, arenisca lodosa de grano medio con laminación plano paralela continua).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de arenisca lodosa de grano grueso a muy grueso que presentan geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 18% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 11% en promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos, gradación normal y laminación ondulada.

Composicionalmente están constituidas por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con un porcentaje promedio de 43%, 46% y 11% respectivamente (Folk, 1974).

Arenisca lodosa de grano medio que presentan geometría tabular y cuneiforme, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 15% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 11% en promedio, mala porosidad y laminación plano paralela continua. Composicionalmente están constituidas por cuarzo, feldespato y fragmentos de roca con un porcentaje de 40%, 47% y 13% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: se relaciona con un depósito de abanico aluvial distal, también asociada a ríos trezados por presentar facies principalmente arenosas, con granos de tamaño más finos en comparación al abanico aluvial medio y más estructuras sedimentarias.

*Asociación de facies 9 (arenisca de grano fino a medio con gradación normal, arenisca lodosa de grano muy fino con laminación cruzada).*

Asociación facial con secuencia granocreciente, es decir, negativa según Lombard (1956) de facies de arenisca de grano fino a medio que presentan geometría tabular y cuneiforme, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 14% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 8% en promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y gradación normal.

Composicionalmente se clasifican como Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 80%, 14% y 6% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca lodosa de grano muy fino que presentan geometría irregular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 13% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 7% en

promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y laminación cruzada. Composicionalmente se clasifican como Arcosa Lítica con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 71%, 22% y 7% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Está representado por facies arenosas y arenolodosas, con predominio de facies arenosas; se observan estructuras sedimentarias incipientes, capas masivas y laminación cruzada, lo cual puede reflejar un depósito de barra longitudinal a transversal asociado a ríos trezados, depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal y crevasse splay.

Asociación de facies 10 (arenisca de grano medio con gradación normal, arenisca lodosa de grano muy fino con laminación cruzada, limolita con laminación plano paralela continua).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de arenisca de grano fino a medio que presentan geometría tabular, texturalmente, granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 14% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 8% en promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y gradación normal.

Composicionalmente se clasifican como Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 80%, 14% y 6% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca lodosa de grano muy fino que presentan geometría irregular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 13% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 7% en

promedio, mala porosidad , contacto longitudinal entre los granos y laminación cruzada. Composicionalmente se clasifican como arcosa lítica con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 71%, 22% y 7% respectivamente (Folk, 1974). Limolitas con laminación plano paralela continua.

Ambiente: Depósito de barra longitudinal a transversal asociado a ríos trenzados, depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal.

### **Miembro Medio**

#### *Asociación de facies 11 (limolita, limolita arenosa con gradación normal).*

Asociación facial con secuencia homogénea de facies de limolita y limolita arenosa que presenta geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, lodosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 16% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 8% en promedio, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y gradación normal. Composicionalmente se clasifican como Subarcosa con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 85%, 9% y 6% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Depósito de zona paludal asociado a pantanos, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina.

Asociación de facies 12 (arenisca lodosa de grano fino con laminación plano paralela continua, arenisca de grano fino con laminación plano paralela discontinua).

Asociación facial con secuencia homogénea de arenisca de grano fino que presentan geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, moderadamente calibrados, arenosoportadas con matriz arenolodosa con un porcentaje de 26% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 8% en promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y laminación plano paralela discontinua.

Composicionalmente se clasifican como cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 95%, 3% y 2% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca lodosa de grano fino que presentan geometría tabular, texturalmente granos no esféricos subredondeados, moderadamente calibrados, arenosoportada con matriz lodosa con un porcentaje de 19% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 8% en promedio, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y laminación plano paralela continua. Composicionalmente se clasifican como Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 86%, 4% y 10% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Depósito de llanura de inundación asociado a río meandriforme, caracterizado por pequeñas secuencias granocrecientes lo que indica que el depósito se forma cuando la orilla de un meandro es quebrada, dando paso al flujo superior con sedimento de granulometría muy fina en suspensión y posteriormente al sedimento arenoso.

Asociación de facies 13 (arenisca lodosa de grano fino con laminación plano paralela continua, arenisca lodosa de grano muy fino con laminación plano paralela continua, limolita arenosa con gradación normal, limolita).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de limolita arenosa que presentan geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, lodosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 16% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 8% en promedio, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y gradación normal.

