

**CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO GEOLÓGICO DEL SECTOR SUROESTE  
DE LA PLANCHA 120-III-C, VALLE MEDIO DEL MAGDALENA**

**EDGAR LEONARDO JAIMES CASTIBLANCO  
OSCAR AUGUSTO LÓPEZ HERNÁNDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2015**

**CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO GEOLÓGICO DEL SECTOR SUROESTE  
DE LA PLANCHA 120-III-C, VALLE MEDIO DEL MAGDALENA**

**EDGAR LEONARDO JAIMES CASTIBLANCO  
OSCAR AUGUSTO LÓPEZ HERNÁNDEZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
GEÓLOGO**

**DIRECTOR:  
GIOVANNY JIMÉNEZ DÍAZ  
GEÓLOGO, Ph.D**

**CODIRECTOR:  
RICARDO MIER UMAÑA  
GEÓLOGO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2015**

## *DEDICATORIA*

*A DIOS, POR LA VIDA, LA FAMILIA Y LOS AMIGOS.*

*A MIS PADRES, LINA ISABEL Y EDGAR JOAQUÍN POR SU AMOR  
DESINTERESADO, CARIÑO, PACIENCIA Y APOYO INCONDICIONAL A LO LARGO  
DE ESTOS AÑOS.*

*A MIS HERMANOS, CESAR Y DANIELA, POR SER FUENTES DE INSPIRACIÓN Y  
ALEGRÍA, Y A MI PRIMO JEFFERSON, POR SU AMISTAD Y APOYO.*

*A MI NOVIA MAYRA, POR SU CARIÑO, PACIENCIA, TERNURA, COMPRENSIÓN Y  
TANTOS MOMENTOS FELICES DURANTE ESTE TIEMPO.*

*A MIS AMIGOS DEL COLEGIO, CÁCERES, CESAR, BRILLA, PABLITO, BARBAS,  
FARUKSITO, CALICHE, GARUFITO Y PAULA, POR TANTOS AÑOS LLENOS DE  
BUENOS MOMENTOS Y ALEGRÍAS.*

*A MANUEL, POR SUS CONSEJOS, POR SER TAN EXCELENTE PERSONA Y AMIGO,  
Y POR HABER ESTADO SIEMPRE APOYÁNDOME.*

*A MIS COMPAÑEROS DE UNIVERSIDAD, POR HABER COMPARTIDO DURANTE  
ESTA ETAPA DE FORMACIÓN Y CRECIMIENTO.*

*LEONARDO*

## *DEDICATORIA*

*A Dios, que me da la sabiduría y perseverancia;  
a mi familia, por su motivación y gran sacrificio;  
y a todos a quienes llena de orgullo mi grado universitario.*

*OSCAR*

## **AGRADECIMIENTOS**

A CAMPO ESCUELA COLORADO, POR HABER FINANCIADO LA TOTALIDAD DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DURANTE LAS ETAPAS DE CAMPO

A LOS PROFESORES GIOVANNY JIMÉNEZ DÍAZ Y RICARDO MIER UMAÑA, POR SU TIEMPO Y ORIENTACIÓN PRESTADA, PARA SACAR ADELANTE EL TRABAJO, Y A TODOS LOS PROFESORES QUE HICIERON PARTE DE NUESTRA FORMACIÓN ACADÉMICA EN LA UNIVERSIDAD

A NUESTROS COMPAÑEROS DE CARRERA, ESPECIALMENTE A SAÚL Y A CRISTHIAM, POR SU AMABILIDAD Y COLABORACIÓN

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN .....	23
2. OBJETIVOS.....	24
2.1. OBJETIVO GENERAL .....	24
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
3. LOCALIZACIÓN.....	25
4. METODOLOGÍA .....	27
4.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	28
4.2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	28
4.3. TRABAJO DE CAMPO .....	29
4.4. PROCESAMIENTO E INTEGRACIÓN DE RESULTADOS .....	30
4.5. ANÁLISIS FINAL DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	31
5. MARCO TEÓRICO .....	32

5.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS FORMACIONES Y CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE MANO .....	32
5.2. SECCIONES ESTRUCTURALES BALANCEADAS .....	32
5.2.1. Mecanismos de Deformación.....	37
5.3. ESTILOS ESTRUCTURALES EN ORÓGENOS.....	40
6. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL .....	42
6.1. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA .....	42
6.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	45
6.3. ESTRATIGRAFÍA .....	49
7. RESULTADOS.....	52
7.1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS .....	52
7.2. JURÁSICO.....	53
7.2.1. Formación Girón (Jg) .....	53
7.3. CRETÁCICO.....	56
7.3.1. Formación Los Santos (Kita).....	56
7.3.2. Formación Rosablanca (Kir) .....	60
7.3.3. Formación Paja (?) (Kip) .....	62
7.3.4. Formación Tablazo (?) (Kit) .....	66
7.3.5. Formación Simití (?) (Kis) .....	74

7.4. CRETÁCIO SUPERIOR.....	81
7.4.1. Formación La Luna (?) (Ksl) .....	81
7.4.2. Formación Umir (?) (Ksu).....	85
7.5. PALEÓGENO-NEÓGENO .....	86
7.5.1. Formación Lisama (?) (Tpl).....	86
7.6. ESPESORES DEFINIDOS .....	90
7.7. MAPA DE ESTACIONES.....	92
7.8. MAPA GEOLÓGICO LOCAL DE SAN VICENTE DE CHUCURÍ, SANTANDER .....	93
7.9. MODELOS GEOLÓGICOS LOCALES .....	94
7.10. ESTRUCTURAS .....	95
7.10.1. Falla El Medio .....	95
7.10.2. Falla de San Vicente .....	95
7.10.3. Falla de Flores .....	96
7.10.4. Falla La Putana .....	96
7.10.5. Sinclinal de Nuevo Mundo .....	97
7.10.6. Anticlinal de Los Cobardes .....	97
7.10.7. Anticlinal de La Colorada .....	97
7.11. INTEGRACIÓN DE LA GEOLOGÍA LOCAL DEL ÁREA DE ESTUDIO CON LA GEOLOGÍA REGIONAL .....	98
7.11.1. Mapa Geológico Regional.....	99

7.11.2. Mapa Geológico Regional con el <i>DEM</i> .....	99
7.11.3. Modelo Estructural Regional .....	100
8 DISCUSIÓN .....	101
8.1. ESTILO ESTRUCTURAL .....	101
9. CONCLUSIONES .....	111
10. RECOMENDACIONES .....	113
BIBLIOGRAFÍA .....	114

## LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Localización de San Vicente de Chucurí, Santander, en el VMM. ....	25
Figura 2. Mapa de localización del área de estudio. A Cuadrángulo H-12 Bucaramanga. B. Plancha 120 Bucaramanga. C. Zoom del área de estudio. ....	26
Figura 3. Esquema de la metodología para la elaboración del proyecto. ....	27
Figura 4. Sección estructural balanceada del cinturón plegado y fallado de Zagros, en regiones de Irak e Irán. ....	33
Figura 5. Esquema de la generación de rampas y fallamiento secuencial. ....	35
Figura 6. Esquema de una sección geológica balanceada y restaurada exhibiendo una geometría tipo <i>kink</i> . ....	36
Figura 7. Desarrollo progresivo de una estructura por <i>fault-propagation fold</i> . ....	38
Figura 8. Desarrollo de una estructura <i>fault-bend fold</i> . ....	39
Figura 9. <i>Detachment fold</i> . Se desarrolla sobre un nivel de despegue durante un evento de acortamiento. ....	40
Figura 10. Esquema de los estilos estructural de (a) <i>thin-skinned</i> y (b) <i>thick-skinned</i> , donde se observan sus principales características y evolución. ....	41
Figura 11. Mapa estructural del VMM. Se muestra su ubicación y respectivos límites geológicos, y el área de trabajo. ....	44
Figura 12. Dominios estructurales del VMM según Córdoba <i>et al.</i> , (2001). ....	46
Figura 13. Esquema estructural del departamento de Santander. ....	47

