

MODELO SEDIMENTARIO-DEPOSICIONAL DE LA FORMACIÓN GIRÓN EN LA SECCIÓN DEL KM 42 VÍA GIRÓN-ZAPATOCA, SANTANDER, COLOMBIA

Sedimentary-depositional model of the Girón Formation in the section of km 42 road Girón-Zapatoca, Santander, Colombia

Diego Fernando Jaramillo Minorta¹, Keila José Barba Gonzales¹, Elías Ernesto Rojas Martínez¹, Jenny García González¹, Dino Carmelo Manco Jaraba², Frank David Lascarro Navarro³

¹Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia. ²Universidad de La Guajira, Colombia. ³Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú. Email: dcmancoj@uniguajira.edu.co

(Recibido 27 de Junio de 2023 y aceptado 08 de Diciembre de 2023)

Resumen

La formación Girón de edad Jurásico Superior se extiende al oeste del Macizo de Santander y está compuesta por tres intervalos: arenítico inferior (JGai), lodolítico inferior (JGli) y arenítico superior (JGas). En esta investigación se exhibe nueva información petrográfica, sedimentológica, estratigráfica y geoquímica de las rocas que componen el intervalo superior de la Formación Girón expuestas en el Km 42 vía Girón-Zapatoca, buscando determinar su modelo sedimentario- deposicional, y procedencia. Los resultados indican que este perfil de 74,27 m de espesor es una sucesión de conglomerados, areniscas, areniscas conglomeráticas y limolitas provenientes de gneises de bajo grado metamórfico de un margen continental activo y de orógeno reciclado. Se presentan nueve tipos de litofacies (Gmm, Gcm, Sgm, Sgi, Sm, Sr, Sh, Fsm y Fl) que asociadas se organizan en cinco elementos arquitectónicos distintos: llanura de inundación, canal, flujos areno-gravosos, point bar y canal con acreción lateral; su relación entre sí demuestran que la Formación Girón en la zona de estudio conserva en su base un registro de un sistema meandriforme de moderada sinuosidad de energía moderadamente alta con predominio de las litofacies de limolitas que sugieren episodios de inundaciones extremas en un entorno lodozal que le otorgó su coloración amarillo grisáceo; mientras que el sector medio y superior del perfil sugiere un sistema trenzado de intermedia sinuosidad con parámetro de trenzado intermedio dominado por cuerpos de point bar y canal con acreción lateral, en el que los elementos de llanura de inundación presentan una coloración rojiza atribuida por un clima con precipitaciones abundantes, aguas activas y ricas en oxígeno.

Palabras clave: *estructuras sedimentarias, formación Girón, jurásico superior, procedencia.*

Abstract

The Upper Jurassic Giron Formation extends to the west of the Santander Massif and is composed of three intervals: lower sandy (JGai), lower mudstone (JGli) and upper sandstone (JGas). This research presents new petrographic, sedimentological, stratigraphic, and geochemical information of the rocks that compose the upper interval of the Girón Formation exposed at Km 42 road to Giron-Zapatoca, seeking to determine its sedimentary-depositional model, and origin. The results indicate that this 74.27 m thick profile is a succession of conglomerates, sandstones, conglomeratic sandstones, and siltstones from low metamorphic grade gneisses of an active continental margin and recycled orogen. Nine lithofacies types (Gmm, Gcm, Sgm, Sgi, Sm, Sr, Sh, Fsm and Fl) are presented and associated are organized into five distinct architectural elements: floodplain, channel, sandy-gravelly flows, point bar and channel with lateral accretion; their relationship with each other show that the Giron Formation in the study area preserves at its base a record of a moderately sinuous meandering meandering system of moderately high energy with predominance of siltstone lithofacies suggesting extreme flood episodes in a muddy environment that gave it its grayish-yellow coloration; while the middle and upper sector of the profile suggests a braided system of intermediate sinuosity with intermediate braiding parameter dominated by point bar and channel bodies with lateral accretion, in which the floodplain elements present a reddish coloration attributed by a climate with abundant rainfall, active and oxygen-rich waters.

Key words: *sedimentary structures, Giron formation, upper Jurassic, provenance.*

1. INTRODUCCIÓN

La formación Girón está constituida por rocas sedimentarias de edad Jurásico y aflora en el flanco oeste de la Cordillera Oriental, sobre el Macizo de Santander [1], [2]. El Levantamiento de la Cordillera Oriental es originado a partir de una zona extensiva cuyos flancos se transportan tectónicamente hacia las cuencas que lo bordean (Valle del Magdalena al oeste y Cuenca de los Llanos al este) compuesto esencialmente por potentes secuencias sedimentarias Meso-Cenozoicas depositadas sobre basamentos ígneo-metamórficos Paleo-Mesozoicos [3], debido a la interacción compleja de la placa Sudamericana, Caribe y Nazca [4] y el Bloque Chocó [5], [6].

La génesis de la Formación Girón es asociada a ambientes sedimentarios fluviales de llanuras de inundación bien marcadas, terrazas fluviales y flujos de detritos representados por capas de conglomerados y capas de areniscas conglomeráticas [7]. Y hace parte del Grupo Girón, el cual se puede dividir en la Formación Girón de edad Triásica-Jurásica y la Formación Los Santos que cubre concordantemente a la primera, probablemente pertenece al Berriasiano [8]. El Grupo Girón representan la transición de depósitos synrift representada en la Formación Río Lebrija y Capas Rojas de los Yarigués, a postrift representada en la Formación Los Santos [9].

Por otro lado [10], en análisis de procedencia realizados en la Formación Girón como en los miembros siliciclásticos de la Formación Tibasosa, muestran una fuente relacionada a basamento ígneo y metamórfico cercano (Esquistos y Filitas de Busbanzá; Stock de Chuscales y Stock de Otengá), y con la cobertera sedimentaria Paleozoica (Formaciones El Tíbet, Floresta y Cucho). Adicionalmente, menciona que los líticos ígneos desvitrificados encontrados en estas formaciones podrían estar relacionados con las Riolitas de Onzaga o con la Formación Nogontova.

Aunque la geología regional del área está relativamente bien documentada, sin embargo, siguen faltando estudios sobre la sedimentología, estratigrafía y geoquímica de la Formación Girón en el sector del Km 42 comprendido entre los municipios

de Girón-Zapatoca que permita dilucidar importantes cuestionamientos como su procedencia y modelo sedimentario-deposicional en este sector. Por consiguiente, el análisis detallado de las características texturales, composicionales y geoquímicas de las rocas de la Formación Girón son una herramienta útil para obtener una mejor comprensión del entorno sedimentario y sus procesos evolutivos.