Composicionalmente se clasifican como Subarcosa con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 85%, 9% y 6% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca lodosa de grano muy fino que presentan geometría tabular, texturalmente granos no esféricos subredondeados, moderadamente calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 18% en promedio y cemento ferruginoso de 9% en promedio, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y laminación plano paralela continua.

Composicionalmente se clasifican como Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 84%, 7% y 9% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca lodosa de grano fino con geometría tabular, texturalmente granos no esféricos subredondeados, moderadamente calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 19% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 8% en promedio, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y laminación plano paralela continua. Composicionalmente se clasifica como Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 86%, 4% y 10% respectivamente (Folk, 1974). Limolita.

Ambiente: Depósito de llanura de inundación asociado a río meandriforme y depósito de zona paludal asociado a pantano, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina.

Asociación de facies 14 (arenisca de grano medio con laminación plano paralela discontinua, arenisca lodosa de grano muy fino con laminación plano paralela continua, limolita arenosa con gradación normal).

Asociación facial con secuencia granocreciente, es decir, negativa según Lombard (1956) de facies de arenisca lodosa de grano muy fino con geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 18% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 9% en promedio, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y laminación plano paralela continua.

Composicionalmente se clasifica como Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 84%, 7% y 9% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca de grano medio con geometría tabular, texturalmente granos no esféricos subangulares, bien calibrados, areno soportadas con matriz arenolodosa con un porcentaje de 24% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 9% en promedio, mala porosidad, contacto puntual entre los granos y laminación plano paralela discontinua.

Composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 95%, 3% y 2% respectivamente (Folk, 1974). Limolita arenosa con geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados,

bien calibrados, lodo soportado con matriz lodosa con un porcentaje de 16% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 8% en promedio, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y gradación normal. Composicionalmente se clasifican como Subarcosa con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 84%, 10% y 6% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Crevasse Splay. Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal.

*Asociación de facies 15 (arenisca de grano medio, limolita arenosa, arenisca lodosa de grano fino con bioturbación y laminación plano paralela continua).*

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de limolita arenosa con geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, lodosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 16% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 8% en promedio, buena porosidad y contacto puntual entre los granos.

Composicionalmente se clasifican como Subarcosa con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 82%, 12% y 6% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca de grano medio con geometría cuneiforme, texturalmente granos no esféricos subangulares, moderadamente calibrados, arenosoportadas con matriz arenolodosa con un porcentaje de 24% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 9% en promedio, mala porosidad, contacto puntual entre los granos.

Composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 95%, 2% y 3% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca lodosa de grano fino con geometría tabular y lenticular, texturalmente granos no esféricos subredondeados, moderadamente calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 19% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 8% en promedio, buena porosidad, contacto puntual entre los granos, laminación plano paralela continua y bioturbación en algunas capas.

Composicionalmente se clasifica como Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 85%, 6% y 9% respectivamente (Folk, 1974) y que también está presente con geometría lenticular en un estrato de lodolita arenosa.

Ambiente: Depósito lacustre, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina, típico de este ambiente de baja energía (Arche, 2010), así como depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal.

*Asociación facies 16 (arenisca de grano medio con grietas de desecación, arenisca lodosa de grano fino con bioturbación y laminación plano paralela continua, limolita arenosa).*

Asociación facial con secuencia granocreciente, es decir, negativa según Lombard (1956) de facies de arenisca lodosa de grano fino con geometría tabular, texturalmente granos no esféricos subredondeadas, moderadamente calibrados, areno soportada con matriz lodosa con un porcentaje de 19% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 8% en promedio, buena porosidad con contacto puntual entre los granos, bioturbación y laminación plano paralela continua.

Composicionalmente se clasifica como Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 81%, 10% y 9% respectivamente (Folk, 1974). Limolita arenosa con geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeada, bien calibrado, lodo soportado con matriz lodosa con un porcentaje de 16% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 8% en promedio, buena porosidad y contacto puntual entre las partículas.

Composicionalmente se clasifican como Subarcosa con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 82%, 12% y 6% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca de grano medio con geometría tabular, texturalmente granos no esféricos sub-angulares, moderadamente calibrado, arenosoportada con matriz arenolodosa con un porcentaje de 24% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 9% en promedio, mala porosidad, contacto puntual entre los granos y presentan grietas de desecación.

Composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 95%, 3% y 2% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Depósito lacustre, caracterizado por presentar acumulación de sedimentos de granulometría fina y bioturbación, típico de este ambiente de baja energía (Arche, 2010), crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación con presencia de materia orgánica.

Asociación de facies 17 (limolita arenosa con laminación plano paralela continua, arenisca lodosa de grano fino con laminación ondulada).

Asociación facial con secuencia granocreciente, es decir, negativa según Lombard (1956) de facies de limolita arenosa con geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, lodosoportados con matriz lodosa con un porcentaje de 15% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 10% en promedio, buena porosidad y contacto puntual entre los granos y laminación plano paralela continua.

Composicionalmente se clasifican como Subarcosa con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 81%, 13% y 6% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca lodosa de grano fino con geometría tabular, texturalmente granos no esféricos subredondeados, moderadamente calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 19% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 8% en promedio, buena porosidad con contacto puntual entre los granos y laminación ondulosa.

Composicionalmente se clasifican como Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 85%, 6% y 9% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: caracterizando depósitos de llanura de inundación y crevasse splay asociados a ríos meándricos.

**Miembro Superior**

Asociación de facies 18 (arenisca de grano medio con laminación plano paralela continua, arenisca lodosa de grano fino con laminación plano paralela discontinua, arenisca de grano fino a medio con gradación normal, arenisca de grano fino a medio con laminación cruzada).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de arenisca de grano medio con geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportados con matriz arenolodosa con un porcentaje de 3% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 15% en promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y laminación plano paralela continua.

Composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 95%, 3% y 2% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca lodosa de grano fino con geometría tabular, texturalmente granos no esféricos subredondeados, moderadamente calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 3% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 16% en promedio, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y laminación plano paralela discontinua.

Composicionalmente se clasifican como Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 80%, 11% y 9% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca de grano fino a medio con geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 6% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 17% en

promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos, gradación normal y laminación cruzada.

Composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 96%, 2% y 2% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Depósitos de canales amalgamados, desarrollados en valles estrechos, y depósitos de crevasse splay.

Asociación de facies 19 (arenisca de grano medio con laminación plano paralela continua, arenisca lodosa de grano fino con laminación plano paralela discontinua).

Asociación facial con secuencia homogénea de arenisca de grano medio con geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz arenolodosa con un porcentaje de 3% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 15% en promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y laminación plano paralela continua.

Composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 97%, 2% y 1% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca lodosa de grano fino con geometría tabular, texturalmente granos no esféricas subredondeados, moderadamente calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 3% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 16% en promedio, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y laminación plano paralela discontinua.

Composicionalmente se clasifican como Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 85%, 9% y 6% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Depósitos de canales amalgamados, desarrollados en valles estrechos, depósitos de crevasse splay y depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal.

Asociación de facies 20 (arenisca de grano medio con laminación plano paralela continua, arenisca lodosa de grano fino con laminación plano paralela discontinua, arenisca de grano fino a medio con gradación normal, arenisca de grano fino a medio con laminación cruzada).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de arenisca de grano medio con geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz arenolodosa con un porcentaje de 4% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 16% en promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y laminación plano paralela continua.

Composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 95%, 3% y 2% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca lodosa de grano fino con geometría tabular, texturalmente granos no esféricos subredondeadas, moderadamente calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 3% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 16% en promedio, buena porosidad, contacto puntual entre los granos y laminación plano paralela discontinua.

Composicionalmente se clasifican como Sublitaranita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 86%, 5% y 9% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca de grano fino a medio con geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 5% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 16% en promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y laminación cruzada en una de las capas.

Composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 96%, 2% y 2% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca de grano fino a medio con geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 6% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 17% en promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y gradación normal. Composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 96%, 3% y 1% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Depósitos de canales amalgamados, desarrollados en valles estrechos y depósitos de crevasse splay.

Asociación de facies 21 (arenisca de grano medio con laminación plano paralela continua, arenisca de grano fino con laminación plano paralela continua).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de arenisca de grano medio con geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz areno lodosa con

un porcentaje de 3% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 15% en promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y laminación plano paralela continua.

Composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 97%, 2% y 1% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca de grano fino con geometría tabular, texturalmente granos esféricos redondeados y subredondeados, moderadamente calibrados, arenosoportadas con matriz arenolodosa con un porcentaje de 9% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 14% en promedio, mala porosidad, contacto tangencial entre los granos y laminación plano paralela continua.

Composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 96%, 3% y 1% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Depósitos de canales amalgamados, desarrollados en valles estrechos, y depósitos de crevasse splay.

Asociación de facies 22 (arenisca de grano fino con laminación plano paralela discontinua, arenisca de grano medio con laminación plano paralela continua, arenisca de grano fino a medio con gradación normal, arenisca de grano medio con laminación ondulada, arenisca lodosa de grano fino).

Asociación facial con secuencia granodecreciente, es decir, positiva según Lombard (1956) de facies de arenisca de grano fino con geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz arenolodosa con

un porcentaje de 10% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 15% en promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y laminación plano paralela discontinua.

Composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 95%, 3% y 2% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca de grano fino a medio con geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 6% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 17% en promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y gradación normal.

Composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 96%, 2% y 2% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca lodosa de grano fino con geometría tabular y lenticular, texturalmente granos no esféricos subredondeados, moderadamente calibrados, arenosoportadas con matriz lodosa con un porcentaje de 9% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 14% en promedio, buena porosidad, contacto puntual entre los granos.

Composicionalmente se clasifican como Sublitarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 80%, 11% y 9% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca de grano medio con geometría tabular, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz arenolodosa con un porcentaje de 4% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 14% en promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y laminación ondulosa.

Composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 96%, 2% y 2% respectivamente (Folk, 1974). Arenisca de grano medio con geometría tabular y cuneiforme, texturalmente granos esféricos subredondeados, bien calibrados, arenosoportadas con matriz arenolodosa con un porcentaje de 3% en promedio y cemento ferruginoso con un porcentaje de 16% en promedio, mala porosidad, contacto longitudinal entre los granos y laminación plano paralela continua. Composicionalmente se clasifican como Cuarzoarenita con porcentaje promedio de cuarzo, feldespato y fragmentos de roca de 97%, 2% y 1% respectivamente (Folk, 1974).

Ambiente: Depósitos de canales amalgamados, desarrollados en valles estrechos, y depósitos de crevasse splay.

Tabla 6.

*Relación de litofacies con el mecanismo de transporte y acumulación y el ambiente de depósito.*

DESCRIPCIÓN	MECANISMO DE TRANSPORTE Y ACUMULACIÓN	INTERPRETACIÓN DEL AMBIENTE DE DEPÓSITO
Arcillolita	Corriente de tracción débil. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación
Arcillolita con bioturbación	Corriente de tracción débil. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación con presencia de vegetación
Arcillolita arenosa	Corriente de tracción débil. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de canal abandonado, desbordamiento o depósito de llanura de inundación
Lodolita	Corriente de tracción débil. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación
Lodolita arenosa con bioturbación	Corriente de tracción débil a moderada. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación con presencia de vegetación
Lodolita conglomerática	Corriente sinuosa de tracción débil a moderada. Arrastre. Saltación. Suspensión	Crevasse Splay. Depositación en la apertura de un nuevo canal por rompimiento del dique
Lodolita conglomerática con bioturbación	Corriente sinuosa de tracción débil a moderada. Arrastre. Saltación. Suspensión	Crevasse Splay. Depositación en la apertura de un nuevo canal por rompimiento del dique, con presencia de vegetación
Limolita	Corriente de tracción débil. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación

DESCRIPCIÓN	MECANISMO DE TRANSPORTE Y ACUMULACIÓN	INTERPRETACIÓN DEL AMBIENTE DE DEPÓSITO
Limolita con laminación plano paralela continua	Corriente de tracción débil. Suspensión con cambios cortos y regulares de corta duración relativos al transporte.	Crevasse Splay. Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación con energía baja.
Limolita con bioturbación	Corriente de tracción débil. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación con presencia de vegetación
Limolita con venas de calcita	Flujo mineralizante a través de fracturas o grietas. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación. Relleno de fracturas o grietas con flujo mineralizante
Limolita con venas y nódulos de calcita	Flujo mineralizante a través de fracturas, grietas o cavidades. Suspensión	Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación. Relleno de fracturas, grietas o cavidades con flujo mineralizante
Limolita con venas de calcita y bioturbación	Flujo mineralizante a través de fracturas o grietas. Suspensión	Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación con presencia de vegetación. Relleno de fracturas o grietas con flujo mineralizante
Limolita con venas y nódulos de calcita y bioturbación	Flujo mineralizante a través de fracturas o grietas. Suspensión	Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación con presencia de vegetación. Relleno de fracturas, grietas o cavidades con flujo mineralizante
Limolita arenosa	Corriente de tracción débil a moderada. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación
Limolita arenosa con bioturbación	Corriente de tracción débil a moderada. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación con presencia de vegetación
Limolita arenosa con gradación normal	Corriente de tracción débil a moderada. Suspensión	Depósito de canal abandonado
Limolita arenosa con laminación plano paralela continua	Corriente de tracción débil a moderada. Suspensión con cambios cortos y regulares de corta duración relativos al transporte	Crevasse Splay. Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación con energía baja
Limolita arenosa con grietas de desecación	Corriente de tracción débil a moderada. Suspensión	Depósito de desbordamiento. Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación
Limolita calcárea con venas de calcita	Precipitación de carbonato. Suspensión	Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación. Precipitación de carbonatos. Relleno de fracturas o grietas con flujo mineralizante
Limolita calcárea con venas de calcita y bioturbación	Precipitación de carbonato. Suspensión	Depósito de canal abandonado o depósito de llanura de inundación con presencia de vegetación. Precipitación de carbonatos. Relleno de fracturas o grietas con flujo mineralizante
Arenisca de grano muy fino	Saltación. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación
Arenisca de grano muy fino con laminación paralela continua	Saltación. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación
Arenisca de grano muy fino con laminación paralela y venas de calcita	Flujo mineralizante a través de fracturas o grietas. Saltación. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación. Relleno de fracturas o grietas con flujo mineralizante
Arenisca de grano fino con gradación inversa	Flujo granular. Saltación. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación. Relleno de canal y rompimiento de dique

DESCRIPCIÓN	MECANISMO DE TRANSPORTE Y ACUMULACIÓN	INTERPRETACIÓN DEL AMBIENTE DE DEPÓSITO
Arenisca de grano fino con grietas de desecación	Saltación. Suspensión. Periodos de intensa vaporación.	Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal somero.
Arenisca de grano fino con laminación plano paralela continua	Saltación. Suspensión. Cambios bruscos en la granulometría.	Crevasse Splay .Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal.
Arenisca de grano fino con laminación plano paralela discontinua	Saltación. Suspensión. Cambios bruscos intermitentes en la granulometría.	Crevasse Splay .Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal.
Arenisca de grano fino a medio con gradación normal	Saltación. Suspensión	Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal
Arenisca de grano fino a medio con laminación cruzada	Flujo bidireccionales asociados a procesos de alto oleaje y a la migración de canal.	Crevasse Splay .Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal.
Arenisca lodosa de grano muy fino con laminación cruzada	Cambio en el régimen de flujos bidireccionales asociados a procesos de alto oleaje. Suspensión.	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación
Arenisca lodosa de grano muy fino con laminación plano paralela continua	Flujos unidireccionales de tipo cubierta. Cambios bruscos en la granulometría. Suspensión.	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación
Arenisca lodosa de grano fino	Cambio en el régimen de flujo. Saltación. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación
Arenisca lodosa de grano fino con bioturbación	Saltación. Suspensión.	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación con presencia de materia orgánica
Arenisca lodosa de grano fino con bioturbación y laminación plano paralela continua	Cambio en el régimen de flujo. Saltación. Suspensión Flujos unidireccionales de tipo cubierta. Cambios bruscos en la granulometría.	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación con presencia de materia orgánica
Arenisca lodosa de grano fino con laminación cruzada	Cambio en el régimen de flujos bidireccionales asociados a procesos de alto oleaje y a la migración de canal. Saltación. Suspensión.	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación.
Arenisca lodosa de grano fino con laminación ondulosa	Cambio en el régimen de flujo. Saltación. Suspensión. Flujo bidireccional de tipo cubierta relacionados al alto oleaje y reciclamiento del sedimento.	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación, ambientes sublitorales de línea de costa arenosa como barras de desembocadura.
Arenisca lodosa de grano fino con laminación plano paralela continua	Saltación. Suspensión. Flujos unidireccionales de tipo cubierta. Cambios bruscos en la granulometría.	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación.
Arenisca lodosa de grano fino con laminación plano paralela discontinua	Cambio en el régimen de flujo. Saltación. Suspensión. Cambios bruscos intermitentes en la granulometría.	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación.
Arenisca de grano medio	Saltación.	Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal.
Arenisca lodosa de grano medio	Saltación. Suspensión	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación
Arenisca lodosa de grano medio con laminación plano paralela continua	Saltación. Suspensión. Flujos unidireccionales de tipo cubierta. Cambios bruscos en la granulometría.	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación

DESCRIPCIÓN	MECANISMO DE TRANSPORTE Y ACUMULACIÓN	INTERPRETACIÓN DEL AMBIENTE DE DEPÓSITO
Arenisca lodosa de grano grueso a muy grueso con gradación normal y laminación ondulosa	Cambio en el régimen de flujo. Saltación. Flujo bidireccional de tipo cubierta relacionados al alto oleaje y reciclamiento del sedimento.	Crevasse Splay. Depósito de llanura de inundación. Llanura de inundación ambientes sublitorales de línea de costa arenosa como barras de desembocadura.
Arenisca de grano medio con laminación ondulosa	Saltación. Flujo bidireccionales de tipo cubierta relacionados al alto oleaje y reciclamiento del sedimento	Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal. Depósito de llanura de inundación ambientes sublitorales de línea de costa arenosa como barras de desembocadura
Arenisca de grano medio con laminación cruzada	Saltación. Cambio en el régimen de flujos bidireccionales asociados a procesos de alto oleaje y a la migración de canal.	Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal.
Arenisca de grano medio con gradación normal	Saltación. Suspensión.	Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal.
Arenisca de grano medio con grietas de desecación	Saltación.	Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal. Lagos someros y cuencas desérticas.
Arenisca de grano medio con laminación plano paralela continua	Saltación. Flujos unidireccionales de tipo cubierta. Cambios bruscos en la granulometría.	Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal.
Arenisca de grano medio con laminación plano paralela discontinua	Saltación. Cambios bruscos intermitentes en la granulometría.	Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal.
Arenisca de grano medio con laminación paralela y bioturbación	Saltación	Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal con presencia de vegetación
Arenisca de grano muy grueso con gradación normal	Saltación. Energía constante	Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal.
Arenisca de grano muy grueso con gradación normal y laminación ondulosa	Saltación. Energía constante. Flujo bidireccional.	Depósito de planicie de inundación o depósito de fondo de canal. Barras de desembocadura.
Arenisca de grano muy grueso	Saltación. Suspensión	Relleno de canal. Depósito de canal
Arenisca de grano muy grueso con laminación plano paralela continua	Saltación. Suspensión. Cambios bruscos en la granulometría.	Relleno de canal. Depósito de canal
Conglomerado con gránulos y guijas	Flujo de sedimento por gravedad. Arrastre. Saltación	Depósito de fondo de canal. Barras longitudinales y transversales
Conglomerado con guijas	Flujo de sedimento por gravedad. Arrastre. Saltación	Depósito de fondo de canal. Barras longitudinales y transversales
Paraconglomerado con guijas y guijarros	Flujo de sedimento por gravedad. Arrastre. Saltación	Depósito de fondo de canal. Barras longitudinales y transversales
Conglomerado arenolodoso de gránulos	Flujo de sedimento por gravedad. Arrastre. Saltación	Depósito de fondo de canal. Barras longitudinales y transversales
Conglomerado arenolodoso con guijas	Flujo de sedimento por gravedad. Arrastre. Saltación	Depósito de fondo de canal. Barras longitudinales y transversales
Conglomerado arenolodoso con guijas y guijarros y gradación normal	Flujo de sedimento por gravedad. Arrastre. Saltación	Depósito de fondo de canal. Barras longitudinales y transversales

DESCRIPCIÓN	MECANISMO DE TRANSPORTE Y ACUMULACIÓN	INTERPRETACIÓN DEL AMBIENTE DE DEPÓSITO
Conglomerados arenosos con gránulos y guijas y gradación normal	Flujo de sedimento por gravedad. Arrastre. Saltación	Depósito de fondo de canal. Barras longitudinales y transversales
Conglomerados arenoso con guijas y laminación cruzada	Flujo de sedimento por gravedad. Arrastre. Saltación. Corriente bidireccional.	Depósito de fondo de canal. Barras longitudinales y transversales
Riolita	Erupción volcánica	Las riolitas se forman a partir de erupciones volcánicas como granito y ceniza y son el resultado del enfriamiento de un magma viscoso
Meta-arenisca	Foliación. Agentes tectónicos. Baja presión y temperatura	Metamorfismo regional de muy bajo grado
Filita Cuarcítica	Foliación. Agentes tectónicos. Baja presión y temperatura	Metamorfismo regional de bajo grado

### 13. Conclusiones

✓ El estudio estratigráfico permitió levantar 3 columnas estratigráficas semidetalladas a escala 1:100, denominadas como columna estratigráfica de la Vereda El Volador, columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo y columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta, en donde se representan las unidades geológicas Silgará, Granito de Pescadero, Jordán, Girón y Los Santos que afloran a lo largo de la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander.