Figura 14. Sección estructural del corte 3-12. ....	49
Figura 15. Columna estratigráfica generalizada del VMM. ....	51
Figura 16. Detalle de limolitas rojizas moteadas. En la vereda La Colorada, en el río Chucurí. Estaciones 16 y 152. ....	53
Figura 17. Afloramiento de la Formación Girón en la vereda La Colorada, puente vehicular sobre la quebrada Nororiente. Estación 147. ....	54
Figura 18. Contacto concordante entre las formaciones Girón y Los Santos en la vereda La Colorada, en el río Chucurí. Estación 152. ....	55
Figura 19. Afloramiento de la Formación Los Santos en la quebrada Las Cruces. Estación 44. ....	56
Figura 20. (a) Afloramiento de la Formación Los Santos sobre la quebrada Las Cruces. Estación 42, Anexo A. (b) Cuarzoareniscas de grano fino a medio, muy bien cementadas y calibradas. Estación 46. ....	58
Figura 21. Afloramiento con intercalación de grandes capas de areniscas con niveles menores de capas lodolíticas en la Formación Los Santos, sector de La Primavera. Estación 36. ....	59
Figura 22. (a) Conglomerado arenoso mal calibrados en afloramiento (b) Detalle de conglomerado lítico feldespático con grafito. Estación 52. ....	59
Figura 23. Afloramiento de la Formación Los Santos en la quebrada El Medio, sector El Boquerón en la vía San Vicente-Zapatoca. Estación 224. ....	60
Figura 24. Afloramiento de lodolitas calcáreas muy compactas intercaladas con shale negros de la Formación Rosablanca en la quebrada Seca. Estación 69. ....	61
Figura 25. Afloramiento de calizas de la Formación Rosablanca en la quebrada Seca. Desarrollo de estructuras por disolución kárstica por lavado de aguas meteóricas. Estación 66. ....	62
Figura 26. Afloramiento de shale grises oscuras a negras intercaladas con niveles más compactos de lodolitas de color pardo claro, de la Formación Paja (?), sector La Pradera. Estación 1. ....	63
Figura 27. Afloramiento con intercalación de shales con <i>mudstone</i> de la Formación Paja (?), vía San Vicente-La Pradera. Estación 9. ....	64

Figura 28. Pliegue Anticlinal en la Formación Paja (?) en el sector La Primavera. Estación 22. ....	65
Figura 29. Afloramiento con intercalación de shale de la Formación Paja (?) con gruesas capas calizas de la Formación Tablazo (?), vía San Vicente-Zapatoca. Estación 220. ....	66
Figura 30. Nódulos de caliza en la Formación Tablazo (?), vía Maracaibo-Puente Murcia. (a) (b) y (d) Fragmentos fósiles de amonites. (c) Impresiones fósiles de amonites. Estación 88.....	67
Figura 31. Afloramiento de <i>mudstone</i> gris claro con caliche sobre planos de fractura de la Formación Tablazo (?), quebrada Malpaso o Tambora. Estación 80. ....	68
Figura 32. Afloramiento de <i>mudstone</i> , <i>wackestone</i> de la Formación Tablazo (?) en el margen Este del río Chucurí, Puente Murcia. Estación 145.....	69
Figura 33. (a) y (b) Afloramientos con intercalación de <i>wackestone</i> grises claras con niveles muy delgados de shale calcáreos de la Formación Tablazo (?), en la vía San Vicente-Guamales, sector Canaán. Estaciones 110 y 111.....	71
Figura 34. Afloramiento con intercalación de <i>mudstone</i> con lodolitas ligeramente calcáreas muy compactas de la Formación Tablazo (?), en el río Chucurí, sector Guamales. Estación 100.....	72
Figura 35. Afloramiento con intercalación de <i>wackestone</i> con niveles menores de shale calcáreo en la Formación Tablazo (?) sobre el margen Oeste del río Chucurí, sector Cachelata. Estación 171. ....	73
Figura 36. Afloramiento de lodolitas grises muy compactas de la Formación Tablazo (?) en la vía San Vicente-Zapatoca. Estación 221. ....	74
Figura 37. Afloramiento de shale grises oscuros de la Formación Simití (?) en la quebrada Paramera. Estación 71. ....	75
Figura 38. Detalle de de nódulos de caliza con fósiles e impresiones fósiles de amonites de la Formación Simití (?), quebrada Paramera. Estación 71. ....	76
Figura 39. Nódulo calcáreo en la Formación Simití (?), vía Palmira hacia la Concentración de Desarrollo Rural “José A. Galán”. Estación 120.....	77

Figura 40. (a) Intercalación de shale con areniscas de grano fino. (b) Se detallan las venas y nódulos calcáreos, en la Formación Simití (?), vía Palmira hacia la Concentración de Desarrollo Rural “José A. Galán”. Estación 121.....	77
Figura 41. Lodolitas grises muy compactas con venas de carbonatos en la Formación Simití (?), quebrada El Progreso o Imbombera. Estación 138. ....	78
Figura 42. Fragmentos de conchillas recristalizadas de bivalvos en la Formación Simití (?), quebrada El progreso o Imbombera. Estación 136. ....	79
Figura 43. Afloramiento de arcillolitas de la Formación Simití (?), sector Berlín. (b) Detalle de impresiones fósiles de amonites y bivalvos, sector Berlín. Estación 122. ....	80
Figura 44. Nódulos de caliza con recristalización interna de calcopirita y carbonatos de la Formación Simití (?), sector de La Secreta. Estación 121.....	80
Figura 45. Afloramiento de <i>chert</i> calcáreo oscuro muy compacto de la Formación La Luna (?) en la quebrada La India. Estación 117. ....	82
Figura 46. (a) Afloramiento con intercalación de arcillolitas calcáreas muy compactas con niveles menores de shale en la Formación La Luna (?). (b) Detalle de nódulos de calizas masivas, quebrada La India. Estación 118. ....	83
Figura 47. Pliegue tipo <i>chevron</i> en la Formación La Luna (?), sector El Filón. Estación 130. ....	84
Figura 48. Afloramiento de <i>chert</i> calcáreo gris oscuro a negro de la Formación La Luna (?), en la vía San Vicente-Barrancabermeja, entre los sectores de Villa Río y Palmira. Estación 115. ....	85
Figura 49. Afloramiento con intercalación de shale nodulares con niveles limolíticos en la Formación Umir (?), en la vía San Vicente - Barrancabermeja, sector Colepato. Estación 162. ....	86
Figura 50. Afloramiento con un nivel de carbón en la Formación Lisama (?), sobre la vía después de la finca El Triación hacia El Marcito. Estación 160. ....	88
Figura 51. Afloramiento de limolitas arenosas muy compactas intercaladas con shale de la Formación Lisama (?), en el sector de La Curva. Estación 156. ....	88
Figura 52. Afloramiento de areniscas limosas grises de la Formación Lisama (?) en la vía San Vicente - Barrancabermeja, sector Colepato. Estación 163. ....	89

Figura 53. Mapa de estaciones de la zona de estudio. Anexo A. ....	92
Figura 54. Mapa Geológico local de San Vicente, Santander. Se muestran las líneas de los cortes A-A' y B-B'. Anexo C. ....	93
Figura 55. Modelo estructural A-A'. Escalas vertical y horizontal iguales. Anexo D. ....	94
Figura 56. Modelo estructural B-B'. Escalas vertical y horizontal iguales. Anexo E. ....	94
Figura 57. Mapa geológico regional. Anexo F. ....	99
Figura 58. Mapa geológico regional con el <i>DEM</i> . Anexo G. ....	99
Figura 59. Modelo estructural regional C-C'. Escalas vertical y horizontal iguales. Anexo H. ....	100
Figura 60. Modelo estructural del Campo Escuela Colorado. Estructura anticlinal definida por la línea sísmica DM-1989-1440 y el modelo obtenido del Corte C-C' en Campo Colorado. ....	105
Figura 61. (a) Geología estructural del VMM. (b) Zona Norte del área de estudio y ubicación de los cortes A y B. ....	107
Figura 62. Corte regional de los Andes del Este de Colombia: Cordillera Oriental. ....	107
Figura 63. Cortes A y B del Cinturón plegado sobre el flanco Oeste de la Cordillera Oriental. ....	108
Figura 64. Esquema de una zona de transferencia de cinemática dextral. ....	110

## LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Espesores de las formaciones litoestratigráficas. ....	91
-----------------------------------------------------------------	----

## ANEXOS

Anexo A. Mapa de estaciones de la zona de estudio.

Anexo B. Datos estructurales y litoestratigráficos recopilados.

Anexo C. Mapa geológico de la región de San Vicente de Chucurí, Santander.

Anexo D. Modelo estructural A-A' dentro de la zona de estudio. Escalas vertical y horizontal iguales.

Anexo E. Modelo estructural B-B' dentro de la zona de estudio. Escalas vertical y horizontal iguales.

Anexo F. Mapa geológico regional.

Anexo G. Mapa geológico regional con el *DEM*.

Anexo H. Modelo estructural C-C' del mapa regional.

Anexo I. Geología de la Plancha 119 Barrancabermeja.

Anexo J. Cartografía geológica de campo Colorado a escala 1: 25.000.