1.1 Localización

El área de estudio se encuentra en el área municipal de Zapatoca, departamento de Santander. Al Este del Río Sogamoso, aproximadamente en el km 42 al sur de Girón, sobre la vía al municipio de Zapatoca. Este afloramiento se extiende aproximadamente 185m a lo largo de la vía, con una altura cercana a los 45m. (Figura 1).

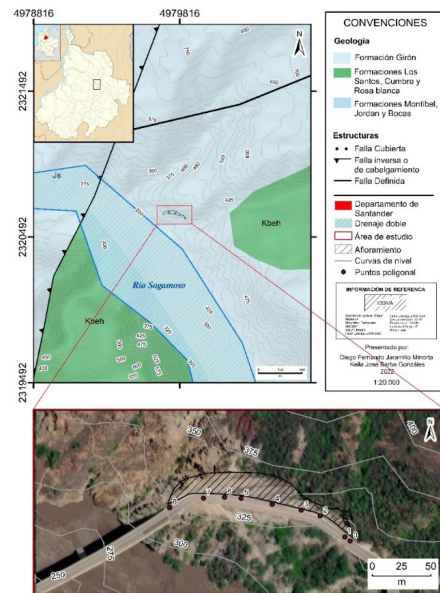


Figura 1. Localización del área de estudio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un muestreo probabilístico. Se extrajeron 28 especímenes de rocas seleccionadas con un peso aproximado de 500 gr, descritas macroscópicamente, cuatro muestras fueron analizadas por la técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX), y seis por medio de microscópica óptica (Tabla 1). Se excluyeron las muestras que presentaban alto grado de meteorización.

Además, se implementó un levantamiento de secciones estratigráficas, para la sección se midió un espesor total de 74,29 m, constituida por 75 estratos, considerando el mayor detalle posible (escala de 1:100), el proceso de muestreo se realizó principalmente en las capas de arenisca debido a que este tipo de litología es la utilizada en los estudios y análisis de procedencia de sedimentos, sin embargo, para el análisis facial completo de la unidad, se recolectaron muestras de conglomerados y limolitas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Petrografía macroscópica

Las muestras son predominantemente areniscas (11 muestras, que corresponde al 39% de las muestras), 5 muestras de arenisca ligeramente conglomerática (18% de las muestras), 5 muestras de arenisca conglomerática (18% de las muestras), 5 muestras de limolita (18% de las muestras), 1 conglomerado arenoso (3,5% de las muestras), y 1 conglomerado arenoso 3,5% de las muestras) (Figura 2A y 2B).

Tabla 1. Resumen de las muestras y tipo de análisis realizado.

Muestras	Coordenadas		FRX	Presente estudio	
	Norte	Este		Petrografía microscópica	Petrografía macroscópica
KD(01)-M1/UB	1654616	1117738		X	X
KD(02)-M2/UD	1654531	1121294			X
KD (03)-M4/UF	1635974	1114921			X
KD(04)-M1/UH	1632720	1115596		X	X
KD(05)-M1/UI	1631042	1115791			X
KD(06)-M1/UJ	1682027	1145643		X	X
KD(07)-M1/UK	1694984	1148251			X
KD(08)-M1/UL	1681005	1144105			X
KD(09)-M2/UL	1701812	1148285		X	X
KD(10)-M3/UL	1701812	1148285		X	X
KD(11)-M1/UF	1694625	1147831		X	X
KD(12)-M2/UJ	1709417	1156113			X
KD(13)-M2/UF	1652853	1116457			X
KD(14)-M2/UH	1696644	1148433	X		X
KD(15)-M1/UG	1653658	1116236			X
KD (16)-M2/UB	1654617	1117739			X
KD(17)-M3/UH	1632729	1115597			X
KD(18)-M1/UA	1654516	1116736			X
KD (19)-M3/UJ	1682025	1145645			X
KD (20)-M5/UF	1694627	1147832			X
KD (21)-M3/UF	1694626	1147834	X		X
KD (22)-M2/UD	1654534	1121295	X		X
KD (23)-M4/UB	1654615	1117739	X		X
KD (24)-M3/UD	1694628	1147838			X
KD (25)-M3/UB	1654616	1117737			X
KD (26)-M4/UL	1681003	1148283			X
KD(27)-M2/UI	1631043	1115793			X
KD(28)-M4/UF	1696647	1148435			X

Las areniscas son principalmente subarcosas (8 muestras, que corresponde al 29% de las muestras) el 21% se clasificó como cuarzoarenitas (6 muestras), otro 18% como sublitanitas (5 muestras), 7% arcosas (2 muestras) y finalmente 7% conglomerados de cuarzo.

El 18% restante corresponde a limolitas (Figura 3A y 3B). En la Tabla 2 se muestran los porcentajes de grava, arena, limo, arcilla, y los porcentajes de cuarzo, feldespato y líticos de los especímenes para su clasificación textural y composicional, respectivamente, según [11, 13].

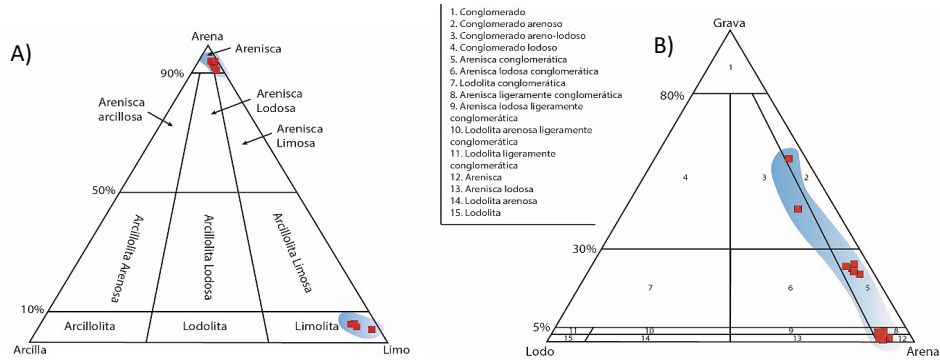


Figura 2. A) Clasificación textural para las muestras de grano tamaño fino de la Formación Girón. (modificado de Folk, 1974); B) Clasificación textural para las muestras de grano tamaño grueso de la Formación Girón.

