

Aportes al análisis de procedencia de la formación Girón (jurásico superior) en las secciones de la Mesa de los Santos, Ruitoque y Zapatoca.

Jasleny Juliana Otero Sequeda

Estefany Lizeth Velandia Jaimes

Trabajo de Grado para optar al título de Geólogo

Director

Giovanny Jiménez Díaz.

Ph.D en geología

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Químicas

Escuela de Geología

Bucaramanga

2017

Dedicatoria

A Dios por darme la oportunidad de cumplir una meta más en mi vida, a mis padres Eulalia y Octavio por su amor, apoyo y dedicación desde mi existir, a mis hermanos por acompañarme en esta linda travesía de la vida y a la persona (JE) que ha estado a mi lado brindándome su apoyo incondicional.

Con cariño Juliana.

A la razón de mi vida, Fanny y Alonso, gracias por cada consejo, cada enseñanza y por tanto amor. A mis hermanos y mi familia Jaimes por su apoyo incondicional. A mis amigas de la infancia por tanto cariño y a mis amigos de la universidad por cada aventura en campo... fueron y serán mi segunda familia

Los amo, Estefy

Agradecimientos

A nuestros padres por el apoyo y el amor incondicional que nos brindan en cada momento de nuestras vidas.

A el profe Giovanny Jiménez, Helbert García y demás docentes que nos aportaron grandes conocimientos en nuestra formación profesional.

A Camilo Montenegro Castillo que fue un personaje muy importante en el desarrollo de este proyecto.

A nuestros familiares, compañeros y amigos que aportaron grandes experiencias para nuestro crecimiento personal

Gracias.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Introducción	19
1. Planteamiento del problema.....	21
2. Justificación	24
3. Objetivos.....	27
3.1. General.....	27
3.2. Específicos	27
4. Localización	28
4.1. Estado del arte.....	29
5. Marco Teórico.....	33
5.1. Geometría de las capas:	33
5.2. Superficies de estratificación de las capas	33
5.3. Espesor de las capas.....	34
5.4. Facies	35
5.5. Sistemas fluviales:	36
5.5.1. Abanico aluvial.	37
5.5.2. Río trenzado.....	38
5.5.3. Río meándrico.....	39
5.5.4. Río anastomosado.	40

5.6. Procedencia de sedimentos	40
5.6.1. Método Gazzi-Dickinson (Ingersoll et al., 1984).	41
5.6.2. Método de Howard (1993).....	43
6. Marco Geológico	44
6.1. Estratigrafía.....	45
6.1.1. Basamento Ígneo Metamórfico.....	45
6.1.1.1. <i>Neis de Bucaramanga</i>	45
6.1.1.2. <i>Formación Silgará</i>	46
6.1.1.3. <i>Cuarzo monzonita de la Corcova</i>	47
6.1.1.4. <i>Granito de Pescadero</i>	47
6.1.2. Unidades Sedimentarias.....	48
6.1.2.1. <i>Formación Jordán</i>	48
6.1.2.2. <i>Formación Girón</i>	48
6.1.2.3. <i>Formación Los Santos</i>	50
6.1.2.4. <i>Cuaternario</i>	51
6.2. Geología estructural	51
6.2.1. Falla Bucaramanga.....	52
6.2.2. Falla del Suárez.....	52
6.2.3. Lineamiento transversal 1.....	53
6.2.4. Lineamiento transversal 2.....	53
7. Metodología	54
7.1. Estratigrafía.....	54
7.2. Petrografía de areniscas	54

7.3. Conteo de conglomerados.....	58
7.3.1. Metodología análisis de procedencia en conglomerados Howard (1993).	58
7.3.2. Identificación de líticos en laboratorio.	59
7.4. Procedencia.....	60
8. Resultados.....	61
8.1. Sección guatiguara alto.....	62
8.1.1. Estratigrafía.....	62
8.1.2. Petrografía de areniscas.	67
8.2. Seccion la punta – mesa de los santos	72
8.2.1. Estratigrafía.....	72
8.2.2. Petrografía de clastos en conglomerados.....	76
8.3. Seccion Acapulco.....	81
8.3.1. Estratigrafía.....	81
8.3.2. Petrografía de areniscas.	88
8.4. Sección Zapatoca	91
8.4.1. Estratigrafía.....	91
8.4.2. Petrografía de areniscas.	96
8.4.3. Petrografía de líticos en areniscas conglomeraticas.....	101
8.5. Petrofacies.....	103
8.5.1. Acapulco.	103
8.5.2. Guatiguará Alto.....	104
8.5.3. Zapatoca.....	105
9. Discusión de resultados.....	110

9.1. Distribución de litofacies	110
9.2. Evolución tectono-sedimentaria.....	113
10. Conclusiones y aportes al análisis de procedencia	118
11. Recomendaciones	120
Referencias Bibliográficas	121

Lista De Figuras

	Pág.
Figura 1. Bloque diagrama de la morfología del área de estudio. Se muestran las mesas de Ruitoque, Los Santos, y las posibles fallas que actúan sobre las mismas: Falla Bucaramanga, Falla del Suárez, lineamiento transversal 1 y lineamiento transversal 2.	23
Figura 2. Localización regional y mapa geológico local del área de estudio (Las estrellas representan las secciones escogidas de la Formación Girón). 1. Sección Guatiguara Alto, 2. Sección La Punta, 3. Sección Acapulco, 4. Sección Zapatoca.	28
Figura 3. Tipos de superficies de estratificación para rocas sedimentarias.	34
Figura 4. Configuración de los diferentes tipos de ríos: Meándrico, Recto, Trenzado y Anastomosado.....	37
Figura 5. Diagrama ternario QmFLt para la discriminación de procedencia.	43
Figura 6. Métodos de conteo en conglomerados para campo. a) grilla b) cinta y c) área.	44

Figura 7. Componentes del armazón en nicoles paralelos y nicoles cruzados, a. Qm, b. Qpd, c. Qpf, d. Qps, e. Pl, f. Fk, g. Fi, h. Ls, i. Lm, j. Lv, k. Li, l. MP, m. opac, n. Mosc, o. intersil.....	57
Figura 8. Método de la cinta (Howard, 1993) realizado en la sección de la La Punta, Mesa de Los Santos.....	59
Figura 9. Proceso de preparación de muestra para el conteo de guijos a. cuarteo b. lavado-secado y c. tamizado.	60
Figura 10. Mapa de localización del área de estudio; Las estrellas representan las secciones: La sección 1 Guatiguará Alto corresponde a 13.21 m, la sección 2 La Punta corresponde a 3 m, la seccion 3 Acapulco corresponde a 28.62 m y la seccion 4 Zapatoca corresponde a 19.12m de espesor estratigrafico de la Formación Girón.	61
Figura 11. Afloramiento de la Formación Girón en la sección Guatiguará Alto. a. Parte inferior, se observa capas gruesas de areniscas con geometría tabular. b y c. Parte media, se observa limolitas arenosas vari coloreadas masivas e intercalaciones de limolitas arenosas y areniscas con geometría tabular. d. Parte superior, se observa capas medias a gruesas de areniscas con geometría tabular hacia la base y lenticular hacia el tope. e. Parte inferior de la Formación Los Santos, se observan capas gruesas de areniscas con geometría tabular.....	64
Figura 12. Columna estratigráfica de la Formación Girón de la sección Guatiguará Alto (GA). Escala 1:100.....	65
Figura 13. Diagrama QtFL para la clasificación composicional de las muestras recolectadas de en la sección Guatiguará Alto (GA).....	68
Figura 14. Vista general de la lámina JE_GA_09, en nicoles paralelos y nicoles cruzados.	69
Figura 15. Vista general de la lámina JE_GA_07, en nicoles paralelos y nicoles cruzados.	70
Figura 16. Vista general de la lámina JE_GA_06, en nicoles paralelos y nicoles cruzados.	71

Figura 17. Vista general de la lámina JE_GA_10, en nicoles paralelos y nicoles cruzados.	71
Figura 18. Afloramiento de la sección La Punta. Capa 1: conglomerado matriz soportado y polimíctico con predominio de guijarros y cantos, capa 2: conglomerado matriz soportado y polimíctico con predominio de guijos y capa 3: conglomerado matriz soportado y polimíctico con predominio de guijarros	72
Figura 19. Variación de la composición en sección delgada de muestras de clastos recolectados en la Sección La Punta.	74
Figura 20. Columna Estratigráfica de la sección La Punta, Mesa de Los Santos (P). Escala 1:100	75
Figura 21. Líticos sedimentarios de la muestra JE_P_01. a. JE_P_S1, b. JE_P_S2, c. JE_P_S3 y d. JE_P_S4.	78
Figura 22. Líticos metamórficos de la muestra JE_P_01 a. JE_P_M1 b. JE_P_M3 c. JE_P_M2 d. JE_P_M4 e. JE_P_M5 f. JE_P_M6.	80
Figura 23. Líticos volcánicos de la muestra JE_PE_01 a. JE_P_V1 y b. JE_P_V2.	81
Figura 24. Afloramiento de la Formación Girón en la sección Acapulco. a y b. Parte inferior, se observa una secuencia granocreciente de limolitas arenosas con geometría tabular. c y d. Parte media, se observa capas medias a gruesas de areniscas masivas con geometría tabular e intercalaciones de limolitas arenosas y areniscas con geometría tabular respectivamente. e y f. Parte superior, Se observa una secuencia granodecreciente de areniscas a limolitas arenosas. g. Parte inferior de la Formación Los Santos, se observa capas finas a muy gruesas de areniscas con geometría tabular.	84
Figura 25. Columna estratigráfica de la Formación Girón de la sección Acapulco (A). Escala 1:100.	85

Figura 26. Diagrama QtFL para la clasificación composicional de las muestras recolectadas en la sección de Acapulco (A).....	88
Figura 27. Vista general de la lámina JE_A_01 en nicoles paralelos y nicoles cruzados.	89
Figura 28. Vista general de la lámina JE_A_02 en nicoles paralelos y nicoles cruzados.	90
Figura 29. Vista general de la lámina JE_A_03 en nicoles paralelos y nicoles cruzados.	90
Figura 30. Afloramiento de la Formación Girón en la sección Zapatoca. a. Parte inferior, se observa intercalaciones de areniscas y limolitas arenosas con geometría tabular. b.y c. Se observa intercalaciones de limolitas arenosas y capas de areniscas que presentan gradación normal e intercalaciones de limolitas arenosas y areniscas con geometría tabular respectivamente. d. Parte superior, se observa capas muy gruesas de limolitas arenosas en algunos sectores moteados verdoso.....	93
Figura 31. Columna estratigráfica de la sección Zapatoca (CDR). Escala 1:100.....	94
Figura 32. Diagrama QtFL para la clasificación composicional de las muestras recolectadas en la sección de Zapatoca (CDR).	97
Figura 33. Vista general de la lámina JE_CDR_03 en nicoles paralelos y nicoles cruzados.	99
Figura 34. Vista general de la lámina JE_CDR_02 en nicoles paralelos y nicoles cruzados.	100
Figura 35. Vista general de la lámina JE_CDR_01 en nicoles paralelos y nicoles cruzados.	100
Figura 36. Vista general de la lámina a.JE_M_01.b.JE_M_02. c.JE_M_04 en nicoles paralelos y nicoles cruzados.....	102
Figura 37. Petrofacies de la Formación Girón, en los sectores de Acapulco, Guatiguará Alto y Zapatoca.....	107
Figura 38. Diagrama QmFLt en rocas de la sección de Guatiguará Alto (GA), Acapulco (A) y Zapatoca (CDR).....	109

Figura 39. Bloque diagrama representativo de la distribución sedimentológica de la Formación Girón en las secciones 1. Guatiguara, 2. La Punta, 3. Acapulco, 4. Zapatoca.	112
Figura 40. Correlación litoestratigrafica de las secciones de estudio datum de referencia el contacto entre la Formación Girón y Los Santos. Los contactos entre formaciones en las secciones fueron definidos según las descripciones realizadas en este estudio y los reportados por (Osorio 2016, Blanco y Rincón 2014, Laverde y Clavijo, 1985).	112
Figura 41. Mapa geológico regional del área de estudio. Se observan las líneas de los cortes locales (Ver Figura 51).	115
Figura 42. Cortes geológicos del el área de estudio. Las estrellas muestran la ubicación aproximada de las secciones analizadas: 1. Sección Guatiguara Alto, 2. Sección La Punta, 3. Sección Acapulco, 4. Sección Zapatoca. La ubicación y leyenda geológica de los cortes se observan en la figura 50.	116
Figura 43. Bloque diagrama mostrando la configuración geologica actual y la localizacion de las secciones estudiadas destacando las variaciones composicionales y texturales.	117

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de espesor de los estratos.	35
Tabla 2. Definición de los tipos de grano del armazón utilizados para el conteo de las areniscas.	55

Tabla 3. Parámetros para el cálculo modal utilizados en el conteo de las areniscas.	58
Tabla 4. Litofacies de la columna estratigráfica de la Formación Giron en la sección Guatiguará Alto (GA).....	66
Tabla 5. Resultados de conteo de puntos normalizados de las muestras recolectadas en la sección Guatiguará Alto (GA).	68
Tabla 6. Madurez textural de las muestras recolectadas en la seccion Guatiguará Alto (GA). 69	
Tabla 7. Resultados del conteo de guijos, guijarros y cantos en la sección de La Punta.....	74
Tabla 8. Litofacies de la columna estratigráfica de la Formación Giron en la sección La Punta. 76	
Tabla 9. Litofacies de la columna estratigráfica de la Formación Giron en la sección Acapulco (A).....	86
Tabla 10. Resultados de conteo de puntos normalizados de las muestras recolectadas en la sección Acapulco (A).....	88
Tabla 11. . Madurez textural de las muestras recolectadas en la sección Acapulco (A).	89
Tabla 12. Litofacies de la columna estratigráfica de la Formación Giron en la sección Zapatoca (CDR).....	95
Tabla 13. Resultados de conteo de puntos normalizados de las muestras recolectadas en la sección Zapatoca(CDR).....	97
Tabla 14. Madurez textural de las muestras recolectadas en la sección Zapatoca (CDR).....	98

Resumen

TÍTULO: APORTES AL ANÁLISIS DE PROCEDENCIA DE LA FORMACIÓN GIRÓN (JURÁSICO SUPERIOR) EN LAS SECCIONES DE LA MESA DE LOS SANTOS, RUITOQUE Y ZAPATOCA.*

AUTORES: JASLENY JULIANA OTERO SEQUEDA
ESTEFANY LIZETH VELANDIA JAIMES**

PALABRAS CLAVES: Jurásico, Formación Girón, petrografía, análisis de procedencia.

DESCRIPCIÓN:

El análisis de procedencia ayuda a reconstruir la evolución geológica de una cuenca y su evolución paleogeografía, reconociendo ambientes de depósitos y ambientes tectónicos relacionados a bloques estructurales exhumados, que permiten validar modelos geológicos existentes. En este estudio se hace un aporte al análisis de procedencia de la Formación Girón enfocado en la zona de contacto con la suprayacente Formación Los Santos, con base en cuatro secciones donde se encontraron variaciones significativas en el espesor y en las características texturales y composicionales de la formación en la parte superior, ubicadas tres en el bloque yacente de la Falla del Suarez: sección Guatiguará Alto, Acapulco (Mesa de Ruitoque), La Punta (Mesa de Los Santos) y una en el bloque colgante: sección Zapatoca. Para cada una de las secciones se realizó un análisis de litofacies, ambientes de depósito y petrografía detallada en los niveles arenosos y los aportantes de gravas, aplicando la metodología tradicional de Gazzi-Dickinson (1985) para las arenas y la metodología de Howard (1993) para el conteo de conglomerados. La integración de los resultados obtenidos indica que la Formación Girón en la zona de estudio, contiene registro de materiales cuarzosos, feldespáticos y líticos (sedimentarios, metamórficos y volcánicos), dichos materiales sugieren que el área fuente es un arco magmático (Macizo de Santander) y los aportes volcano-clásticos posiblemente son producto de la erosión de un material volcánico preexistente cercano a la cuenca o de una esporádica actividad volcánica en fase terminal. Sin embargo, se necesita de una base de datos más robusta para contribuir a los eventos geológicos tectono-sedimentarios propuestos por autores previos para el Jurásico.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director Giovanni Jiménez Díaz PH.D

Abstract

TITLE: CONTRIBUTIONS TO THE ANALYSIS OF THE FORMATION GIRÓN (UPPER JURASSIC) IN THE SECTIONS OF LA MESA DE LOS SANTOS, RUITOQUE AND ZAPATOCA.*

AUTHORS: JASLENY JULIANA OTERO SEQUEDA
ESTEFANY LIZETH VELANDIA JAIMES**

KEYWORDS: Upper Jurassic, Formation Girón, analysis of provenance, petrography.

DESCRIPTION:

The process analysis helps to reconstruct the geological evolution of a basin and its evolution paleogeography, recognizing deposits environments and tectonic environments related to exhumed structural blocks that allow to validate existing geological models. In this study, a provenance analysis of the Girón Formation was carried out, focusing on the contact zone with the overlying Los Santos Formation; based on four sections where significant variations were found in the thickness and in the textural and compositional characteristics of the Formation in the part upper, located in the footwall of the Suárez Fault: Guatiguará Alto, Acapulco (Mesa de Ruitoque), La Punta (Mesa de Los Santos) sections, and one in the hanging wall: Zapatoca section. For each section it has been made an analysis of facies, storage environments and detailed petrography in the sandy levels and the gravel contributors were carried out. Applying the traditional methodology of Gazzi-Dickinson (1985) for sands and the methodology of Howard (1993) for Conglomerate Counting. The integration of the obtained results indicates that the Girón Formation in the study area contains the record of the quartz, feldspathic and lytic materials (sedimentary, metamorphic and volcanic). These materials suggest that the area is a magmatic arc (Santander Massif); and the volcanoclastic contributions, are possibly the product of the erosion of a preexisting volcanic material close to the basin or of a sporadic volcanic activity in the terminal phase. However, a more robust database is needed to contribute to sedimentary tectonic geological events proposed for the Jurassic by previous authors.

* Degree Work

** Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Geology. Director Giovanny Jiménez Díaz PH.D

Introducción

El noroeste de Suramérica se caracteriza por presentar un complejo sistema de cadenas montañosas como producto de la interacción de las placas de Nazca y Caribe con la placa Suramericana, que en Colombia se ramifica en tres: Cordillera Occidental, Cordillera Central y Cordillera Oriental.

La Cordillera Oriental es el resultado de la inversión tectónica de una paleocuenca mesozoica que inicia desde el Jurásico formada durante varios eventos distensivos. Estos eventos se asocian a 3 modelos propuestos por diferentes autores: un régimen extensional que durante el Jurásico se caracteriza por un extenso rift marcado por la depositación de rocas continentales y volcanoclásticas, que en la Serranía de San Lucas y Valle Inferior del Magdalena están representadas por las formaciones Noreán y La Quinta, mientras hacia la Cordillera Oriental se encuentran representadas por las formaciones Jordán, Girón, La Rusia, entre otras (Cediel et al., 2003). Una configuración tectónica lineal de arco magmático asociada a subducción, seguido del inicio de extensión cortical y/o deformación transtensional con el desarrollo de cuencas desde el Jurásico al Cretácico Temprano (Bayona et al., 2006) y la apertura cortical con formación de una cuenca de retro-arco (Spikings et al., 2014).

Los sedimentos de la Formación Girón fueron depositados en esta paleocuenca durante el Jurásico Superior. Dicha unidad ha sido objeto de estudio previamente y los principales aportes han estado enfocados a descripciones sedimentológicas, caracterización de litofacies y bioestratigrafía, sin embargo, estas investigaciones no han estado dirigidas a un análisis de

procedencia que tenga en cuenta un estudio detallado de petrografía, ni se han correlacionado con el ambiente tectónico de la margen noroccidental de Suramérica. Además de no tener en cuenta posibles estructuras heredadas o variaciones laterales en el espesor.

Los análisis de procedencia juegan un papel importante en la reconstrucción de la evolución geológica de una región, debido a que son una herramienta que integra estudios sedimentológicos, petrográficos, geoquímicos, estratigráficos, y estructurales que permiten inferir cambios en los regímenes tectónicos y ambientes depositacionales (Haughton et al., 1991). En este trabajo de grado se hace un aporte al análisis de procedencia de la Formación Girón enfocado en la zona de contacto con la suprayacente Formación Los Santos, con base a los datos obtenidos a partir de la petrografía detallada de areniscas y conglomerados, análisis de litofacies y ambientes de depositación de esta unidad; con el fin de aportar nuevos datos a la evolución tectono-sedimentaria del Jurásico Superior en la zona de estudio y correlacionarla con estructuras heredadas y bloques exhumados.

Para ello fueron seleccionadas 4 secciones de estudio delimitadas al este por el Macizo de Santander y la Falla Bucaramanga, al oeste por las estribaciones orientales del Anticlinorio de Los Yariquies, al norte por el río Lebrija y al sur por el Sinclinal de Zapatoaca y la Mesa de Los Santos. En estas secciones se encontraron variaciones significativas en el espesor y en las características texturales y composicionales de la parte superior de la Formación Girón, en donde se realizaron estudios estratigráficos aplicando la metodología tradicional de Gazzi-Dickinson (Ingersoll et al., 1984) para las arenas y la metodología de Howard (1993) para el conteo de conglomerados.

1. Planteamiento del problema

Las rocas del Jurásico colombiano se encuentran a lo largo de una franja de dirección SSW-NNE que se extiende desde el norte de Ecuador hasta el oeste de Venezuela, y está conformada por rocas de afinidad continental, como el resultado de diversos eventos geológicos tectono-sedimentarios (Mojica y Kammer, 1995). Para explicar dichos eventos se han propuesto tres modelos tectónicos: el primero hace referencia a un régimen extensional, que durante el Jurásico se caracteriza por un extenso rifting marcado por la sedimentación de rocas continentales y volcanoclásticas, que en la Serranía de San Lucas y el Valle Inferior del Magdalena se representan por las formaciones Noreán y La Quinta, mientras que la Cordillera Oriental estaría compuesta por rocas de las formaciones Jordán, Girón, La Rusia, entre otras (Cediel et al., 2003).

Bayona et al. (2006) propone un segundo modelo relacionado a un proceso de subducción, configuración tectónica de arco magmático durante el Triásico Medio al Tardío seguido por el inicio de un evento extensional intracontinental y/o deformación transtensional con el desarrollo de las cuencas desde el Jurásico al Cretácico Temprano. Sumado a esto a partir de análisis paleomagnéticos en las formaciones de Jordán y Girón, propone una rotación del eje vertical de bloques delimitados por fallas asociadas a la depositación extensional de la Formación Girón durante el Jurásico Superior, y sugiere que estas rotaciones asociadas a un sistema transtensional deben ser un mecanismo considerado en el análisis de cuencas mesozoicas en la esquina noroeste de la placa de Suramérica.

Estudios recientes a partir de datos geocronológicos de Spikings et al. (2014) complementan el modelo anterior y proponen un modelo en el cual plantean un rift a lo largo de la margen noroccidental de Suramérica que empezó como una cuenca retro arco en el Pérmico y representa la ruptura de Pangea, llevando posteriormente a la separación del norte y sur de América hace ~180 Ma. El retroceso de la fosa durante la subducción de la placa Farallón se aceleró hace ~ 144 Ma, llevando a un adelgazamiento de la corteza continental durante 144- 115 Ma, produciendo el emplazamiento de intrusiones graníticas sin-tectónicas a lo largo de la margen Norandina, y dando lugar a la sedimentación que conforma una sucesión de rocas que abarca edades desde el Triásico.

En la actualidad no hay estudios que correlacionen análisis de procedencia de rocas del Jurásico con el ambiente tectónico de la margen noroccidental de Suramérica, por lo cual resulta importante evaluar las variaciones composicionales, texturales y de espesor que presenta la Formación Girón, que es unidad representativa de este periodo. Así mismo correlacionar las características anteriores con estructuras heredadas que nos permitan inferir paleoaltos y/o orógenos presentes durante este periodo que actuarían como áreas fuente. Por ejemplo, los lineamientos transversales que se dan en el bloque yacente de las fallas del Suárez y Bucaramanga (Figura 1). La Falla del Suárez es propuesta como una estructura de cinemática normal (Araque y Otero, 2016) que posteriormente sufre una inversión durante la época de acortamiento registrada para Colombia (Maastrichtiano- Paleoceno), responsable del desplazamiento de rocas de edad Jurásica y Cretácica, afectando los sedimentos cuaternarios del Abanico de Bucaramanga y además desplaza verticalmente la planicie de erosión Pliocena ubicada en las mesas de Ruitoque y Los Santos. Y la Falla Bucaramanga definida como una falla de rumbo de grandes proporciones interpretadas como colas y tajadas de arrastre, hace parte

de una serie de fallas inversas de ángulo alto con el bloque oriental levantado formado durante el desarrollo del actual Valle de Magdalena y el levantamiento simultáneo del Macizo de Santander (Ward et al., 1973), reactivándose en el Aptiano-Albiano (Cediel et al., 1994) y actualmente forma el límite occidental activo de la subplaca Maracaibo; terminando al norte con la intersección de la Falla Oca – El Pilar en rampas laterales que resultan en deslizamientos tectónicos de apilamiento a lo largo del frente cabalgante Santa Marta (Cuellar et al., 2012).

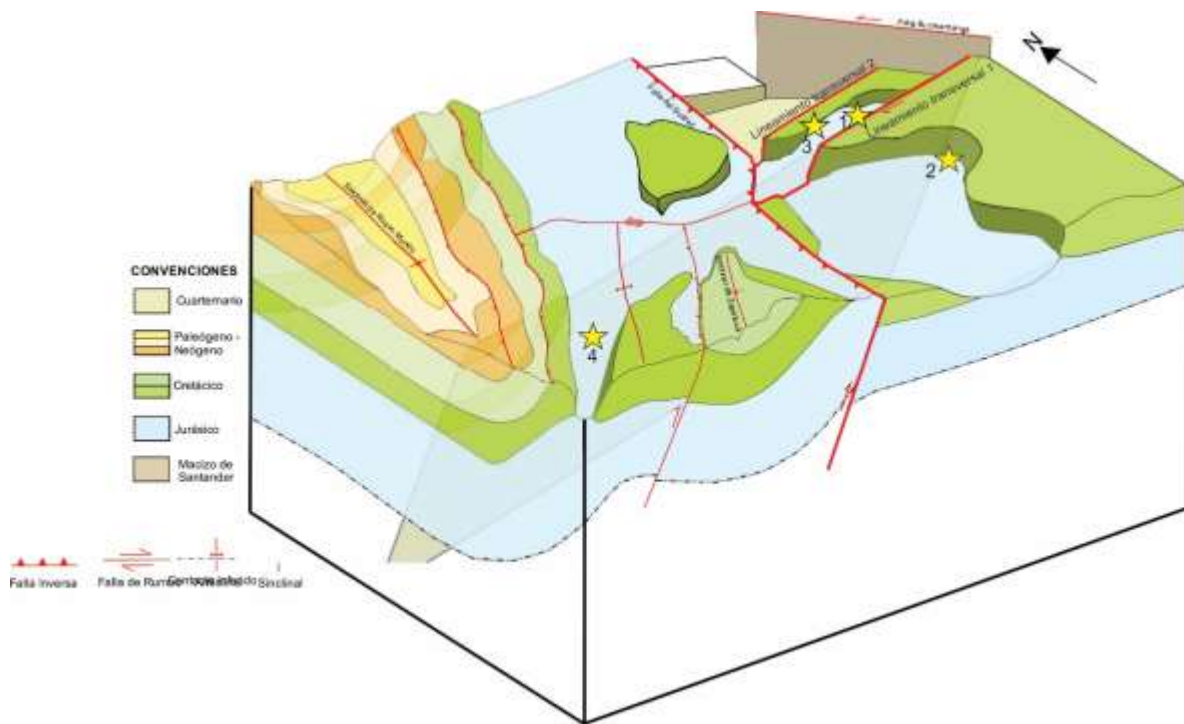


Figura 1. Bloque diagrama de la morfología del área de estudio. Se muestran las mesas de Ruitoque, Los Santos, y las posibles fallas que actúan sobre las mismas: Falla Bucaramanga, Falla del Suárez, lineamiento transversal 1 y lineamiento transversal 2.

Fuente: Araque y Otero (2016).

2. Justificación

Los análisis de procedencia ayudan a reconstruir la evolución geológica de una cuenca y su evolución paleogeográfica, reconociendo ambientes de depósitos y ambientes tectónicos relacionados a bloques estructurales exhumados, que permiten validar modelos geológicos existentes. Los modelos de procedencia basados en Dickinson (1985) y los modificados (e.g. Ingersoll, 1984) para areniscas, y Howard (1993) para conglomerados, se proponen como herramientas para la discriminación de firmas detríticas de ambientes tectónicos a escala continental, incluyendo márgenes pasivos y zonas de subducción, estos modelos han sido propuestos en ambientes geológicos actuales y han representado un gran aporte a la petrología de rocas clásticas. Sin embargo, es bien conocido que los escenarios naturales pueden resultar en petrofacies incongruentes que afecten la composición real de las rocas, por la interacción y heterogeneidad de los procesos geológicos. Por esta razón, el uso de la petrología sedimentaria, metamórfica e ígnea, puede ser una gran ayuda al momento de postular una hipótesis sobre la procedencia de la unidad estratigráfica estudiada (Cisneros et al., 2011).

Por ejemplo, Caballero (2010) realizó un análisis de procedencia de sedimentos en los afloramientos del Sinclinal de Nuevo Mundo para localizar las áreas fuente de sedimentos y determinar la evolución tectono-sedimentaria en las unidades del Mioceno-Eoceno y su correlación con las unidades de la cuenca del Valle Medio del Magdalena.

Montenegro-Castillo (2008) realizó un análisis petrográfico y de minerales pesados en las formaciones paleógenas del Sinclinal de Usme, para identificar las composiciones del área fuente

e indicar la distancia relativa del depósito, con el objetivo de suministrar nuevos elementos para la identificación litológica del sinclinal y evaluar los modelos tectónicos propuestos para la Cordillera Oriental y Central.

Ochoa et al. (2013) realizó un análisis de procedencia de las unidades cenozoicas expuestas en el Sinclinal de Guaduas mediante el conteo de conglomerados, petrografía, análisis de minerales pesados y geocronología para determinar el tiempo de deformación del orógeno, levantamientos intracuenca y sus implicaciones en la evolución tectónica del sur del Valle Medio del Magdalena.