## RESUMEN

**TÍTULO:** CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO GEOLÓGICO DEL SECTOR SUROESTE DE LA PLANCHA 120-III-C, VALLE MEDIO DEL MAGDALENA\*

**AUTORES:** EDGAR LEONARDO JAIMES CASTIBLANCO, OSCAR AUGUSTO LÓPEZ HERNÁNDEZ\*\*

**PALABRAS CLAVES:** VALLE MEDIO DEL MAGDALENA, MODELO ESTRUCTURAL, CAMPO COLORADO, SAN VICENTE DE CHUCHURÍ.

### DESCRIPCIÓN:

Hacia el Suroeste del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga, existe una región de aproximadamente 150 kilómetros<sup>2</sup> que carece de una geología de campo, por lo tanto no se cuenta con datos estructurales que permitan vincular la información existente hacia el Este del municipio de Zapatoca, Santander, en inmediaciones de la Falla del Suarez, por ejemplo el Mapa Geológico del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga, con trabajos realizados en el Valle Medio del Magdalena (VMM) como lo son la Cartografía Geológica del Campo Colorado a escala 1:25.000 y la Geología de la Plancha 119, Barrancabermeja.

A partir del modelo de mapa geológico obtenido hacia el Sur de San Vicente de Chucuri, Santander, se hace posible la definición de su estilo estructural y su vinculación con la geología del Cuadrángulo H-12, las planchas 120 Bucaramanga, 119 Barrancabermeja, y así mismo junto con la Cartografía de Campo Colorado, dentro de un marco geológico más regional.

De esta manera se logra la identificación de la relación existente entre las estructuras regionales mayores con la geología local del lugar. Además, con base en los principios geométricos del balanceo de secciones, se elaboran cortes geológicos de orientación aproximada E-O a lo largo del área en mención, que ilustran la evolución de su configuración tectónica actual y evidencian la compleja dinámica que ha afectado al VMM.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Giovanni Jiménez, Geólogo Ph.D Codirector: Ricardo Mier Umaña.

## ABSTRACT

**TITLE:** CONTRIBUTION TO GEOLOGICAL KNOWLEDGE TO THE SOUTHWEST OF THE 120-III-C CHART, MIDDLE MAGDALENA VALLEY\*

**AUTHORS:** EDGAR LEONARDO JAIMES CASTIBLANCO, OSCAR AUGUSTO LÓPEZ HERNÁNDEZ\*\*

**KEYWORDS:** MIDDLE MAGDALENA VALLEY, STRUCTURAL MODEL, CAMPO COLORADO, SAN VICENTE DE CHUCHURI.

### DESCRIPTION:

Towards the Southwest Quadrangle H-12, Bucaramanga, there is a region of approximately 150 square kilometers that lacks a geology field, so, it does not have structural data to be able to relate the existing information to the East of Zapatoca, Santander, in the vicinity of the Suarez fault, for example the Geologic Quadrangle Map H-12, Bucaramanga, with another studies that have been done in the Middle Magdalena Valley zone (VMM) such as the Campo Colorado Geological Cartography at scale 1: 25.000 and the Geology of the Plancha 119, Barrancabermeja.

From the geological map obtained southward of San Vicente de Chucurí, Santander, it was possible to make the definition of its structural style and this linking with the geological information of H-12 Bucaramanga Quadrangle, the 120 Bucaramanga, 119 Barrancabermeja charts, and also with the Campo Colorado Geological Cartography, within a more regional geologic framework.

Thus, the identification of the relationship between the major regional structures with the local geology of the study zone is achieved. Furthermore, based on the geometric principles of cross-section balancing, three geological sections of approximate orientation E-W were developed over the area in query, which illustrated the evolution of its current tectonic configuration and shows the complex dynamics that has affected the VMM.

---

\* Bachelor Thesis. Mode: Research

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Giovanni Jiménez, Geólogo Ph.D Codirector: Ricardo Mier Umaña

## INTRODUCCIÓN

La geología de superficie es una de las herramientas básicas y esenciales para el conocimiento de la configuración tectónica de una zona determinada, además constituye uno de los elementos más importantes a partir del cual se pueden derivar muchos otros trabajos y/o estudios más específicos. Sin embargo, hay zonas que no cuentan con esta, siendo difícil entender en qué contexto geológico se encuentran, y mucho menos relacionarlas dentro de un marco más regional.

El VMM en el departamento de Santander, cuenta con mapas regionales de escala muy grande que dejan entrever poco detalle de las estructuras geológicas que controlan la configuración actual de esta región y además, se tienen zonas dentro del área en mención que no cuentan con un trabajo cartográfico como el Suroeste del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga, correspondiente a las Planchas Topográficas 120-III-C y 120-III-D del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Por lo tanto resulta necesario recopilar datos en campo de la aptitud de las capas que afloran, a manera de control estructural, que permita tener conocimiento de la geología en el área del municipio de San Vicente, Santander.

Con este trabajo se pretende hacer una contribución al conocimiento de la geología de un área aproximada de 150 kilómetros<sup>2</sup> y la interpretación de modelos estructurales para proponer el estilo del VMM y el área del piedemonte Oeste de la Cordillera Oriental en San Vicente de Chucurí. Además, integrar la información existente con la zona de estudio, mediante un modelo de mapa regional y un corte estructural adicional, para comprender mejor el contexto geológico, y lograr identificar su relación con las estructuras regionales mayores.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Plantear un modelo estructural del VMM en una zona de aproximadamente 150 kilómetros<sup>2</sup> donde no se tiene información geológica, teniendo en cuenta que hay evidencias de zonas transversales y rampas laterales.

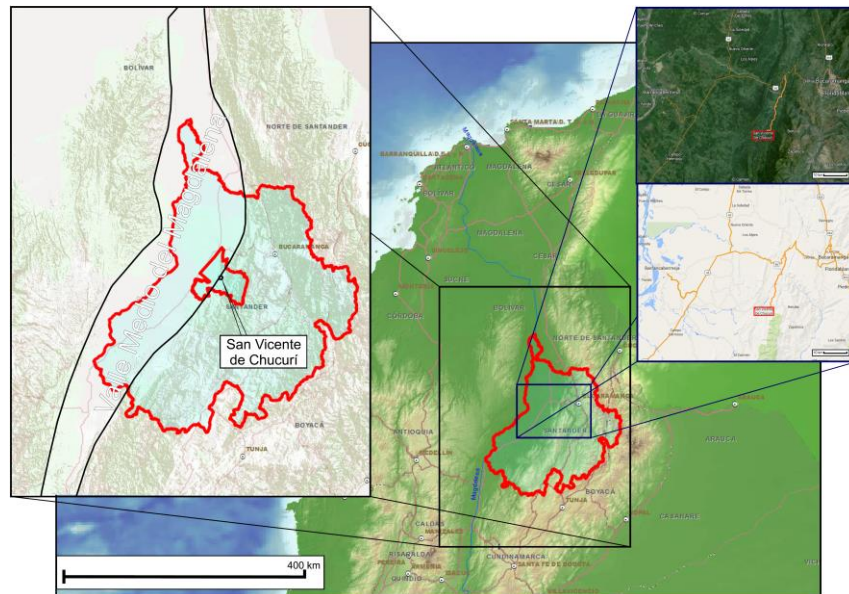
### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Contribuir al conocimiento de la geología del VMM en la región de San Vicente, suroeste de la plancha 120-III-C, con un enfoque que permita proponer un estilo estructural, basados en la información litológica y datos estructurales.
- Elaborar dos modelos estructurales mediante un prototipo de mapa geológico definido, destacando rasgos estructurales que controlan la configuración tectónica.
- Describir las unidades litoestratigráficas presentes en la región de estudio.
- Plantear un mapa geológico regional que vincule la información existente de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga, planchas 120 Bucaramanga, 119 Barrancabermeja y la Cartografía geológica de Campo Colorado a escala 1: 25.000, con la geología de la zona de estudio alcanzando así un marco geológico más amplio; además de un corte estructural.