✓ En la zona de estudio afloran rocas metamórficas de la Formación Silgará tales como meta-arenisca y filita cuarcítica, ígneas de la Unidad Granito de Pescadero tales como riolita, sedimentarias siliciclásticas de las formaciones Jordán, Girón y Los Santos tales como

conglomerado, arenisca, limolita y arcillolita y sedimentarias carbonatadas de la Formación Jordán tales como limolita calcárea.

✓ Se identificaron para la Formación Los Santos, 5 facies lodosas (limolita), 26 facies arenosas y 3 facies conglomeráticas; para la Formación Girón, 1 facie conglomerática; y para la Formación Jordán, 17 facies lodosas (arcillolita, lodolita y limolita), 2 facies calcáreas, 9 facies arenosas y 4 facies conglomeráticas.

✓ Según el estudio estratigráfico y sedimentológico de facies y asociación de facies de las unidades geológicas Jordán, Girón y Los Santos, representadas en las columnas estratigráficas de las Veredas El Volador, Blanquiscal Bajo y Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta, levantadas a lo largo de la vía que comunica al sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander, se determinaron que los ambientes de depositación de sedimentos corresponden a ambientes continentales fluviales como depósitos de abanicos aluviales, ríos meandriformes, ríos trenzados; ambientes lacustres y ambientes paludales.

✓ Según los datos cualitativos arrojados por las espectroscopias tanto infrarroja (IR) como Raman y la difracción de rayos X (DRX) sobre la composición mineralógica (composición de fases) de las rocas de los límites de las unidades geológicas Silgará, en concreto una muestra del Granito de Pescadero, Jordán, Girón y Los Santos que afloran sobre la vía que comunica el sector de Tres Esquinas del municipio de Piedecuesta con el sector del Peaje La Punta del municipio de Los Santos en el departamento de Santander se concluye que estos métodos de análisis

instrumental se complementan, ya que los minerales encontrados se lograron evidenciar en muchos casos en los tres métodos analíticos aplicados en este proyecto de investigación, en algunos casos en dos de los tres métodos y en otros casos en solo uno de los tres métodos.

✓ La fase mineral de la riolita de la Unidad Granito de Pescadero está constituida por cuarzo, muscovita, ortoclasa, albita, dickita, hematita, goethita y zircón.

✓ Según los resultados obtenidos en espectroscopía Raman e infrarroja (IR) y difracción de rayos X (DRX), se concluyó que la fase mineral en el límite entre la Formación Silgará y la Formación Jordán, representadas en la columna estratigráfica de la Vereda El Volador está constituida por cuarzo, muscovita, biotita, fengita y hematita; cuarzo, muscovita y ortoclasa, respectivamente.

✓ Según los resultados obtenidos en espectroscopía Raman e infrarroja (IR) y difracción de rayos X (DRX), se concluyó que la fase mineral en el límite entre la Formación Silgará y la Formación Jordán, representadas en la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Bajo está constituida por cuarzo, muscovita, biotita, cloritoide, hedenbergita, dickita e illita; cuarzo, muscovita, albita, fengita, caolinita y hematita, respectivamente.

✓ Según los resultados obtenidos en espectroscopía Raman e infrarroja (IR) y difracción de rayos X (DRX), se concluyó que la fase mineral en el límite entre la Formación Jordán y la Formación Girón, representadas en la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector

del Peaje La Punta está constituida por cuarzo, muscovita, ortoclasa y hematita; cuarzo, muscovita e illita.

✓ Según los resultados obtenidos en espectroscopía Raman e infrarroja (IR) y difracción de rayos X (DRX), se concluyó que la fase mineral en el límite entre la Formación Girón y la Formación Los Santos, representadas en la columna estratigráfica de la Vereda Blanquiscal Alto-Sector del Peaje La Punta está constituida por cuarzo, muscovita, illita, fengita y hematita; cuarzo, muscovita, dickita, illita y hematita.