Sin embargo, desde el punto de vista paleogeográfico y relacionado a la tectónica del Jurásico; en ciertos trabajos han habido inconsistencias e incertidumbre en reconocer zonas exhumadas que permiten ser reinterpretadas para dar las posibles áreas de sedimentos, como por ejemplo Cediel (1968) propone que la Formación Girón es una molasa típica post orogénica y más tarde en Cediel (2001) se retracta proponiendo que la formación es una secuencia sin-rift. Por su parte Wart (1973) propone a la Cuarzomonzonita de Santa Bárbara como una fuente de material para los conglomerados de la sección tipo y Rocha (2005) de forma general indica que la posible área fuente para la Formación Girón son las rocas cristalinas del lado este de la Falla Bucaramanga. Otros estudios (Hettner 1892; Schuchert 1935; Oppenheim 1940; Dickey 1941; Trumpy 1943; Julivert 1958; Langenheim 1959; Navas 1963; Blanco y Rincón 2014; Rocha 2005; Osorio 2016) han estado enfocados a descripciones sedimentológicas, caracterización de litofacies y bioestratigrafía, pero estas investigaciones no se han correlacionado con el ambiente tectónico de la margen noroccidental de Suramérica, además de no tener en cuenta un análisis petrográfico detallado, posibles estructuras heredadas y variaciones laterales en el espesor.

Teniendo en cuenta que la Formación Girón ha sido considerada un claro ejemplo de una unidad depositada sin-tectónicamente para el Jurásico Superior (Cediel, 2001), en este proyecto se quiere realizar un análisis de procedencia teniendo en cuenta los modelos de Dickinson (1985) y Howard (1993) en la zona de contacto entre la Formación Girón y la Formación Los Santos con base en cuatro secciones, ubicadas tres en el bloque yacente y una en el bloque colgante de la Falla del Suárez, las cuales presentan variaciones texturales y composicionales, que permiten proponer áreas de aporte, límites de cuenca y/o controles estructurales como la Falla de Los Santos, la Falla Bucaramanga y la Falla del Suárez (Figura 2).

3. Objetivos

3.1. General

Aportar nuevos datos a la historia geológica del Jurásico Superior, con base al estudio de la Formación Girón a partir de análisis de procedencia, correlacionado con estructuras heredadas en la zona del anticlinal de los cobardes y las mesas de Ruitoque y Los Santos.

3.2. Específicos

- Elaborar una correlación estratigráfica a partir de columnas preexistentes de cuatro secciones con el fin de analizar las variaciones texturales y composicionales de la Formación Girón.
- Determinar las posibles áreas fuente de la Formación Girón, a partir del análisis petrográfico de secciones delgadas, conteo de clastos, teniendo en cuenta los diagramas ternarios y el análisis sedimentológico.
- Correlacionar los datos de procedencia con los conocimientos previos sobre la geología estructural de la zona con el fin de proponer nuevas hipótesis que complemente la evolución tectónica para el Jurásico superior.

4. Localización

La zona de estudio está limitada al este por el Macizo de Santander y la Falla Bucaramanga, al oeste por las estribaciones orientales del Anticlinal de Los Cobardes, al norte por el río Lebrija, y al sur por el Sinclinal de Zapatoaca y la Mesa de Los Santos (Figura 2).

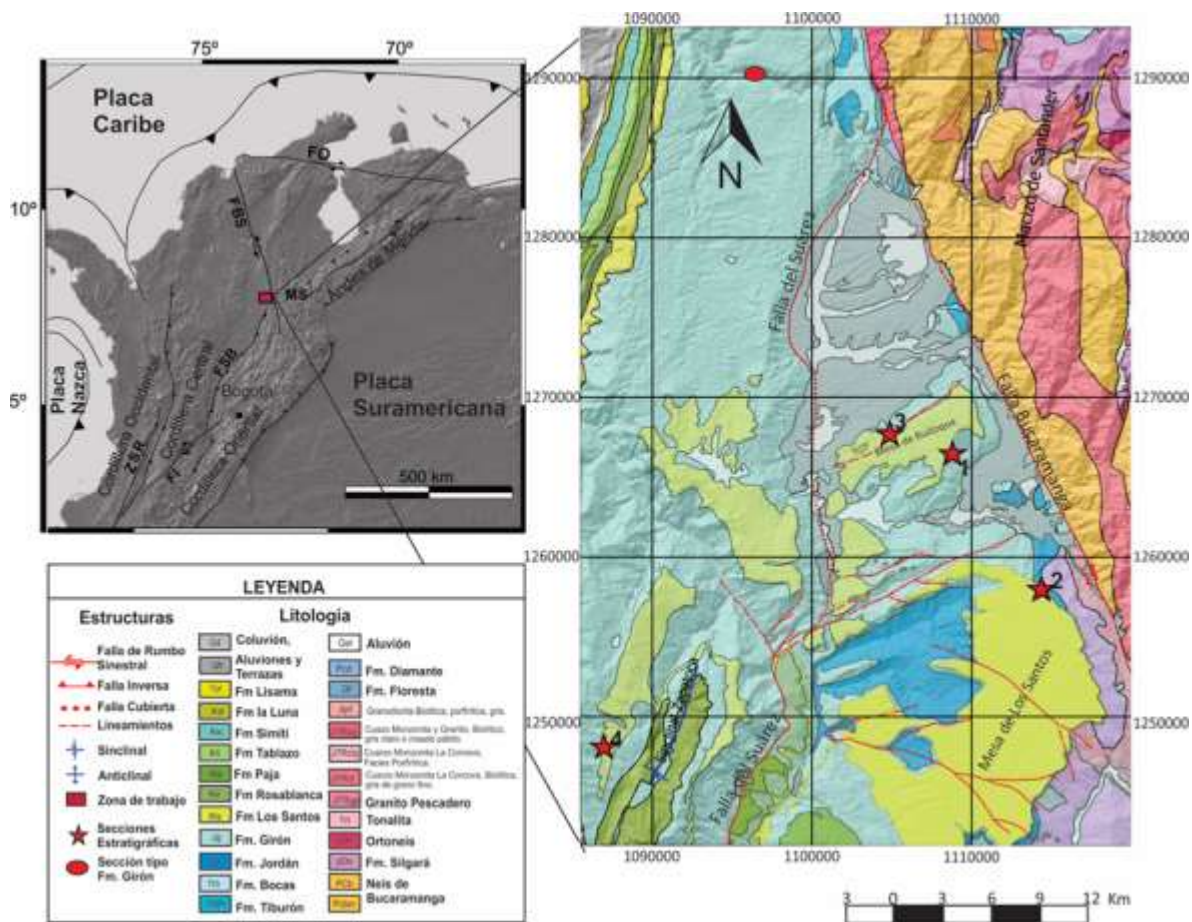


Figura 2. Localización regional y mapa geológico local del área de estudio (Las estrellas representan las secciones escogidas de la Formación Girón). 1. Sección Guatiguara Alto, 2. Sección La Punta, 3. Sección Acapulco, 4. Sección Zapatoaca.

Fuente: Mapa regional Jiménez et al. (2014) y cuadrante H-12 Ward et al. (1973).

4.1. Estado del arte

La Formación Girón fue designada inicialmente como Piso Girón, a un conjunto de areniscas arcillosas de color rojo, lutitas pardo moradas y calizas rojas, observadas en el área del Municipio de Zapatoca y Girón por Hettner (1892), quien derivó su nombre por presentar la sección tipo en esa localidad y determinó una edad correspondiente al Cretácico Inferior.

Otros autores como Schuchert (1935), Oppenheim (1940), Dickey (1941) y Trumpy (1943), hicieron estudios sedimentológicos y estratigráficos sobre la formación pero no fue hasta Langenheim (1959) quien redefinió el termino Girón para los afloramientos del cañón del río Lebrija como la sección tipo y determinó los límites como contactos discordantes con las formaciones Bocas y Los Santos, mediante la división de tres niveles litológicos con un espesor total de 3.500 m, el primer miembro inferior (750 m) compuesto en gran parte por areniscas, un miembro medio lutítico (1.250 m) compuesto principalmente por limolitas y lutitas consolidadas de tonalidades oscuras hasta negro con algunas intercalaciones de areniscas, y el miembro superior (1.500 m) de areniscas, principalmente areniscas grises arcólicas. A esta asociación el autor le asignó edad Pensilvaniano a partir de plantas fósiles.

Del mismo modo Julivert (1958), estudió el Girón en la región de mesas, situada al W y SW de Bucaramanga presentando una estratigrafía más completa, en donde trabajó la parte basal de dicha unidad obteniendo un espesor de 2.500 m, posteriormente Julivert (1960, 1963) descubrió el adelgazamiento del Girón tanto en el borde E como el borde W del Macizo de Santander, como una consecuencia de la discordancia Girón-Cretácico y anunció el problema sobre las causas sedimentarias que provocaron de este adelgazamiento.

Navas (1963) realizó un estudio detallado en la sección del río Lebrija obteniendo un espesor total de 2.600 m y dentro del cual se pueden distinguir con claridad desde el nivel más inferior al superior: un nivel lutítico que alterna en su mitad superior con areniscas (550 m); un nivel arcósico inferior (170 m); un nivel de lutitas rojas; alternando con areniscas (850 m); un nivel arcósico superior (700 m); un nivel de lutitas rojas (230 m), y un conglomerado de cantos lutíticos y cuarcíticos (150 m). El autor plantea que estos niveles se encuentran ampliamente distribuidos al oeste de la Falla del Suárez, mientras que en su lado este aparecen solo los niveles más inferiores; sin embargo la base de la Formación Girón no es constante ya que en algunos lugares se encuentra apoyado sobre el metamórfico y aparece un conglomerado de cantos ígneos principalmente porfiríticos que no se encuentra en la sección tipo, adicionalmente se observa el nivel lutítico basal en otras partes y el tope está determinado por la discordancia Girón-Cretácico.

Cediel (1968), utiliza el termino Grupo Girón que involucra las formaciones Girón y Los Santos para la sección tipo ubicada en el río Lebrija con un espesor de 4.650 m divididas en siete litofacias de tope a base:

- “H”: esta litofacie corresponde a la Formación Los Santos.
- “G” (1.080 m): areniscas de grano grueso con estratificación cruzada, capas conglomeráticas hacia la parte superior, alternancia de capas moscovíticas de color gris verdoso hacia la parte superior, en la base gris amarillenta y hacia la parte inferior gris.
- “F” (250 m): compuesta de areniscas (70%), capas rojas interestificadas (30%) de limolitas y arcillolitas.

- “E” (1.040 m): areniscas de grano medio, shales y arcillotas y en menor cantidad capas conglomeráticas hacia la base; presentan estratificación cruzada y las capas de shales o arcillolitas contienen lentes de carbón y restos de plantas.
- “D” (650 m): capas rojas (60%) de limolitas, areniscas interestratificadas (40%), presenta capas conglomeráticas hacia la parte superior, guijos de cuarzo hacia la base y lentes de carbón diseminado con restos de plantas.
- “C” (430 m): areniscas de grano medio con estratificación cruzada, capas de conglomerados con guijos de cuarzo de hasta 4 cm.
- “B” (590 m): areniscas (60%) de grano medio a grueso en capas rojas interestificadas, limolitas y arcilolitas (40%) las cuales presentan diseminación de conglomerados con guijos de cuarzo; lateralmente las capas pasan de shale a areniscas.
- “A” (610 m): areniscas de grano grueso, conglomeráticas con estratificación cruzada, capas delgadas de conglomerados que contienen guijos de cuarzo, pocas calizas y shale constituyen un 5%.

Cediel (2001) después de realizar nuevos análisis con el apoyo de interpretaciones geosísmicas reconsidera sus estudios hechos en Cediel (1968) planteando que el Grupo Girón se trata de un depósito syn-rift y que solamente el segmento más joven (Formación Los Santos) es un post rift en la mayoría de las estructuras, además que el espesor que había propuesto puede ser la mitad del valor calculado y publicado (4.690 m) y que la edad de la Formación Girón se ubica con mejores argumentos bioestratigráficos y tectono-sedimentológicos en el Jurásico.

Rocha (2005) interpreta el ambiente de depositación para la Formación Girón en la sección de la Mesa de Ruitoque como un ambiente fluvial de canal y planicies de inundación, caracterizado por depósitos de barrera de canal, depósitos de canales abandonados y de llanuras de inundación;

e indica que la composición mineralógica de la secuencia en general, se derivan de la erosión de rocas cristalinas y metamórficas que se encuentran presentes en la zona o cerca de ella, localizadas principalmente al este de la Falla Bucaramanga.

Blanco y Rincón (2014), realizan una correlación estratigráfica entre las columnas de los sectores de la Mesa de Los Santos y Mesa de Ruitoque con la sección tipo del río de Lebrija, estableciendo el tipo de contacto superior de la Formación Girón como un contacto continuo transicional con la suprayacente Formación Los Santos.

Osorio (2016) se opone a denominar el afloramiento de la Formación Girón en el sector del río Lebrija como sección tipo debido a que *“es una secuencia poco favorable para realizar correlaciones regionales”* por tanto sugiere que debería tomarse como un depósito local de 3.350 m de espesor y propone un nuevo nombre informal “Formación Angostura del Río Lebrija o Formación Río Lebrija”.

Además, describe una secuencia de capas rojas en el sector de Zapatoca a la cual no le reconoció la base y por tanto le propone el nombre informal de Capas Rojas de Los Yariguies, que encontró muy similar a la sección ubicada entre el municipio de Zapatoca y las minas de yeso de la Cuchilla Lagunetas, en el costado oriental del Sinclinal de Zapatoca, así mismo encontró similitudes entre las anteriores secciones con las presentes en los sectores de la Mesa de Ruitoque y la Mesa de Los Santos, y propuso que serían parte de esta misma unidad apoyado en las características faciales, geométricas y en la presencia de niveles de paleosuelos parecidos. Además, reafirma el uso del término Grupo Girón siendo parte de este grupo localmente las Capas Rojas de Los Yariguies y posiblemente las mesas de Ruitoque y Los Santos, y la Formación Angostura del Río Lebrija, ambos constituirían la parte inferior del grupo, representando ambientes diferentes pero contiguos y posiblemente sincrónicos. La parte superior

del Grupo Girón la constituye la Formación Los Santos, que se extiende de manera regional y representa una transición en los ambientes de depósito. El depósito conglomerático presente en la parte superior de la Formación Angostura del Río Lebrija se reafirma como un depósito local y se denomina miembro Tambor, siguiendo la propuesta de Etayo (1989).

5. Marco Teórico

5.1. Geometría de las capas:

La geometría de una capa depende de las relaciones entre las superficies de estratificación, las cuales presentan una variedad de formas mencionadas comúnmente son tabular o lenticular. Sin embargo, pueden tener forma de cuña, irregulares o formas curvadas-tabulares (Campbell, 1967).

5.2. Superficies de estratificación de las capas

Las superficies de estratificación son superficies depositacionales que revelan las capas de estratificación. Se producen durante los períodos de no depositación o cambio brusco en las condiciones de depositación y erosión comúnmente acompañado de una no depositación.

Estas superficies de estratificación son sincronas y se forman en un instante del tiempo geológico, ya que se puede observar su formación y la depositación de la capa superpuesta en los sedimentos que se acumularon. Cuando las estructuras de la litología y las estructuras

sedimentarias no cambian de capa en capa, las superficies de estratificación no pueden reconocerse fácilmente y parecen discontinuas; pero un estudio cuidadoso de tales secuencias de rocas generalmente revelan algún patrón de características internas que permiten la división de las capas. Estas superficies pueden ser paralelas o no paralelas (Figura 3) y se describen como plana, onduladas o curvas (Campbell, 1967).

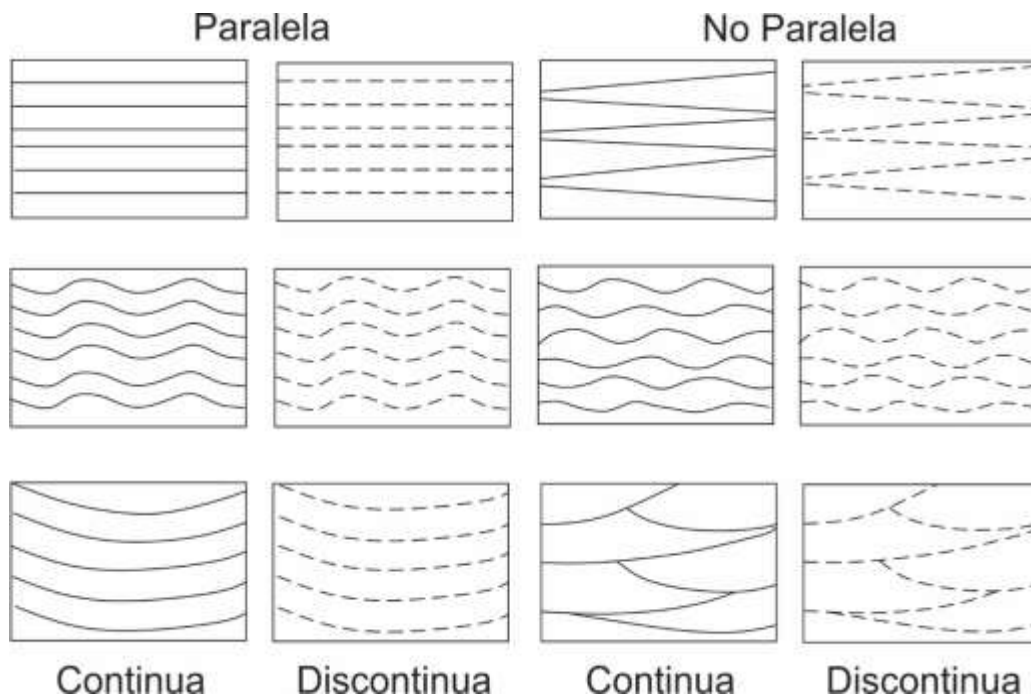


Figura 3. Tipos de superficies de estratificación para rocas sedimentarias.

Fuente: Campbell 1967. Modificado por autores.

5.3. Espesor de las capas

El espesor de los estratos varía ampliamente desde fracción de milímetro a decenas de metros.

Dentro de este amplio rango, la variación del espesor es continua y depende en función del tamaño, disponibilidad y mecanismos de depositación de las partículas (Tabla 1).

Tabla 1.

Clasificación de espesor de los estratos.

Según Mckee and Weir (1953). Ingram (1954)			Clasificación según Campbell (1967)				
ESTRATO	Lecho o Capa	Muy gruesa	Mayor a 100 cm	Lecho o Capa	Muy gruesa		
		Gruesa	30 a 100 cm		Gruesa		
		Media	10 a 30 cm		Media	Muy gruesa	Lamina
		Fina	3 a 10 cm		Fina	Gruesa	
		Muy Fina	1 a 3 cm		Muy Fina	Media	
	Lámina	Gruesa	0.3 a 1 cm	Fina			
		Fina	0.1 a 0.3 cm	Muy Fina			

Fuente: Mackee and Weir (1953) e Ingram (1954) y Campbell (1967). Tomado de Cruz Guevara y Cabllero (2007).

5.4. Facies

El significado de la palabra facies ha sido muy controversial en geología. Se utiliza tanto en sentido descriptivo como en sentido interpretativo. Las facies descriptivas incluyen dos conceptos litofacies y biofacies, ambos términos utilizados para referirse a ciertos atributos observables en las rocas sedimentarias que pueden ser interpretados en términos de procesos depositacionales o biológicos. Una litofacies es una unidad de roca definida sobre la base de sus características litológicas distintivas, incluyendo la composición, estructuras sedimentarias características, un rango de tamaño de grano limitado, un cierto espesor de la capa y tal vez una textura o color distintivo (el color está sujeto a cambios diagenéticos y no debe usarse como criterio principal en la definición) (Miall, 2016).

Para el estudio sedimentológico, un depósito puede dividirse en una serie de litofacias. Estas pueden ser estratos individuales de unos pocos milímetros de espesor o una sucesión de estratos de decenas a cientos de metros de espesor. La escala de una unidad de litofacias o biofacias depende del nivel de detalle incorporado en su definición. En gran medida, las escalas en las que se definen las unidades de litofacias reflejan criterios de conveniencia. El término es, por lo tanto, muy flexible y conveniente para fines descriptivos.

En el sentido interpretativo cada litofacia representa un evento depositacional individual y pueden agruparse en asociaciones o conjuntos de litofacias, que son características de entornos particulares de depositación. Estos conjuntos son la base para definir modelos de litofacias, comúnmente son repetitivos y pueden ser cíclicos (Miall, 2016).

5.5. Sistemas fluviales:

Los depósitos fluviales abarcan un amplio espectro de sedimentos generados por las actividades de río, arroyos, y los procesos sedimentarios (Boggs, 1987). Son especialmente importantes para realizar la reconstrucción de la historia geológica de una región, debido a que delimita condiciones paleogeográficas y paleotectónicas como: la presencia de zona de subsidencia asociada a extensión o transtensión, la presencia de una falla normal o de desplazamiento lateral en el límite entre el alto morfológico y la cuenca sedimentaria. Se pueden reconocer varios subambientes del sistema fluvial los cuales son asociados a tres grandes configuraciones (Figura 4): abanico aluvial, río trenzado y río meándrico (Boggs, 1987).

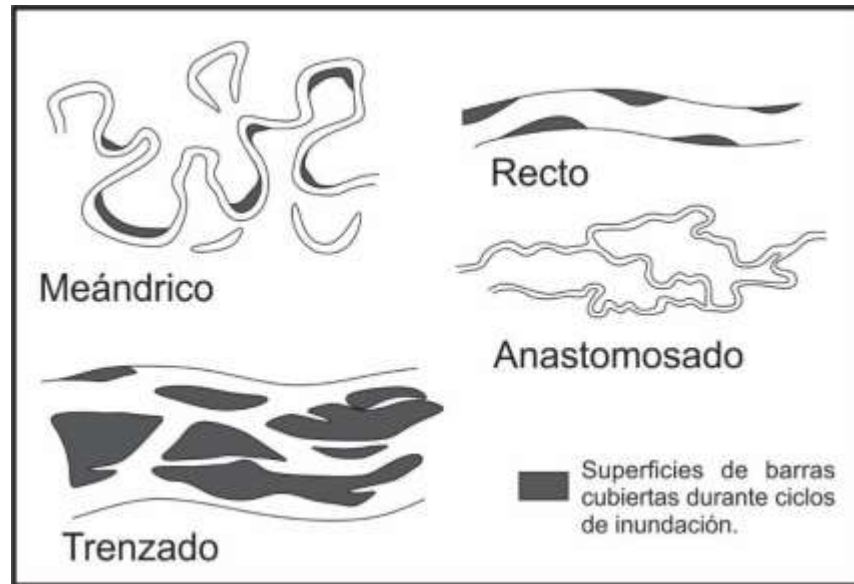


Figura 4. Configuración de los diferentes tipos de ríos: Meándrico, Recto, Trenzado y Anastomosado.

Fuente: Boggs (1987).

5.5.1. Abanico aluvial. Los abanicos son una acumulación de materiales clásticos, en forma de cono con el vértice en la desembocadura del canal principal, situada aguas debajo de una ruptura de pendiente y que se ha generado como consecuencia de la pérdida de encajamiento del canal alimentador del sistema fluvial (Archie, 2010).

La geometría planimétrica del abanico y sus dimensiones reflejan un cierto equilibrio entre los diversos factores que inciden sobre él, entre estos se destacan la litología, el tipo de superficie y de pendientes principales, así como la cobertera vegetal de la cuenca de drenaje que suministra en gran medida el material terrígeno que lo constituirá (Archie, 2010). La granulometría por lo general se presenta de mayor tamaño hacia las inmediaciones del ápice, en la cabecera, mientras que las granulometrías más finas se hallan localizadas hacia las zonas más alejadas o marginales a los abanicos.

Uno de los aspectos morfológicos más evidentes es la relación directa entre la superficie del abanico aluvial y la correspondiente de su área fuente, es decir a mayor superficie del área fuente existirá también una gran superficie del abanico aluvial (Archie, 2010).

5.5.2. Río trenzado. Los ríos entrelazados o trenzados se caracterizan por canales amplios y poco profundos, en los que durante los periodos de aguas bajas se observan múltiples cursos que se bifurcan y reagrupan entorno a barra o islas, en general definido como cursos de agua de múltiples canales y baja sinuosidad. (Archie, 2010).

Este sistema puede transportar carga de fondo de gravas, de arenas o mixtas y muestran amplia variedad de escala y son denominados ríos de carga de lecho. Cuando la carga de lecho se deposita como barras de arena o grava en el canal, el flujo se divide para dar al río una forma trenzada.

Las barras son unidades detríticas de geometría y composición variable que separan la corriente de agua de los distintos canales, que son expuestas en etapas de flujo bajo, pero están cubiertas cuando el flujo está al nivel máximo normal del río. El caudal es generalmente más fuerte entre las barras y el material más grueso será transportado y depositado en el suelo del canal para formar una acumulación de clastos más grandes. Estas barras se clasifican según su morfología y posición dentro del canal como: barra simple o unitaria, barra compuesta y asociaciones de barras que podrían denominarse ensambladas o múltiples (Archie, 2010).

Las islas están vegetadas y no se cubren por el agua durante las etapas normales de crecida del río; esta vegetación es controlada por el tiempo de emersión de la superficie de la barra, por el tiempo de emersión, por el tipo de sedimento y de la duración de los periodos de erosión y sedimentación del sistema (Archie, 2010).

5.5.3. Río meándrico. Los ríos meandriformes se desarrollan mejor sobre pendientes bajas, con corrientes que transportan una relación carga en suspensión /carga en tracción elevada y con materiales cohesivos en sus márgenes (Archie, 2010). Presenta un modelo más organizado de procesos de canal y una separación más clara de los ambientes de canal y de desbordamiento que los de baja sinuosidad. Los canales meandriformes aparecen en bandas discretas en llanuras aluviales, en valles o entre terrazas, por lo que pueden transportar una amplia gama de sedimentos desde gravas a lodos y son transicionales entre trenzados y anastomosados

Los principales elementos morfológicos de un sistema de ríos meandriformes son: canal principal, barra de punta, los bordes naturales, planicies de inundación, lagos laterales y áreas de desborde, los cuales el sedimento se acumula debido a la acción del canal principal y de la inundación periódica de la planicie adyacente (Archie, 2010).

En este sistema domina un patrón de flujo helicoidal especialmente cuando el nivel del agua es alto. De este modo se va a producir un patrón de sedimentación muy especial, ya que los detritos se depositan en una capa inclinada dispuesta sobre el margen de acreción (margen interno) del meandro, generando así dentro de un canal una estratificación cruzada. La acumulación de sedimento en el margen de acreción provoca la excavación en el margen contrario, de modo que se desplaza lateralmente y se mantiene la sección transversal casi invariable. Por lo tanto dentro del canal se produce sedimentación principalmente por acreción lateral (Archie, 2010). Por el contrario, en las grandes crecidas, el agua que transporta el sedimento en suspensión en la parte alta del canal puede superar los márgenes del mismo depositando su carga en la llanura adyacente, dando lugar a una llanura de inundación en la que se producirá principalmente acreción vertical (Archie, 2010).

5.5.4. Río anastomosado. Los ríos anastomosados se caracterizan por presentar un entramado de estrechos canales que se conectan y desconectan entre sí. A diferencia de los sistemas trezados, estas bifurcaciones y confluencias se suceden valle abajo a distancias que superan en muchas veces la anchura de los canales. Los cauces pueden presentar con valores de sinuosidad muy variables si bien estos suelen ser altos. También presentan gran estabilidad de los canales, que suelen desarrollar diques continuos en ambos márgenes, bien fijado por vegetación (Archie, 2010).

Los canales anastomosados aparecen generalmente en zona de muy poca pendiente de las cuencas aluviales, tales como: ciénagas, marismas o llanuras deltaicas, donde se presentan gran humedad y permite gran desarrollo de vegetación (Archie, 2010).

5.6. Procedencia de sedimentos

El estudio de procedencia sedimentaria interrelaciona varias de las principales disciplinas geológicas (mineralogía, geoquímica, geocronología, sedimentología, petrología ígnea y metamórfica) e incluye la ubicación y la naturaleza de las zonas de origen, las vías por las que los sedimentos se transportaron desde el área fuente hasta la cuenca de depositación y otros factores que influyen en la composición de las rocas sedimentarias como el clima, el ambiente tectónico y el relieve (Haughton et al., 1991). La validez y el alcance de los estudios de procedencia están determinados por una serie de atributos de los sedimentos o roca sedimentaria objetivo, como su tamaño de grano, grado de meteorización, etc.

El determinar la ubicación del área fuente es un punto crítico y para ello se necesita de datos auxiliares que limiten las posibilidades. Estos datos deben restringir tanto la dirección en la cual

la fuente estaba con respecto a la cuenca de depositación como una estimación de la distancia de transporte. Además, es muy importante tener ciertas restricciones y cuidados en el grado en que la composición de los sedimentos se ha sesgado de su composición original debido a diferentes factores como abrasión, erosión, segregación hidráulica, diagénesis y/o reciclaje de sedimentos (Haughton et al., 1991).

Los datos de procedencia pueden jugar un papel crítico en la evaluación de las reconstrucciones paleogeográficas debido a que la composición de los sedimentos que se acumulan en una cuenca refleja la composición del área fuente de donde proviene porque indica que las rocas de determinada litología estuvieron en algún momento expuestas a la meteorización y erosión ya sea, en un orógeno, cinturón de cabalgamiento, cratón o un paleo-alto. Por tanto, se hace indispensable para estos estudios conocer la litología del área fuente potencial (Graham et al., 1986).

5.6.1. Método Gazzi-Dickinson (Ingersoll et al., 1984). Sobre la relación entre la composición modal y el tamaño de grano, existen dos escuelas fundamentales de pensamiento sobre el tema: 1) aquella que cree que hay una dependencia fundamental entre estos dos factores y 2) La que cree que la composición modal puede determinarse independientemente del tamaño de grano, dando mayor énfasis al uso de técnicas petrográficas para reconstruir composiciones detríticas originales. A este método se le denomina de Gazzi-Dickinson (Ingersoll et al., 1984). Los autores sugieren clasificar a las partículas del tamaño de arena que se encuentran dentro de un fragmento de roca como partículas monocristalinas, así por ejemplo un fragmento metamórfico que está formado en un 90% de una retícula de cristales grandes de cuarzo y solamente un 10% de un mosaico de grano muy fino de cuarzo y mica. Por los métodos

propuestos por Basu (1976), Mack y Suttner (1977), Suttner et al. (1981) en Ingersoll et al. (1984) el total del fragmento se clasifica como fragmento metamórfico. En cambio, por el método de Gazzi-Dickinson, se consideran los cristales de cuarzo como cuarzo monocristalino, y solamente 10% de dicho fragmento se clasifica como lítico. En el caso de que el grano se disgregara en partículas de menor tamaño por efecto del transporte, el resultado final del conteo se mantendría 90% cuarzo monocristalino y 10% lítico metamórfico. Los mismos autores proponen que partículas menores a 0.0625 mm de diámetro no deben ser incluidas en el conteo de puntos. Por tanto, el método de Gazzi – Dickinson reduce los efectos del tamaño del grano y la alteración en la composición permitiendo la determinación exacta del modo detrital y la procedencia original. Sin embargo, la validez de los criterios utilizados por el método de Gazzi-Dickinson ha sido y seguirán siendo motivo de discusión.