### 3. LOCALIZACIÓN

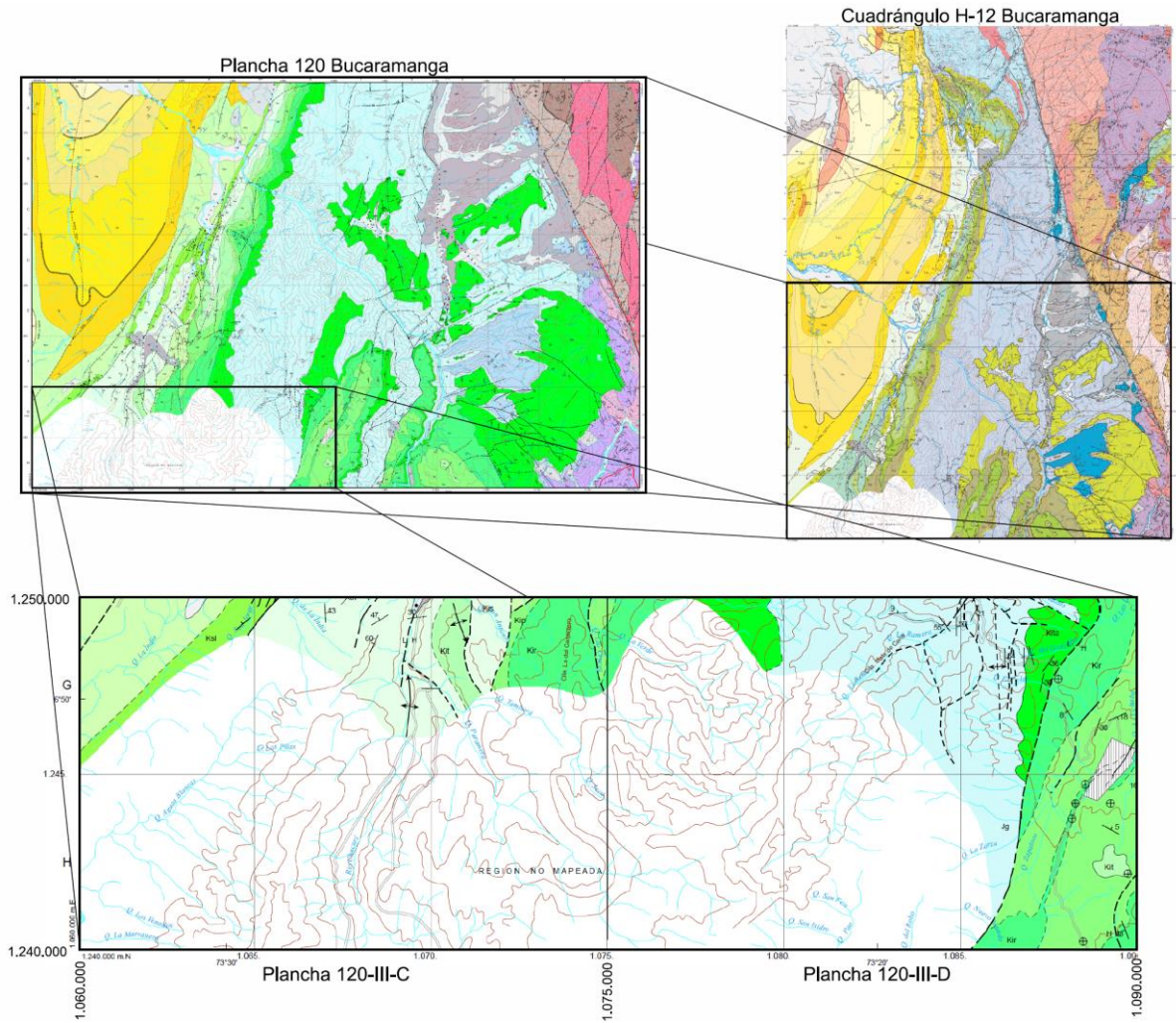
El área de estudio ubicada en inmediaciones del municipio de San Vicente de Chucurí (Figura 1), y se encuentra entre las coordenadas planas del IGAC: Norte: 1'240.000 a 1'260.000 y Este: 1'060.000 a 1'085.000, que corresponden a las Planchas Topográficas 120-III-C y 120-III-D a escala 1: 25.000, y a la Plancha geológica 120 Bucaramanga a escala 1: 100.000. En la toma de datos se hizo énfasis en el área que comprende las coordenadas: Norte: 1'240.000 a 1'250.000 y Este: 1'060.000 a 1.075.000, debido a la ausencia de información geológica (Figura 2).

Figura 1. Localización de San Vicente de Chucurí, Santander, en el VMM.



Fuente: IGAC. Santander /Google Maps Disponible en Internet:  
<http://ssiglwps.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapald=7&title=Mapa%20Base>  
<https://www.google.es/maps/> [Adaptada por los Autores]

Figura 2. Mapa de localización del área de estudio. A Cuadrángulo H-12 Bucaramanga. B. Plancha 120 Bucaramanga. C. Zoom del área de estudio.

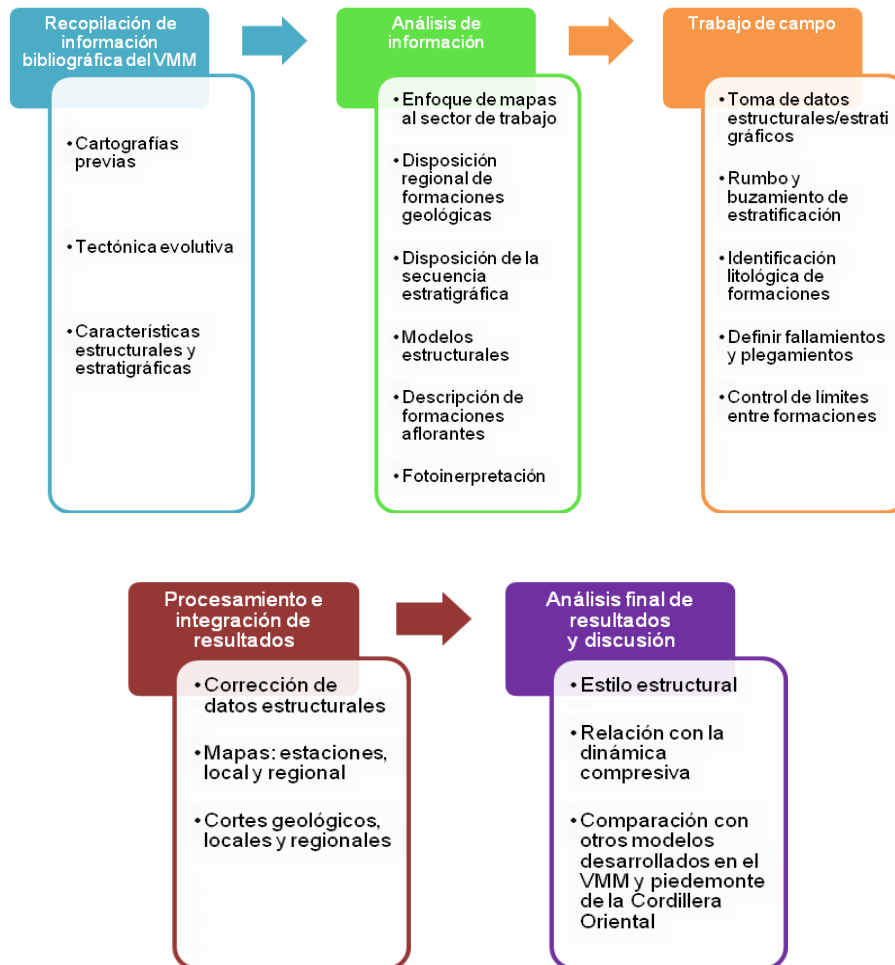


Fuente: INGEOMINAS (1977). [Adaptada por los Autores]

## 4. METODOLOGÍA

A continuación se presenta un diagrama general de trabajo seguido para la elaboración del proyecto y enseguida se explica brevemente en qué consiste cada una de las etapas.

Figura 3. Esquema de la metodología para la elaboración del proyecto.



#### **4.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Previo a la ejecución del trabajo de campo, se realizó la recopilación de información correspondiente al VMM en el departamento de Santander, de publicaciones en general y especialmente de trabajos de investigación, en los que se han tratado aspectos relevantes de su geología, tectónica evolutiva, rasgos estructurales y secuencia estratigráfica, y que constituyen una manera de ampliar las expectativas así como buscar alternativas de estudio que apoyen las fases de adquisición de datos y de interpretaciones propias posteriores.

#### **4.2. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN**

La literatura adquirida debió enfocarse, especialmente los mapas existentes, al sector específico de trabajo en alrededores del municipio de San Vicente de Chucurí, pero sin dejar de detallar la disposición de las formaciones geológicas y estructuras presentadas en los mapas de gran escala 1:100.000 como ocurre por ejemplo en el Cuadrángulo H-12 Bucaramanga (INGEOMINAS, 1977) y la Plancha 120 – Bucaramanga (INGEOMINAS, 1977). Además, con estos mapas es posible distinguir la disposición de la secuencia estratigráfica en la región y conocer las formaciones geológicas que afloran, cuyas descripciones son estudiadas con base en la Memoria Explicativa De Los Cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona (INGEOMINAS, 1973), y son tenidas en cuenta para la posterior identificación de cada una de ellas en campo según las litologías observadas.