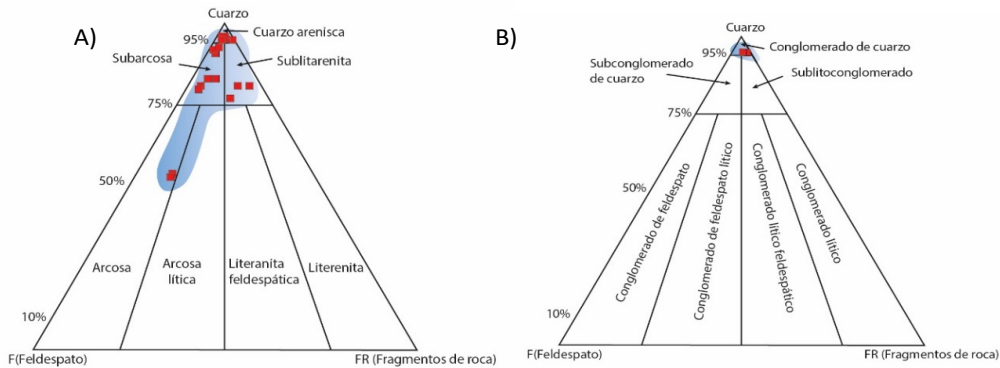


Figura 3. Clasificación composicional para las muestras de areniscas de la Formación Girón. A) diagrama triangular para la clasificación composicional de areniscas. B) el diagrama triangular para la clasificación composicional de conglomerados.

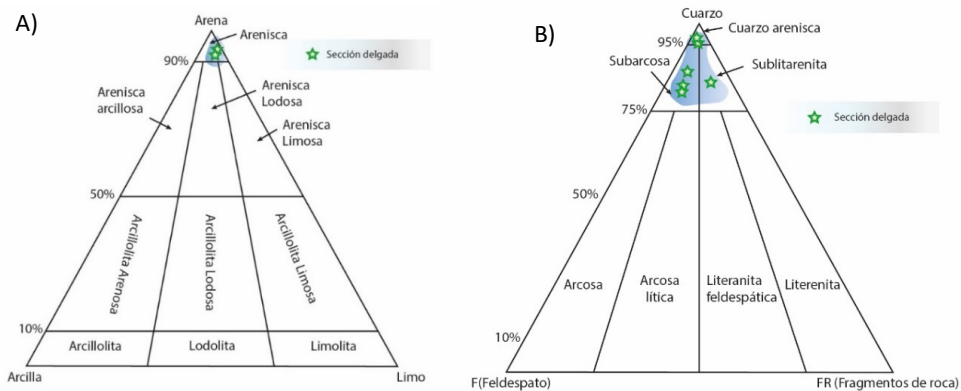


Figura 4. A) Diagrama triangular para la clasificación textural de areniscas en sección delgada [11]. B) Diagrama triangular para la clasificación composicional de areniscas en sección delgada [11].

3.2. Análisis microscópico

Las seis (6) secciones delgadas fueron clasificadas texturalmente según Folk [11] como: 4 areniscas, 1 arenisca ligeramente conglomerática y 1 arenisca conglomerática (Figura 4A) y composicionalmente según Folk [11] como: 3 subarcosa, 2 cuarzoarenita y 1 sublitarenita (Figura 4B). En general las subarcosas son granosoportadas, maduras texturalmente, moderadamente a bien empaquetadas, bien seleccionada con granos angulares, subangulares a subredondeados de baja a alta esfericidad, con gravas (2-4%), arenas (88-92%), limos y arcillas (6-8%), con un cemento silíceo del 5% al 6% que rodea los granos, algunas muestras con matriz arcillosa de color rojizo.

Texturalmente según Folk [11] es una arenisca y está constituida por cuarzo (71-84%), monocristalino con extinción ondulatoria (47-79%) y extinción recta (3-7%) y cuarzo policristalino (31-50%), algunos presentan inclusiones de moscovita. Los feldespatos (6-8%) y las plagioclasas (3-6%) presentan granos subangulares a angulares, algunos feldespatos están alterando a minerales arcillosos. Los fragmentos líticos (3-4%) se presentan en granos angulares, subangulares, subredondeados, y subesféricos. La moscovita (3-4%) se presenta en granos angulares a subangulares elongados en espacios intragranulares (Figura 5).

En general las sublitarenitas son granosoportadas, maduras, moderadamente empaquetadas, moderadamente seleccionadas con granos subangulares a subredondeados de baja esfericidad, con gravas en un 24%, arenas 70%, limos y arcillas 6%, con cemento silíceo del 5%. Es clasificada texturalmente según Folk [11] como una arenisca conglomerática. La muestra está constituida por un 81% de cuarzo compuesto por un 66% por cuarzo monocristalino con extinción ondulatoria en 59% y extinción recta en 7% y 34% de cuarzo policristalino >3 con granos subangulares a subredondeados, algunos presentan inclusiones de moscovita.

Los feldespatos (3%) y las plagioclasas (2%) se presentan en granos subangulares a angulares, algunos feldespatos están alterando a minerales arcillosos. Los fragmentos

líticos (11%) se presentan en granos subangulares a subredondeados de tamaño entre 0.4 mm y 1.9 mm. La moscovita (3%) es angular a subangular y elongada en espacios intragranulares (Figura 6A). Las cuarzoarenitas son granosoportadas, maduras, bien empaquetadas, bien seleccionadas con granos subredondeados a redondeados de alta esfericidad, con arenas (93-94%), limos y arcillas (6-7%), cemento silíceo (4-7%).

La muestra está constituida por un 93% de cuarzo compuesto por cuarzo monocristalino (63-66%) con extinción ondulatoria, cuarzo con extinción recta (5-6%) y cuarzo policristalino >3 (31-34%) con granos subangulares a subredondeados de tamaño de 0.01 a 0.30 mm, algunos presentan inclusiones de moscovita. Los feldespatos (2%) y las plagioclasas (1%) presentan granos subangulares a angulares y subesféricos, algunos feldespatos están alterando a minerales arcillosos. Los fragmentos líticos (0-2%) se presentan en granos subangulares a subredondeados de tamaño entre subangulares elongados de tamaño de 0.02 a 0.4 mm en espacios intragranulares. La moscovita (2%) se presenta en granos angulares (Figura 6B y 6C).

3.3. Geoquímica

La Tabla 3, muestra los resultados estadísticos del contenido de óxidos mayores y elementos trazas predominantes en el perfil de la formación Girón estudiado a partir de la técnica analítica semicuantitativa de Fluorescencia de Rayos X (FRX) en roca total, llevada a cabo a cuatro especímenes.

Las cuatro muestras analizadas se evaluaron según la clasificación geoquímica de areniscas de Floyd & Leveridge [14] (Figura 7B), mostrando que estas rocas se clasifican como arcosas. Además, el diagrama [15] indica que las muestras analizadas cuentan con una alteración intensa, dado a que se encuentran en el rango de Illita y Caolinita-Gibsitita-Clorita con un índice de alteración química (CIA) que varía entre 81 a 88 (Figura 7A).