El diagrama ternario QmFLt de Dickinson (1985) (Figura 5) permite hacer una discriminación de ambientes tectónicos de áreas de aporte para areniscas originadas en cratones estables, basamentos elevados, arcos magmáticos y orógenos reciclados.

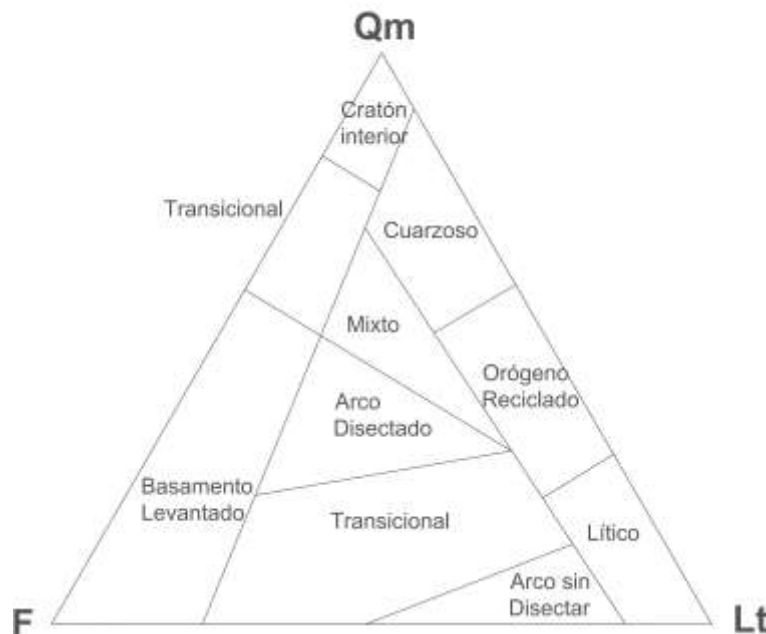


Figura 5. Diagrama ternario QmFLt para la discriminación de procedencia.
Fuente: Dickinson (1985).

5.6.2. Método de Howard (1993). Es aplicado en conglomerados, rocas sedimentarias que contienen predominantemente granos de tamaño de grano superior a 2 mm, es análogo a la técnica de conteo de puntos de uso común para el análisis modal de la roca en secciones delgadas y determina cuantitativamente las proporciones (porcentajes) de uno o más tipos de clastos en la población de estudio.

Este método incluye tres formas diferentes de realizar aleatoriamente el conteo dependiendo de las condiciones del afloramiento: método de la grilla o cuadrícula, de la cinta y método del área (Figura 6). El método de la cinta, es independientemente del espesor de la capa conglomerática a diferencia de los otros, permitiendo realizar un conteo sistemático contando de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, de tal manera que permite alcanzar n réplicas necesarias hasta obtener el conteo total.

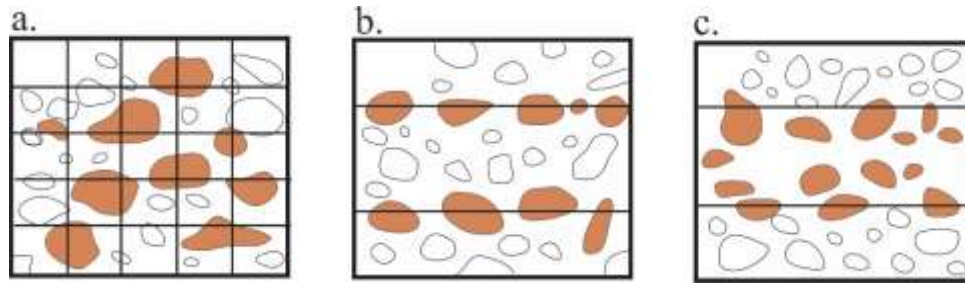


Figura 6. Métodos de conteo en conglomerados para campo. a) grilla b) cinta y c) área.
Fuente: Howard (1993).

6. Marco Geológico

Los Andes colombianos constituidos por tres grandes franjas montañosas: Cordillera Oriental, Central y Occidental, deben su formación a múltiples acreciones de terrenos tectono - estratigráficos, producto de la compleja interacción de las placas Nazca, Caribe y Suramérica. Constituidos por tres grandes fajas montañosas: Cordillera Oriental, Central y Occidental.

La Cordillera Oriental en el sector de Bucaramanga se caracteriza por estar formada por una serie de bloques que pueden distinguirse en: un bloque paleozoico, entre Bucaramanga y Cúcuta, un bloque mesozoico de altitudes medias y un bloque cenozoico: el Valle del Magdalena. El presente estudio se refiere al bloque mesozoico conocido como la región de las mesas que se extiende desde más al norte de Bucaramanga hasta las inmediaciones del municipio de Vélez (Julivert, 1958). Los límites estructurales de la zona de interés son: Al oriente la Falla Bucaramanga, al oeste las inmediaciones del sistema de Fallas del Suárez, al norte por el río Lebrija y al sur por el Sinclinal de Zapatoca y la Mesa de Los Santos.

6.1. Estratigrafía

En el área de estudio afloran rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias de edad Proterozoico al Cuaternario, representadas desde la más antigua a la más joven por el basamento ígneo metamórfico que incluye el Neis de Bucaramanga, Formación del Silgará: Esquistos del Silgará, Esquistos del Chicamocha y Filitas de San Pedro, Cuarzomonzonita de La Corcova y el Granito de Pescadero, y por la secuencia sedimentaria de tipo continental dada por las formaciones Jordán, Girón y Los Santos. Una secuencia de unidades cuaternarias determinadas por depósitos de terraza y cono aluvial culminan el registro sedimentario reconocido. Todas las unidades anteriores son descritas a continuación.

6.1.1. Basamento Ígneo Metamórfico

6.1.1.1. Neis de Bucaramanga. El nombre de la unidad es introducido originalmente por Goldsmith, et al. (1971) y posteriormente dado por Ward et al. (1973). Tiene como localidad tipo el frente montañoso al oriente de Bucaramanga (Cerro La Judía y Morro Negro), compuesta por una secuencia de paraneises cuarzofeldespáticos, hornbléndicos, micáceos y granatíferos, migmatitas, cuarcitas, mármoles y esporádicamente granulitas. Refleja un ciclo de la Orogenia Grenvilliana, datada con K/Ar al W de la Falla Bucaramanga, obteniendo una edad de 950+40m.a, la cual es ubicada en el Proterozoico Superior (Ward et al., 1973).

Las unidades que suprayacen al Neis de Bucaramanga son de edad Paleozoico, Jurásicos y en algunos sectores del Cretácico. La Formación Silgará en el sentido de Ward et al. (1973) es la unidad más común con la que se encuentra en contacto el Neis de Bucaramanga, sin embargo, el

contacto entre estas unidades no se ha podido determinar con exactitud pues existe mucha similitud litológica. Adicionalmente se reporta que el Neis de Bucaramanga ha sido intruido por plutones félsicos del Paleozoico y Jurásico.

6.1.1.2. Formación Silgará. Anteriormente nombrada por Ward et al. (1973) como Formación Silgara, y en estudios más recientes a partir de nuevos análisis geocronológicos y geológicos que indican diferencias litológicas y edad de metamorfismo, se propone la escisión de esta unidad en por lo menos tres franjas diferentes: Esquistos del Silgará (s.s.), Esquistos del Chicamocha y Filitas de San Pedro (Mantilla et al., 2016).

Los Esquistos del Silgará: aflora en el sector Matanza- Cachirí son una unidad fundamentalmente pelítica y semipelítica, cuyo pico de metamorfismo se relaciona con el evento orogénico principal Fammatiniano (localmente referido como Quetame- Caparonensis) de edad Ordovícico Temprano que registra los principales eventos de metamorfismo regional que han afectado a este sector de los Andes septentrionales (Mantilla et al., 2016).

Esquistos del Chicamocha: aflora en el sector Piedecuesta – Aratoca, unidad compuesta principalmente de meta-psamitas, meta-pelitas y meta-basitas, y posiblemente litologías calcosilicatadas(?), Mantilla et al. (2016) a partir de edades U-Pb de circones detríticos reportan una máxima edad estratigráfica del Cámbrico Medio-Temprano relacionada con el evento orogénico principal Fammatiniano.

Unidad Filitas de San Pedro: aflora en el sector de la Mesa de San Pedro (franja Piedecuesta- Aratoca), unidad compuesta principalmente por meta-psamitas, meta-pelitas y localmente muy posiblemente litologías meta-volcanoclasticas(?), Mantilla et al. (2016) reportan una máxima edad estratigráfica del Ordovícico Medio. Además, sugieren que esta unidad debió

ser afectada por eventos tecto-termales más recientes que el evento orogénico principal Fammatiniano, propuesto como un evento orogénico menor Fammatiniano (Silurico?).

6.1.1.3. Cuarzo monzonita de la Corcova. Unidad ígnea compuesta por roca plutónica de tipo cuarzo monzonita de grano fino a medio, principalmente equigranular y de textura sacaroide, con biotita uniformemente diseminada, es gris cuando está fresca, pero meteoriza a gris claro o gris amarillento. Esta se encuentra formando principalmente la masa del Plutón de La Corcova, como sección tipo sobre la vía Bucaramanga-Pamplona (Ward et al., 1973).

Una medición K/Ar en la moscovita de la Corcova muestra una edad para esta unidad de 111+4m.a, lo cual es semejante a edades K/Ar en biotita de rocas de los batolitos principales del macizo, arrojando una edad de 111+4m.a, de este modo la edad de la cuarzo monzonita de La Corcova en relación con tras rocas del Grupo Plutónico de Santander es incierta. (Ward et al., 1973).

6.1.1.4. Granito de Pescadero. Esta unidad se constituye de un granito leucocrático rosado naranja de grano fino a muy fino, equigranular a ligeramente porfirítico, con fenocristales de feldespato potásico solo ligeramente más grandes que el grano medio de la roca y unos pocos nidos dispersos de minerales máficos, es típicamente leucocrática con minerales accesorios escasos. Se encuentra conformando un plutón alargado de forma algo irregular al oeste de la Falla Bucaramanga. Su nombre se atribuye a los afloramientos expuestos en la vecindad de Pescadero, considerado como parte del Batolito de Mogotes (Ward et al., 1973).

Sobre esta unidad es depositada la Formación Jordán del Jurásico, cuyo conglomerado basal contiene fragmentos de roca tipo Pescadero y presenta al este un contacto intrusivo con el Neis de Bucaramanga a lo largo de la Falla Bucaramanga (Ward et al., 1973).

La edad radiométrica K/Ar determinada a partir de biotita, arroja una edad de 193±6 m.a, colocando en el mismo grupo del Batolito de Santa Bárbara y Cuarzomonzonita del Batolito de Mogotes. (Ward et al., 1973).

6.1.2. Unidades Sedimentarias.

6.1.2.1. Formación Jordán. Inicialmente identificada por Cediell (1968) en el estudio de la Formación Girón en el área de Bucaramanga, e incluida anteriormente en la Formación Girón y en mapas elaborados por Julivert et al. (1964). Su sección tipo se encuentra a 1 km al oeste del pueblo de Jordán, sobre el cañón del río Chicamocha y está constituida por una secuencia inferior principalmente de arenisca de grano grueso, gris verdosa, en capas gruesas y unas pocas de shales gris verdosos, con estratificación cruzada, capas conglomeráticos con guijos hasta 2 cm de diámetro, y una secuencia superior de limolita de color uniforme marrón rojizo y arenisca de grano muy fino, bien estratificada en capas de 30-80 cm de espesor, Adicionalmente contiene rocas volcánicas silíceas de tipo tobas soldadas. Litológicamente es correlacionable a la Formación Guatapurí de la Sierra de Santa Marta (Ward et al., 1973) y presenta ambiente de depósito continental vulcanoclástico. (Royero y Clavijo, 2001).

6.1.2.2. Formación Girón. Inicialmente Hettner (1892) usa el nombre “Girón Series”, para designar un conjunto grueso de areniscas, conglomerados y limolitas color marrón rojizo

expuestas al oeste de Bucaramanga. Lanhenheim (1954), designa la localidad tipo en el cañón del río Lebrija con un espesor de 3.500 m divididos en tres miembros: miembro inferior arenoso (750 m), miembro intermedio lodoso (1.250 m) y miembro superior arenoso (1.500 m) (Ward, et al. 1973).

Otros autores como Julivert (1958) realizó un estudio de la Formación Girón en su parte basal y también Navas (1963), mide la sección tipo con un espesor de 2.600 m dividiéndola en siete litofacies, no obstante, Cediél (1968) elaboro un estudio más completo y detallado de la sección con un espesor de 4.650 m, obteniendo 8 litofacies litológicas las cuales incluye la Formación Los Santos en su parte superior.

Esta unidad presenta sus límites como contactos inconformables con la infrayacente Formación Bocas y suprayacente Formación Los Santos. A nivel general la Formación Girón está compuesta por areniscas de grano medio, grueso a ligeramente conglomeráticos, 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 u algunos niveles delgados de conglomerados con guijos de cuarzo hasta de 4 cm. (Royero y Clavijo, 2001).

Royero y Clavijo (2001) consideran que la sedimentación de esta unidad está dado por ambiente continental, fluvial a lacustre fluvial, que coincide con lo propuesto por Rocha (2005) quien considera un ambiente fluvial de canal y planicies de inundación, caracterizado por depósitos de barras de canal, depósitos de canales abandonados y de llanura de inundación, indica que la composición mineralógica de la secuencia en general, se derivan de la erosión de rocas cristalinas y metamórficas que se encuentran presentes en la zona o cerca de ella, localizadas principalmente al este de la Falla Bucaramanga.

Varios autores han propuesto edades para la Formación Girón, Langenheim (1959) le asignó edad del Pensilvaniano mediante fósiles vegetales. Sin embargo, Ward et al. (1973) le asigna edad de 190 m.a correspondiente al Jurásico a partir de edades radioactivas dadas por las rocas ígneas de las cuales se derivaron los sedimentos. Y Oppenheim (1940) correlaciona litológicamente la Formación Girón con la Formación La Quinta del Jurásico Superior.

6.1.2.3. Formación Los Santos. Inicialmente esta unidad fue nombrada como Formación Tambor por Hedberg (1931) en la sección tipo del cañón de río de Lebrija, posteriormente fue definida por primera vez por Cediell (1968) y redefinida por Laverde (1985) con el nombre de Formación Los Santos, la cual está constituida generalmente por capas gruesas de arenisca conglomerática con estratificación cruzada cóncava y cruzada plana, capas gruesas a muy gruesas de lodolita arenosa y arenisca lodosa de grano fino, conglomerado areno-lodoso, intercalados por arenisca de grano fino bien seleccionadas de granos subredondeados a ligeramente lodosa y conglomerados con lodolita gris oscura, maciza con alto contenido de fósil y su notable dolomitización (Clavijo, 1985).

La sección tipo de la quebrada Piedra azul indica una asociación de ambientes continuos representados en un paleosistema fluvial evidenciando cambios sistemáticos en los procesos de sedimentación, gradientes y el aporte de sedimentos desde su nacimiento en zonas de abanicos aluviales hasta la desaparición gradual, integrando llanuras de mareas que iniciaban la transgresión del mar Cretácico (Clavijo 1985; Laverde 1985; Laverde y Clavijo 1985).

La Formación Los Santos presenta una discontinuidad estratigráfica con la infrayacente Formación Girón, mientras que su contacto superior es considerado concordante con la suprayacente Formación Cumbre (Ward et al., 1973). La edad de esta unidad es considerada

entre el intervalo del Valanginiano al Hauteriviano Inferior, sin embargo, Cediél (1968) considera una edad del Berriasiano. Litológicamente es correlacionable con las areniscas basales del Tibú que constituyen la Formación Rionegro en Venezuela (Ward et al., 1973).

6.1.2.4. Cuaternario. Finalmente, en la zona de estudio se presentan depósitos cuaternarios correspondientes a depósitos aluviales (Qal) distribuidos principalmente en los valles de ríos y quebradas, compuestos por roca no consolidada, los cuales presentan una edad del Pleistoceno (Royero y Clavijo, 2001). Los depósitos generados por fenómenos de remoción en masa se han clasificado en depósitos coluviales de ladera (Ql), deslizamientos activos (Qda) y deslizamientos inactivos (Qdi), están constituidos por áreas con gruesos depósitos de deslizamiento, talud y corrientes de lodo dado por pendientes fuertes donde una masa de roca se encuentra encima de otro producto de procesos activos que ocurren en el depósito. La edad de esta unidad probablemente esta entre el intervalo del Pleistoceno al Holoceno (Ward et al., 1973).

6.2. Geología estructural

El área de estudio comprende una tectónica dada principalmente por dos estructuras importantes, La Falla Bucaramanga, que eleva el Macizo de Santander al este y el sistema de Fallas del Suárez (Julivert, 1958), dividiendo la región de las mesas en dos unidades estructurales de segundo orden, una occidental formada por la Plataforma de Lebrija y Macizo de Zapatoca y otra oriental que comprende Bucaramanga, y las mesas de Ruitoque y Los Santos.

Además de la Falla Bucaramanga y el sistema de Fallas del Suárez se encuentra una serie de fallas locales menores siendo de interés para este los lineamientos transversales 1 y 2, que junto a las estructuras mencionadas anteriormente se describen a continuación con mayor detalle.

6.2.1. Falla Bucaramanga. Se extiende desde el municipio de Curumaní y el extremo noroccidental del Macizo de Santander, y hace parte del Sistema de Fallas de Bucaramanga (SFB) que tiene dirección aproximada N20°W y comprende una extensión longitudinal de aproximadamente 600 Km, si se asume un trazo único (Cuellar et al., 2012). El SFB es considerado un sistema de fallas de rumbo con movimiento sinistral (Campbell, 1965; Boinet et al., 1989; León, 1991; Vargas y Niño, 1992; Clavijo et al., 1993; Clavijo et al., 1994a), cuyo desplazamiento ha sido estimado entre 40 y 240 km (Alberding, 1957; Campbell, 1965; Tschanz et al., 1969, 1974; Etayo y Rodríguez, 1985; Gansser 1955; Toro 1990). Sin embargo, autores como Paris et al. (2000) y Diederix et al. (2008) la definen en la zona de Bucaramanga como una estructura de rumbo sinistral con movimiento inverso en la vertical.

6.2.2. Falla del Suárez. Se extiende desde Barbosa al sur hasta la Falla Bucaramanga, con una longitud de 120 km, caracterizada por una dirección N20°E y N25°E, con inclinación al oeste siguiendo el curso del río Suárez y río de Oro. (Royero y Clavijo, 2001). Es definida como una falla de tipo inversa de ángulo alto y de actividad cuaternaria (Paris et al., 2000) con una flexura monoclinial en su extremo sur (Julivert, 1958).

La falla desplaza rocas de edad Jurásica y Cretácica en la mitad sur de la misma y hacia su extremo norte en el río Sogamoso, afecta los sedimentos cuaternarios del Abanico de Bucaramanga. Además, desplaza verticalmente la planicie de erosión Pliocena ubicada sobre las

mesas de Ruitoque y Los Santos con 6° de buzamiento al oeste, la cual es correlacionable con la Plataforma de Lebrija. (Diederix et al., 2008). En los rasgos característicos de la tectónica post-cretácica esta falla hunde su bloque E y es la responsable en parte de la basculación hacia el W que presenta la región de la mesa y cuestras, basculación a la cual ha coadyuvado el movimiento positivo que ha presentado el Macizo de Santander con posterioridad al Cretácico (Tellez, 1964).

6.2.3. Lineamiento transversal 1. Es una estructura con movimiento en rumbo dextral y una componente normal en la vertical cuya génesis es asociada al evento de extensión reportado para el Jurásico Tardío – Cretácico Temprano, evidenciado por el lineamiento localizado al norte de la Mesa de Los Santos, sobre la quebrada Los Montes (Araque y Otero, 2016). A diferencia de la Falla del Suárez, esta estructura no sufrió inversión durante la época de acortamiento debido a que solo se reactivan las fallas que presentan una orientación favorable con el nuevo tensor de esfuerzos (Caballero, 2013).

6.2.4. Lineamiento transversal 2. Presenta una dirección NE- SW y se encuentra localizada al oeste de la Falla Bucaramanga

7. Metodología

7.1. Estratigrafía

Esta fase contiene el reconocimiento de cuatro secciones escogidas estratégicamente en el bloque colgante y yacente de la Falla del Suárez, identificación de afloramientos y revisión de columnas estratigráficas de autores previos con lo visto en campo en las cuales se identificó la zona de contacto entre la Formación Girón y la Formación Los Santos, que para este trabajo de investigación fue tomada como el nivel guía. Se incluye el levantamiento de las columnas en donde se encontraron diferencias en cuanto a espesores y descripciones sedimentológicas (descripción textural, composicional y estructuras sedimentarias).

7.2. Petrografía de areniscas

Se realizó el análisis petrográfico de las muestras con el objeto de estimar las características texturales y composicionales de las rocas. Para ello se elaboraron 10 láminas delgadas a partir de las muestras de areniscas extraídas en las diferentes secciones de trabajo. Las láminas fueron teñidas con sodio cobaltinitrito para una mejor identificación de los feldespatos, además de la tinción para evaluar la porosidad. El primer paso para el análisis petrográfico fue la identificación y definición de los diferentes tipos de componentes del armazón (Tabla 2 y Figura 7), con base en lo anterior se realizó el conteo de 300 puntos siguiendo la metodología de Gazzi-

Dickinson (Ingersoll et al., 1984) y con los datos obtenidos se realizó el cálculo modal siguiendo los criterios de la Tabla 3 Para los diagramas ternarios QtFL y QmFLt (Folk (1974) y Dickinson (1985) respectivamente).

En cada sección de trabajo se presenta la madurez textural (granulometría, redondez, calibrado, tipo de matriz y porcentaje de material intersticial) (Tabla 6, Tabla 11 y Tabla 14) y las petrofacies de cada lamina delgada (Figura 37). La Tabla 5, Tabla 10 y Tabla 13 muestran los resultados normalizados de los conteos de puntos. La ubicación de las secciones de conteo, láminas delgadas y levantamiento de columnas se pueden observar en la Figura 10 y en las columnas estratigráficas de cada sección de trabajo.

Tabla 2.

Definición de los tipos de grano del armazón utilizados para el conteo de las areniscas.

Textura	Código	Nombre	Descripción
a	Qm	Cuarzo monocristalino	Granos de caras sucias (en ocasiones fracturados por la elaboración de la sección) con extinción recta y algunos odulosa
b	Qpd	Cuarzo policristalino de bordes difuso	Se observa con contactos suturados entre los cristales de cuarzo, dando una apariencia policristalina. No presenta orientación en dirección preferencia
c	Qpf	Cuarzo Policristalino Foliado	Se observan cristales alargados y orientados en una dirección preferencial (si se usa la cuña de cuarzo se puede apreciar mejor la orientación y la extinción intercalada)
d	Qps	Cuarzo Policristalino Sedimentario	Se observa dentro del fragmento homogéneo cristales de tamaño de grano limo a arena muy fina. En nicoles paralelos se logran diferenciar los granos de menor tamaño en el interior
e	Pl	Plagioclasa	Se observan granos angulares en ocasiones redondeados, ehuedrales presentan macla de enrejado o tartan y meteorización parcial.
f	Fk	Feldespato Potásico	Los granos son identificados a partir de la tinción de sodio cobaltinitrito que presenta colores

Textura	Código	Nombre	Descripción
			amarillo verdosos, en ocasiones presentan alto grado de alteración observándose parcialmente disueltos
g	Fi	Feldespato Indiferenciado	Los granos son difícilmente identificables, presentan alto grado de alteración observándose parcialmente disueltos
h	Ls	Lítico Sedimentario	Se observan fragmentos con caras sucias debido a su contenido de material arcilloso. Además en nicoles cruzados es claro la presencia de micas como parte de la matriz.
i	Lm	Lítico metamórfico	Se observan fragmentos constituidos por cuarzos y micas mostrando una orientación preferencial. Los cristales que los constituyen son alargados y están en contacto suturado entre sí.
j	Lv	Lítico Volcánico	Se observan fragmentos con texturas porfiríticas, en donde se presentan cristales embebidos en una matriz microcristalina.
k	Li	Lítico indiferenciado	Se observan fragmentos altamente alterados y/o destruidos durante el proceso de elaboración de la muestra y por tanto difícilmente diferenciables.
l	MP	Minerales Pesados	Se encontraron minerales de alto relieve y colores de interferencia de 3° orden, identificándose cristales de Circón entre otros.
m	Opac	Minerales Opacos	Se observan cristales ehedrales y de color negro en nicoles paralelos y nicoles cruzados
n	Mosc	Moscovita	Se observan cristales de Moscovitas flotantes
o	intrsil	Intraclastos siliciclasticos	Fragmentos de clastos limosos muy similares a la matriz y por tanto difíciles de distinguir.

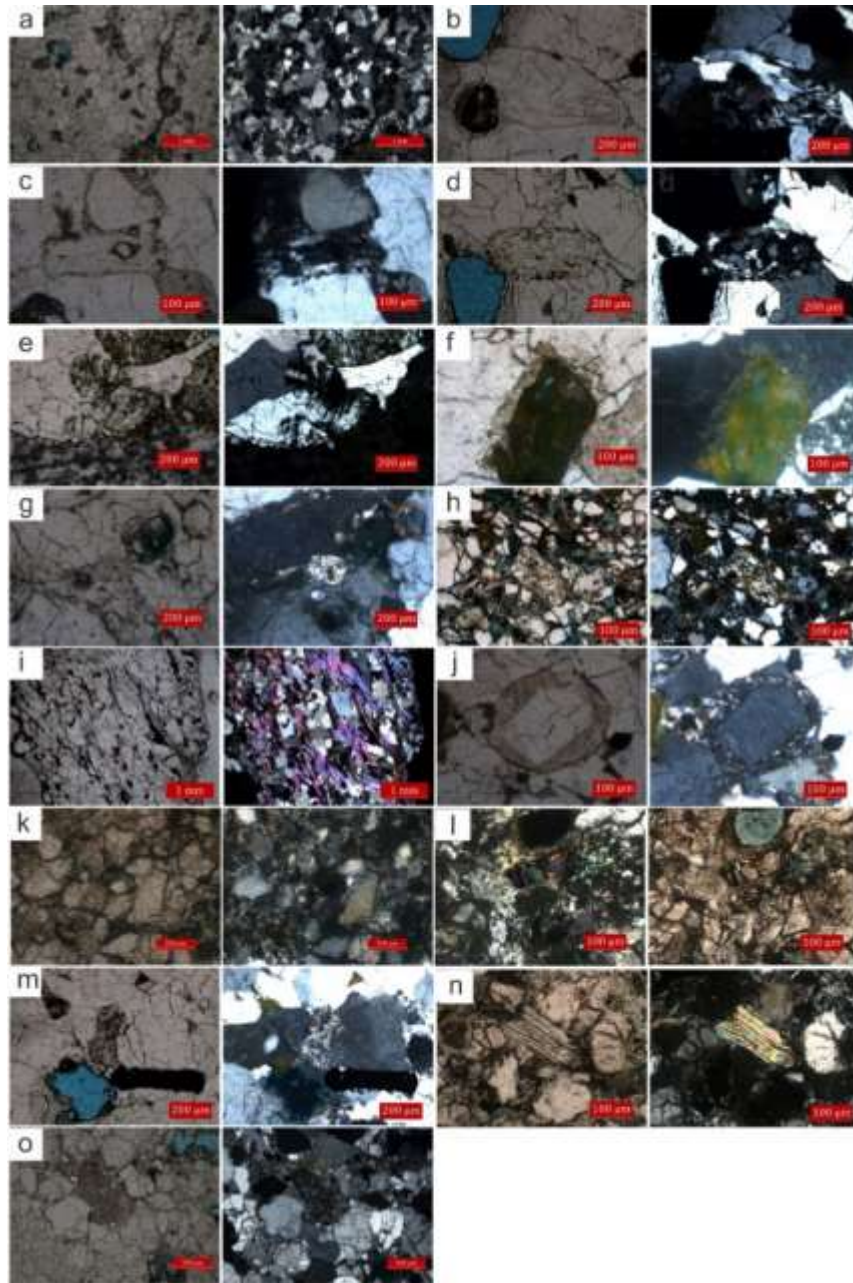


Figura 7. Componentes del armazón en nicoles paralelos y nicoles cruzados, a. Qm, b. Qpd, c. Qpf, d. Qps, e. Pl, f. Fk, g. Fi, h. Ls, i. Lm, j. Lv, k. Li, l. MP, m. opac, n. Mosc, o. intersil.

Tabla 3.

Parámetros para el cálculo modal utilizados en el conteo de las areniscas.

<i>Abrev.</i>	<i>Cálculo</i>
Qt=	$((Qm+Qpf+Qps+Qpd)*100/(Qm+Qpf+Qps+Qpd+Pl+Fk+Fi+Ls+Lm+Lv+Li))$
Qm=	$((Qm)*100)/(Qm+Qpf+Qpds+Qpd+Pl+Fk+Fi+Ls+Lm+Lv+Li)$
F=	$(Pl+Fk+Fi)*100/(Qm+Qpf+Qpd+Qpd+Pl+Fk+Fi+Ls+Lm+Lv+Li)$
L=	$(Ls+Lm+Lv+Li)*100/(Qm+Qpf+Qpds+Qpd+Pl+Fk+Fi+Ls+Lm+Lv+Li)$
Lt=	$(Qpf+Qpd+Ls+Lm+Lv+Li)*100/(Qm+Qpf+Qpds+Qpd+Pl+Fk+Fi+Ls+Lm+Lv+Li)$
St=	$(Qs+Ls)*100/(Qs+Qpf+QLm+Lv)$
Mt=	$(Qpf+Lm)*100/(Qpf+Qps+Ls+Lm+Lv+Li)$
Vt=	$(Lv)*100/(Qpf+Qps+Ls+Lm+Lv)$

Fuente: Montenegro-Castillo (2008).