Adicionalmente, es posible la identificación previa, mediante una fotointerpretación básica, de zonas donde podrían aflorar las formaciones geológicas basados en algunos recursos digitales como lo son, entre otros, el modelo digital de elevación (*DEM*) que es posible obtener online y actualizado, o la combinación de bandas

que puede trabajarse en la imagen *LandSat 7 ETM+* correspondiente al Path 8 – Row 55 (*Global Land Cover Facility. Earth Science Data Interface*). Con estos, son fácilmente diferenciables zonas escarpadas relacionables con las litologías más competentes y resistentes a la erosión, de otras zonas suaves de valles relacionables con las formaciones geológicas cuya litología es blanda y/o poco compacta.

Finalmente, es importante considerar modelos estructurales cercanos al área de estudio, que comprendan tanto parte del VMM como del piedemonte Occidental de la Cordillera Oriental, similares al planteado en la Sección Geológica 3-12 del Mapa de Terrenos (INGEOMINAS 2003). Información adicional es consultada más adelante para el planteamiento de la discusión.

### **4.3. TRABAJO DE CAMPO**

Alude al trabajo de campo que se llevó a cabo durante 20 días en un área cercana a los 150 kilómetros<sup>2</sup> en San Vicente de Chucurí, Santander, adelantándose la toma de datos estructurales, adquiriendo básicamente rumbos y buzamientos de estratificación; datos estratigráficos, identificando las formaciones geológicas Mesozoicas – Cenozoicas aflorantes con base en sus características litológicas propias y además la definición de diferentes estructuras de deformación frágil y dúctil. La adquisición de datos estructurales, facilita la elaboración posterior de cortes geológicos representativos del área, que ayudan a plantear de la manera más clara y precisa posible el entendimiento de la configuración geológica.

#### 4.4. PROCESAMIENTO E INTEGRACIÓN DE RESULTADOS

La información adquirida se vincula a la existente para lograr una reinterpretación del marco geológico con que se cuenta. Inicialmente se presenta un mapa de estaciones donde se indican los lugares donde fueron encontrados importantes afloramientos de los cuales se obtuvo información (Figura 53, Anexo A). La topografía que se usó en el mapa, debido a su ausencia en algunos sectores, se optó por adquirirla a partir de un modelo digital de elevación (*DEM*), mientras que la hidrografía e información sobre lugares construidos fue tomada de las siguientes planchas topográficas del IGAC a escala 1: 25.000: 120-III-A, 120-III-B, 120-III-C y 120-III-D. Luego, usando datos de coordenadas tomados por GPS, datos estructurales tomados en campo y las características estratigráficas de cada unidad identificada, se generaron dos modelos de mapas geológicos, uno local y uno regional (Anexos C, F, G). Los datos estructurales se sometieron a la corrección por declinación magnética, que es única para cada zona específica del planeta, ya que depende del día en que hayan sido tomados, y de valores de latitud y longitud propios de la zona.

Para la región de San Vicente, la declinación calculada fue de ocho (8) grados Oeste según datos obtenidos del *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* a través de su página web. Por lo tanto, este valor se sumó a cada uno de los datos de rumbo tomados en la etapa de campo (Anexo A). Así mismo, haciendo uso de estos datos estructurales se realizaron tres (3) modelos geológicos de la zona de estudio donde se exhibe la configuración tectónica actual. Uno de estos se llevó desde el sector de Campo Escuela Colorado hasta la Falla del Suárez buscando vincular la geología local, dentro de un marco más regional (Anexo H).

#### **4.5. ANÁLISIS FINAL DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Basados en los modelos geológicos obtenidos, es viable el planteamiento de un estilo estructural ligado al modelo evolutivo regional. Con este se pretende mostrar el comportamiento a profundidad de las estructuras de fallamiento y plegamiento, y en general la naturaleza de la dinámica compresiva. Así mismo, estas secciones pueden formar parte de una discusión en la que se comparen sus resultados con las de otros modelos desarrollados en el VMM (e.g. Chajín *et al.*, 2013 y Restrepo *et al.*, 2004) destacando bien sea su semejanza, o aquellos rasgos en los que difieran con su respectiva justificación.

## **5. MARCO TEÓRICO**

El siguiente marco teórico trata sobre los principios básicos empleados en la identificación de las formaciones y clasificación de rocas terrígenas, la construcción de secciones balanceadas y la definición de los estilos estructurales.

### **5.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS FORMACIONES Y CLASIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE MANO**

Las formaciones geológicas aflorantes en el área abarcan edades que van desde el Jurásico Tardío al Cenozoico. La base utilizada para la identificación de éstas fue la descripción litológica de sus secciones tipo definidas en la Memoria explicativa del Cuadrángulo H-12 en Ward *et al.*, (1973).

Las clasificaciones texturales y composicionales de las rocas terrígenas se realizaron según Folk (1974), mientras que para las rocas calcáreas se usó la clasificación propuesta por Dunham (1962). Los términos descriptivos de las estructuras internas de las rocas se basan en las propuestas por Campbell (1967), en Boggs (1987). Toda la información anterior está disponible en La Guía de Laboratorio de Sedimentología para Geólogos de Cruz y Caballero (2007).

### **5.2. SECCIONES ESTRUCTURALES BALANCEADAS**

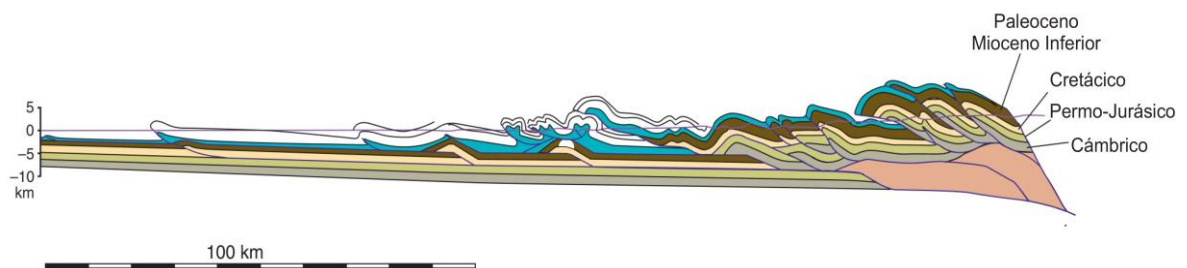
La construcción de perfiles geoméricamente correctos a partir de observaciones limitadas de superficie es uno de los mayores problemas de la Geología

Estructural. La precisión en la extrapolación de datos de orientación y de contactos litológicos a profundidad es importante en la interpretación tectónica de un área (Seggiaro, 2000).

El balanceo de secciones permite ajustar una interpretación geológica de modo que no solo parece razonable en su estado presente, sino que también sea posible restaurarle a su estado inicial (Fossen, 2010).

Una sección balanceada es aquella geoméricamente correcta, restaurable a su estado original indeformado a través de pasos cinemáticamente razonables (Marshak y Woodward, 1988). Es decir que toda sección balanceada debe poder restaurarse a un estado indeformado sin pérdida o ganancia de material y de manera que la longitud y el espesor de los estratos, sean coherentes, cuando se restauren (Dahlstrom, 1969) (Figura 4).

Figura 4. Sección estructural balanceada del cinturón plegado y fallado de Zagros, en regiones de Irak e Irán.



Fuente: Fossen (2010). [Adaptada por los Autores]

La construcción de secciones balanceadas hace necesario asumir criterios que hagan al proceso coherente y realista con la información disponible de la zona. El principal objetivo de la construcción de secciones balanceadas es evitar introducir errores geométricos durante su elaboración.

1. Conservación de áreas: en las secciones balanceadas deformadas y restauradas, el área de las capas debe ser la misma. Esto depende de la hipótesis de la deformación plana.

2. Consistencia en la longitud de las capas: la longitud de un contacto dentro de una sección no presenta cambios de la sección deformada a la sección restaurada, esto se cumple cuando no hay adelgazamiento o engrosamiento de las capas en las charnelas de los pliegues. La restauración de secciones con cambios en los espesores es posible pero se hace un poco más complicada.

3. Deformación plana: se supone que no hay pérdida o ganancia de material dentro de la sección balanceada. Esto se da cuando las fallas vistas en planta son extensas y no están desplazadas por movimientos de rumbo.

4. Saltos en la secuencia de fallamiento: dentro de un cinturón plegado y fallado no todas las fallas se generan simultáneamente. Experimentos en modelos análogos, caja de arena, en campo demuestran que las fallas más cercanas al *foreland* son más jóvenes y las más cercanas al *hinterland* son más antiguas. Cuando se restauran secciones, se supone que las fallas se generan hacia adelante y continúan hacia la secuencia más joven del *foreland* (Figura 5).