Tabla 3. Resultados de técnica FRX. Los valores en la tabla son porcentuales (wt%), los valores en azul representan elementos menores y trazas en partes por millón (ppm).

Muestras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	SO ₃	NaO ₂		
KD(14)-M2/UH	70,67	18,22	4,88	3,21	0,97	0,48	0,43	0,36		
KD(21)-M3/UF	76,06	15,74	3,08	3,05	0,41	0,11	0,08	0,6		
KD(22)-M2/UD	75,91	13,69	3,69	2,37	0,92	0,28	1,76	0,91		
KD(23)-M4/UB	82,14	11,84	2,71	1,42	0,44	0,1	0,16	0,72		
	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	TOTAL	Cr	Ba	Cl	Rb	Zr	
KD(14)-M2/UH	0,28	0,23	0,04	99,77	0,12	0,05	0,02	0,01	0,01	
KD(21)-M3/UF	0,53	0,03	0,01	99,7	79	0,18	0,02	92	0,03	
KD(22)-M2/UD	0,17	0,1	0,03	99,83	0,03	0,06	0,02	0,01	0,01	
KD(23)-M4/UB	0,21	0,05	0,02	99,81	94	0,11	0,04	74	0,01	
	Sr	Zn	Y	Ce	V	Cu	Pb	Br		
KD(14)-M2/UH	33	30	11	-	-	-	-	-		
KD(21)-M3/UF	83	-	29	0,03	57	-	-	-		
KD(22)-M2/UD	82	24	15	0,02	-	96	0,01	-		
KD(23)-M4/UB	56	31	21	-	-	-	-	23		

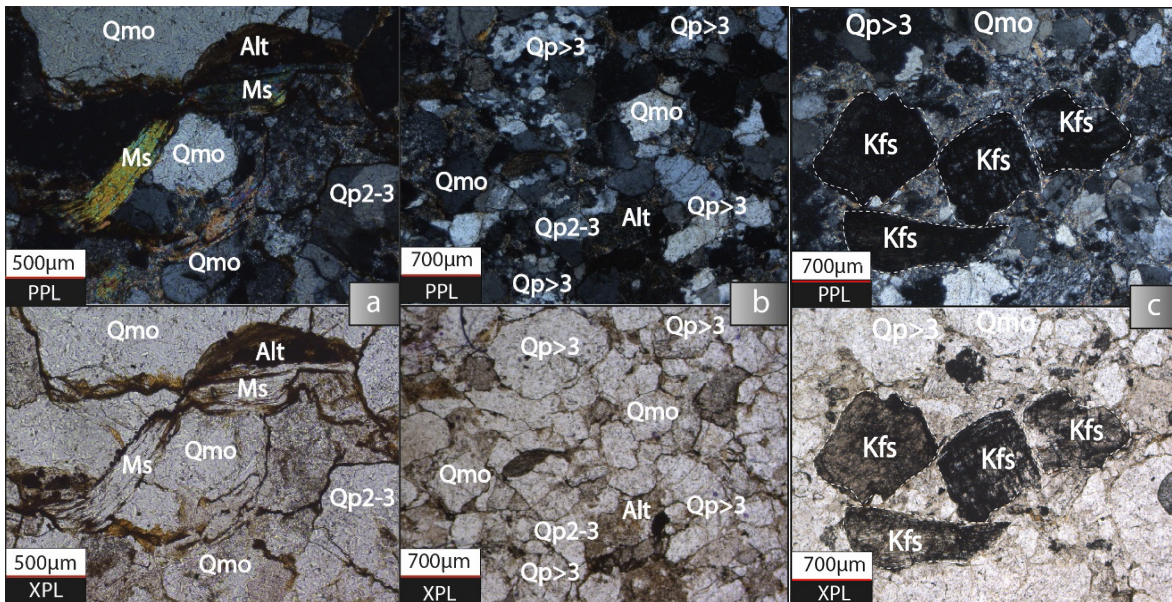


Figura 5. Microfotografías representativas de subarcosas de la Formación Girón. Moscovita (Ms), en PPL (nicoles polarizados) se observa en la parte superior alteradas (Alt), cuarzo monocristalino con extinción ondulatoria (Qmo) predominantes de hábito xenomorfo formando pseudomatriz; se observa además un grano de cuarzo policristalino de tres cristales (Qp2-3). Microclina (Kfs) con maclado en enrejado, se observa que está alterando a minerales arcillosos (línea discontinua). PPL=nicoles polarizados. XPL=nicoles cruzados. Aumento 10x.

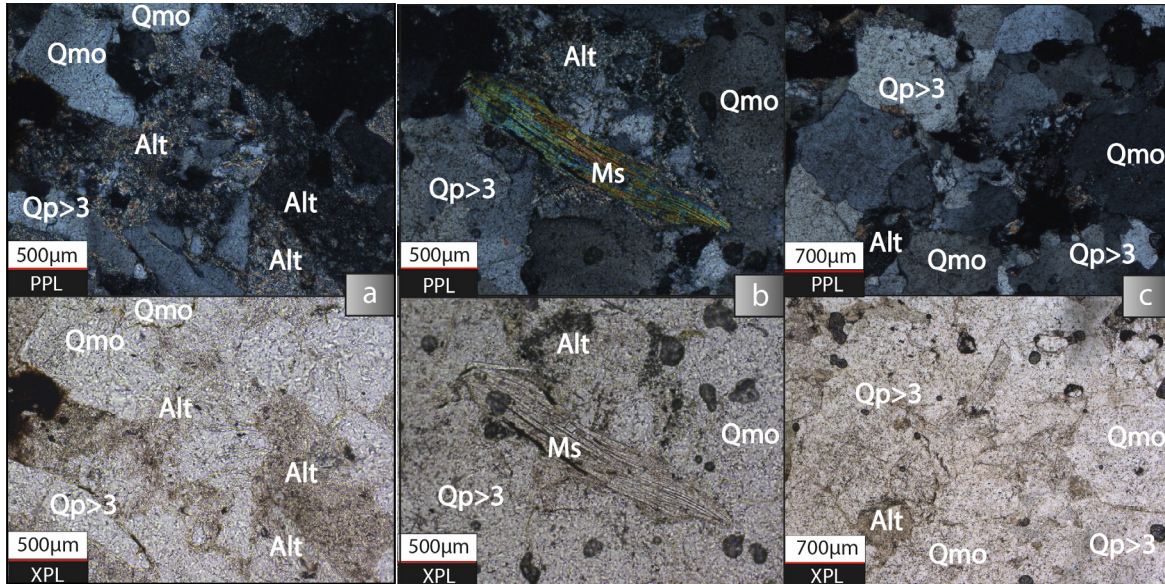


Figura 6. Microfotografías representativas de sublitarenitas (a) y de cuarzoarenitas (b y c) de la Formación Girón. a) se observan zonas de alteración a minerales arcillosos (Alt). b) granos de moscovita (Ms) intragranular. c) granos de cuarzo policristalino mayor a 3 (Qp>3) y cuarzo monocristalino con extinción ondulatoria (Qmo). Aumento 4x. PPL=nícoles polarizados.