**Referencias bibliográficas**

- Arche, A. (2010). *Sedimentología del Proceso Físico a la Cuenca Sedimentaria*. Madrid, España. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).
- Arguello, C.E. y Guerrero, J.A. (2015). *Estratigrafía de la formación Jordán entre el municipio de Piedecuesta y la punta de la Mesa de los Santos, Santander*. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial De Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Cabrera, L., Colombo, L. y Robles, S. (Ed.). (1985). *Sedimentation and Tectonics Interrelationships in the Paleogene Marginal Alluvial Systems of the SE Ebro Basin. Transition from Alluvial To Shallow Lacustrine Environments*. Excursion núm. 10, pp. 393-492. Lleida, Spain: (Mila. M.D., and Rosell. J., ed.).
- Díaz, G. y Suárez, M. (1998). *Evidencias Neotectónicas Del Sistema De Fallas Del Suárez En Su Confluencia Con El Sistema De Fallas De Bucaramanga*. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial De Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Etayo, F. y Rodríguez, G. (1985). *Edad De La Formación Los Santos. Proyecto Cretácico*. Publicaciones Geológicas Especiales, 16: XXVI, 1-12, Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear (INGEOMINAS), Ministerio de Minas y Energía. Colombia.
- Folk, R. (Ed.). (1974). *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin, United States: Hemphill Publishing Co.

- Julivert, M. (1958). *La Morfoestructura de la Zona de las Mesas al SW de Bucaramanga (Colombia S.A.)*. Boletín de Geología 1: 7-44, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Petróleos, Departamento de Geología. Bucaramanga, Colombia.
- Julivert, M., Barrero, D. y Navas, J. (1964). *Geología de la Mesa de los Santos*. Boletín De Geología, 18: 5-11, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería de Petróleos, Departamento de Geología. Bucaramanga, Colombia.
- Lombard, A. (Ed.). (1956). *Géologie Sédimentaire Les Séries Marines*. VI + 425 p. París, Francia: Masson Edit.
- Los Santos, Santander. (2017). *Wikipedia* [versión electrónica]. San Francisco, EU: Wikipedia la enciclopedia libre, [https://es.wikipedia.org/wiki/Los\\_Santos\\_\(Santander\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Los_Santos_(Santander)).
- Pérez, R. (2005). *Procesado y Optimización de Espectros Raman Mediante Técnicas de Lógica Difusa: Aplicación a la Identificación de Materiales Pictóricos*. (Tesis de posgrado), Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, España.
- Piedecuesta. (2017). *Wikipedia* [versión electrónica]. San Francisco, EU: Wikipedia la enciclopedia libre, <https://es.wikipedia.org/wiki/Piedecuesta>.
- Royero, J. y Clavijo, J. (2001). *Memoria Explicativa del Mapa Geológico Generalizado del Departamento de Santander a Escala 1:400.000*. Instituto De Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear (INGEOMINAS), Ministerio de Minas y Energía, Colombia.
- Scholle, P. y Spearing, D. (1982). *Sandstone Depositional Environments*. American Association of Petroleum Geologists (AAPG). Memoir 31, 410 p. Tulsa, Oklahoma, U.S.A.

Selley, R. (Ed.). (1970). *Ancient Sedimentary Environments*. 237 p., London, England: Chapman & Hall,

Tarbuck, E. y Lutgens, F. (Ed.). (1999). *Ciencias de la Tierra: Una Introducción A La Geología Física*. Sexta Edición. Madrid, España: Prentice Hall.

Vargas, C. (2008). *Cartografía Geológica a Escala 1:25.000 de la Mesa de los Santos, Departamento de Santander*. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Ward, D.E., Goldsmith, R., Jimeno, A., Cruz, J., Restrepo, H. y Gómez, E. (1977). *Geología de la Plancha 120 Bucaramanga a Escala 1:100.000*. Instituto De Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear (INGEOMINAS), Con La Colaboración Del U.S. Geological Survey, Convenio 514-L-030 de la A.I.D., Ministerio De Minas y Energía. Colombia.

Wolf, D. (1980). La Difractometría de Rayos X y su Aplicación en la Geología y el Estudio de Materias Primas. *El Ingeniero Geólogo*, Revista Número 17 De 1980. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Recuperado de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/ing\\_geologo/n17\\_1980/a01.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/ing_geologo/n17_1980/a01.pdf)