7.3. Conteo de conglomerados

7.3.1. Metodología análisis de procedencia en conglomerados Howard (1993). El conteo de conglomerados en campo se realizó siguiendo la metodología de la cinta (Figura 8) de Howard (1993), que a diferencia de los otros es más favorable para realizar tratamientos estadísticos posteriores, permitiendo que todos los clastos abarcados en la cinta tengan la misma probabilidad de ser tomados en cuenta en el conteo.

Inicialmente se seleccionó al azar dentro del afloramiento una sección en cada capa conglomerática y se distribuyó una línea paralela al plano de estratificación, marcada cada 10 centímetros para clastos de diámetro mayor a 7 cm y cada 5 cm para clastos con un diámetro menor. A partir de estas líneas, se hizo un conteo sistemático (contando de izquierda a derecha y hacia abajo) de los clastos que coincidían con las marcas contenidas en ellas y se realizaron las réplicas necesarias para obtener al final del conteo 150 puntos. Clasificándolos en 4 subgrupos de clastos similares mediante observación en lupa de sus características macroscópicas,

categorizados como cuarzo de basamento, cuarzo sedimentario + chert, líticos metamórficos y líticos volcánicos.

Adicionalmente durante el desarrollo del conteo se tomaron anotaciones sobre las principales características texturales haciendo una descripción de la redondez, esfericidad y forma, que también arrojan datos importantes para el análisis de procedencia. Finalmente se elaboraron diagramas mostrando los porcentajes de clastos vs la posición estratigráfica para entender las variaciones en cuanto a la abundancia según la ubicación.



Figura 8. Método de la cinta (Howard, 1993) realizado en la sección de la La Punta, Mesa de Los Santos.

7.3.2. Identificación de líticos en laboratorio. Para la sección de La Punta Mesa de Los Santos fue posible realizar un análisis petrográfico de los conglomerados de la capa 2 del afloramiento, que presentaba clastos de diámetro mucho menor que las demás y que por tanto

dificultaba su identificación en campo. Se recolectó 1 kg de clastos en la sección con los cuales se realizó el proceso de cuarteo (solo una vez), lavado-secado y tamizado (Figura 9). obteniendo como resultado la muestra base para hacer el conteo de 150 clastos, clasificándolos en 4 subgrupos de clastos similares mediante observación en lupa de sus características macroscópicas, categorizados como cuarzo de basamento, cuarzo sedimentario + chert, líticos metamórficos y líticos volcánicos.

De cada subgrupo se tomaron 2 ó 3 líticos para la elaboración de las láminas delgadas que permitieron una mejor identificación y clasificación de los líticos en las categorías propuestas. A las láminas que mostraban líticos metamórficos se les realizó un conteo de 250 puntos para clasificarlas con mayor precisión. Este procedimiento también se aplicó a la muestra JE_CDR_04 de la sección de Zapatoaca.



Figura 9. Proceso de preparación de muestra para el conteo de guijos a. cuarteo b. lavado-secado y c. tamizado.

7.4. Procedencia

En esta última fase se realiza el procesamiento y análisis de los datos recolectados en campo y en laboratorio: análisis de litofacies, ambientes de depositación, petrofacies, conteo de

conglomerados y areniscas. La integración de estos datos permite hacer un análisis de las posibles áreas fuentes en la zona de estudio

8. Resultados

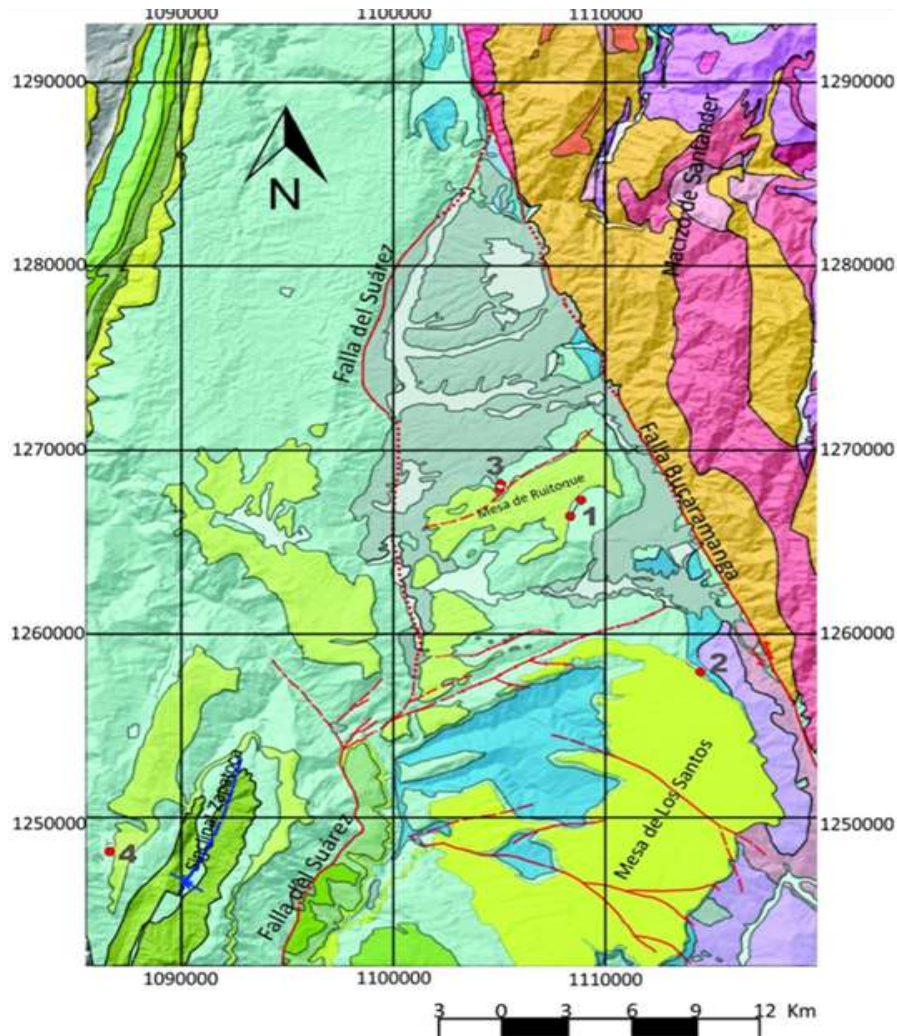


Figura 10. Mapa de localización del área de estudio. Los círculos rojos representan las coordenadas iniciales y finales para cada sección: La sección 1 Guatiguará Alto corresponde a 13.21 m, la sección 2 La Punta 3 m (se ubica solo un punto debido a que sus coordenadas son muy cercanas), la sección 3 Acapulco 28.62 m y la sección 4 Zapatoca 19.12m (se ubica solo un punto debido a que sus coordenadas son muy cercanas) de espesor estratigráfico de la Formación Girón.

Fuente: Modificado DE: Ward et al. (1973) cuadrante H-12..

8.1. Sección guatiguara alto

8.1.1. Estratigrafía. En la sección de trabajo (corresponde a la señalada con el número 1, Figura 10) se observa un afloramiento representativo de la Formación Girón de espesor 13.21 m (coordenadas: pinicial x: 1.108.357; y: 1.266.432. pfinal x=1.108.200; y: 1.266.374) que se encuentra en contacto transicional con la suprayacente Formación Los Santos (Figura 12).

La Formación Girón en esta sección está constituida hacia la base por areniscas masivas de grano fino y muy fino (Figura 11a). Las areniscas de grano fino y muy fino se presentan en capas gruesas con espesor de 1.5 m, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela discontinua. Texturalmente posee granos subangulares a redondeados, contactos flotantes, bien a moderadamente calibrada, en matriz areno-lodosa y cemento ferruginoso (Figura 12) Las areniscas de grano fino se presentan en capas gruesas de espesor de 0.5 m, con geometría lenticular y superficie ondulosa paralela discontinua. Texturalmente posee granos redondeados, contactos flotantes, moderadamente seleccionada, en matriz areno lodosa y cemento ferruginoso (Figura 12).

Hacia la parte media está constituido por intercalaciones de limolitas arenosas y areniscas de grano muy fino y medio (Figura b y c). Las limolitas arenosas se presentan en capas muy gruesas a gruesas vari coloreadas masivas de espesores entre 0.6 a 2.5 m, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela discontinua (Figura 12). Las areniscas de grano fino se presentan en capas gruesas de hasta 0.5 m de espesor, con geometría tabular, superficie de estratificación plana paralela continua y laminación plana paralela. Texturalmente son de granos redondeados, contactos longitudinales, bien calibrada, en matriz arcillosa y cemento ferruginoso (Figura 12)

Las areniscas masivas de grano muy fino y medio se presentan en capas gruesas a muy gruesas de 0.6 a 1.5 m de espesor, con geometría tabular, superficie de estratificación plana paralela discontinua. Texturalmente son de granos subredondeados, los contactos varían de longitudinales a puntuales, bien calibrada, en matriz areno-lodosa y cemento ferruginoso (Figura 12).

Hacia la parte superior está constituida por areniscas masivas de tamaño de grano muy fino y fino en contacto con la Formación Los Santos (Figura 11d). Las areniscas de grano muy fino se presentan en capas medias a gruesas de 0.8 y 2.0 m de espesor, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela discontinua. Texturalmente son de granos redondeados, contactos flotantes, bien calibrada, en matriz areno-lodosa y cemento ferruginoso (Figura 12), Las areniscas de grano fino se presentan en capas medias de hasta 0.4 m de espesor, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela discontinua. Texturalmente son de granos sub-angulares a subredondeados, contactos longitudinales, bien calibrada, en matriz areno-lodosa y cemento ferruginoso (Figura 12).

Finalmente se presentan areniscas masivas de grano muy fino y fino que hacen parte de la Formación Los Santos (Figura 11e). Las areniscas se presentan en capas gruesas a muy gruesas de hasta 1.56 m de espesor, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela continua. Texturalmente son de granos subredondeados a redondeados, contactos flotantes, bien calibrada, en matriz areno-lodosa y cemento ferruginoso (Figura 12).

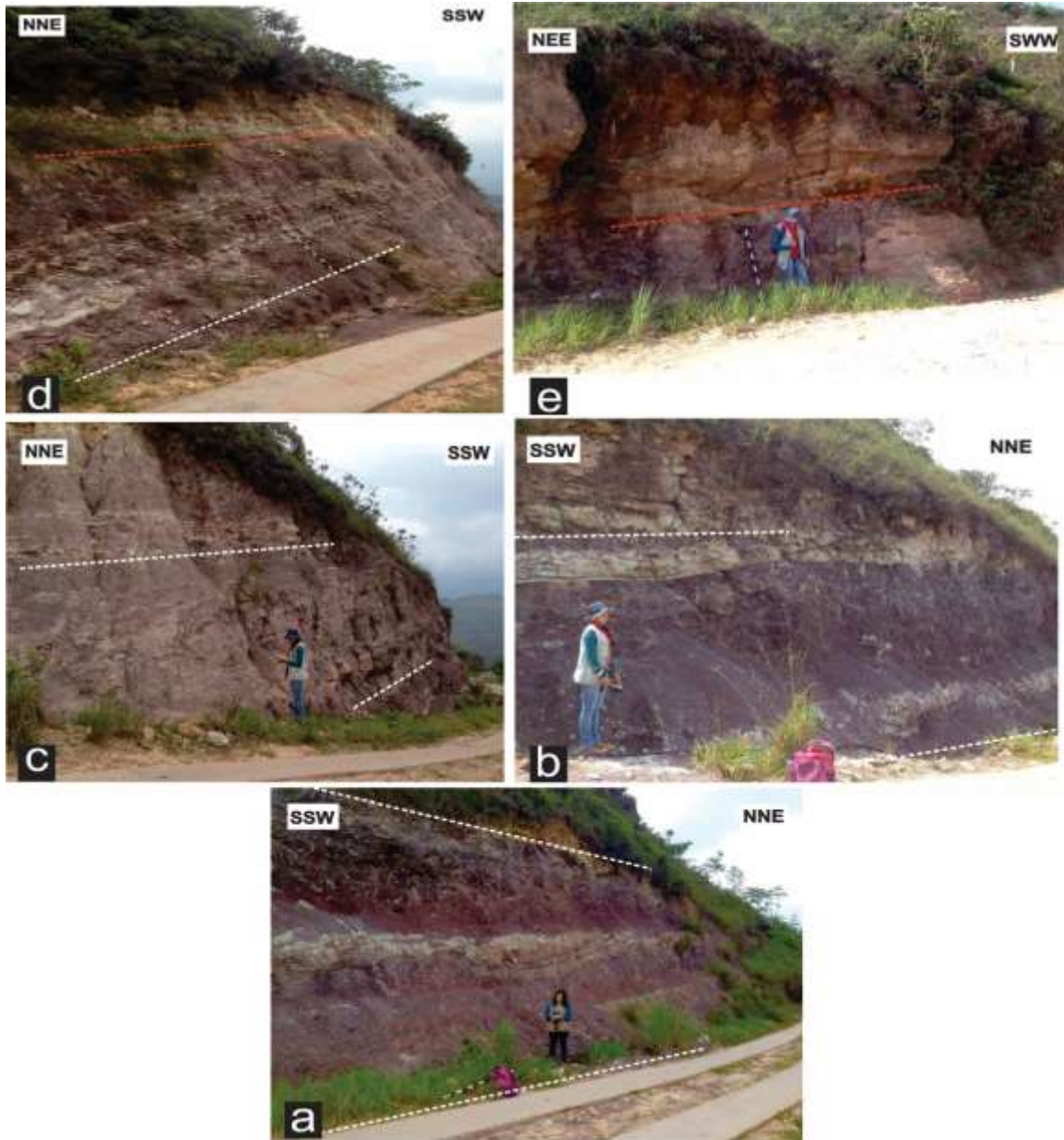


Figura 11. Afloramiento de la Formación Girón en la sección Guatiguará Alto. a. Parte inferior, se observa capas gruesas de areniscas con geometría tabular. b y c. Parte media, se observa limolitas arenosas vari coloreadas masivas e intercalaciones de limolitas arenosas y areniscas con geometría tabular. d. Parte superior, se observa capas medias a gruesas de areniscas con geometría tabular hacia la base y lenticular hacia el tope. e. Parte inferior de la Formación Los Santos, se observan capas gruesas de areniscas con geometría tabular

Con base en las anteriores descripciones se determinan 6 litofacies para la sección de Guatiguará Alto (Tabla 4) de acuerdo a las litofacies estándar propuestas por Miall (1996).

Tabla 4.

Litofacies de la columna estratigráfica de la Formación Giron en la sección Guatiguará Alto (GA).

Nomenclatura	Descripción	Interpretación
La	limolitas arenosas, varicoloreadas masivas	Depósitos de lodo interrumpido por bioturbación post-depositacional (Miall, 1977)
Af	areniscas de tamaño de grano fino, masivas	Deposición rápida de arena sin un desarrollo estable de estratificación o alteración post-depositacional del depósito (Moreno et al., 2010)
Afcl	areniscas de tamaño de grano fino y geometría lenticular	Deposición rápida de arena sin un desarrollo estable de estratificación o alteración post-depositacional del depósito (Moreno et al., 2010)
Amf	areniscas de grano muy fino, masivas	Deposición rápida de arena sin un desarrollo estable de estratificación o alteración post-depositacional del depósito (Moreno et al., 2010)
Amfl	areniscas de tamaño de grano muy fino, laminación plana paralela	Deposición durante un régimen de flujo superior en condiciones planas (Miall, 1977)
Am	areniscas de tamaño de grano medio, masivas	Deposición rápida de arena sin un desarrollo estable de estratificación o alteración post-depositacional del depósito (Moreno et al., 2010)

Se reconocen 5 asociaciones de litofacies descritas a continuación.

Asociación 1: se caracteriza por una secuencia de litofacies granodecreciente de capas de areniscas masivas finas, seguido de areniscas finas masivas con geometría lenticular (Afl), areniscas de grano muy fino masivas (Amf) y finaliza con limolitas arenosas (La) masivas.

Asociación 2: se caracteriza por una secuencia de areniscas masivas muy finas (Amf) seguido de areniscas de tamaño de grano fino (Af) y limolitas arenosas masivas (La).

Asociación 3: se caracteriza por una secuencia granodecreciente desde areniscas de grano medio masivas (Am), seguido de areniscas de grano fino masivas (Af) y finalmente areniscas de grano muy fino con laminación plana paralela (Amfl).

Asociación 4: se caracteriza por una secuencia granodecreciente de areniscas de tamaño de grano fino masivas (Af) seguido de limolitas arenosas masivas (La).

Asociación 5: se caracteriza por una secuencia granocreciente de areniscas de tamaño de grano muy (Amf) fino, seguido de areniscas de tamaño de grano fino (Af).

Interpretación

Estas asociaciones de litofacies corresponden a modelos de ríos meandriformes, por el predominio de litofacies de materiales finos desde limolitas arenosas que presentan bioturbación intercaladas con areniscas de tamaño de grano desde muy fino a medio sin estructuras sedimentarias marcadas que pueden interpretarse como canales abandonados (Arche, 2010; Miall, 1996).

8.1.2. Petrografía de areniscas. Se elaboró un análisis petrográfico en 4 secciones delgadas que son descritas a continuación de acuerdo a su distribución de base a tope.

Tabla 5.

Resultados de conteo de puntos normalizados de las muestras recolectadas en la sección Guatiguará Alto (GA).

Muestra	Tamaño de grano	N° Puntos	Cuarzo (%)					Feldespato (%)					Líticos (%)					Cálculo modal				Triángulo líticos t			
			Qm	Qps	Qpf	Qpd	Ch	Fk	Pl	Fi	Ls	Lm	Lv	Lp	Li	Qt	Qm	F	L	Lt	St	Vt	Mt		
JE_GA_06	Fino	300	75.4	1.4	0	0	0	4.6	0	0	15.8	0	0	0	2	76.1	75.8	4.6	18.6	18.6	96.1	0	3.9		
JE_GA_07	Medio	300	84.8	5.8	0	1.8	0	5.1	0	0	2.2	0	0	0	0	92.4	84.8	5.1	2.5	4.3	10	0	0		
JE_GA_09	fino	300	73.1	4.6	0	0.5	0	14.2	0	0	7.3	0	0	0	0	78.5	73.1	14	7.8	8.2	10	0	0		
JE_GA_10	fino	300	61.9	6.9	0	4.2	0	11.4	0	0	13.1	0	0	0	1	73.4	61.9	11	14	19	95	0	4.9		

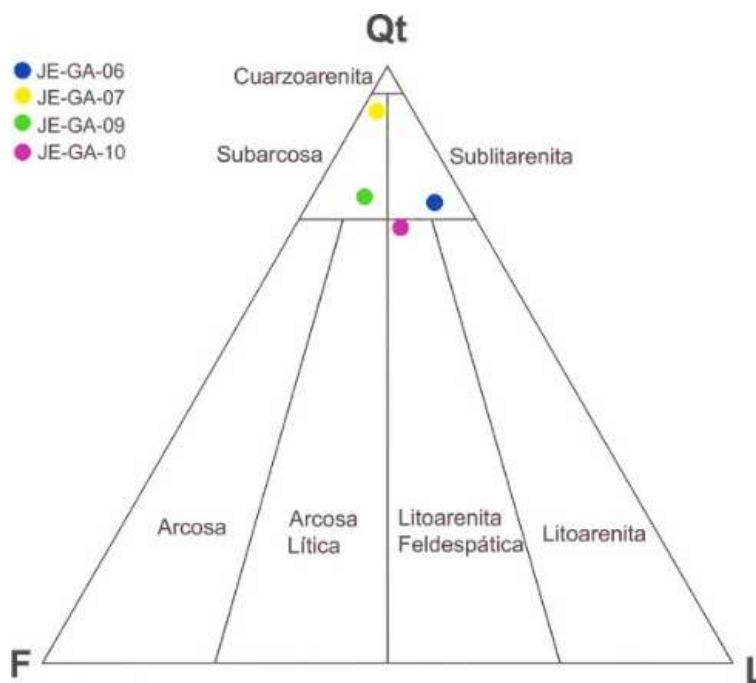


Figura 13. Diagrama QtFL para la clasificación composicional de las muestras recolectadas de en la sección Guatiguará Alto (GA).

Fuente: Folk (1974).

Tabla 6.

Madurez textural de las muestras recolectadas en la sección Guatiguará Alto (GA).

Muestra	Tamaño	Redondez	Calibrado	Contacto	Matriz	Total Puntos	%Arm	%Cem+Mx+Por
JE_GA_06	fino	subangulares a subredondeados	bien	longitudinal	areno-lodosa	300	95	5
JE_GA_07	medio	subredondeados	bien	puntual	areno-lodosa	300	92	8
JE_GA_09	fino	subangulares a subredondeados	bien	flotante	areno-lodosa	300	73	27
JE_GA_10	fino	subangulares a subredondeados	bien	flotante	areno-lodosa	300	96.3	3.7

Lámina JE_GA_09 se clasifica como subarcosa (Figura 13 y Figura 14). Texturalmente presenta tamaño de grano fino, con formas subangulares a subredondeados, bien calibrada, contacto flotante entre los granos en una matriz areno-lodosa (Tabla 6). Composicionalmente se destacan un alto contenido de cuarzo monocristalino (73%), seguido de un moderado contenido de feldespato potásico (14 %) y líticos sedimentarios en una menor proporción (7 %) (Tabla 7).

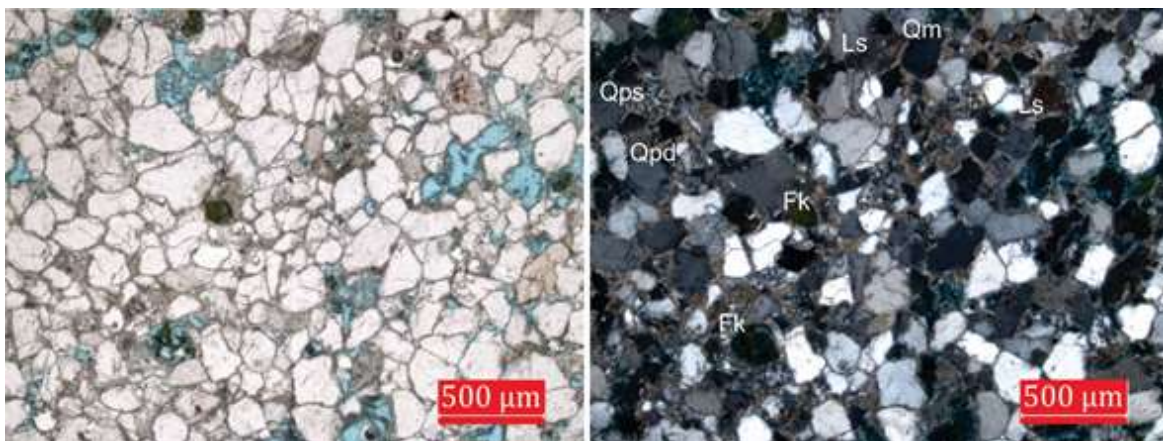


Figura 14. Vista general de la lámina JE_GA_09, en nicoles paralelos y nicoles cruzados.

Lámina JE_GA_07 se clasifica como subarcosa (Figura 13 y Figura 15). Texturalmente presenta tamaño de grano medio, con formas subredondeados, bien calibrada, contacto puntual entre los granos en una matriz areno-lodosa (Tabla 6). Composicionalmente se destacan un alto contenido de cuarzo monocristalino (84.8%), seguido de un bajo contenido de feldespato potásico (5.1 %) y líticas sedimentarios en una menor proporción (2.2%) (Tabla 7).

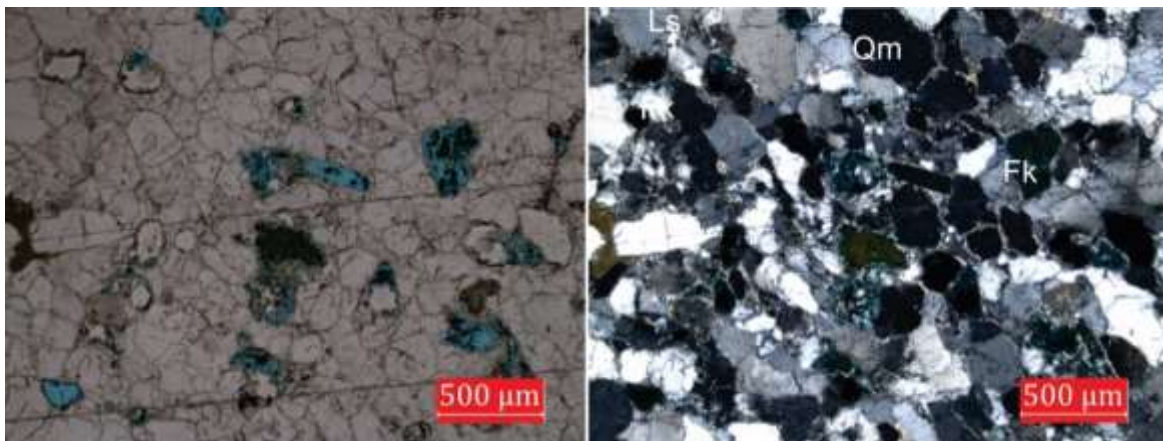


Figura 15. Vista general de la lámina JE_GA_07, en nicoles paralelos y nicoles cruzados.

Lámina JE_GA_06 se clasifica como sublitoarenita (Figura 13 y Figura 16). Texturalmente presenta tamaño de grano fino, con formas subangulares a subredondeados, bien calibrada, contacto longitudinal entre los granos en una matriz areno-lodosa (Tabla 6). Composicionalmente se destacan un alto contenido de cuarzo monocristalino (75.4%), seguido de un bajo contenido de feldespato potásico (4.5 %) y en cuanto a los líticas, se resalta la presencia de líticas metamórficas, aunque en una muy baja proporción (0.7%) y mayor proporción de líticas sedimentarios (15.8%) (Tabla 7).

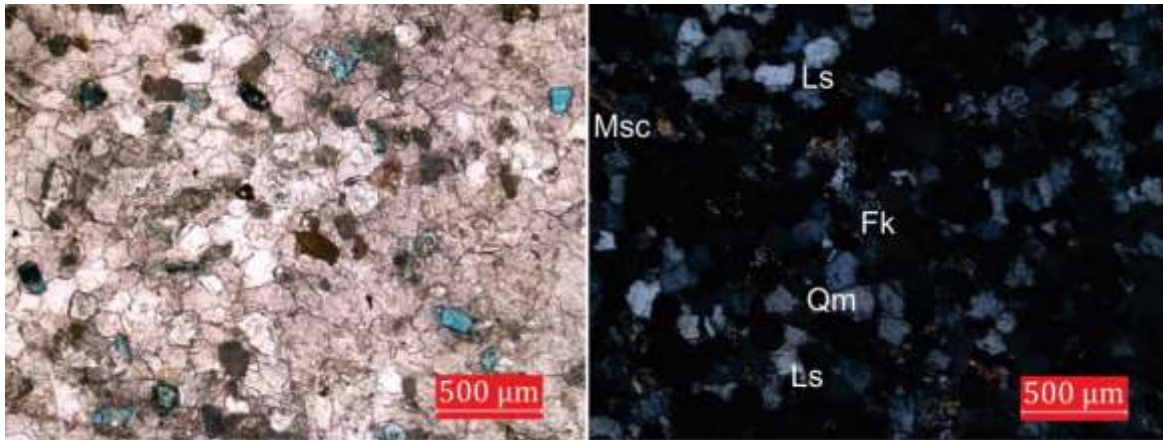


Figura 16. Vista general de la lámina JE_GA_06, en nicoles paralelos y nicoles cruzados.

Lámina JE_GA_10 se clasifica como litoarenita feldespática (Figura 13 y Figura 17). Texturalmente presenta tamaño de grano fino, con formas subangulares a subredondeados, bien calibrada, contacto flotante entre los granos en una matriz areno-lodosa (Tabla 6). Composicionalmente se destacan un alto contenido de cuarzo monocristalino (62%) (Aunque el más bajo de las 4 secciones), seguido de un moderado contenido de feldespato potásico (11.4 %) y en cuanto a los líticas, se resalta la presencia de líticas metamórficas aunque en una muy baja proporción (0.3%) y mayor proporción de líticas sedimentarios (13.1 %) (Tabla 7).

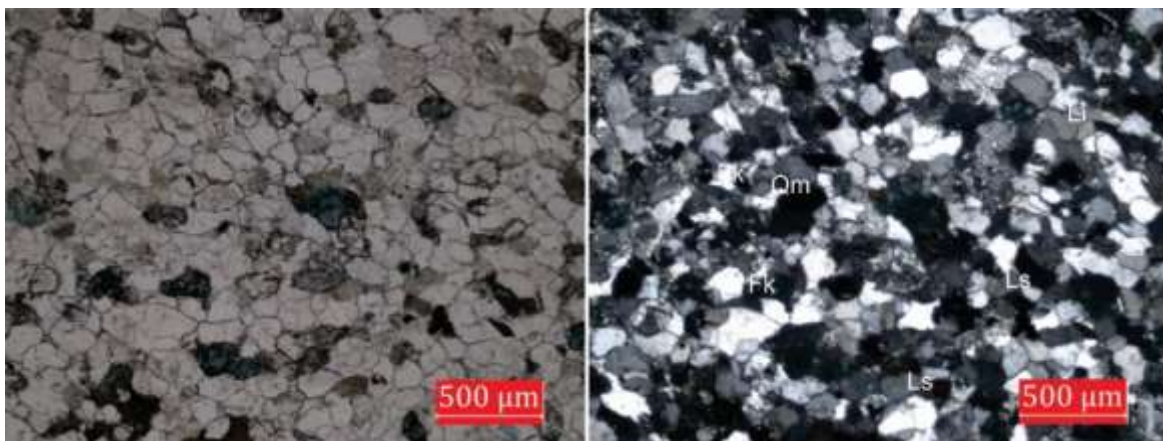


Figura 17. Vista general de la lámina JE_GA_10, en nicoles paralelos y nicoles cruzados.

8.2. Sección la punta – mesa de los santos

8.2.1. Estratigrafía. En la sección de trabajo (corresponde a la señalada con el número 2, Figura 10), se observa un afloramiento representativo de la Formación Girón con la suprayacente Formación Los Santos identificándose el contacto transicional propuesto por Blanco y Rincón (2014) (Figura 20). El espesor de la Formación Girón en esta sección es de 3 m (coordenadas: p inicial x: 1.114.507; y: 1.257.947. p final x=1.114.607; y: 1.257.674) y está constituida principalmente de base a tope por un conglomerado matriz soportado y polimíctico, cuyos clastos varían en composición (Tabla 7) y tamaños desde 4 mm a 39 cm (longitud del eje mayor). Con base a lo anterior se logra hacer una subdivisión de este afloramiento en 3 capas que se describen a continuación.