3.4. Análisis de procedencia

Los análisis petrográficos [11] y geoquímicos [14] arrojaron que las areniscas de la Formación Girón son principalmente cuarzoarenitas, y en menor proporción subarcosas, sublitareniscas y arcosas. Texturalmente se caracterizan por ser areniscas, areniscas ligeramente

conglomeráticas y areniscas conglomeráticas. Se aplicaron análisis de procedencia según los diagramas ternarios ambientes tectónicos de [16], diagrama de discriminación tectónica de Bathia (1989), y diagrama de discriminación tectónica de [17].

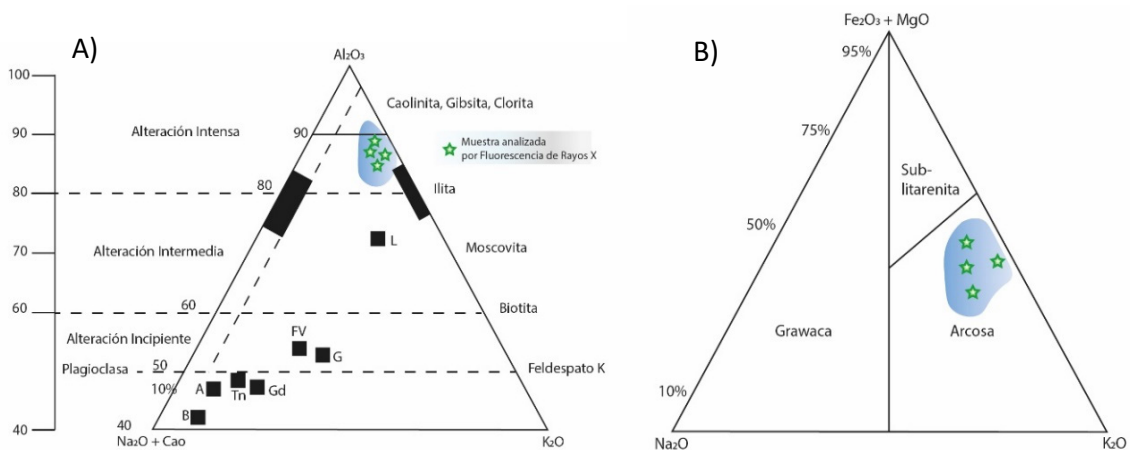


Figura 7. Diagrama triangular. A) Discriminación de alteración A-NC-K. B) Clasificación química de las areniscas. Modificado de [15][14].

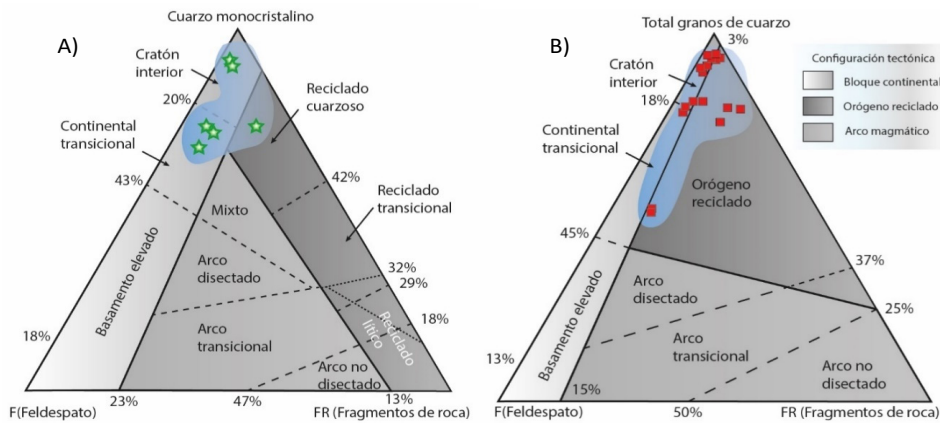


Figura 8. Diagramas ternarios para discriminación tectónica de [16] A) Diagrama para el análisis de procedencia que muestra la contribución principal del cratón interior, y la contribución del orógeno reciclado y la contribución subordinada de transición continental a las muestras de arenisca de la Formación Girón. B) Diagrama QmFL que muestra la distribución de las muestras analizadas en sección delgada distribuidas en los campos de Reciclado cuarzoso, cratón interior y transición continental.

En los diagramas de [16], las areniscas de Formación Girón se ubican principalmente en los campos de bloque continental y orógeno reciclado, más específicamente en los campos de cratón interior y una muestra en el campo continental transicional (Figura 8A). En el diagrama QmFL se ubican principalmente en los bloques continental en los campos de cratón interior, continental transicional, y orógeno reciclado en el campo de orógeno reciclado cuarzoso (Figura 8B). En el diagrama de [18] muestra que el área fuente de los sedimentos tectónicamente provienen de un margen continental activo (Figura 9A). Por otro lado, el diagrama de [17] indica también qué, el área fuente de donde proceden los sedimentos corresponde a un margen continental activo (Figura 9B).

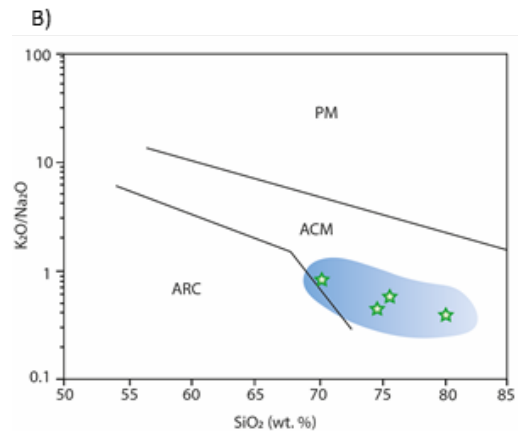
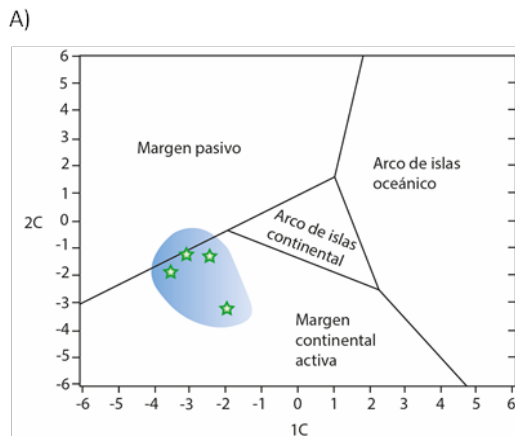


Figura 9. Diagramas de discriminación tectónica de [17], [18].