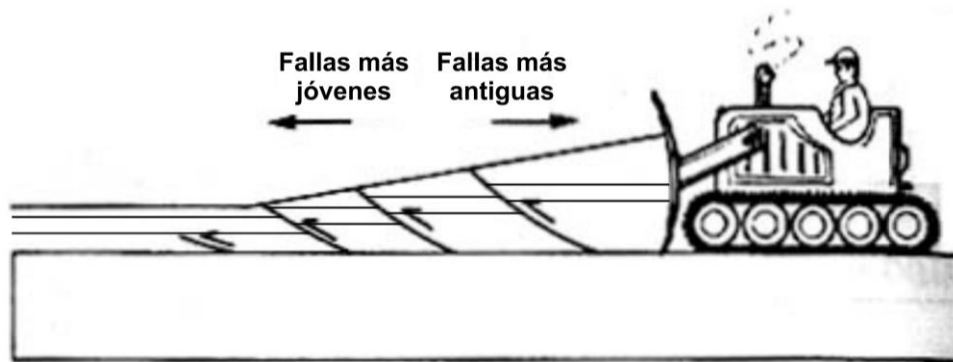
5. Rampas de falla: se supone que las rampas de falla se mueven siempre hacia adelante. Es decir, cuando se mueve a través de la sección en la dirección de transporte tectónico, las rampas cortan la secuencia, y el movimiento a través de

estas origina repetición de la secuencia estratigráfica pudiendo ubicar rocas más antiguas sobre unidades más jóvenes (Figura 5).

6. Pliegues tipo *Kink*: los pliegues *kink* tienen flancos relativamente rectos y la deformación se concentra en las charnelas. Los pliegues *chevron* son ejemplos clásicos de pliegues *kink* y la mayoría de los cinturones plegados y fallados son similares al tipo *kink*.

Es mucho más fácil dibujar y restaurar secciones para el estilo de plegamiento *kink*, debido a que se puede usar la trigonometría simple para calcular ángulos y las reglas para medir longitud de las capas. Por ello se ven muchas secciones restauradas que se dibujan con este estilo de plegamiento (Figura 6). (Tomado y modificado de *Balancing & Restoring Cross Sections*).

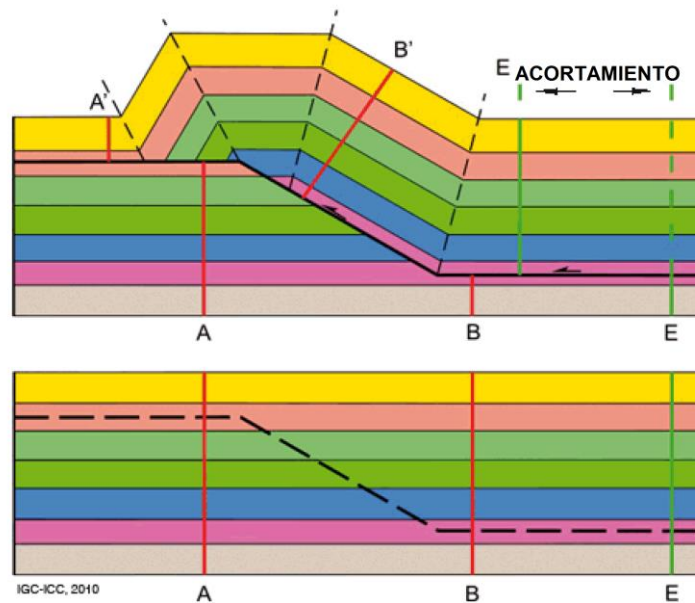
Figura 5. Esquema de la generación de rampas y fallamiento secuencial.



Fuente: *Balancing & Restoring Cross Sections*. Available from Internet:  
[http://seismo.berkeley.edu/~burgmann/EPS116/labs/lab7\\_xsection/lab7\\_2009.pdf](http://seismo.berkeley.edu/~burgmann/EPS116/labs/lab7_xsection/lab7_2009.pdf). [Adaptada por los Autores]

Esta técnica permite también calcular los valores de acortamiento asociados a la formación de estructuras tectónicas y hacer reconstrucciones fieles al pasado, en las cuales los materiales geológicos estén situados en la posición que ocupaban en determinado momento en su historia geológica. Claramente no existe ninguna consideración geológica en estas condiciones. Una sección balanceada no es necesariamente correcta, pero es más correcta que una sección que no pueda ser balanceada (Fossen, 2010). La mejor alternativa será aquella que respete en mayor grado la información disponible y que refleje un mayor nivel de coherencia geológica (Mitra, 1992).

Figura 6. Esquema de una sección geológica balanceada y restaurada exhibiendo una geometría tipo *kink*.



Fuente: *The geological cross-sections*. Disponible en internet:

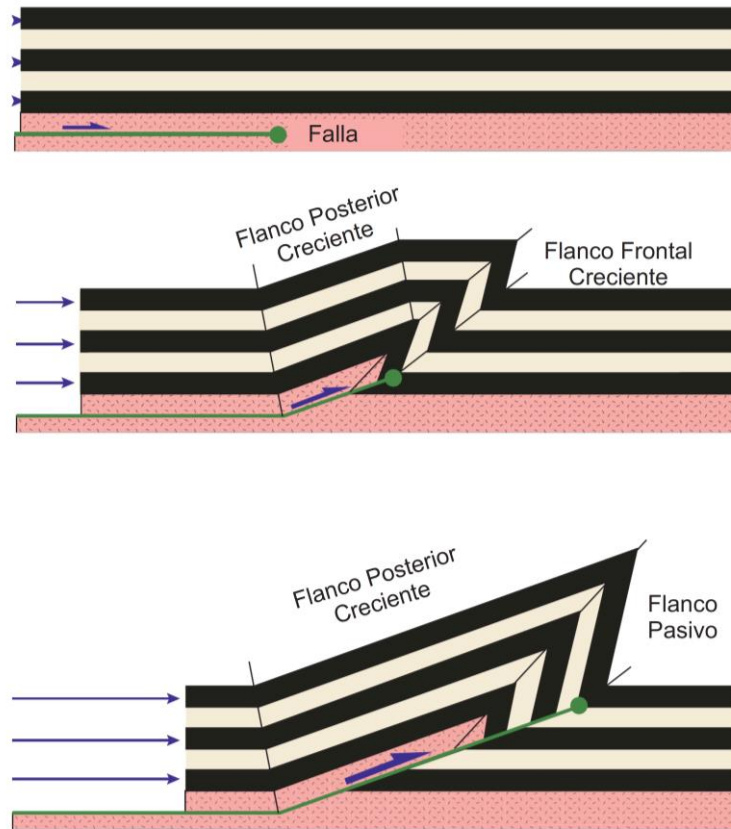
[http://www.igc.cat/web/en/mapageol\\_atles\\_talls.html](http://www.igc.cat/web/en/mapageol_atles_talls.html). [Adaptada por los Autores]

**5.2.1. Mecanismos de Deformación.** La configuración tectónica de una región, es representada por un estilo estructural formado a través del tiempo por diversos mecanismos. Una aplicación de la técnica de construcción de secciones balanceadas es ayudar a determinar qué tipo de mecanismo es responsable.

Dentro de los cinturones plegados las estructuras tectónicas en general pueden explicarse mediante tres modelos básicos: pliegues generados a partir de la propagación de una falla o *fault-propagation folds* (Figura 7), pliegues asociados a cambios en la orientación de la falla o *fault-bend folds* (Figura 8), y pliegues asociados a superficies de despegue o *detachment folds* (Figura 9). En el sentido de Mitra (1992), estructuras geométricas como *dúplex*, cuñas e imbricaciones se consideran derivaciones de estos tres modelos.

*Fault-propagation folds:* se encuentra asociado con la terminación de una falla, y se desarrolla sobre un frente de propagación, en estratos subhorizontales donde las fallas se propagan a través de la sección (Fossen, 2010). Este tipo de pliegue difiere de los *fault-bend folds* y otros tipos de pliegues en que se mueve junto con el frente de propagación de la falla (Figura 7). Si se sigue acumulando desplazamiento, la falla de cabalgamiento rompe a través del pliegue asociado a la propagación (Fossen, 2010).

Figura 7. Desarrollo progresivo de una estructura por *fault-propagation fold*.