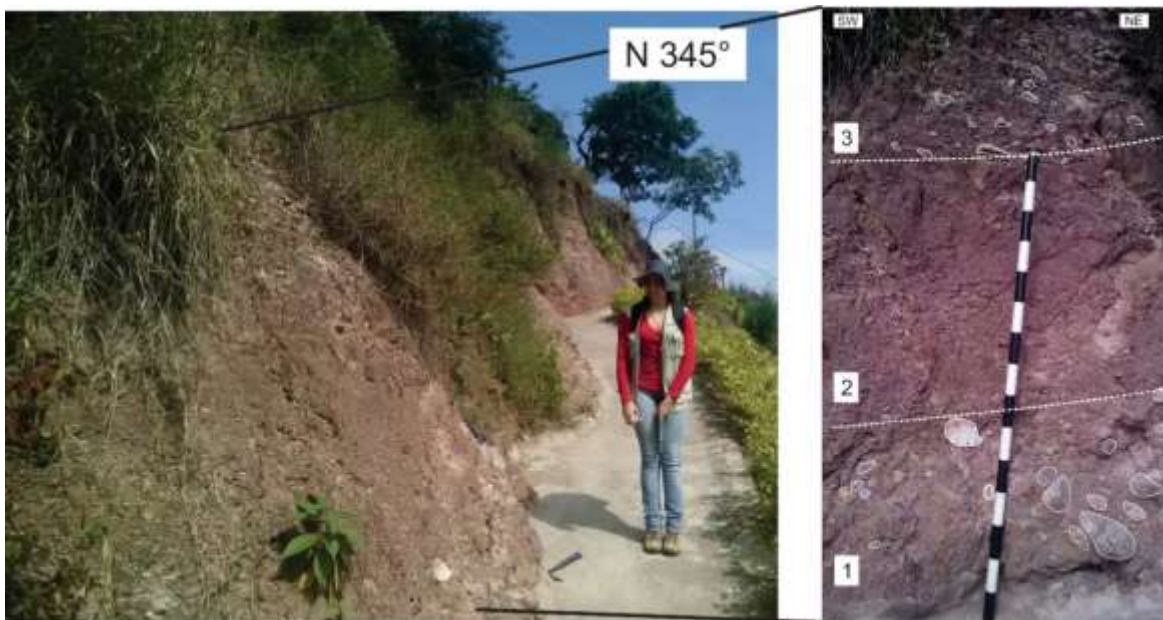


Figura 18. Afloramiento de la sección La Punta. Capa 1: conglomerado matriz soportado y polimíctico con predominio de gujarros y cantos, capa 2: conglomerado matriz soportado y polimíctico con predominio de guijos y capa 3: conglomerado matriz soportado y polimíctico con predominio de gujarros

Capa 1: Constituida por 70 cm de un conglomerado matriz soportado y polimítico de color crema, con predominio de guijarros y cantos subredondeados y algunos esféricos hasta 39 cm de longitud en su eje mayor, de rocas ígneas (cuarzo de basamento), metamórficas (esquisto cuarzoso/cuarcita) y sedimentarias (areniscas y limolitas) (Figura 18 y Figura 19).

Capa 2: Constituida por 80 cm de un conglomerado matriz soportado y polimítico de color violeta, con predominio de guijos subangulares a subredondeados no esféricos hasta 5 cm de longitud en su eje mayor, de rocas ígneas (cuarzo de basamento), metamórficas (esquisto cuarzoso/cuarcita), volcánicas, y sedimentarias (areniscas y limolitas) (Figura 19). Se observa posible imbricación de los guijos en dirección NW-SE.

Capa 3: Constituida por 50 cm de un conglomerado matriz soportado y polimítico, de color violeta, con predominio de guijarros subredondeados no esféricos hasta 10 cm de longitud en su eje mayor, de rocas ígneas (cuarzo de basamento), metamórficas (esquisto cuarzoso/Cuarcita) y sedimentarias (areniscas y limolitas) (Figura 18 y Figura 19). Se observa posible imbricación de los guijarros en dirección NW-SE.

En los conglomerados fueron identificadas 5 categorías las cuales agrupan los siguientes tipos de fragmentos (Tabla 7):

- Cuarzo Basamento (Qbas), que agrupa todos los tipos de cuarzos de afinidad de rocas ígneas e hidrotermales.
- Fragmentos de rocas sedimentarias (Qsed+Ch) incluye los fragmentos de arenitas, limolitas e intraclastos, más los fragmentos de chert.
- Los fragmentos de rocas metamórficas Lm.
- Los fragmentos de rocas volcánicas Lv.
- Además, se tuvo en cuenta el cálculo de la matriz en el conteo.

Tabla 7.

Resultados del conteo de guijos, guijarros y cantos en la sección de La Punta.

Sección	Capa	Qbas	Qsed+ch	Lm	Lv	Matriz	Total
La punta- Mesa de Los Santos	1	64	69	10	-	7	150
La punta- Mesa de Los Santos	2	36	65	25	14	-	150
La punta- Mesa de Los Santos	3	68	49	4	-	29	150

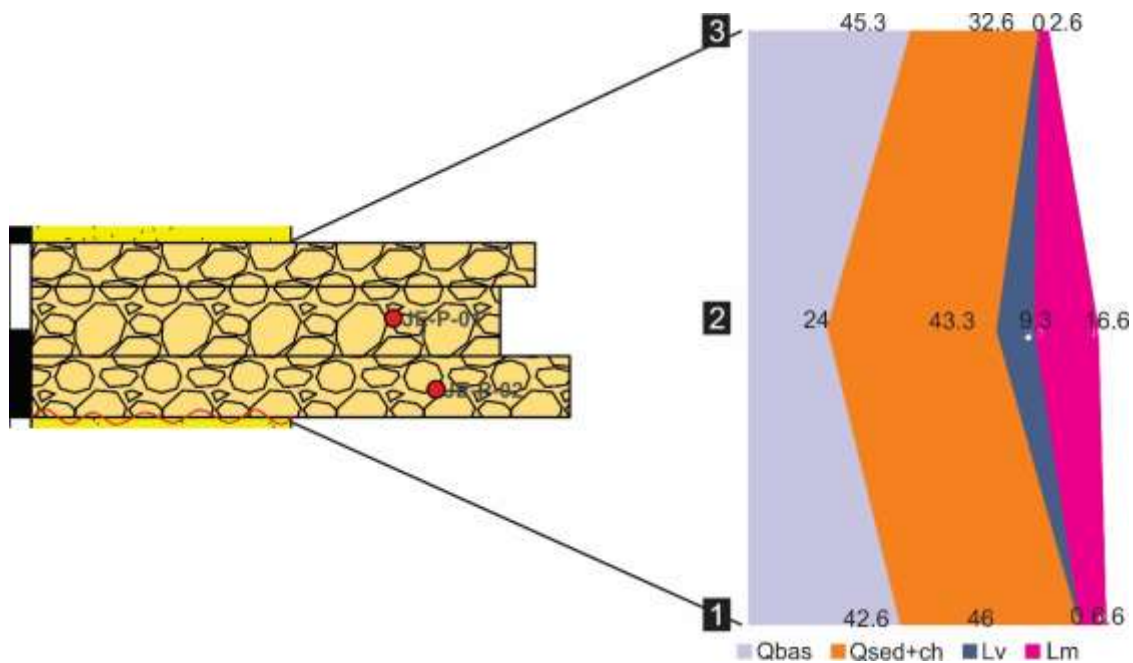


Figura 19. Variación de la composición en sección delgada de muestras de clastos recolectados en la Sección La Punta.

La fracción de cuarzo de basamento (Qbas) y de líticos sedimentarios (Qsed+ chert) dominan en esta sección de estudio, mostrando valores similares en las tres capas contrastando a la fracción de líticos metamórficos que solo se reporta bastante significativa (16%) en la capa 2, en una menor proporción (6.6%) en la capa 1 y disminuyendo hacia la a (2.6%) en la capa 3. También es importante resaltar que solo en la capa 2 sobre la cual se elaboraron 4 secciones

Tabla 8.

Litofacies de la columna estratigráfica de la Formación Giron en la sección La Punta

Nomenclatura	Descripción	Interpretación
Gc,	Gravas matriz soportado tipo cantos, masiva	Flujo plástico de detritos (Miall, 1996)
Gg,	Gravas matriz soportado de tipo guijos, masiva	Flujo plástico de detritos (Miall, 1996)
Ggu	Gravas matriz soportado de tipo guijarros, masiva	Flujo plástico de detritos (Miall, 1996)

Se reconoce 1 asociación de litofacies descrita a continuación.

Asociación A1: Está conformada por las litofacies de grava matriz soportada tipo canto, masiva (Gc), grava matriz soportada tipo guijo, masiva (Gg) y grava matriz soportada tipo guijarro, masiva (Ggu).

Interpretación

Esta asociación de litofacies corresponde a un abanico aluvial, por el predominio de litofacies conglomeráticas interpretadas como flujos plásticos pertenecientes a este ambiente (Miall 2006).

8.2.2. Petrografía de clastos en conglomerados. Se hizo un análisis petrográfico de 12 líticos extraídos de la muestra JE_P_01 (capa conglomerática 2, de la sección de La Punta – Mesa de Los Santos).

Cuarzo sedimentario + Chert: Los fragmentos líticos de este grupo corresponden al 43.3 % del total de líticos identificados en la capa 2 y clasificados como cuarzoarenita, arenita lodosa de cuarzo y lodolita (Figura 19).

JE_P_S1 Se clasifica como cuarzoarenita según el triángulo de composición de Folk (1974) (Figura 21a). Textualmente presenta tamaño de grano fino, con formas subangulares a subredondeados, muy bien calibrada, contacto longitudinal entre granos en una matriz lodosa con

posible contenido de materia orgánica formando unos pequeños lineamientos que se observan muy bien en nicoles paralelos. Composicionalmente se destaca su alto contenido de cuarzo monocristalino.

JE_P_S2 se clasifica como arenita lodosa basado en la textura y composición según la clasificación de Pettijohn et al. (1972) (Figura 21b). Texturalmente presenta tamaño de grano muy fino, con formas redondeadas, muy bien calibrada, contacto flotante entre granos en una matriz lodosa. Composicionalmente se destaca su alto contenido de cuarzo monocristalino.

JE_P_S3 y **JE_P_S4** (Figura 21c y d) se clasifican como lodolitas por su porcentaje de matriz > 50% basado en la textura y composición según la clasificación de Pettijohn et al. (1972). Texturalmente presentan partículas de tamaño muy fino, lodosoportadas. Composicionalmente se observa alto contenido de opacos o posible materia orgánica.

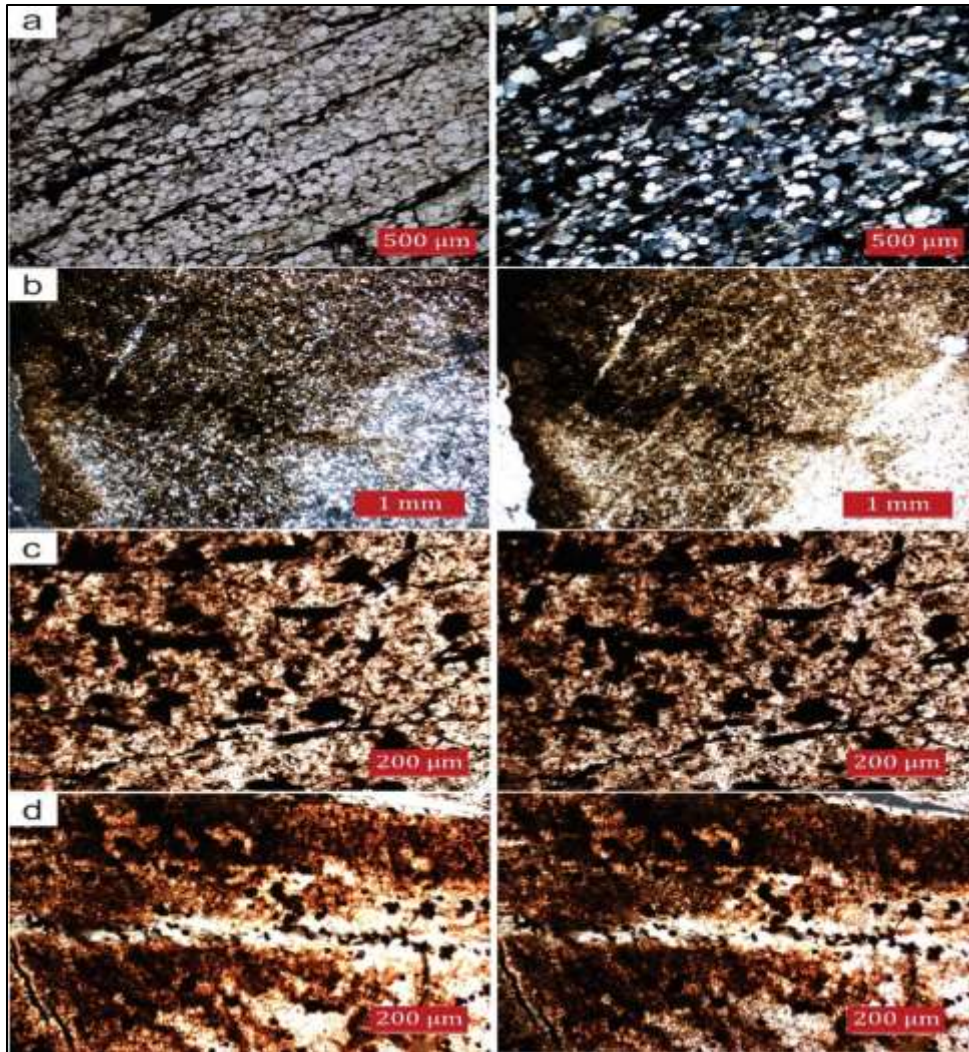


Figura 21. Líticos sedimentarios de la muestra JE_P_01. a. JE_P_S1, b. JE_P_S2, c. JE_P_S3 y d. JE_P_S4.

Líticos metamórficos y los fragmentos líticos de este grupo corresponden a un 16.6 % del total de líticos identificados en la capa 2 y clasificados como cuarcitas y esquistos cuarzosos (Figura 19).

JE_P_M1 Y JE_P_M2 se clasifican como esquistos cuarzosos según el diagrama triangular de Winkler (1976), presentan guijas de tamaño de grano fino a medio, inequigranular, heteroblástica, con contacto suturados, de textura granolepidoblástica. Composicionalmente posee cristales de cuarzo y monocristalino y policristalino, incoloros con bajo relieve y colores

de birrefringencia son grises de primero orden, presenta extinción recta, ondulante y su distribución en la muestra es abundante (Figura 22a y c). Moscovita como agregados incoloro fibrosas de hábito laminar marcando una orientación preferencial.

JE_P_M3 se clasifican como esquistos cuarzosos según el diagrama triangular de Winkler (1976), en esta sección se aprecian de grano fino, inequigranular, heteroblástica, con contactos suturados, de textura granolepidoblástica. Hacia el centro de la muestra se logra identificar lítico alterado a sericita y presencia de matriz arcillosa (Figura 22Figura 21b).

JE_P_M4; JE_P_M5; JE_P_M6 se clasifican como cuarcitas según el diagrama triangular de Winkler (1976), presentan textura granoblástica, con cristales en contacto suturado y poligonal, heteroblásticos. Posee cristales de cuarzo policristalino de bordes difusos, incoloros con bajo relieve y colores de birrefringencia de primer orden (Figura 22c). También es posible encontrar moscovita de hábito laminar alterando a sericita (Figura 22d, e, y f).

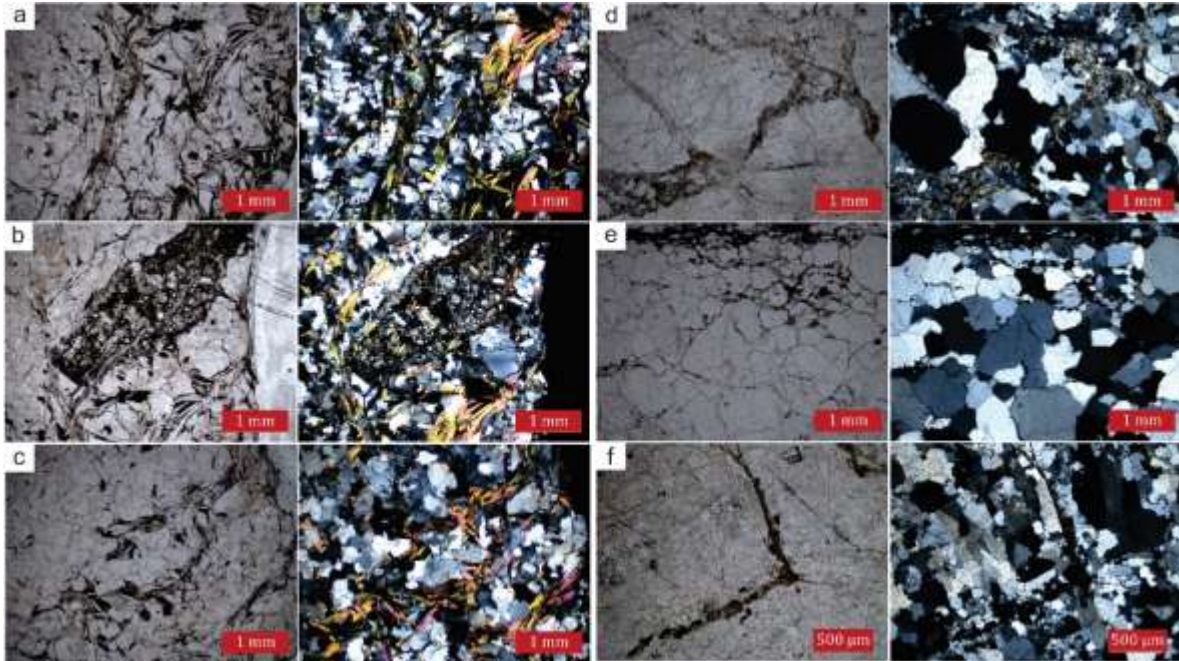


Figura 22. Líticos metamórficos de la muestra JE_P_01 a. JE_P_M1 b. JE_P_M3 c. JE_P_M2 d. JE_P_M4 e. JE_P_M5 f. JE_P_M6.

Líticos Volcánicos y los fragmentos líticos de este grupo corresponden a un 9.3 % del total de líticos identificados en la capa 2 y clasificados como riolitas (Figura 19).

JE_P_V1 corresponde posiblemente a una riolita según el diagrama de Streckeisen, presenta una textura porfídica con fenocristales euhedrales de cuarzo (relieve bajo) y posible plagioclasa (relieve bajo) en una matriz afanítica de cuarzo y vidrio. Se observa textura de embahiamiento en algunos fenocristales (Figura 23 a).

JE_P_V2 corresponde posiblemente a una riolita según el diagrama de Streckeisen, presenta una textura porfídica con fenocristales euhedrales de cuarzo en una matriz afanítica de cuarzo y vidrio (figura 23b).

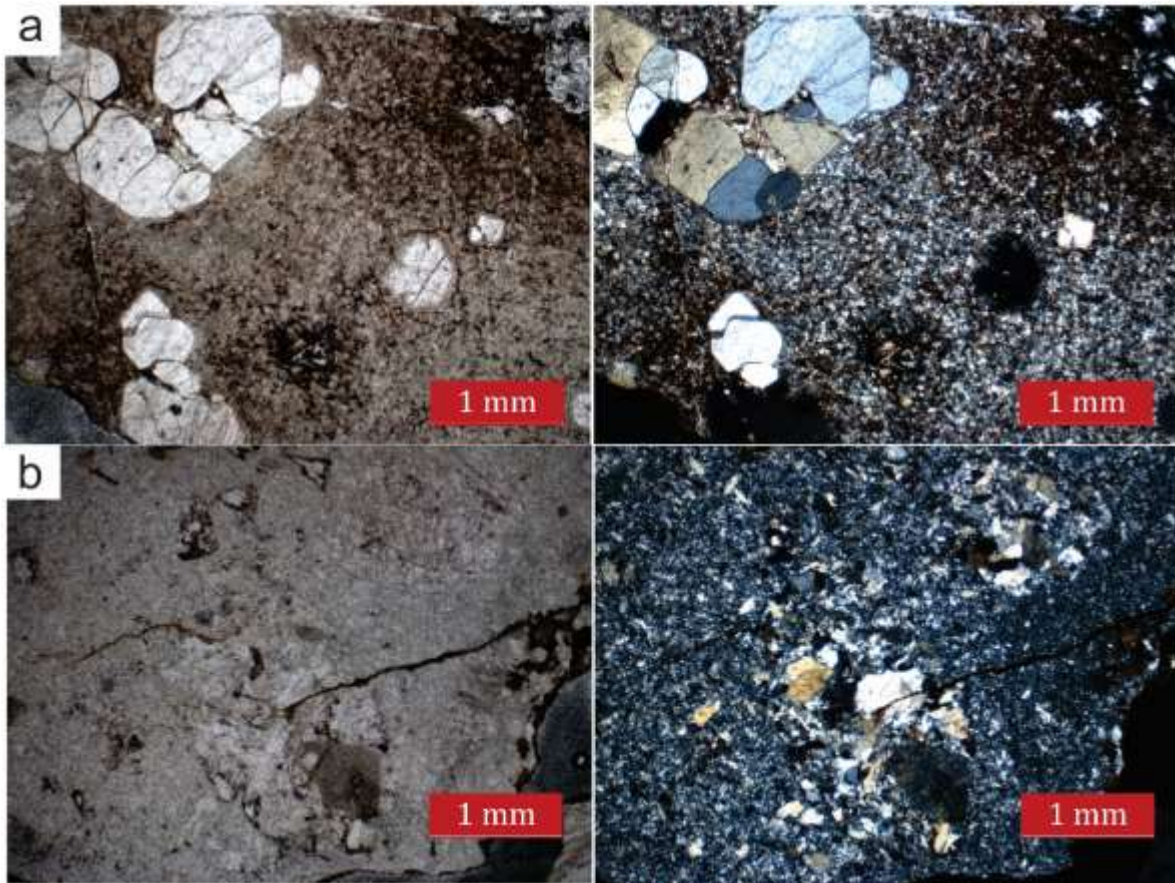


Figura 23. Líticos volcánicos de la muestra JE_PE_01 a. JE_P_V1 y b. JE_P_V2.

8.3. Sección Acapulco

8.3.1. Estratigrafía. En la sección de trabajo (corresponde a la señalada con el número 3,, se observa un afloramiento representativo de la Formación Girón de espesor 28.62 m (coordenadas: p inicial x: 1.104.977; y: 1.267.337. p final x=1.104.761; y: 1.267.211) que se encuentra en contacto transicional con la suprayacente Formación Los Santos (Figura 25).

La Formación Girón en esta sección está constituida hacia la base por una secuencia granocreciente de limolitas arenosas a areniscas masivas de grano fino (Figura 24a). Las limolitas arenosas se presentan en capas muy gruesas de hasta 1.5 m de espesor, de geometría

tabular, y superficie de estratificación plana paralela discontinua (figura 25). Las areniscas se presentan en capas medias a muy gruesas de 0.3 a 1.6 m de espesor, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela discontinua. Texturalmente son de granos subredondeados a redondeados, contactos longitudinales, bien calibrada, en matriz lodo-arenosa y cemento ferruginoso (Figura 25).

Hacia la parte media está constituido por areniscas masivas de grano muy fino y fino (Figura 24c). Las areniscas masivas de grano muy fino y fino se presentan en capas gruesas de 0.5 a 1.4 m de espesor, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela continua. Texturalmente son de granos subredondeados a subangulares, contactos longitudinales, bien a moderadamente calibrada, en matriz lodo-arenosa y cemento ferruginoso (Figura 25).

Seguido de una intercalación de limolitas areniscas y areniscas de grano muy fino, fino y medio (Figura 24d) Las limolitas arenosas se presentan en capas gruesas a muy gruesas de 0.7 a 1.4 m de espesor, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela discontinua (Figura 25). Las areniscas de grano muy fino y fino se presentan en capas gruesas a muy gruesas de 0.7 a 1.5 m de espesor, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela discontinua. Texturalmente son de granos subredondeados a subangulares, contactos flotantes, bien a moderadamente calibrada, en matriz lodo-arenosa y cemento ferruginoso (Figura 25).

Las areniscas de grano medio se presentan en capas gruesas de hasta 1m de espesor, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela discontinua. Texturalmente son de granos subredondeados, contactos puntuales, bien calibrada, en matriz areno-lodosa y cemento ferruginoso (Figura 25).

Hacia la parte superior está constituido por areniscas masivas de grano muy fino y fino, (Figura 24 e). Las areniscas masivas de grano muy fino y fino, se presentan en capas gruesas a

muy gruesas con espesor de hasta 0.9 m, con geometría tabular y superficie de estratificación ondulosa paralela continua. Texturalmente son de granos subredondeados a redondeados, los contactos varían de longitudinales a puntuales, bien a moderadamente calibrada, en matriz lodo-arenosa y cemento ferruginoso (Figura 25).

Seguido de una secuencia granodecreciente que varía de areniscas masivas de grano medio a limolitas arenosas y finalmente conglomerados (Figura 24f). Las limolitas arenosas se presentan en capas gruesas a muy gruesas con espesor de 0.7 a 1.8 m, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela discontinua (Figura 25). Y una capa de conglomerado en capas gruesas con de 80 cm de espesor, con geometría tabular y superficie de estratificación ondulosa paralela continua, la cual pone en contacto transicional con la Formación Los Santos. Esta capa no se muestra en la columna estratigráfica debido a su poco espesor (Figura 25).

Finalmente se presentan intercalaciones de areniscas de grano fino y medio que hacen parte de la Formación Los Santos (Figura 24g). Las areniscas se presentan en capas finas a muy gruesas de hasta 0.9 m de espesor, con geometría tabular, superficie de estratificación ondulosa paralela continua y presenta estratificación cruzada en artesa en algunos capas. Texturalmente son de granos subredondeados, contactos longitudinales, bien a moderadamente calibrada, en matriz areno-lodosa y cemento sílice (Figura 25).



Figura 24. Afloramiento de la Formación Girón en la sección Acapulco. a y b. Parte inferior, se observa una secuencia granocreciente de limolitas arenosas con geometría tabular. c y d. Parte media, se observa capas medias a gruesas de areniscas masivas con geometría tabular e intercalaciones de limolitas arenosas y areniscas con geometría tabular respectivamente. e y f. Parte superior, Se observa una secuencia granodecreciente de areniscas a limolitas arenosas. g. Parte inferior de la Formación Los Santos, se observa capas finas a muy gruesas de areniscas con geometría tabular.

Con base en las anteriores descripciones se determinan 4 litofacies para la sección Zapatoaca (Tabla 9) de acuerdo a las litofacies estándar propuestas por Miall (1996).

Tabla 9.

Litofacies de la columna estratigráfica de la Formación Giron en la sección Acapulco (A).

Nomenclatura	Descripción	Interpretación
La	limolitas arenosas, varicoloreadas masivas	Depósitos de lodo interrumpido por bioturbación post-depositacional (Miall, 1977)
Amf	areniscas de tamaño de grano fino, masivas	Deposición rápida de arena sin un desarrollo estable de estratificación o alteración post-depositacional del depósito (Moreno et al., 2010)
Af	areniscas de tamaño de grano fino	Deposición rápida de arena sin un desarrollo estable de estratificación o alteración post-depositacional del depósito (Moreno et al., 2010)
Am	areniscas de tamaño de grano medio, masivas	Deposición rápida de arena sin un desarrollo estable de estratificación o alteración post-depositacional del depósito (Moreno et al., 2010)

Se reconocen 7 asociaciones de litofacies descritas a continuación.

Asociación 1: se caracteriza por una secuencia granocreciente que inicia con limolitas arenosas masivas que presentan bioturbación (La), seguido de areniscas de tamaño de grano muy fino masivas (Amf) y finalmente areniscas de tamaño de grano fino masivas (Af).

Asociación 2: se caracteriza por una secuencia granocreciente desde limolitas arenosas masivas que presentan bioturbación (La) a areniscas de tamaño de grano fino masivas (Af).

Asociación 3: se caracteriza por una secuencia granodecreciente de areniscas de tamaño de grano muy fino (Amf), seguido por areniscas de tamaño de grano medio (Am) y finaliza con limolitas arenosas masivas (La).

Asociación 4: se caracteriza por una secuencia granodecreciente desde areniscas de tamaño de grano muy fino masivas hasta limolitas arenosas masivas que presentan bioturbación (La).

Asociación 5: se caracteriza por una secuencia granodecreciente de areniscas de tamaño de grano medio (Am) y limolitas arenosas masivas (La).

Asociación 6: se caracteriza por una secuencia arenosa que incluye areniscas de tamaño de grano muy fino masivas (Afm) y areniscas de tamaño de grano fino masivas (Af).

Asociación 7: se caracteriza por una secuencia granodecreciente de areniscas desde tamaño de grano medio masivas (Am) a limolitas arenosas masivas (La).

Interpretación

Estas asociaciones de litofacies corresponden a modelos de ríos meandriformes, por el predominio de litofacies de materiales finos desde limolitas arenosas que presentan bioturbación intercaladas con areniscas de tamaño de grano desde muy fino a medio sin estructuras sedimentarias marcadas. La asociación de litofacies A1, A2 hacia la base de la columna se interpreta como un depósito de llanura de inundación. Las asociaciones A3, A4, A5, A6 y A7 muestran intercalaciones lodosas y arenosas que pueden interpretarse como canales abandonados (Arche, 2010; Miall, 1996).

8.3.2. Petrografía de areniscas. Se elaboró un análisis petrográfico en 3 secciones delgadas que son descritas a continuación de acuerdo a su distribución estratigráfica de base a tope.

Tabla 10.
Resultados de conteo de puntos normalizados de las muestras recolectadas en la sección Acapulco (A).