Por último, se empleó el diagrama de [17], mostrando que los sedimentos que constituyen las areniscas de la Formación Girón provienen de la erosión de una fuente sedimentaria reciclada (Figura 10).

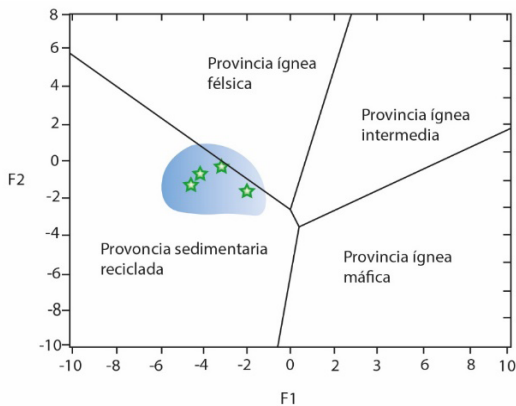


Figura 10. Diagrama binario para la discriminación tectónica de Bathia (1989).

3.5. Modelo Sedimentario – Depositional

El modelo sedimentario - deposicional en la sección del km 42 vía Girón-Zapatoca se establece a partir del análisis petrográfico, geoquímico, estratigráfico, facial y paleoambiental. El modelo se representa mediante dos bloques diagrama (Figura 11 y Figura 13) que muestra el patrón de apilamiento de las facies que constituyen la secuencia sedimentaria analizada. El primer bloque diagrama representa la sección basal del perfil (Figura 11) que indican un ambiente fluvial meandriforme de moderada sinuosidad basado en la presencia de múltiples litofacies de limolitas (Fsm y Fl) estrechamente espaciados que sugieren la deposición de incrementos sucesivos y delgados de sedimentos de llanura de inundación, en una amplia llanura aluvial a través de la cual serpenteaba el canal.

Esto indica una disminución cíclica gradual en el régimen energético a lo largo del tiempo y una variación en la tasa de suministro de sedimentos [19] debido a la variabilidad de sus espesores. Además, en conjunto con la presencia de litofacies de areniscas (Sm, Sh), areniscas conglomeráticas (Sgm) y menor proporción conglomerados (Gcm, Gmm) en secuencias granocrecientes y granodecrecientes comprueban la existencia de un sistema meándrico de intermedia sinuosidad [19] y un sistema fluvial de energía moderadamente alta.

Por otra parte, la existencia de canales con flujos areno-gravosos (Figura 12) permiten inferir episodios de alta

energía producidos por inundaciones extremas; esto se puede relacionar con el color amarillo grisáceo de las litofacies de limolitas (Fsm, Fl) en la base de la secuencia, puesto que, hacen alusión a un entorno de lodazal con vegetación permanentemente anegado de agua, indicativo de un ambiente pobre en oxígeno. Basadas en las características mencionadas para el primer bloque diagrama, se puede asociar al modelo fluvial sand-bed meandering river propuesto por [19] ya que poseen como principal elemento arquitectónico las llanuras inundación con litofacies Fm, Fl y los depósitos de canal y flujos de canales areno-gravosos con litofacies Gmm, Gcm, Sgm, Sm, Sh, un sistema fluvial donde “los sedimentos del canal y de la barra son predominantemente arenosos” [19]. La sinuosidad es intermedia a alta con canales de curvatura intermedia dominados por la carga de fondo.

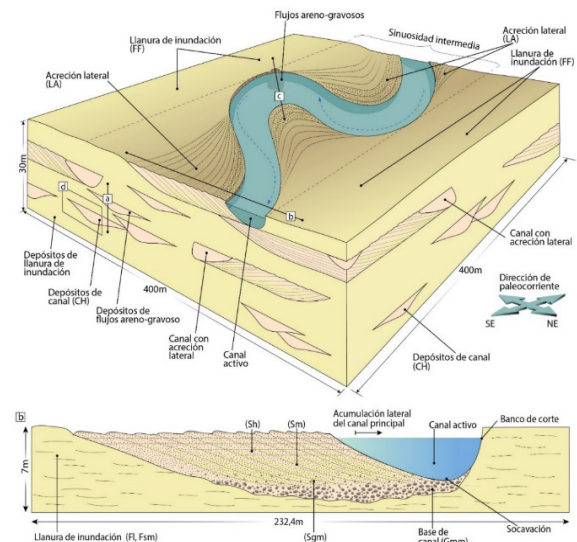


Figura 11. Modelo sedimentario-deposicional de parte basal del perfil del km 42 vía Girón-Zapatoca.

El segundo bloque diagrama (Figura 12) representa la parte media y superior del segmento (Figura 14) el cual se caracteriza por un aumento en la proporción de facies de conglomerados (Gmm, Gcm), areniscas conglomeráticas (Ggm, Ggi) y areniscas (Sh, Sm, Sr) con una disminución en frecuencia en la que se presentan facies de limolitas (Fm, Fl). Es decir, una proporción relativamente menor de facies de grano fino, lo que indica una transición a un sistema fluvial trenzado de intermedia sinuosidad.

Representado por el aumento en la producción de sedimentos constituido por la generación de point bar compuestos por barras de gravas y arenas. Las barras de gravas sugieren un transporte dominado por la carga de fondo con una energía alta y son depositados en las zonas centrales y laterales del cauce, generados cuando cesan los períodos de flujo máximo de corriente mientras que las barras de arenas sugieren una disminución local en la energía del transporte y se depositan hacia superior de las barras de gravas [19].

Las litofacies de arenisca con laminación cruzada (Sr) sugieren un sistema fluvial dominado por canales sinuosos, de crecimiento lateral y dominados por la carga fondo, que sufrieron altas tasas de migración lateral mediante el desarrollo del point bar, mientras que la presencia de litofacies de limolitas de coloración rojizas (Fsm) indica un clima con precipitaciones pluviales abundantes, aguas activas, en movimiento, ricas en oxígeno y un relieve topográfico pronunciado.