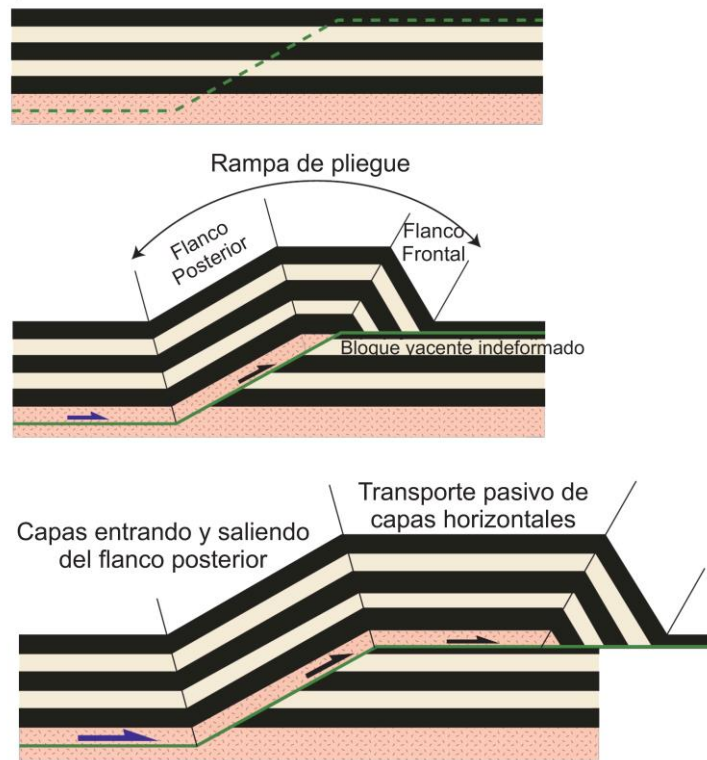


Fuente: Fossen (2010). [Adaptada por los Autores]

*Fault-bend folds*: son pliegues asociados a cambios en la orientación de la falla, despegue-rampa-despegue (Suppe, 1983). Cuando una rampa se forma y el bloque colgante comienza a escalar por encima de ella, las capas se deforman en un *fault-bend fold*. La geometría del pliegue refleja la geometría de la rampa. Rampas angulares producen, pliegues tipo *kink*, mientras que rampas más curvas resultan en pliegues más suaves (Figura 8). La relación entre la geometría de la rampa y el pliegue es bastante simple. Conociendo la geometría del pliegue se puede predecir la geometría de la rampa y viceversa. Rampas angulares y

pliegues *kink* son muy usados porque son relativamente fáciles de construir (Fossen, 2010).

Figura 8. Desarrollo de una estructura *fault-bend fold*.

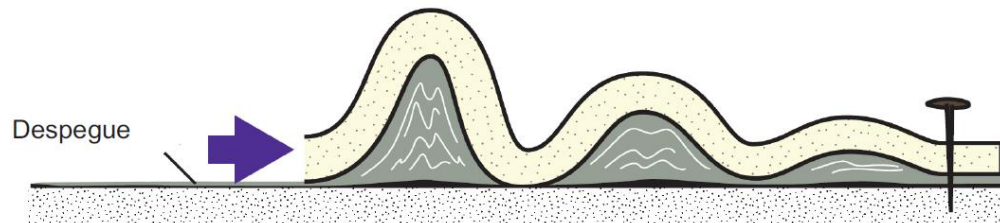


Fuente: Fossen (2010). [Adaptada por los Autores]

*Detachment folds*: se forman cuando las capas por encima de un despegue se acortan más que el basamento que lo infrayace (Figura 9). Tienden a desarrollarse por encima de capas incompetentes, tales como pizarras o se evaporitas sobrepresionadas, son pliegues normalmente concéntricos. Como los pliegues se forman por doblamiento, la capa incompetente se mueve adaptándose a la

diferencia geométrica entre el plano de despegue y las capas plegadas superiores (Fossen, 2010).

Figura 9. *Detachment fold*. Se desarrolla sobre un nivel de despegue durante un evento de acortamiento.



Fuente: Fossen (2010). [Adaptada por los Autores]

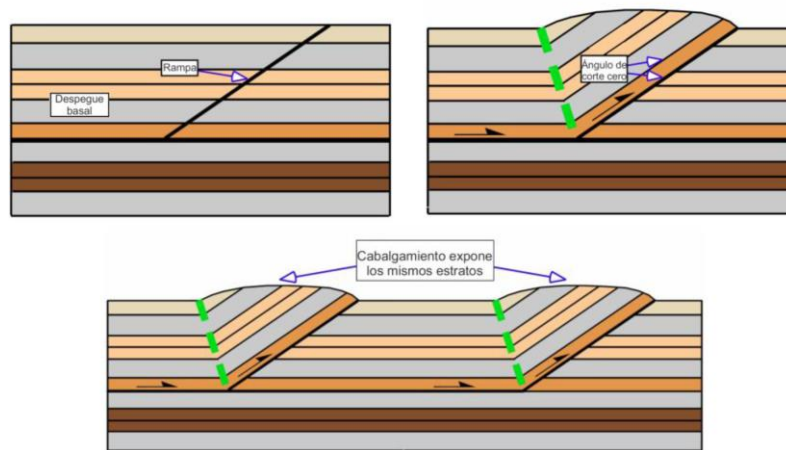
### 5.3. ESTILOS ESTRUCTURALES EN ORÓGENOS

El estilo de deformación dentro de un régimen compresivo depende de las litologías presentes y la profundidad al momento de la deformación. En los cinturones orogénicos hay una distinción entre las estructuras formadas en el área marginal *foreland* y la zona central del *hinterland*, pudiéndose entonces diferenciar dos estilos con características propias: *thin-skinned* y *thick-skinned* (Fossen, 2010).

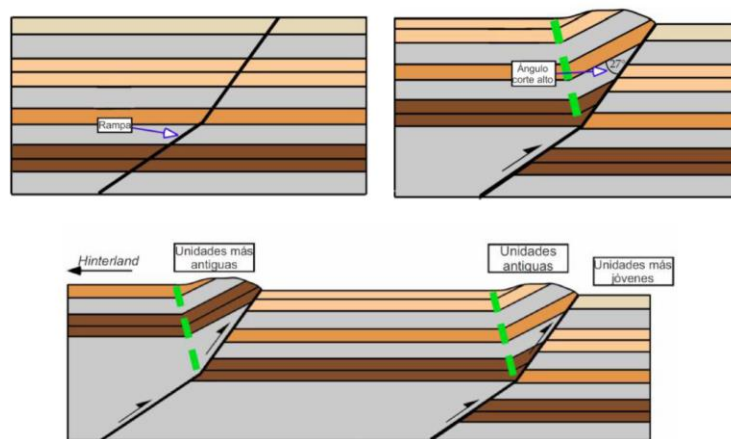
El estilo estructural de *thin-skinned* es característico de las zonas de *foreland*, generando estructuras dúplex y pliegues asociados. La deformación se limita a la cobertera sedimentaria y no afecta al basamento (Fossen, 2010). Las zonas de rampa cortan las unidades competentes en ángulos pequeños y las zonas de *flats* o despegues se mueven sobre unidades blandas (Shaw *et al.*, 2011).

En las zonas de *hinterland*, la deformación se asocia también al basamento y se desarrolla estilo *thick-skinned*, con rampas de ángulos altos, y despegues muy profundos (Fossen, 2010) (Figura 10).

Figura 10. Esquema de los estilos estructural de (a) *thin-skinned* y (b) *thick-skinned*, donde se observan sus principales características y evolución.



(a) Estilo estructural de *thin-skinned*.



(b) Estilo estructural de *thick-skinned*.

Fuente: Shaw *et al.*, (2011). [Adaptada por los Autores]

## 6. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

### 6.1. EVOLUCIÓN GEOLÓGICA DEL VALLE MEDIO DEL MAGDALENA

Las rocas de los Andes del Norte en Colombia han experimentado diversas fases de deformación tectónica debidas a movimientos entre placas desde el rompimiento de Pangea (Mégard, 1987; Taboada *et al.*, 2000). Así mismo, tales cadenas cuentan con sus respectivas cuencas *foreland* o depresiones intermontanas encontrándose, de Oeste a Este: la Serranía del Baudó, Cuenca del Atrato, Cordillera Occidental, Valle del Cauca o depresión de Cauca-Patía, Cordillera Central, VMM, Cordillera Oriental y la Cuenca *foreland* de Los Llanos (Moreno *et al.*, 2011; Schamel, 1991; Taboada *et al.*, 2000).