Muestra	Tamaño de grano	N° Puntos	Cuarzo (%)										Feldespato (%)										Líticos (%)										Cálculo modal										Triangulo líticos T		
			Qm	Qps	Qpf	Qpd	Ch	Fk	Pl	Fi	Ls	Lm	Lv	Lp	Li	Qt	Qm	F	L	Lt	St	Vt	Mt																						
JE_A_01	Muy fino	300	67.0	5.6	0	3.7	0	8.2	0	0.4	13.5	0	0	0	1.5	76.4	67.0	8.6	15.0	18.7	100	0	0																						
JE_A_02	Fino	300	73.5	3.9	0	5.2	0	4.3	0.9	0	10	0.4	0	0	1.7	82.6	73.5	5.2	21.2	21.7	49.7	0	3.0																						
JE_A_03	Medio	300	73.6	3.4	0	2.1	0	8.1	0	0	4.3	0	1.3	0	6.4	79.1	74.2	8.1	12	14.2	85.7	14.3	0																						

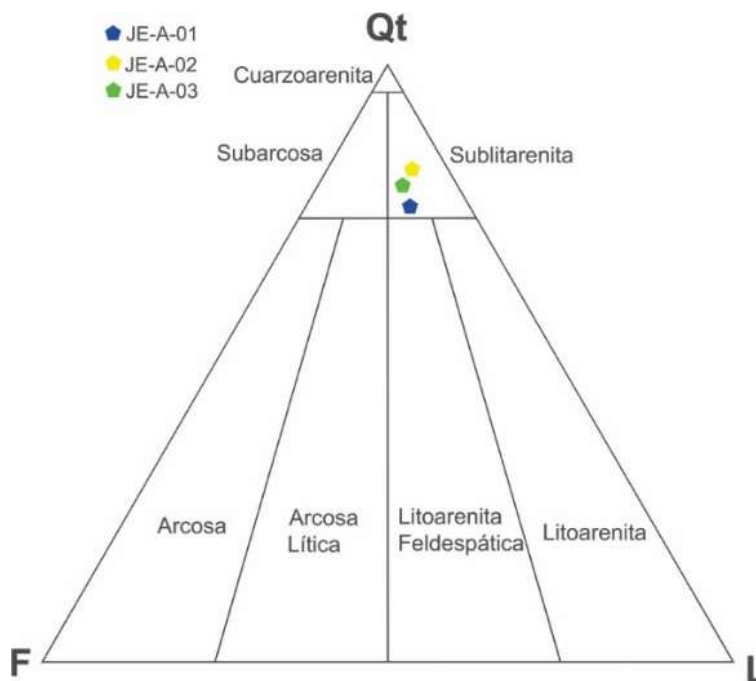


Figura 26. Diagrama QtFL para la clasificación composicional de las muestras recolectadas en la sección de Acapulco (A).

Fuente: Folk (1974).

Tabla 11. .

Madurez textural de las muestras recolectadas en la sección Acapulco (A).

Muestra	Tamaño	Redondez	Calibrado	Contacto	Matriz	Total Puntos	%Arm	%Cem+Mx+Por
JE_A_01	muy fino	subangulares a subredondeados	bien	Flotante	areno-lodosa	300	89	11
JE_A_02	Fino	subredondeados	bien	flotante a puntual	areno-lodosa	300	76.6	23.4
JE_A_03	medio	subredondeados	moderado	flotante a puntual	areno-lodosa	300	78.3	21.7

Lámina JE_A_01 se clasificada como una sublitarenita (figura 26 y Figura 27). Texturalmente presenta tamaño de grano muy fino, con formas subangulares a subredondeados, muy bien calibrada, contactos flotantes entre granos en una matriz lodo-arenosa (Tabla 11). Composicionalmente se destaca un alto contenido de cuarzo monocristalino (67%), seguido con un bajo contenido de feldespato potásico (8.3%) y líticos sedimentarios (13.5%) (Tabla 10).

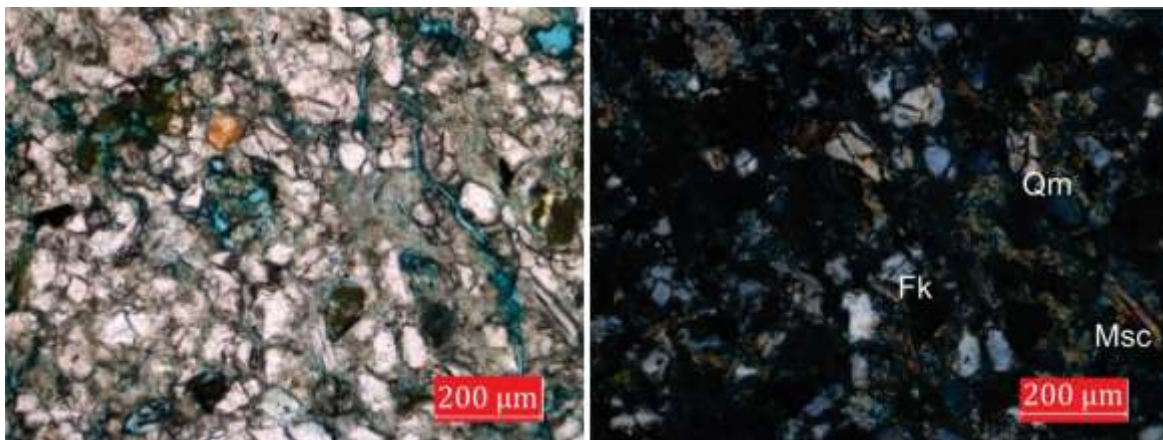


Figura 27. Vista general de la lámina JE_A_01 en nicoles paralelos y nicoles cruzados.

Lámina JE_A_02 se clasificada como una sublitarenita (figura 26 y figura 28). Texturalmente presenta tamaño de grano fino, con formas subangulares a subredondeados, bien calibrada, contactos flotantes entre granos en una matriz areno-lodosa (Tabla 11).

Composicionalmente se destaca un alto contenido de cuarzo monocristalino (74%), seguido con un bajo contenido de líticas sedimentarias (10%) y feldespato potásico (4.3%) (Tabla 10).

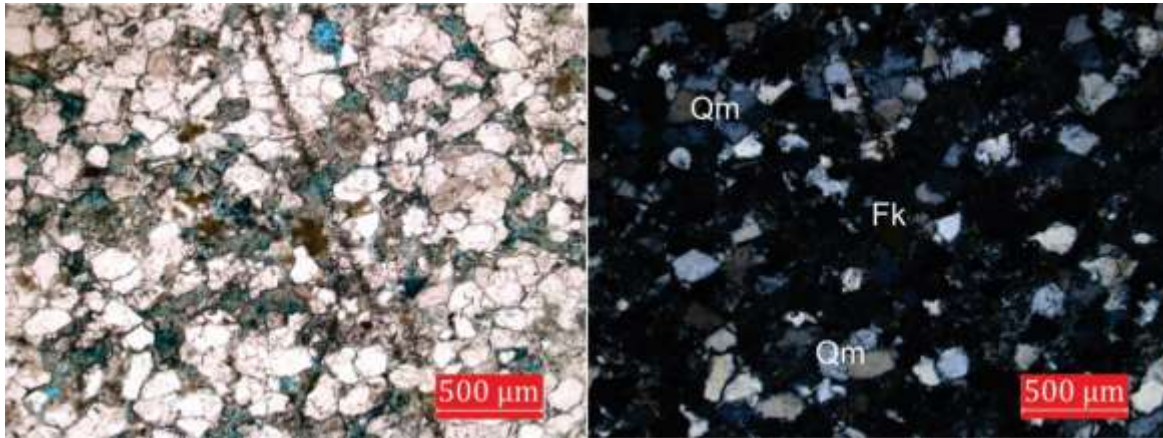


Figura 28. Vista general de la lámina JE_A_02 en nicols paralelos y nicols cruzados.

Lámina JE_A_03 se clasificada como una sublitarenita (figura 26 y Figura 29). Texturalmente presenta tamaño de grano medio, con formas subredondeados, muy bien calibrada, contactos puntuales entre granos en una matriz areno-lodosa (Tabla 11). Composicionalmente se destaca un alto contenido de cuarzo monocristalino (74%), seguido con un bajo contenido de feldespato potásico (8%) y líticas sedimentarias (4%) (Tabla 10).

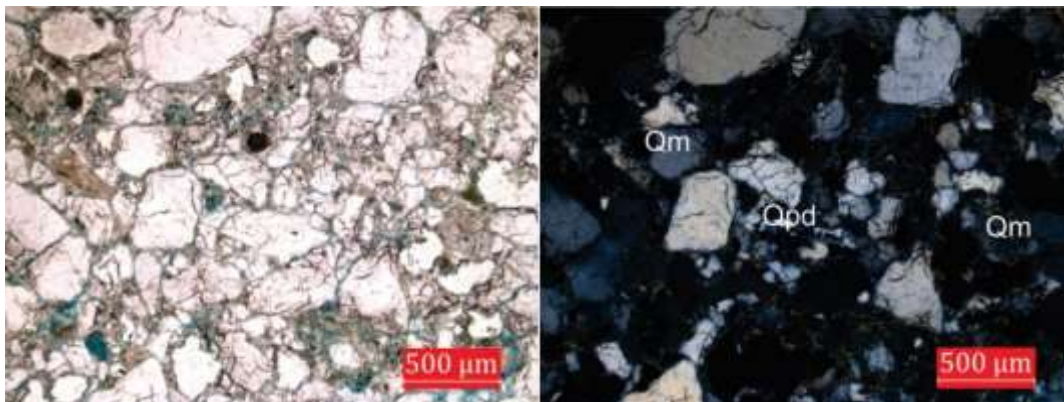


Figura 29. Vista general de la lámina JE_A_03 en nicols paralelos y nicols cruzados.

8.4. Sección Zapatoca

8.4.1. Estratigrafía. En la sección de trabajo (corresponde a la señalada con el número 4,, se observa un afloramiento representativo de la Formación Girón de espesor 19.12 m (coordenadas: p inicial x: 1.086.638; y: 1.248.206. p final x=1.086.723; y: 1.248.217) que se encuentra en contacto transicional con la suprayacente Formación Los Santos (Figura 31).

La Formación Girón en esta sección está constituida hacia la base por intercalaciones de areniscas masivas de tamaño de grano fino con limolitas arenosas (Figura 30 a). Las areniscas se presentan en capas medias de aproximadamente 0.2 m de espesor, con geometría tabular aunque en algunos sectores se observan estratos con geometría cuneiforme, y superficie de estratificación plana paralela continua. Texturalmente son de granos subredondeados a redondeados, contactos flotantes, muy bien calibrada, en matriz arcillosa y cemento ferruginoso, friables (Figura 31). Las limolitas arenosas se presentan también en capas medias, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela continua (Figura 31).

Hacia la parte media está constituida por intercalaciones de limolitas arenosas con areniscas que presentan gradación normal desde tamaño de grano muy grueso a fino (Figura 30 b). Las limolitas arenosas se observan en capas medias de aproximadamente 0.6 m de espesor, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela continua (Figura 31). Las areniscas se presentan en capas gruesas de hasta 1.2 m de espesor, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela continua. Texturalmente son de granos subredondeados a subangulares, contactos longitudinales y en ocasiones flotantes, bien calibrada, en matriz areno lodosa y cemento sílice, aunque friables (Figura 31).

Suprayaciendo estas intercalaciones se observa un paquete predominantemente arenoso con tamaños de grano medio y fino intercalados con capas de limolitas arenosas (Figura 30 c). Las limolitas arenosas se presentan en capas medias de aproximadamente 0.3 m, con geometría tabular, y superficie de estratificación plana paralela continua. Las areniscas de tamaño de grano medio se presentan en capas medias a gruesas de 0.7 y 0.2 m de espesor, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela continua. Texturalmente son de granos subangulares a subredondeados, contactos flotantes, bien calibrada, en matriz areno-lodosa y cemento ferruginoso (Figura 31).

Las areniscas de grano fino se presentan en capas medias a gruesas de hasta 0.7 m de espesor, con geometría tabular, superficie de estratificación plana paralela continua y laminación interna plano paralela. Texturalmente con granos subredondeados a redondeados, contactos puntuales, bien calibrada, en matriz areno-lodosa y cemento ferruginoso (Figura 31).

Finalmente, hacia el tope de la formación se observa un paquete de limolitas arenosas (Figura 30 d) que se presentan en capas muy gruesas de 3 m de espesor, con geometría tabular y superficie de estratificación plana paralela discontinua. Texturalmente se presentan masivas, de color rojo violáceo, aunque en algunos sectores con moteado verdoso (Figura 31).

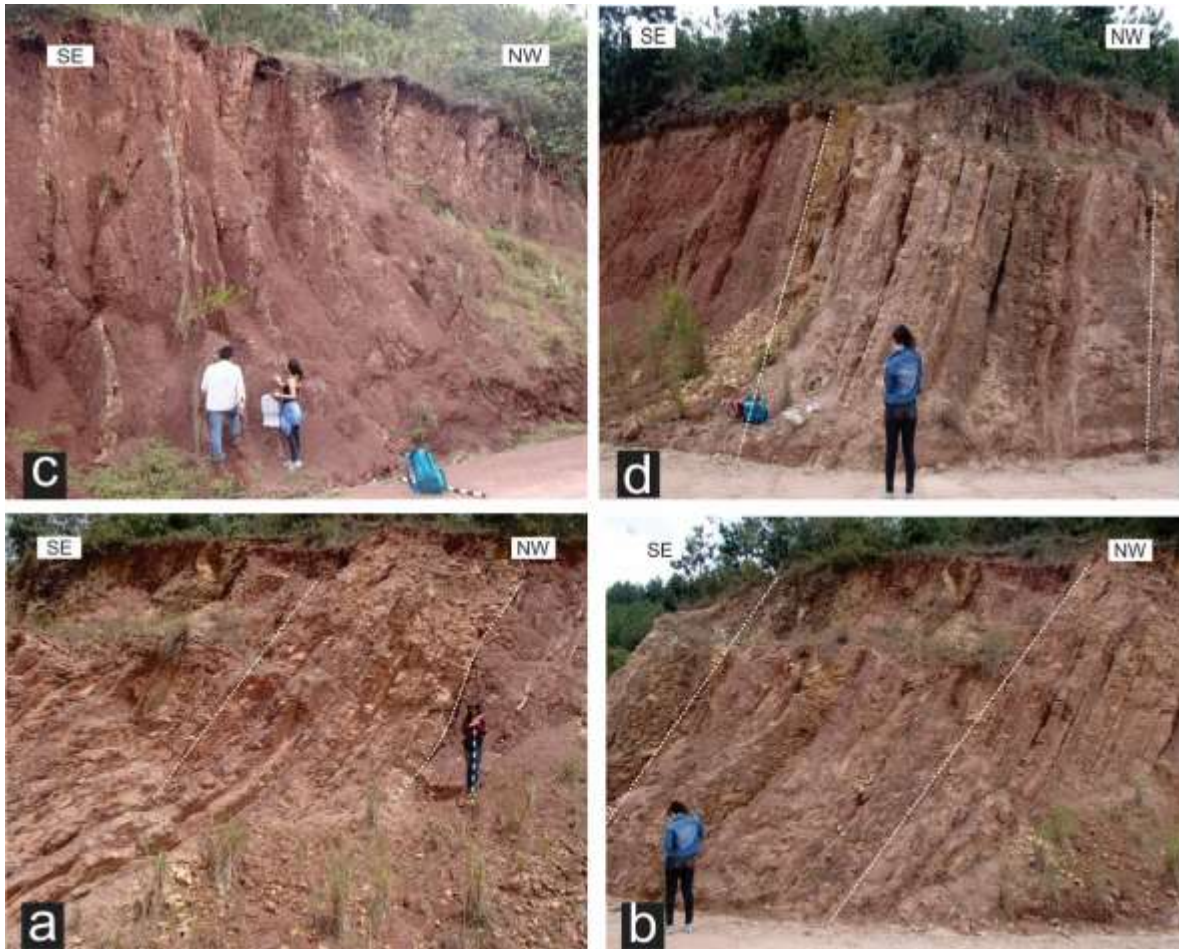


Figura 30. Afloramiento de la Formación Girón en la sección Zapatoca. a. Parte inferior, se observa intercalaciones de areniscas y limolitas arenosas con geometría tabular. b.y c. Se observa intercalaciones de limolitas arenosas y capas de areniscas que presentan gradación normal e intercalaciones de limolitas arenosas y areniscas con geometría tabular respectivamente. d. Parte superior, se observa capas muy gruesas de limolitas arenosas en algunos sectores moteados verdoso.

Tabla 12.

Litofacies de la columna estratigráfica de la Formación Giron en la sección Zapatoca (CDR).

Nomenclatura	Descripción	Interpretación
La	limolitas arenosas, varicoloreadas, masivas	Depósitos de lodo interrumpido por bioturbación post-depositacional (Miall, 1977)
Af	areniscas de tamaño de grano fino, masivas	Deposición rápida de arena sin un desarrollo estable de estratificación o alteración post-depositacional del depósito (Moreno et al., 2010)
Am	areniscas de tamaño de grano medio, masivas	Deposición rápida de arena sin un desarrollo estable de estratificación o alteración post-depositacional del depósito (Moreno et al., 2010)
Aml	areniscas de tamaño de grano medio, laminación plana paralela	Deposición durante un régimen de flujo superior en condiciones planas (Miall, 1977)
Ag	areniscas de tamaño de grano grueso, masivas	Deposición rápida de arena sin un desarrollo estable de estratificación o alteración post-depositacional del depósito (Moreno et al., 2010)
Agfl	areniscas de tamaño de grano gruesa a fina, gradación normal con intraclastos hacia el techo con laminación cruzada	Migración de dunas 2D por flujo de régimen bajo en planicies Miall (2006).
Agf	areniscas de tamaño de grano gruesa a fina. Masivas	Flujo de régimen bajo en planicies. Miall (2006)
Amgfl	areniscas de tamaño de grano media a muy fino, laminación cruzada	Migración de dunas 2D por flujo de régimen bajo en planicies. Miall (2006)

Se reconocen 5 asociaciones de litofacies descritas a continuación.

Asociación 1: se caracteriza por una secuencia de intercalaciones de limolitas arenosas que presentan bioturbación (La) y areniscas de tamaño de grano fino masivas (Af)

Asociación 2: se caracteriza por una secuencia que inicia con una superficie erosiva (Se) seguido de areniscas en gradación normal desde muy gruesas a finas (Agfil) intercaladas con limolitas arenosas masivas (La).

Asociación 3: se caracteriza por una secuencia que inicia con una superficie erosiva (Se) seguido de areniscas en gradación normal desde gruesas a finas (Agf) y limolitas arenosas masivas (La).

Asociación 4: se caracteriza por una secuencia que inicia con una superficie erosiva (Se) seguido de areniscas masivas en gradación normal desde muy gruesas a finas (Amgfl), areniscas gruesas masivas (Ag), areniscas medias con laminación plana paralela (Aml) y limolitas arenosas masivas (La)

Asociación 5: se caracteriza por una intercalación de areniscas de tamaño de grano medio masivas (Ag) con limolitas arenosas masivas (La).

Interpretación

Estas asociaciones de litofacies corresponden a modelos de ríos meandriiformes, por el predominio de litofacies de limolitas arenosas, gradación normal en areniscas, estructuras de laminación cruzada e intercalaciones de limolitas arenosas y areniscas (Miall, 2006). La asociación de litofacies A1 hacia la base de la columna se interpreta como un depósito de llanura de inundación o menos probable depósitos de desbordamiento. Las asociaciones A2, A3, A4 son interpretadas como depósitos abandono de canal (Arche, 2010). Y finalmente la asociación de litofacies A5 se interpreta como depósitos de llanura de inundación (Arche, 2010).

8.4.2. Petrografía de areniscas. Se elaboró un análisis petrográfico en 3 secciones delgadas que son descritas a continuación de acuerdo a su distribución estratigráfica de base a tope.

Tabla 13.

Resultados de conteo de puntos normalizados de las muestras recolectadas en la sección Zapatoca(CDR).

Muestra	Tamaño de grano	N° Puntos	Cuarzo (%)				Feldespato (%)				Líticos (%)				Cálculo modal				Triangulo líticos t				
			Qm	Qps	Qpf	Qpd	Ch	Fk	Pl	Fi	Li	Lm	Lv	Lp	Li	Qt	Qm	F	L	Lt	St	Vt	Mt
JE_CDR_01	Muy fino a medio	300	65.5	0	0	5.4	0	22.7	0	0	4.4	0	0	0	1.5	70.9	65.8	22.7	5.9	11.4	100	0	0
JE_CDR_02	Medio a grueso	300	74.8	3.4	0	5.1	0	12.9	0	0	2.4	0.3	1.0	0	0	83.3	74.8	12.9	3.7	8.8	81.0	14.3	4.8
JE_CDR_03	Grueso	300	63.7	3.7	0.7	12.3	0	15.7	0.3	0	1.3	0.7	0.7	0	1	80.3	63.7	16	3.7	16.7	71.4	9.5	19

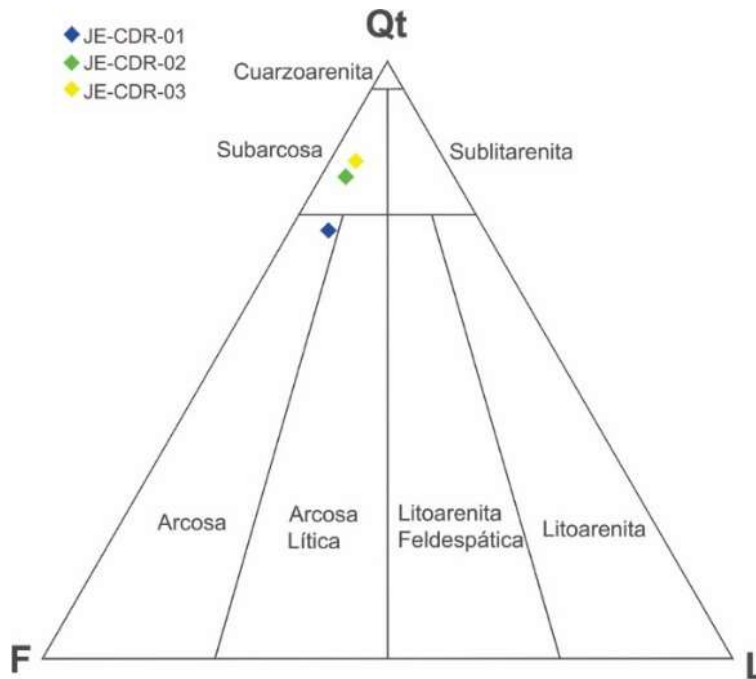


Figura 32. Diagrama QtFL para la clasificación composicional de las muestras recolectadas en la sección de Zapatoca (CDR).

Fuente: Folk (1974).

Tabla 14.

Madurez textural de las muestras recolectadas en la sección Zapatoca (CDR).

Muestra	Tamaño	Redondez	Calibrado	Contacto	Matriz	Total Ptos	% Ar m	% Cem + Mx+P or
JE_CDR_01	muy fino a medio	Subangulares a subredondeados	muy mal	Flotante	arenosa	300	67.7	32.3
JE_CDR_02	medio a grueso	subangulares a subredondeados	Bien	longitudinal	arenosa	300	98	2
JE_CDR_03	grueso	Subangulares a subredondeados	Bien	longitudinal	arenosa	300	100	0

Lámina JE_CDR_03 se clasifica como subarcosa (Figura 32 y Figura 33). Texturalmente presenta tamaño de grano grueso, con formas subangulares a subredondeados, bien calibrada, contacto longitudinal entre los granos en una muy baja proporción de matriz arenosa y cemento sílice. Composicionalmente se destacan un alto contenido de cuarzo monocristalino (63.7 %), seguido de un moderado contenido de feldespatos potásico (15.7 %) y un muy bajo porcentaje casi nulo de feldespato Plagioclasa (0.3 %), en cuanto a los líticas, se resalta la presencia de líticas metamórficas y líticas volcánicas aunque en una muy baja proporción (0.7%) cada uno y mayor proporción de líticas sedimentarias (1.3 %) (Tabla 13).

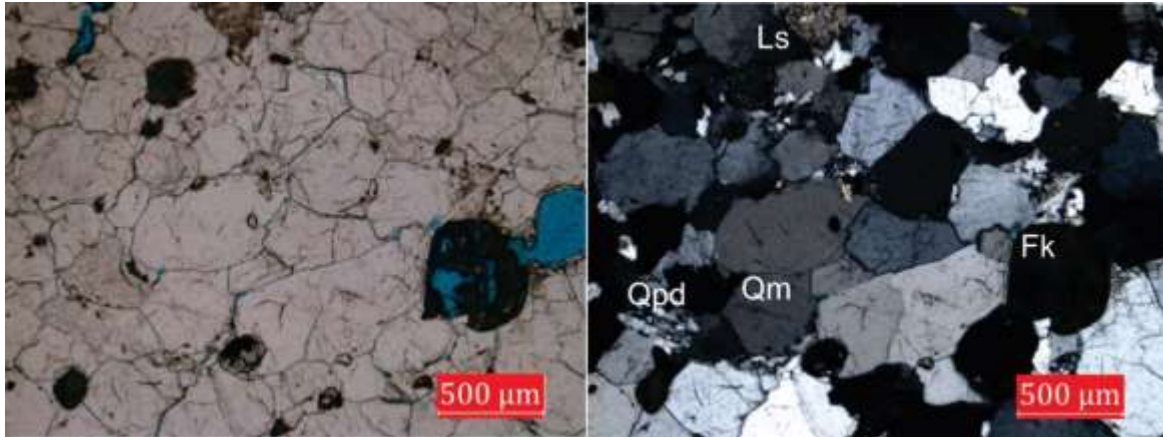


Figura 33. Vista general de la lámina JE_CDR_03 en nicoles paralelos y nicoles cruzados.

Lámina JE_CDR_02 se clasifica como subarcosa (Figura 32 y Figura 34). Texturalmente presenta tamaño de grano medio a grueso, con formas subangulares a subredondeados, bien calibrada, contacto longitudinal entre los granos en una muy baja proporción de matriz arenolodosa y cemento sílice. Composicionalmente se destacan un alto contenido de cuarzo monocristalino (74.8%) seguido de un moderado contenido de feldespato potásico (12.9 %) y en cuanto a los líticas, se resalta la presenta líticas metamórficos y volcánicos, aunque en una muy baja proporción (0.3%) y (1 %) respectivamente, los líticas sedimentarios (2.4 %) (Tabla 13).

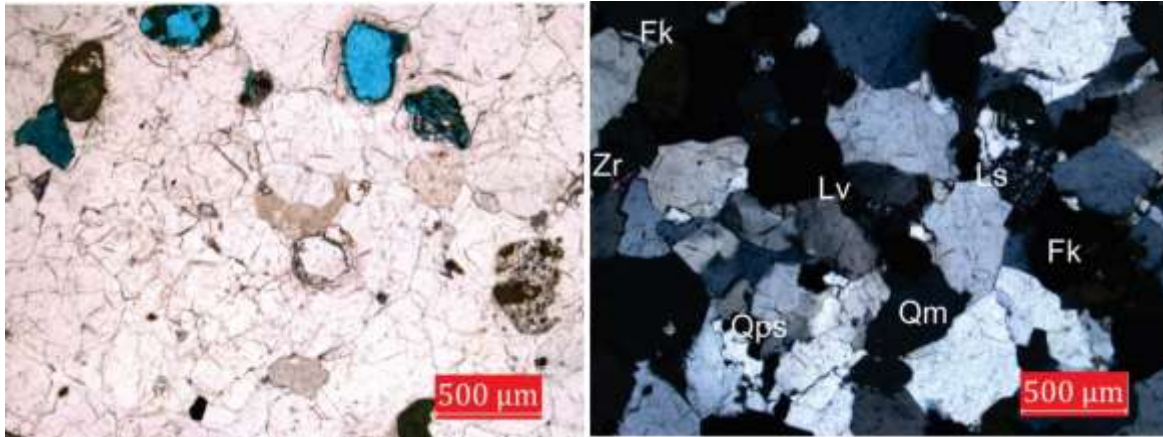


Figura 34. Vista general de la lámina JE_CDR_02 en nicols paralelos y nicols cruzados.

Lámina JE_CDR_01 se clasifica como arcosa (Figura 32 y Figura 35) según el triángulo de composición de Folk (1974). Texturalmente presenta tamaño de grano muy fino a medio, con formas subangulares a subredondeados, muy mal calibrada, contacto flotante entre los granos en una matriz areno-lodosa y cemento ferruginoso. Composicionalmente se destacan un alto contenido de cuarzo monocristalino (65.5%), seguido de feldespato potásico (22.7 %) y en cuanto a los lítica, se resalta solo la presencia de lítica sedimentarios en un (4.4%) (Tabla 13)

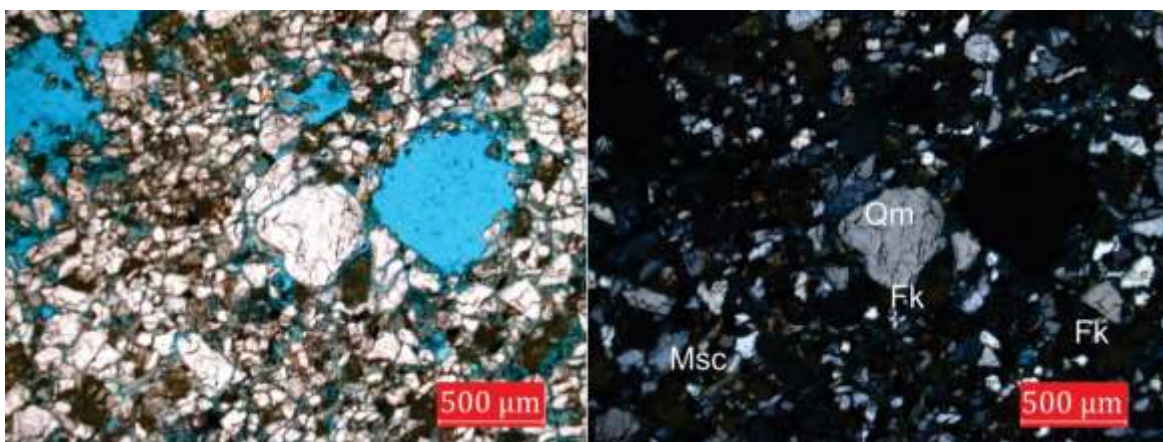


Figura 35. Vista general de la lámina JE_CDR_01 en nicols paralelos y nicols cruzados.

8.4.3. Petrografía de líticos en areniscas conglomeraticas. Se hizo un análisis petrográfico de 3 líticos extraídos de la muestra JE_CDR_04 de los cuales se tenían dudas respecto a la composición con lo cual se realizó una mejor identificación.

JE_M_01, JE_M_02 y JE_M_04 se clasifican como cuarcitas según el diagrama triangular de Winkler (1976), presentan textura granoblástica, con cristales en contacto suturado y poligonal, heteroblásticos. Posee cristales de cuarzo policristalino de bordes difusos, incoloros con bajo relieve y colores de birrefringencia de primer orden. La lamina JE_M_04 presenta en algunos sectores muscovita en una muy baja proporción 1 % (Figura 36).