Basado en las características mencionadas para este segundo bloque diagrama, se puede asociar al modelo fluvial correspondiente deep gravel braided “donjek type” (río trenzado profundo de gravas tipo “donjek type”) propuesto por [19] ya que poseen como principal elemento arquitectónico los point bar compuestos por las barras de grava longitudinales (GB), barras de arenas (SB) con litofacies Gcm, Gmm, Sgm, Sm, Sgi, Sh y los depósitos de acreción lateral con litofacies Sr. La sinuosidad es intermedia, aunque puede haber tramos casi rectos y muy sinuosos, y el parámetro de trenzado también es intermedio.

4. CONCLUSIONES

La integración de los análisis de petrografía, sedimentología y estratigrafía realizados en las rocas de la Formación Girón, en la sección de estudio indica que la secuencia compuesta por cuarzoarenitas, subarcosas, sublitanitas, arcosas, conglomerados de cuarzo y limolitas.

Los diagramas ternarios de QtFL y QmFLt de Dickinson indican una procedencia de cratón interior, continental transicional y orógeno reciclado; compuestas por rocas metamórficas de bajo grado [20], más específicamente gneises de bajo grado metamórfico [21]. Se prevé como posibles fuentes de aporte: gneis de Bucaramanga, la Formación Silgará o el Escudo Guayanés.

La Formación Girón es de origen fluvial y fue depositada en un sistema fluvial meandriforme de intermedia sinuosidad de energía moderadamente alta que tuvo una transicional local a un sistema trenzado de moderada sinuosidad. En el sistema meandriforme se reconocen diferentes elementos arquitectónicos, cada uno con geometrías distintivas y asociaciones de facies que registran la presencia de un canal con flujos areno-gravosos y abundantes llanuras de inundación. Las unidades con predominio de arena y limo son características de un río meándrico y se atribuyen a un sistema de moderada sinuosidad dominado por limos y arenas (similar al modelo “Sand-Bed Meandering River” de Miall) [19]. Por otra parte, el sistema de río trenzado de intermedia sinuosidad de energía alta con algunos canales de alta sinuosidad lo caracterizan litofacies como: Gmm, Gcm, Sgm, Sgi, Sh, Sm, Sr; con una proporción relativamente menor de litofacies de grano fino (Fm, Fl) con elementos arquitectónicos de point bar compuestos por barras de gravas y arenas, canal con acreción lateral, flujos areno gravosos y llanuras de inundación.

Las laminaciones cruzadas sugieren un sistema fluvial trenzado dominado por canales sinuosos, de crecimiento lateral y carga fondo, que sufrieron altas tasas de migración lateral (similar al modelo “Deep gravel braided “Donjek type”” de Miall) [19].

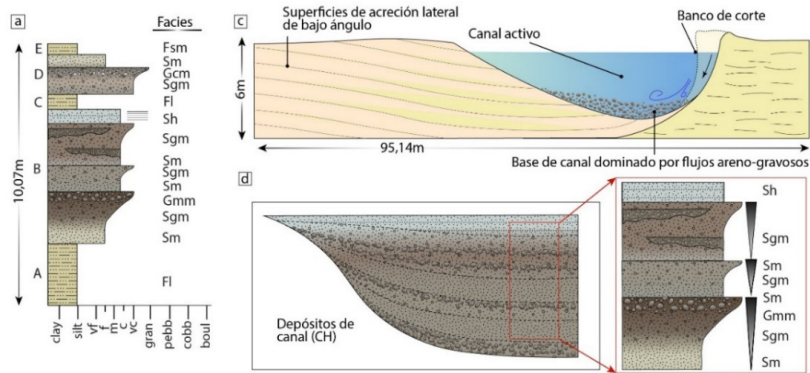


Figura 12. Sección basal de la Formación Girón. (a) Sección basal del perfil de estudio depositado en las condiciones paleoambientales descritas, (c) Eventos de flujos areno-gravosos generados por caídas de gravedad de sedimentos en el canal, representando un cambio en la forma del canal y el desplazamiento del banco de corte (d) Acumulación de las litofacies que conforman un depósito de canal.

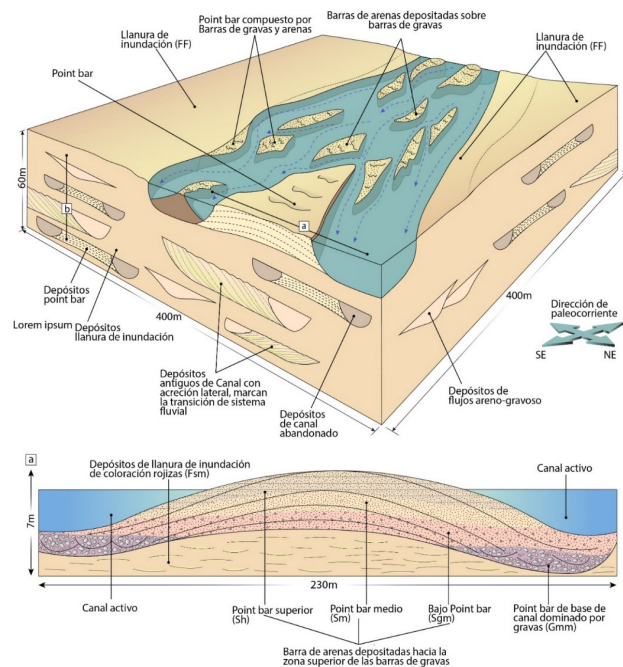


Figura 13. Modelo sedimentario-deposicional de sección media y superior del perfil del km 42 vía Girón-Zapatoca. Se muestra antiguos depósitos de canal con acreción lateral que representan un registro del antiguo sistema meandriforme. Los depósitos de llanura de inundación de color rojizo representan litofacies de limolitas dispuestas en este sector del perfil. El modelo representa el sistema trenzado con point bar en el centro y laterales de los causes, constituidos por barras de gravas y arenas, estos últimos, depositados en la zona superior de las litofacies de gravas de barra de grava. Los causes tienen una sinuosidad intermedia. (b) representa un perfil característico del modelo deposicional de un point bar constituido por barra de gravas en su base (Gmm) de fondo de canal y por barras de arenas suprayacentes; constituidos por areniscas conglomeráticas (Sgm) en la zona baja, areniscas masivas (Sm) en la zona media y arenas con laminación horizontal (Sh) en la zona superior.