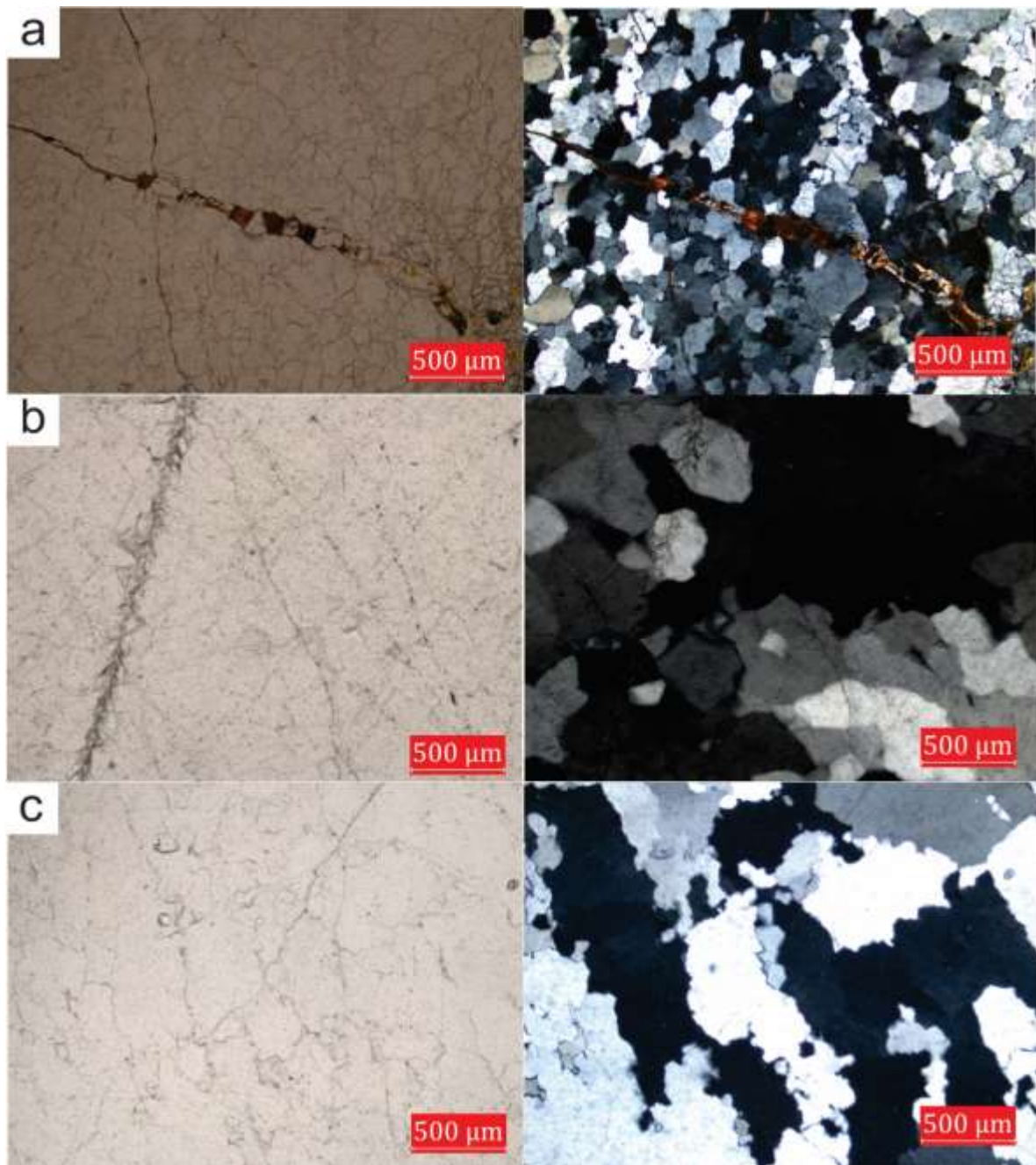


Figura 36. Vista general de la lámina a.JE_M_01.b.JE_M_02. c.JE_M_04 en nicoles paralelos y nicoles cruzados.

8.5. Petrofacies

Con el fin de estimar la posible variación de los principales componentes del armazón a lo largo de cada afloramiento se establecieron petrofacies en cada sección de estudio.

8.5.1. Acapulco. Presenta areniscas predominantemente de tamaño de grano fino, que de base a tope aumentan progresivamente en su grado de madurez desde inmaduras a submaduras, el porcentaje de material intersticial disminuye desde el 21% hasta el 11%, texturalmente muestran buena a moderada selección con granos de cuarzo, feldespatos y líticos subredondeados. Composicionalmente clasificadas como sublitoarenitas, presentando de forma general un alto contenido de cuarzo (80%), feldespato potásico (8%), líticos predominantemente sedimentarios (15%), líticos volcánicos (1.3%) y en menor proporción líticos metamórficos (0.4%) (figura 7). Los granos de feldespatos potásicos se presentan en algunas muestras altamente alterados posiblemente a sericita y en otras parcialmente disueltos.

Petrofacies A: Corresponde al segmento 4 de la columna estratigráfica, se caracteriza por presentar una disminución en el contenido de líticos sedimentarios (4% – 10%), presencia, aunque en baja proporción de líticos volcánicos (1.3%) y aumento en el porcentaje de matriz (23% - 27%) (figura 37).

Petrofacies B: corresponde al segmento 5 de la columna estratigráfica, se caracteriza por presentar alto contenido de líticos sedimentarios (13%) y una proporción baja de matriz (14%) (Figura 37).

De acuerdo a las características texturales y composicionales de la sección, se observan algunos rasgos diagenéticos relacionado con el grado de compactación mecánica y química que

sufrieron las rocas durante su enterramiento. Se observaron en las secciones delgadas fábricas con contactos predominantemente flotantes entre los granos, y granos de feldespatos subangulares como indicadores de un enterramiento poco profundo. Además se observa en algunas secciones presencia de pseudomatriz producto de fragmentos poco competentes como líticos sedimentarios deformados post-depositacionalmente como respuesta a la compactación mecánica. Con lo anterior se infiere que el grado de transporte e intemperismo que sufrieron fue muy bajo (Raigemborn, 2008; Arche, 2010).

8.5.2. Guatiguará Alto. Presenta areniscas predominantemente de tamaño de grano fino, que de base a tope aumentan progresivamente en su grado de madurez desde inmaduras a maduras, el porcentaje de material intersticial disminuye desde el 27% hasta el 3.7%, texturalmente muestran buena a moderada selección con granos de cuarzo subangulares, granos de feldespatos y líticos subredondeados. Composicionalmente varían de base a tope de subarcosas a sublitoarenitas, presentando de forma general un alto contenido de cuarzo (> 73%), feldespato potásico (5 -14 %), líticos predominantemente sedimentarios (2-16%) aumentando hacia la base hasta el 11%, en menor proporción líticos metamórficos (0.3%) y ausencia de líticos volcánicos (Figura 37). Los granos de feldespatos potásicos se presentan en algunas muestras altamente alterados posiblemente a sericita y en otras parcialmente disueltos.

Petrofacies C: Corresponde al segmento 2 y 1 de la columna estratigráfica, caracterizado por el aumento en el contenido de feldespato potásico (5%-14%), la disminución de líticos sedimentarios (2%-7%) y el aumento en el porcentaje de matriz (9%-27%) (Figura 37).

Petrofacies D: Corresponde al segmento 3 de la columna estratigráfica, caracterizado por un alto contenido de líticos sedimentarios (13% - 16%), presencia en baja proporción de líticos metamórficos (0% – 0.7%) y una proporción baja de matriz (5% -7%) (Figura 37).

De acuerdo a las características texturales y composicionales de la sección, se observan algunos rasgos diagenéticos: contactos predominantemente flotantes entre los granos, granos de cuarzo subangulares a subredondeados y granos de feldespatos subangulares, lo que sugiere que estas rocas sufrieron baja compactación mecánica. Por lo tanto, se infiere un enterramiento poco profundo y un bajo grado de transporte e intemperismo en las rocas (Raigemborn, 2008; Arche, 2010)

8.5.3. Zapatoca. Presenta areniscas predominantemente de tamaño de grano medio a grueso, que de base a tope disminuyen progresivamente en su grado de madurez desde maduras a inmaduras, el porcentaje de material intersticial aumenta desde el 2% hasta el 32%, texturalmente muestran buena selección sin embargo en las rocas más inmaduras se observa una mala selección, con granos de cuarzo subangulares, granos de feldespatos, líticos metamórficos y sedimentarios subredondeados y líticos volcánicos redondeados, Composicionalmente varían de base a tope de subarcosas a acorsas, presentando de forma general un alto contenido de cuarzo (> 71%), feldespato potásico (12-22%), líticos predominantemente sedimentarios (3-5%), líticos volcánicos (1%) y en menor proporción líticos metamórficos (0.3-0.7%) (figura 37). Los granos de feldespatos potásicos se observan parcialmente disueltos.

Petrofacies E: Corresponde a las areniscas del segmento 2 de la columna estratigráfica, caracterizadas por presencia de líticos metamórficos y volcánicos aunque en una baja proporción (0% – 1.5%), la presencia de plagioclasa también en baja proporción, la disminución de líticos

sedimentarios (1% - 2.5%), y en el porcentaje de la matriz bastante significativo (7% - 12%) (figura 37)

Petrofacies F: Corresponde a las areniscas de la parte superior de la columna estratigráfica segmento 3, caracterizado por un alto contenido de feldespato potásico, ausencia de plagioclasas, presencia de líticos sedimentarios (4%), una baja proporción de líticos no identificados (menor a 1.5%), y alto porcentaje de matriz (36%) (figura 37)

De acuerdo a las características texturales y composicionales de la sección, se observan algunos rasgos diagenéticos:: contactos suturados entre los granos, granos de cuarzo subangulares a subredondeados y granos de feldespatos subredondeados, lo que sugiere que estas rocas sufrieron alta compactación mecánica y moderada compactación química, esta última posiblemente por disolución penetrativa en las superficies de los feldespatos en las cuales la disolución se produce en los planos de macla o del clivaje. Por lo tanto, se infiere un enterramiento profundo y un bajo grado de transporte e intemperismo en las rocas (Raigemborn, 2008; Arche, 2010).

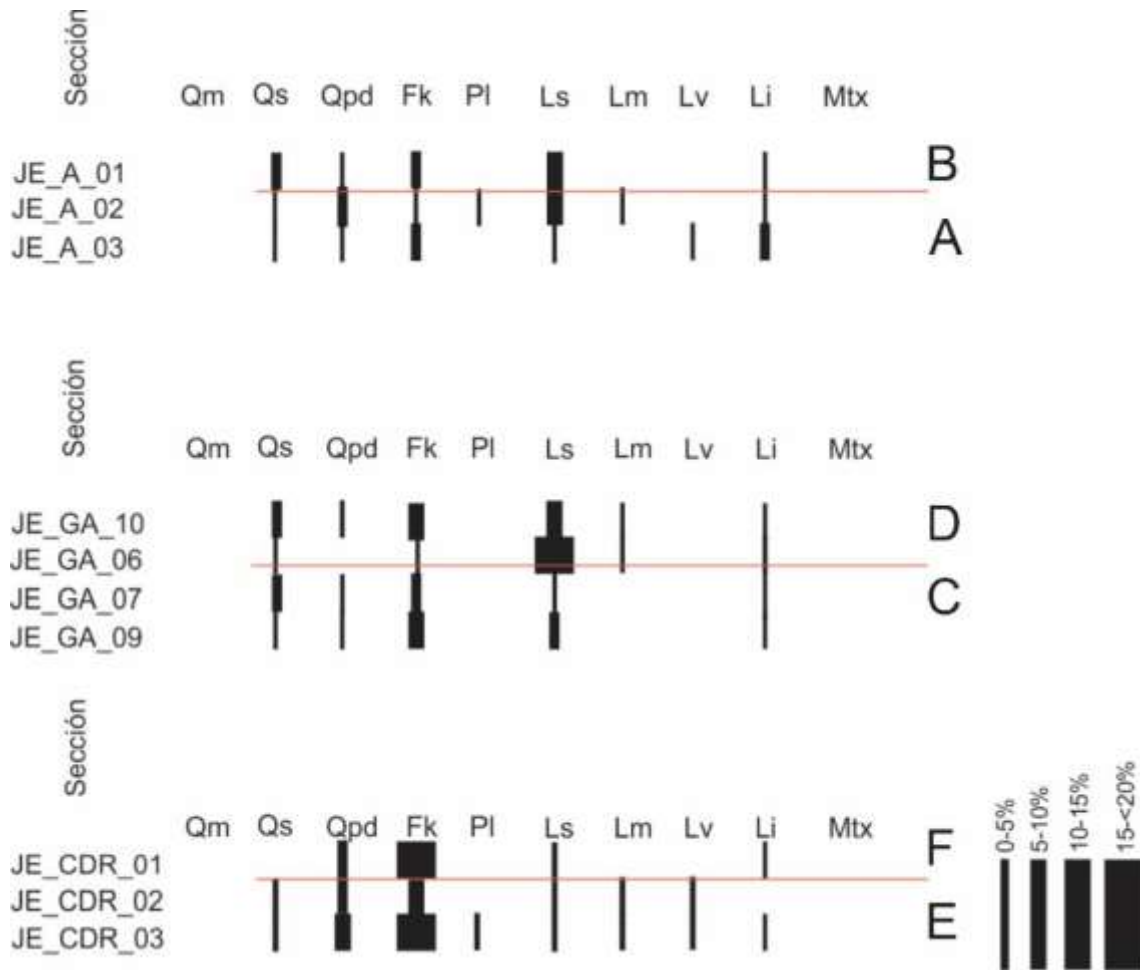


Figura 37. Petrofacies de la Formación Girón, en los sectores de Acapulco, Guatiguará Alto y Zapotoca.

De acuerdo a lo anterior es posible correlacionar las secciones de Guatiguará Alto y Acapulco, las cuales presentan areniscas con similares características texturales y composicionales. Las areniscas en estas secciones son de tamaño de grano fino con granos subredondeados y alto contenido de material intersticial. Composicionalmente clasificadas como sublitoarenitas, presentan bajo contenido de líticas metamórficas y volcánicas, y alto contenido de cuarzo monocristalino, cuarzo sedimentario, líticas sedimentarios y feldespatos (Figura 37) estos últimos se encuentran altamente alterados. A diferencia las areniscas de Zapotoca presentan características texturales de rocas más maduras, de tamaño de grano que va desde medio hasta

grueso con granos subangulares a subredondeados y bajo contenido de material intersticial. Composicionalmente clasificadas como subarcosas de acuerdo al bajo contenido de líticos sedimentarios, líticos metamórficos y volcánicos (aunque en mayor proporción en comparación con las secciones de Acapulco y Guatiguara), y alto contenido de cuarzo monocristalino, cuarzo policristalino de bordes difusos y feldespatos potásicos (Figura 37) estos últimos se encuentran parcialmente disueltos.

El contenido de líticos volcánicos y metamórficos encontrados en las anteriores secciones también se evidenció en la sección conglomerática de La Punta, en donde se identificaron líticos volcánicos posiblemente de tipo riolitas o riolacitas y líticos metamórficos de tipo esquistos cuarzosos y cuarcitas, estos últimos también encontrados en la capa conglomerática de la sección de Zapatoca.

Con base a las petrofacies y según el triángulo Dickinson (1985), la variación composicional de las areniscas de la parte superior de la Formación Girón indica cambios en la procedencia de las áreas fuentes, hacia el bloque yacente de la falla del Suarez (sector Acapulco y Guatiguara Alto) el aporte sugerido es un orógeno cuarzoso (figura 38), y hacia el bloque Colgante el aporte varía de un orógeno cuarzoso a un sistema orogénico transicional (Figura 38), justificado en el mayor contenido de minerales inestables como los feldespatos potásicos, los cuales se encuentran de tamaño de grano medio a grueso y parcialmente disueltos. Por lo tanto, se infiere que la principal fuente de aporte de material para la Formación Girón fue el Macizo de Santander, aunque se sugiere que en algunos sectores hayan intervenido fuentes más locales que influyeron en la composición de las rocas.

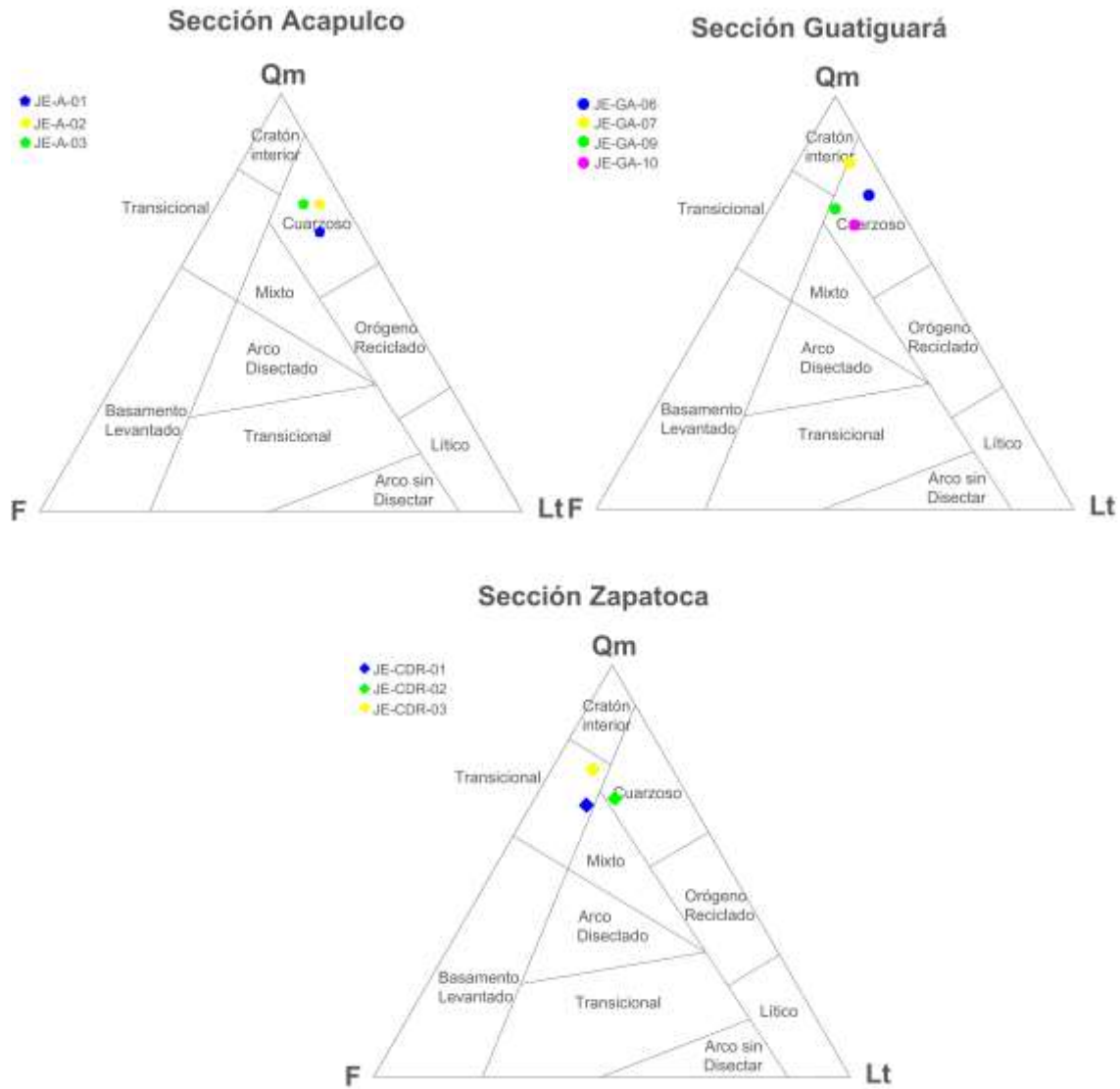


Figura 38. Diagrama QmFLt en rocas de la sección de Guatiguará Alto (GA), Acapulco (A) y Zapatoca (CDR).

Fuente: Dickinson (1985)..

9. Discusión de resultados

9.1. Distribución de litofacies

Los resultados del análisis litofacial para la Formación Girón en el bloque yacente de la Falla del Suárez, ilustran la acumulación de litofacies proximales de abanico aluvial en el sector más E hacia la Mesa de Los Santos, en donde se observó un afloramiento netamente conglomerático conforme a lo propuesto por Blanco y Rincón (2014), y de acuerdo a lo interpretado por Clavijo (1985) como un depósito asociado a un abanico aluvial, evidenciado en la sección tipo por un potente depósito conglomerático matriz soportado correlacionable con el afloramiento de la sección La Punta en la Mesa de Los Santos, antes interpretado erróneamente por Hedberg (1931) en Etayo- Serna (1989) y Cediél (1968) como una secuencia perteneciente a la Formación Los Santos.

Hacia la Mesa de Ruitoque en los sectores de Acapulco y Guatiguará Alto, la Formación Girón presenta litofacies acordes a un sistema fluvial meandriforme que pueden interpretarse como canales abandonados, conforme al ambiente de depositación propuesto por (Rocha, 2005) para el sector de Ruitoque Golf Club y Blanco y Rincón (2014) para la Mesa de Ruitoque, definido como un modelo más organizado de procesos de canal y una separación más clara de los ambientes de canal y de desbordamiento. Sin embargo en este estudio fueron modificadas algunas inconsistencias en la columna estratigráfica de Blanco y Rincón (2014) y en el contenido

de feldespatos potásicos propuesto por dichos autores, cambiando de areniscas arcosas a areniscas subarcosas y sublitoarenitas, más acorde a lo descrito por Rocha (2005) para esta área de estudio.

Finalmente hacia el SW en el bloque colgante de la Falla del Suárez, la Formación Girón presenta facies distales de un sistema fluvial meandriforme en el sector de Zapatoca, evidenciado por las litofacies y arquitectura de este sistema fluvial: espesores potentes de material fino (limolitas arenosas) correspondiente a llanura de inundación y secuencias de areniscas granodecrecientes desde areniscas de tamaño de grano muy grueso a fino interpretadas como depósitos de canales abandonados, de acuerdo a lo propuesto por Osorio (2016) que también reconoció ciclos granodecrecientes de areniscas en esta sección y las interpreto como una evolución episódica desde ríos trezados a ríos meandriformes con mucha carga en suspensión asociados a planicies aluviales más estables y maduras.

De acuerdo a lo anterior no es posible realizar una correlación litoestratigráfica que abarque las 4 secciones de estudio, debido a que la depositación de la Formación Girón estuvo condicionada por estructuras de fallas normales asociadas a una configuración tectónica distensiva (Figura 39 y Figura 40) en un ambiente continental transicional, afectando la continuidad lateral de las litofacies en esta unidad. Sin embargo, teniendo en cuenta las características texturales y composicionales de las areniscas es posible establecer una correlación entre las secciones 1 y 3 correspondiente a Acapulco y Guatiguará Alto respectivamente.

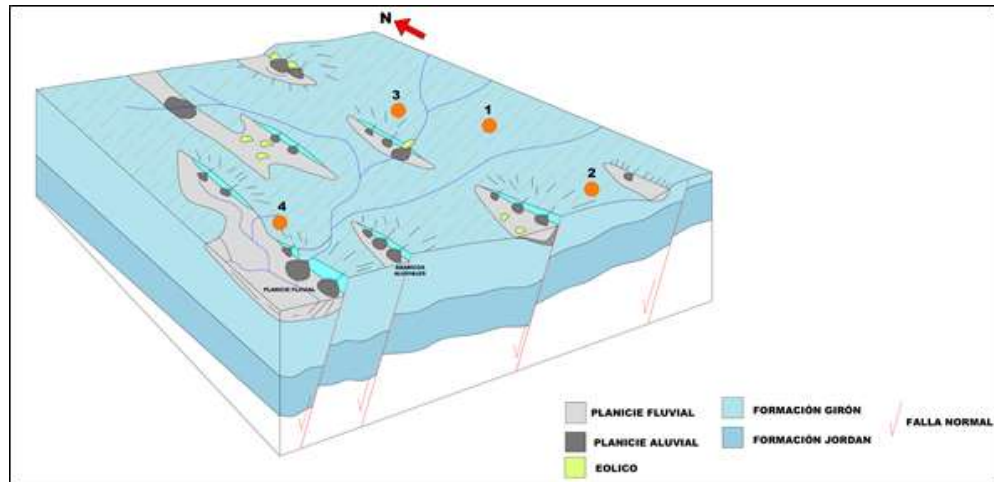


Figura 39. Bloque diagrama representativo de la distribución sedimentológica de la Formación Girón en las secciones 1. Guatiguara, 2. La Punta, 3. Acapulco, 4. Zapatoca.

Fuente: Gawthorpe & Leeder (2002) y modificado por autores.

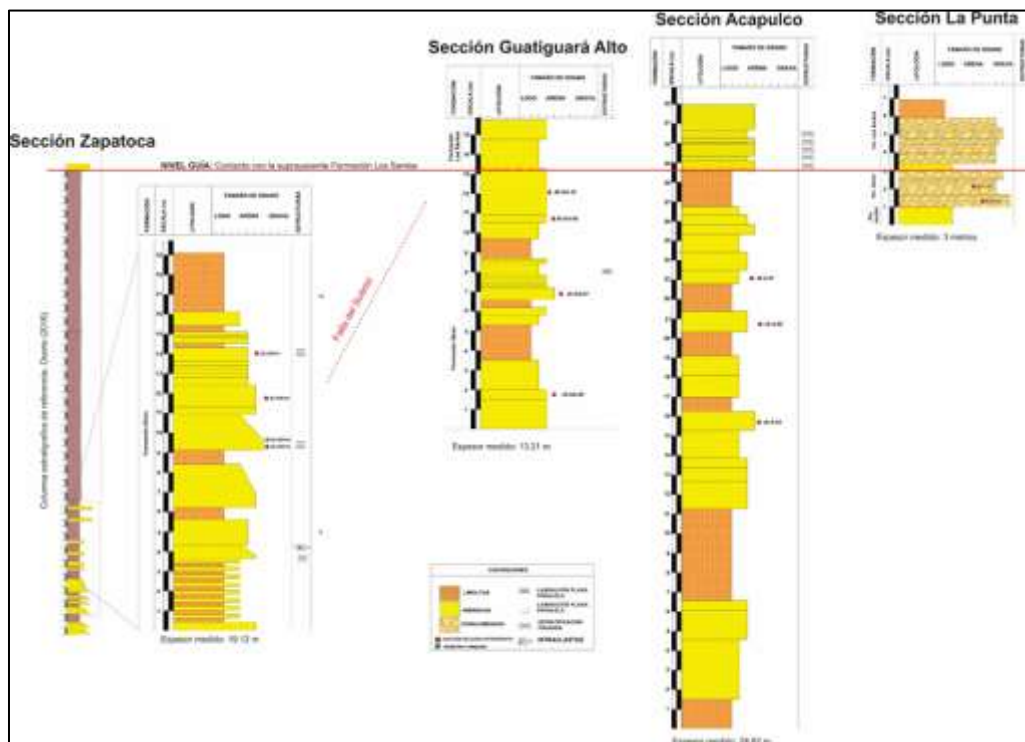


Figura 40. Correlación litoestratigráfica de las secciones de estudio datum de referencia el contacto entre la Formación Girón y Los Santos. Los contactos entre formaciones en las secciones fueron definidos según las descripciones realizadas en este estudio y los reportados por (Osorio 2016, Blanco y Rincón 2014, Laverde y Clavijo, 1985).

Se presentan las 4 secciones de estudio en contacto con la suprayacente Formación Los Santos tomado como el nivel guía para la correlación estratigráfica, definido como un contacto de tipo transicional por Laverde & Clavijo, 1985 para la sección de Zapatoca y Blanco y Rincón (2014) para las secciones de Acapulco, Guatiguará Alto, y La Punta

9.2. Evolución tectono-sedimentaria

Durante el Triásico Jurásico está documentado un evento de extensión cortical que se extendió hasta el Cretácico Temprano ocasionando la generación de diversas cuencas extensionales en forma de hemigraben, segmentadas a lo largo y ancho por fallas longitudinales y transversales (Julivert (1958), Ujueta (1991), Kammer (1995, 2001), Sarmiento (2001) y Tesón (2013) en Osorio, (2016)) que en el área de estudio se fallas de cinemática normal, principalmente la Falla del Suárez y las fallas Ruitoque y Los Santos respectivamente (Araque y Otero, 2016). Estas fallas condicionaron la variación de litofacies y el espesor de la Formación Girón como se indica en el capítulo 11.1 y como se ilustran en los cortes geológicos realizados por Araque y Otero (2016) (Figura 41 y Figura 42) en donde se observa un espesor mucho más potente en el bloque colgante de la Falla del Suárez y una notable disminución de la secuencia en el bloque yacente, que se hace cada vez menor hacia el este presentando un espesor de hasta 3 m en el sector La Punta.

De acuerdo a los líticos volcánicos encontrados en las cuatro secciones de estudio, se propone que los aportes volcánicos son producto de la erosión de material volcánico preexistente cercano a la cuenca, posiblemente las riolitas de edad Triásico? reportadas por Wart et al. (1973) en el Macizo de Santander. Sin embargo no es posible dar total certeza a esta fuente, ya que los

análisis de petrografía no son suficientes para determinarla con exactitud, hacen falta estudios geoquímicos y geocronológicos que argumenten la procedencia a partir de esta fuente o que el vulcanismo registrado hasta la Formación Jordán tuvo que extenderse hasta el Jurásico Tardío aportando material volcanoclástico a la Formación Girón, posiblemente como producto de una esporádica actividad volcánica en fase terminal. Así como lo propuesto por Clavijo et al. (2008) en la evolución de la Serranía de San Lucas, quien sustenta que esta actividad volcánica fue simultánea con el evento magmático del Jurásico Medio-Tardío, y Moreno - Sánchez (2016) que propone que el vulcanismo del Jurásico fue episódico en la Cordillera Oriental, aunque siendo más importante hacia el Valle del Magdalena evidenciado en las formaciones Norean (Clavijo, 1995) y La Mojana (Geyer, 1982). Sin embargo, en las secciones estudiadas en campo no fueron encontradas evidencias de estructuras de flujos volcánicos que reforzaran esta hipótesis para la Formación Girón. Como por ejemplo Wart et al. (1973) que reporto diques de composición granítica y riolitas en la infrayacente Formación Jordán, y Wart et al. 1973 que registro tobas sobre la zona de Piedecuesta, Bocas, Rionegro y Mesa de Los Santos en la Formación Bocas.