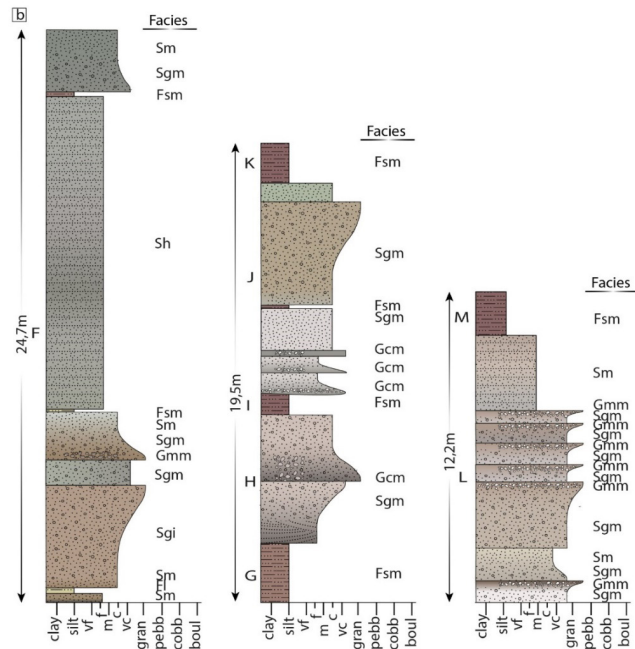


Figura 14. Representación de la sección media y superior del perfil y facies de estudio compuestas por litofacies de point bar, flujos de canales areno-gravosos y canales con acreción lateral.

AGRADECIMIENTOS

Los autores queremos expresar nuestros agradecimientos al Geólogo Diego Fernando Diaz Castillo de la Universidad Industrial de Santander por su acompañamiento a campo y a la Universidad de Santander y su director del departamento de Geología e Ingeniería Petroquímica Jorge Ailer Meza por permitirnos el uso de los laboratorios de petrografía para la toma de las micro fotos de las secciones delgadas.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores no tienen conflictos de interés que declarar.

REFERENCIAS

[1] J. Mojica and C. Villarroel, "Contribución al conocimiento de las unidades paleozoicas del área de floresta (cordillera oriental colombiana; departamento de boyacá) y en especial al de la

Formación Cuche," *Geol. Colomb.*, vol. 13, pp. 55–80, 1984. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1208>

[2] C. M. Alarcón, J. Clavijo-Torres, L. C. Mantilla-Figueroa, and J. G. Rodríguez, "Nueva propuesta de edades para el registro sedimentario de las formaciones Bocas y Jordán y su relación con el desarrollo de la actividad magmática del Grupo Plutónico de Santander (Cordillera Oriental, Colombia)," *Rev. la Acad. Colomb. Ciencias Exactas, Físicas y Nat.*, vol. 44, pp. 1137–1151, Dec. 2020. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1208>

[3] Fabre, "La subsidencia de la Cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y el Terciario Inferior," *Prim. parte Estud. cuantitativo la Subsid. Geol. Norandina*, vol. 8, pp. 22–27, 1983.

[4] M. Cortés, J. Angelier, and B. Colletta, "Paleostress evolution of the northern Andes (Eastern Cordillera of Colombia): Implications on plate kinematics of the South Caribbean region," *Tectonics*, vol. 24, no. 1, pp. 1–27, 2005. <https://doi.org/10.1029/2003TC001551>

- [5] H. Duque-Caro, "The choco block in the northwestern corner of South America: Structural, tectonostratigraphic, and paleogeographic implications," *J. South Am. Earth Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 71–84, 1990. [https://doi.org/10.1016/0895-9811\(90\)90019-W](https://doi.org/10.1016/0895-9811(90)90019-W)
- [6] Taboada et al., "Geodynamics of the northern Andes: Subductions and intracontinental deformation (Colombia)," *Tectonics*, vol. 19, no. 5, pp. 787–813, Oct. 2000. <https://doi.org/10.1029/2000TC900004>
- [7] S. R. Manosalva et al., "Cartografía geológica y prospección geoquímica del macizo de floresta," Bogotá D.C., Colombia, 2010.
- [8] F. Cediél, "El grupo Girón, una molasa mesozoica de la cordillera Oriental," *Boletín Geológico*, vol. 16, no. 1-3 SE-Artículos, pp. 5–96, Jan. 1968. <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bolgeol16.1-3.1968.108>
- [9] D. Osorio-Afanador, "Estratigrafía y deformación del Grupo Girón en el Anticlinorio de los Yarigués ("Anticlinal de los Cobardes"), sectores de Zapatoca y río Lebrija," Universidad Industrial de Santander, 2016.
- [10] S. Méndez-Espinosa, "Análisis de procedencia de las rocas siliciclásticas de las Formaciones Girón y Tibasosa en el macizo de floresta," Universidad Nacional de Colombia, 2017.
- [11] R. L. Folk, *Petrologie of sedimentary rocks*. 1974.
- [12] R. L. Folk, "Clasificación de las rocas de carbonatos de acuerdo a las proporciones relativas de los tres constituyentes básicos: granos (aloquímicos), matriz micrítica y cemento, esparítico (ortoquímicos)," 1962.
- [13] R. L. Folk, "Practical petrographic classification of limestones," vol. 43, pp. 1–38, 1959.
- [14] P. Floyd and B. Leveridge, "Tectonic environment of the Devonian Gramscatho basin, south Cornwall: framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones," *J. Geol. Soc. London.*, vol. 144, no. 4, pp. 531–542, Aug. 1987. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.144.4.0531>
- [15] H. W. Nesbitt and G. M. Young, "Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations," *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 48, no. 7, pp. 1523–1534, 1984. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(84\)90408-3](https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90408-3)
- [16] W. Dickinson et al., "Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting," *GSA Bull.*, vol. 94, no. 2, pp. 222–235, Feb. 1983. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1983\)94<222:PONAPS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1983)94<222:PONAPS>2.0.CO;2)
- [17] B. P. Roser and R. J. Korsch, "Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data," *Chem. Geol.*, vol. 67, no. 1, pp. 119–139, 1988. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90010-1](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90010-1)
- [18] M. Bhatia, "Plate Tectonics and Geochemical Composition of Sandstones," *J. Geol.*, vol. 91, no. 6, pp. 611–627, May 1983.
- [19] Miall, *The geology of fluvial deposits*, Primera ed. Springer Berlin, Heidelberg, 1996. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03237-4>
- [20] Basu, S. W. Young, L. J. Suttner, W. C. James, and G. H. Mack, "Re-evaluation of the use of undulatory extinction and polycrystallinity in detrital quartz for provenance interpretation," *J. Sediment. Res.*, vol. 45, no. 4, pp. 873–882, Dec. 1975. <https://doi.org/10.1306/212F6E6F-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- [21] T. Amparo, P. Marta, and A. José, "Quartz grain types in Holocene deposits from the Spanish Central System: some problems in provenance analysis," *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, vol. 57, no. 1, pp. 47–54, Jan. 1991. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1991.057.01.05>