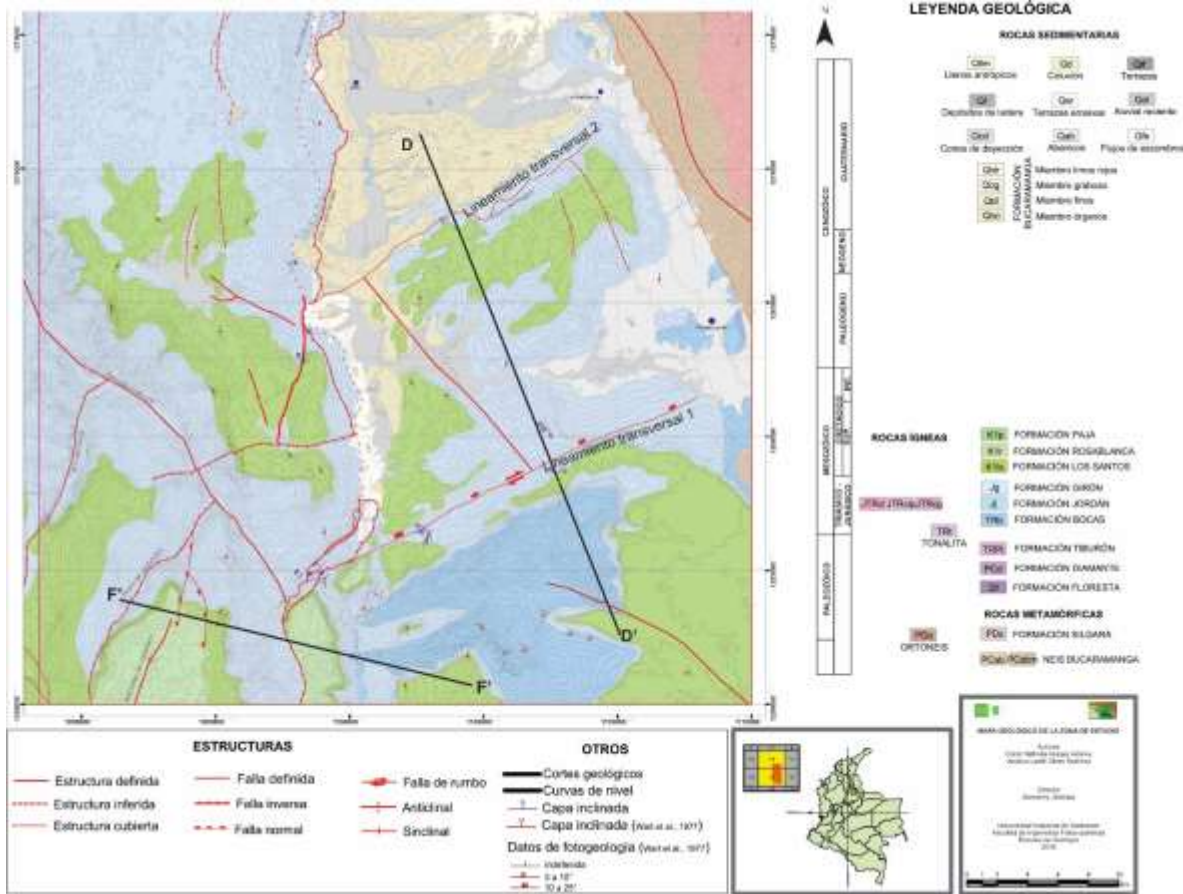


Figura 41. Mapa geológico regional del área de estudio. Se observan las líneas de los cortes locales (Ver Figura 51).

Fuente: Araque y Otero (2016). Modificado por autores.

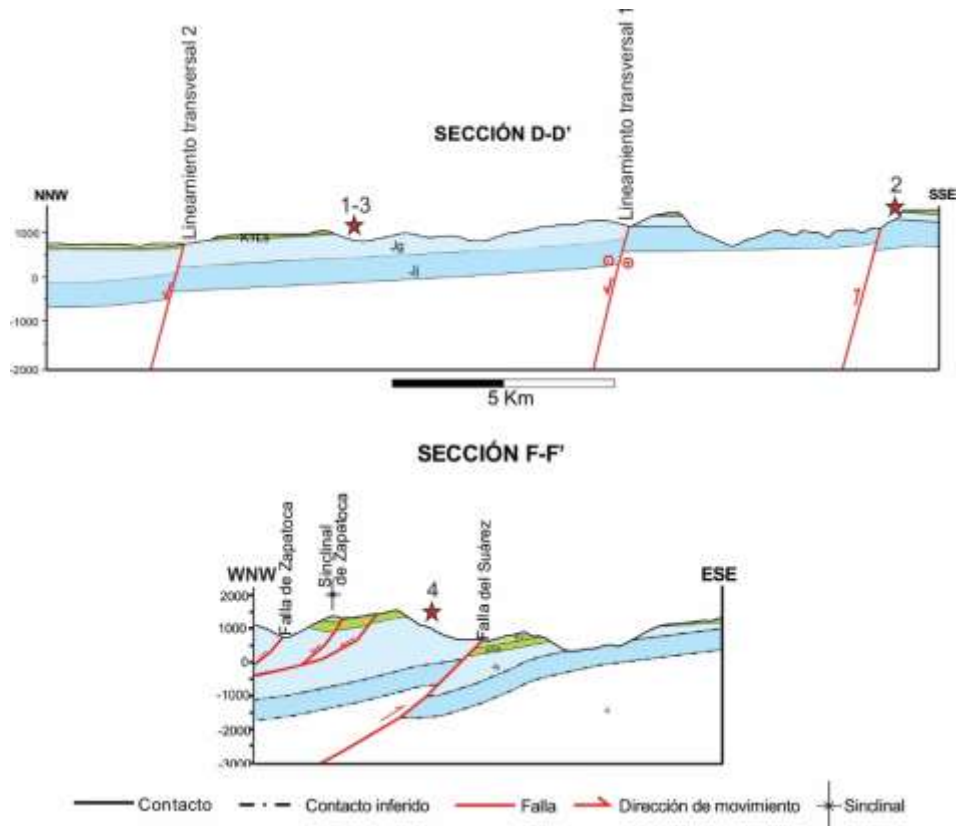


Figura 42. Cortes geológicos del el área de estudio. Las estrellas muestran la ubicación aproximada de las secciones analizadas: 1. Sección Guatiguara Alto, 2. Sección La Punta, 3. Sección Acapulco, 4. Sección Zapatoaca. La ubicación y leyenda geológica de los cortes se observan en la figura 50.

Fuente: Araque y Otero (2016).

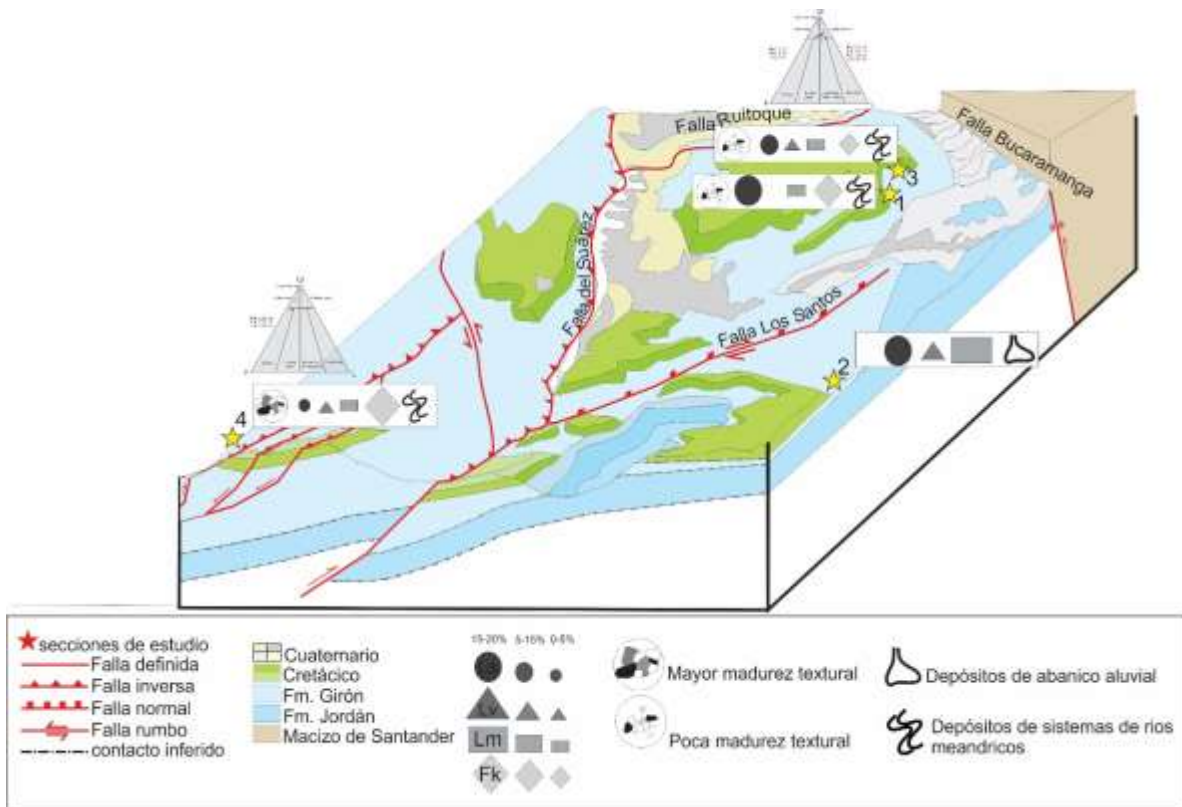


Figura 43. Bloque diagrama mostrando la configuración geológica actual y la localización de las secciones estudiadas destacando las variaciones composicionales y texturales.

10. Conclusiones y aportes al análisis de procedencia

- Hacia el bloque yacente de la Falla del Suárez en la sección de las mesas Los Santos y Ruitoque, el ambiente de depositación de la Formación Girón es un abanico aluvial variando a un sistema fluvial meandriforme hacia el oeste y que continúa con la misma tendencia hacia el bloque colgante en la sección de Zapatoca.
- La Formación Girón no presenta continuidad lateral en sus litofacies, por tanto no es posible realizar una correlación estratigráfica que abarque las 4 secciones de estudio.
- La notoria variación de espesor de la Formación Girón en el área de estudio es producto de la dinámica de las Falla del Suárez, y los lineamientos transversales que hicieron parte de la tectónica distensiva ocurrida en el Jurásico.
- La integración del análisis de la distribución de litofacies, petrografía de conglomerados y areniscas, indican que de la Formación Girón en el sector de los bloques colgante y yacente de la Falla del Suárez contienen registro de materiales cuarzosos, feldespáticos y líticos (sedimentarios, metamórficos y volcánicos), dichos materiales sugieren que el área fuente es un arco magmático (Macizo de Santander).
- Hacia el bloque yacente de la Falla del Suárez en el sector de la Mesa de Ruitoque, se presentan areniscas texturalmente inmaduras, con bajos contenidos de feldespato (en promedio 8%) en cristales de tamaño principalmente fino y predominancia de líticos sedimentarios (en promedio 10%) lo que infiere una fuente cuarzosa cercana al depósito.

- Los líticos metamórficos encontrados en los conglomerados de la sección La Punta muestran características correspondientes a cuarcitas y esquistos cuarzosos cuya posible fuente son las unidades Esquistos del Chicamocha y los Esquistos del Silgara que hacen parte del Macizo de Santander.

- Hacia el bloque colgante de la Falla del Suárez en el sector de Zapatoca, se presentan areniscas texturalmente más maduras, con mayor diversidad en el contenido de líticos encontrando los tres tipos (sedimentarios, metamórficos e ígneos) y un alto contenido de feldespatos potásicos (hasta 22.7%) en granos muy redondeados. Dicha redondez es debida a la disolución de los cristales producto de la compactación química, que junto al alto grado de saturación de los granos (compactación mecánica) dejan evidencia de rasgos diagenéticos importantes para este sector, dificultando la estimación de la distancia entre el área fuente y el depósito y abriendo la posibilidad de un área de aporte más local.

- La petrografía de las areniscas permite inferir que la procedencia de la Formación Girón es de sistemas orogénicos cuarzosos en el bloque yacente y una mezcla de orógeno cuarzoso y transicional en el bloque colgante.

- Los aportes volcánicos que no han sido reportados anteriormente para esta unidad litoestratigráfica son posiblemente producto de la erosión de material volcánico preexistente cercano a la cuenca o de una esporádica actividad volcánica terminal. Sin embargo, en campo no se encontraron estructuras volcánicas de flujo que reforzaran esta última hipótesis para la Formación Girón.

- Se necesita de una base de datos más robusta para contribuir a la explicación de los eventos geológicos tectono-sedimentarios propuestos por autores previos para el Jurásico.

11. Recomendaciones

- Realizar un análisis más detallado sobre los líticos volcánicos encontrados en las diferentes secciones de estudio, con el fin de tener una clara identificación de los aportes volcánicos sin-sedimentarios propuesto en este estudio.
- Realizar geocronología de circones detríticos con el fin de enriquecer el análisis de procedencia y el reconocimiento más preciso de las áreas de aporte.
- Realizar análisis petrográficos detallados incluyendo minerales pesados en otros sectores donde aflore la zona de contacto entre la Formación Girón con la Formación los Santos, para comparar la los resultados de procedencia obtenidos.
- Tomar datos de paleocorrientes en otros sectores en donde se encuentre la zona de contacto entre la Formación Girón con la Formación Los Santos, para determinar la dirección de flujo del sistema fluvial que depósito la unidad de estudio.
- Realizar una observación más detallada en otros sectores en donde aflore la Formación Girón que evidencien posibles estructuras de flujos volcánicos.

Referencias Bibliográficas

- Alberding, H. 1957. Applications of principles of wrench-fault tectonics of Moody and Hill to northern South-America. Bulletin of the Geological Society of America, 68: 785-790.
- Araque, N., Otero, J. 2016. Zonas transversales y su relación con estructuras regionales, flanco - Cordillera Oriental. Tesis de pregrado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Geología, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas.113p.
- Arche, A. 2010. Sedimentología del proceso físico a la cuenca sedimentaria. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid. 1103p.
- Blanco, N. M., Rincón, V. A. 2014. Contacto entre las formaciones Girón y los Santos (Tambor), en los alrededores de la Mesa de Los Santos y Mesa de Ruitoque, Santander. Tesis de pregrado. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Geología, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas.124p.
- Bayona, G., Rapalini, A., Costanzo-Alvarez, V. 2006. Paleomagnetism in Mesozoic rocks of the Northern Andes and its Implications in Mesozoic Tectonics of Northwestern South America. Earth Planets Space, 58: 1255-1272.
- Boggs, S. Jr. 1987. Principles of Sedimentology and Stratigraphy. Merrill Pub. Co. New York. pp. 342-360.
- Boinet, T., Bourgois, J. y Mendoza, H. 1989. La Falla de Bucaramanga (Colombia), su función durante la Orogenia Andina. Geología Norandina, 11: 3-10.
- Caballero, V., Parra, M., Mora, A. 2010. Levantamiento de la Cordillera Oriental de Colombia durante el Eoceno tardío – Oligoceno temprano: proveniencia sedimentaria en el sinclinal de nuevo mundo, cuenca Valle Medio del Magdalena. Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander, vol. 32, no.1, pp. 45-75.

- Caballero, V., Parra, M., Mora, A., López, C., Rojas, E., and Quintero, I. 2013. Factors controlling selective abandonment and reactivation in thick skin orogens: A case study in the Magdalena Valley, Colombia. In: *ThickSkin-Dominated Orogens: From Initial Inversion to Full Accretion* (Editado por Nemčok, M., Mora, A.R., y Cosgrove, J.W.). Geological Society, London, Special Publication, 377: 343-367.
- Campbell, C. J. 1965. The Santa Marta wrench fault of Colombia and its regional setting. Fourth Caribbean Geological Conference. Trinidad. *Memoir*, 247-261.
- Campbell, C. V. 1967. Lamina, laminaset, bed and bedset. *Sedimentology*-Elsevier Publishing Company, Amsterdam-Printed in The Netherlands.
- Cediel, F., F. Etayo, and C. Cáceres. 1994. Facies Distribution and Tectonic Setting through the Phanerozoic of Colombia: INGEOMINAS, ed., Geotec Ltd., Bogotá (17 time-slices/maps in scale 1:2,000,000).
- Cediel, F. 1968. El Grupo Girón: Una Molasa Mesozoica de la Cordillera Oriental. *Boletín Geológico*, 16(1-3): 5 -96.
- Cediel, F. 2001. El Grupo Girón una molasa (?) Mesozoica (?) de la Cordillera Oriental (?) de Colombia (?). *Boletín de Geología*, Universidad Industrial de Santander, vol. 23, No. 38, pp. 88.
- Cediel, F., Shaw, R.P., Cáceres, C. 2003. Tectonic assembly of the Northern Andean block. The Circum-Gulf of Mexico and the Caribbean: Hydrocarbon habitats, basin formation, and plate tectonics: AAPG *Memoir* 79, pp 815– 848.
- Cisneros, I., Ramirez, J., Garcia, R. 2011. Análisis preliminar de procedencia de rocas clásticas jurásicas del valle de Huizachal, Sierra Madre Oriental: Influencia del vulcanismo sinsedimentario y el basamento cristalino. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 63, No. 2, pp. 137-156.
- Clavijo, J. 1985. La secuencia de la Formación Los Santos en la Quebrada Piedra Azul: registro de una hoya fluvial evanescente. En: F. Etayo-Serna y F. Laverde-Montaña (eds.), *Proyecto Cretácico, contribuciones*. Publicación Geológica Especial, Ingeominas 16(VI): 18.

- Clavijo, J., Mendoza, H., Royero, J.M., Bernal, L., y Reyes, G. 1993. Contribución al conocimiento de la geología de los Santanderes. Cuarto Simposio de Geología Regional. Ingeominas, Bucaramanga. Informe interno, 99p.
- Clavijo, J. 1994a. Mapa geológico generalizado de Norte de Santander. Escala 1:250.000. Mapa interno. Bucaramanga. INGEOMINAS.
- Clavijo, J. 1995. Mapa Geológico de Colombia. Plancha 75- Aguachica, escala 1:100.000. Ingeominas
- Clavijo, J., Mantilla, L. C., J.E, P., Bernal, L., y Perez, A. 2008. Evolución geológica de la Serranía de San Lucas, Norte del Valle Medio del Magdalena y Noroeste de la Cordillera Oriental.: Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander, vol 30, No. 1, p. 45-62.
- Cruz Guevara, L. E., Caballero, V. M. 2007. Descripción y clasificación de rocas terrígenas por su textura. Publicaciones Universidad Industrial de Santander.
- Cuellar, M. López, J. Osorio, J. Carrillo, E. 2012. Análisis estructural del segmento Bucaramanga del sistema de fallas de Bucaramanga (sfb) entre los municipios de Pailitas y Curumaní, Cesar – Colombia. Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander, vol. 34, No. 2.
- Dickinson, W.R. 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of andstones. Zuffa GG Eds. Provenance of Arenite, pp. 333-361.
- Dickey, P.A. 1941. Pre-Cretaceous sediments in Cordillera Oriental of Colombia. Bull. Am. Ass. Petr. Geol, vol. 25, No. 9, pp. 1789-1795.
- Diederix, H., Hernández, C., Torres, E., y Botero., P. 2008. Modelo de evolución morfotectónica cuaternaria basado en evidencias estructurales, neotectónicas y paleosismológicas de los principales sistemas de falla en la región de Bucaramanga. Ingeominas, Bogotá, Colombia. Informe interno, 145p.
- Etayo-Serna, F. 1989. Análisis facial del inicio del avance marino del Cretácico en la región SW del Macizo de Santander. V Congreso Colombiano de Geología. Guía de Excursión Técnica. 41p.

- Etayo, F., Rodríguez, G.I. 1985. Edad de la Formación Los Santos. Proyecto Cretácico. Publicaciones Geológicas Especiales, Ingeominas, 16: (XXVI): 1-12.
- Folk, R. 1974. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill publishing co. Texas. pp. 1-182.
- Gansser, A. 1955. Ein Beitrag zur Geologie und petrography der Sierra Nevada de Santa Marta (Kolumbien, Sudamerika): Schweizer. Mineralogische und Petrographische Mitteilungen 35: 209–279.
- Gawthorpe, R. L., Leeder, M. R. 2000. Tectono- Sedimentary evolution of active extensional basins. Basin Research, vol. 12, No 3-4, pp. 195-218.
- Graham, S.A., Tolson, R.B., Decelles, P.G., Ingersoll, R.V., Bargar, e., Caldwell, M., Cavazza, W., Edwards, D.P., Follo, M.F., Handschy, J.F., Lemke, L., Moxon, I., Rice, R., Smith, G. A., White, J. 1986. Provenance modelling as a technique for analysing source terrane evolution and control on foreland sedimentation. Spec. Publis int. Ass. Sediment. pp. 425-436
- Geyer, O. F. 1982. Comparaciones estratigráficas y faciales en el Triásico Norandino. Geología Norandina. 5:27-31
- Goldsmith, R., Marvin, R., Mehnert, H. 1971. Radiometric ages in the Santander Massif, Eastern Cordillera, Colombia Andes. U.S Geological Survey Professional Paper, vol. 750-D. pp. D41-D49.
- Haughton, P.D.W., Todd, S.P., A.C. Morton, A.C. 1991. Sedimentary provenance studies. Geological Society, London, vol. 57. pp. 1-11.
- Hettner, A. 1892. Die Kordillere von Bogotá, Gotha, Patermans Mitteil. Ergänzungsheft, 22:131.
- Hedberg, H.D. 1931. Cretaceous limestone as petroleum source rock in northwestern Venezuela. Bull. Am. Ass. Petr. Geol. Tulsa, 15 (3): 229-244.
- Howard, J.L. 1993. The statistics of counting clasts in rudites: a review, with examples from the upper Palaeogene of southern California, USA. pp. 57-114.

- Ingersoll, R.V., Bullard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J. P., Pickle, J.D., Sares., S.W. 1984. The effect of grain size on detrital modes: A test of the Gazzi-Dickinson point-counting method. *Journal of sedimentary petrology*, vol. 54, No 1, pp. 0103-0116. No aparece como si fuera 1990
- Julivert, M. 1958. La morfoestructura de la zona de mesas al SW de Bucaramanga. *Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander*, 1: 9-43.
- Julivert, M. 1960. Geología de la región occidente de García Rovira. *Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander*, (5): 5-32.
- Julivert, M. 1963. Nuevos datos sobre la dinámica del Ámbito del Macizo de Santander Durante el Secundario (Cordillera Oriental, Colombia). *Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander*.(2): 45-49.
- Julivert, M., Barrero, D., y Navas, J. 1964. Geología de la Mesa de Los Santos. *Boletín de Geología*, 18: 5-11.
- Kammer, A. 1995. Tectónica Jurásica de la parte septentrional de la Cordillera Oriental de Colombia. En: Resúmenes presentados durante la IV conferencia de campo del proyecto IGCP-Unesco 322: Correlación de eventos Jurasicos en América del Sur. *Geología Colombiana*. 20: 162-163.
- Kammer, A. 2001. Tectónica extensiva Jurásica al margen continental Norandina y el origen de la Falla de Bucaramanga. *Resumen Coloquio Triásico-Jurásico en Colombia. Ingeominas, Universidad Industrial de Santander, Sociedad Colombiana de Geología*.
- Langenheim, R.L. 1954. Preliminary report on the stratigraphy of the Girón Formation in Santander and Boyacá. *Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander*, (3): 35-50.
- Langenheim, J.H. 1959. Preliminary notes on plant fossils from Late Paleozoic and Early Mesozoic rocks in the Cordillera Oriental of Colombia. *Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander*, 3: 51-53.

- Laverde, M. 1985. La Formación los Santos: un depósito continental anterior al ingreso marino del cretácico. Proyecto cretácico. Publicaciones geológicas especiales, Ingeominas. Capítulo xx (16): 1-24
- Laverde, F., Clavijo, J. 1985. Análisis facial de la Formación los Santos, según el corte de “Tu y Yo” (Zapatoca). Contribuciones Proyecto Cretácico, pp. 1-9.
- León, L, A. 1991. Mapa Geológico del Departamento de Santander. Escala 1:800.000. Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander, 20(35): 53-63.
- Navas, J. 1963. Estudio estratigráfico del Girón al W del Macizo de Santander (Cordillera Oriental, Colombia). Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander, 12: 19-33.
- Jiménez, G., F. Speranza, C. Faccenna, G. Bayona, and A. Mora. 2014. Paleomagnetism and magnetic fabric of the Eastern Cordillera of Colombia: Evidence for oblique convergence and nonrotational reactivation of a Mesozoic intracontinental rift, *Tectonics*, 33, doi:10.1002/2014TC003532.
- Mantilla-Figueroa, L.C., García-Ramírez, C.A., y Valencia, V.A. 2016. Propuesta de escisión de la denominada ‘Formación Silgará’ (Macizo de Santander, Colombia), a partir de edades U-Pb en circones detríticos. Boletín de Geología, Universidad Industrial de Santander, 38 (1): 33-50.
- Miall, A. D. 1996. *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*: Springer-Verlag Inc., Heidelberg. 582p.
- Miall, A. D. 1997. Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary.
- Miall, A.D. 2006. *The Geology of Fluvial Deposits*. 4th printing, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 599p.
- Miall, D. 2016. *Stratigraphy: A Modern Synthesis*. Department of Geology University of Toronto. AG Switzerland Springer Science+Business Media. 454p.

- Mojica, J y Kammer, A. 1995. Eventos jurásicos en Colombia.- Geología Colombiana, Santa Fe de Bogotá. 19: 165-172.
- Montenegro-Castillo, O. 2008. Análisis de petrografía y minerales pesados de la sucesión Paleógena en el sinclinal de Usme y contribuciones a la evolución tectónica del área. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Geología.
- Moreno-Sánchez, M., Toro- Toro, L.M., Gómez-Cruz, A. Ruiz, E. C. 2016. Formación Nogontova, una nueva unidad litoestratigráfica en la Cordillera Oriental de Colombia. Boletín de Geología, 38(2): 55-62.
- Moreno, C.J., Horton, B., Caballero, V., Mora, A., Parra, M. and Sierra, J. 2010. Depositional and provenance record of the Paleogene transition from foreland to hinterland basin evolution during Andean orogenesis, northern Middle Magdalena Valley Basin, Colombia. *Journal of South American Earth Sciences*.
- Ochoa, F., Bayona, G., Cardona, A., Mora, A. 2013. Procedencia de las unidades Cenozoicas del sinclinal de Guaduas: Implicaciones en la evolución tectónica del sur del Valle Medio del Magdalena y orógenos adyacentes. *Boletín de Geología*, vol. 35, no. 1. pp 17-42.
- Oppenheim, V. 1940. Jurassic- Cretaceous (Girón) beds in Colombia and Venezuela. *Bulletin of the American Association of petroleum geologist*, vol 24, no 9. pp 1611-1619.
- Osorio, D. 2016. Estratigrafía y deformación del grupo Girón en el anticlinorio de Los Yarigués (“anticlinal de Los Cobardes”) sectores zapatoaca y río Lebrija. Tesis de pregrado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Geología, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. 173p.
- Paris, G., Machette, M.N., Dart, R.L., and Haller, K.M. 2000. Map and Database of Quaternary Faults in Colombia and its Offshore Regions. U.S Geological Survey Open-File Report 00-018, 61, plate (1:2.000.000 scale), p. 1.
- Pettijohn F, J., Potter P. E. & Siever R. 1972. Sand and Sanstone. Springer-Verlag, New York-Heidelberg.
- Raigemborn, M.S. 2008. Estudio estratigráfico, sedimentológico y composicional de las sedimentitas del Terciario inferior (Grupo Rio Chico) en el sector sudoriental del Chubut

- Extraandino. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata (inédito), Facultad de Ciencias Naturales y Museo. 352p
- Rocha, M. 2005. Estudio Facial de la secuencia de la Formación Girón aflorante sobre la carretera que conduce al Ruitoque Golf Club. Tesis de pregrado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Geología, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, 116p.
- Royero, J. M., y Clavijo J. 2001. Memoria Explicativa del Mapa Geológico del departamento de Santander. INGEOMINAS.
- Sarmiento-Rojas, L. F. 2001. Mesozoic rifting and Cenozoic basin inversion history of the Eastern Cordillera, Colombian Andes; Inferences from tectonic models: Bogotá, ECOPETROL-Netherlands Research School of Sedimentary Geology, 295p.
- Schuchert, C. 1935. Historical Geology of the Antille Caribbean Region. Jhon Wiley and Sons. 56p.
- Spikings, R., Cochrane, R., Villagomez, D., Van der Lelij, R., Vallejo, C., Winkler, W., Beate, B. 2014. The geological history of northwestern South America: from Pangaea to the early collision of the Caribbean Large Igneous Province (290–75 Ma). Gondwana research. 46p.
- Tellez, N. 1964. Geología de la Mesa de Barichara, Boletín de Geología. Universidad Industrial de Santander, vol. 18, no. 1, pp. 12-21.
- Tesón, E. 2013. Relationship of Mesozoic graben development, stress, shortening magnitude, and structural style in the Eastern Cordillera of the Colombian Andes Inglaterra, Geological Society Special Publications. 337(10): 1-28.
- Toro, J. 1990. The termination of the Bucaramanga fault in the Cordillera Oriental, Colombia, Msc. Tesis. Tucson: University of Arizona, 53p.
- Trumpy, D. 1943. Pre-Cretaceous of Colombia. Bull. Geol. Soc. Amer, vol. 54, no. 9, pp. 1281-1304.

- Tschanz, C., Jimeno, A., and Cruz, J. 1969. Geology of the Sierra Nevada de Santa Marta area, Colombia. Informe interno 1829. INGEOMINAS. Bogotá. Preliminary report, 288p.
- Tschanz, C., Marvin, R., Cruz, J., Mehnert, H. & Cebula, G. 1974. Geologic Evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Northeastern Colombia. - Geological Society of American Bulletin. 85: 273-284.
- Ujueta, G. 1991. Lineamientos de Dirección Noro este- Suroeste en los departamentos de Santander y Norte de Santander, Colombia. Boletín de Geología. Universidad Industria de Santander, vol. 20, no. 35, pp. 27-51.
- Vargas, G., y Niño, A. 1992. Patrones de fracturamiento asociados a la Falla de Bucaramanga. Tesis de pregrado. Universidad Industrial de Santander, Escuela de Geología, Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. P.
- Ward, D. E., Goldsmith, R., Jimeno, A., Cruz, J., Restrepo H., Gomez, E. 1973. Geología de la Plancha 120, Bucaramanga, INGEOMINAS.
- Winkler, R.H.F. 1976. Petrogénesis de Rocas Metamórficas. H. Blume, Madrid.