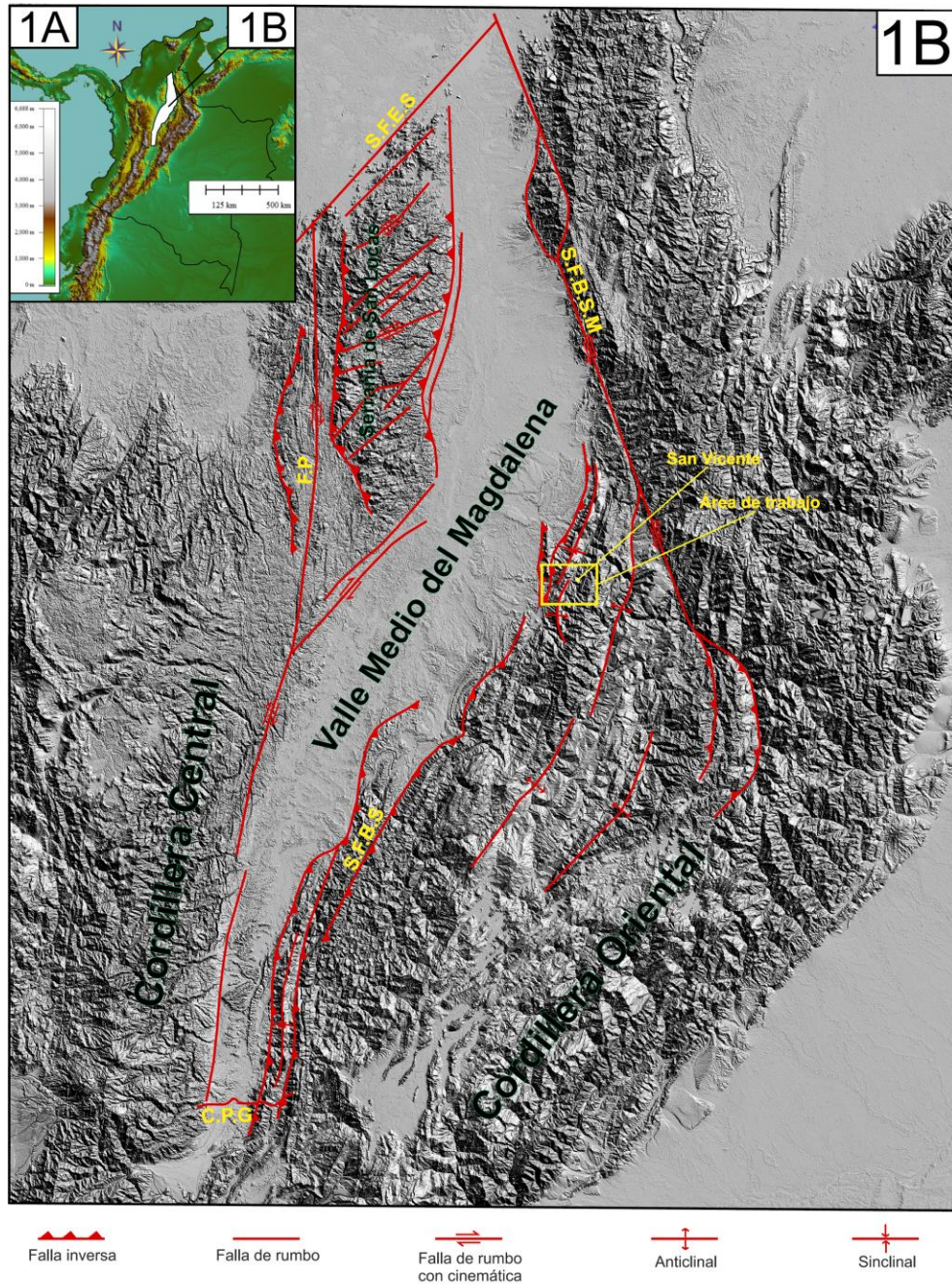
El VMM se ubica entre la Cordillera Central y la Oriental (Figura 11), con estructuras e historia geológica de éstas, además ha sufrido transformación desde una configuración *foreland* a *hinterland*: una cuenca *backarc*, durante el Triásico-Jurásico; una depresión pericratónica, durante el Cretácico-Cenozoico Temprano; el margen interno de una amplia depresión *foreland* orientada al Este durante el Cenozoico Medio; y recientemente una serie de cuencas intermontanas. Cada segmento del VMM se separa del siguiente mediante un punto de cierre o *choke point* controlado estructuralmente y ubicado donde una importante disposición estructural atraviesa de forma oblicua el eje de la cuenca (Schamel, 1991).

El VMM resulta entonces de la fragmentación de una ancestral cuenca de antepaís asociada a la Cordillera Central y del levantamiento, por inversión tectónica, de la Cordillera Oriental (Caballero *et al.*, 2010). Esta depresión tectónica es asimétrica y limitada por dos frentes cabalgantes de vergencia opuesta, (Córdoba, Rolón, Buchelli, Suárez, ECOPEPOTROL, 1996). El VMM está

basculado hacia el Este, con tendencia homoclinal, afectada por pliegues y fallas (Pérez & Valencia, 1977) y con dos márgenes distintos: un lado Oeste de borde pasivo que descansa sobre material de la Cordillera Central, con geometría monoclinial y truncaciones de las formaciones Cretácicas hacia ésta, bajo el acuñaamiento (*onlap*) de sedimentos Cenozoicos que buzan hacia el Este; y un lado Este donde la deformación incrementa hacia el Sureste continuamente alcanzando un complejo margen compresional (Taborda, 1965).

Los límites del VMM los constituyen: al Norte, el sistema de fallas de Espíritu Santo (S.F.E.S); al Noreste, el sistema de fallas Bucaramanga-Santa Marta (S.F.B.S.M); al Sureste, el sistema de fallas Bituima y La Salina (S.F.B.S); al Sur, el cinturón plegado de Girardot (C.P.G); y al Oeste, la Serranía de San Lucas y la Cordillera Central (Barrero *et al.*, 2007) (Figura 11).

Figura 11. Mapa estructural del VMM. Se muestra su ubicación y respectivos límites geológicos, y el área de trabajo.



## 6.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el sentido de (Córdoba *et al.*, 2001) se han determinado cinco (5) diferentes dominios estructurales para el VMM, según sus características estratigráficas, estilos estructurales y épocas de deformación (Figura 12).

El dominio Noroeste se caracteriza por un gran homoclinal buzando al Este con tendencia al NNE, fallas normales transtensionales con desplazamiento oblicuo dextral y planos de falla buzando hacia el ESE. Estas fallas muestran una inversión parcial hacia el Este, cerrándose hacia la Cordillera Oriental donde tienen componentes de rumbo dextrales.

El dominio Suroeste caracterizado por un homoclinal con buzamiento al Este, con fallas normales de poco desplazamiento afectando rocas pre-Cretácicas y Cenozoicas (Sarmiento, 2011).

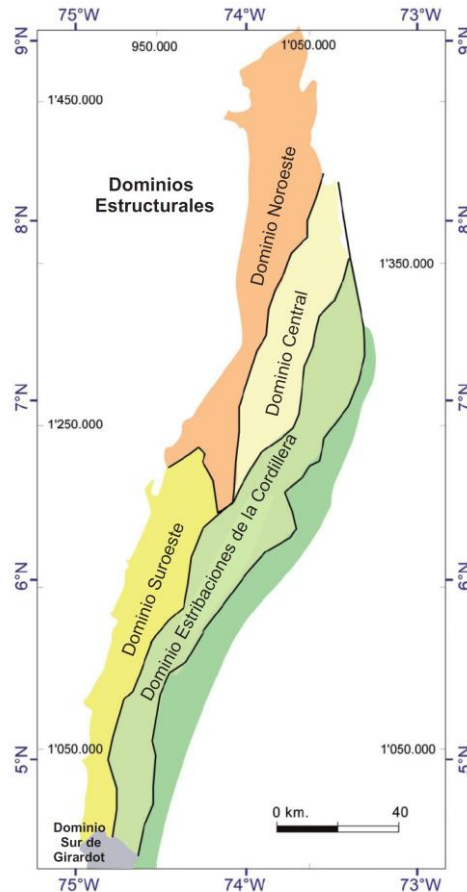
El dominio Central, con vergencia opuesta de cabalgamientos y cinturones plegados formando una zona estructural de convergencia, resultado de dos eventos deformativos: deformación compresiva a dextral en el Cretácico temprano-Eoceno con vergencia hacia el Este relacionada a la Cordillera Central, y una deformación Cenozoica compresiva a transpresiva con vergencia hacia el Oeste relacionada al flanco Oeste de la Cordillera Oriental.

El dominio de Estructuras de la Cordillera Oriental con cabalgamientos y pliegues de vergencia al Oeste resultado de la etapa Cenozoica compresiva a

transpresiva con vergencia hacia el Oeste, relacionada al flanco Oeste de la misma cordillera.

El dominio Sur de Girardot, que constituye una zona de transferencia a lo largo de la falla de rumbo de Ibagué del sistema de cabalgamiento de Calarma con vergencia al Este relacionado a la Cordillera Central, y de manera similar al sistema de fallas inversas de Cambras asociado a la Cordillera Oriental (Sarmiento, 2011).

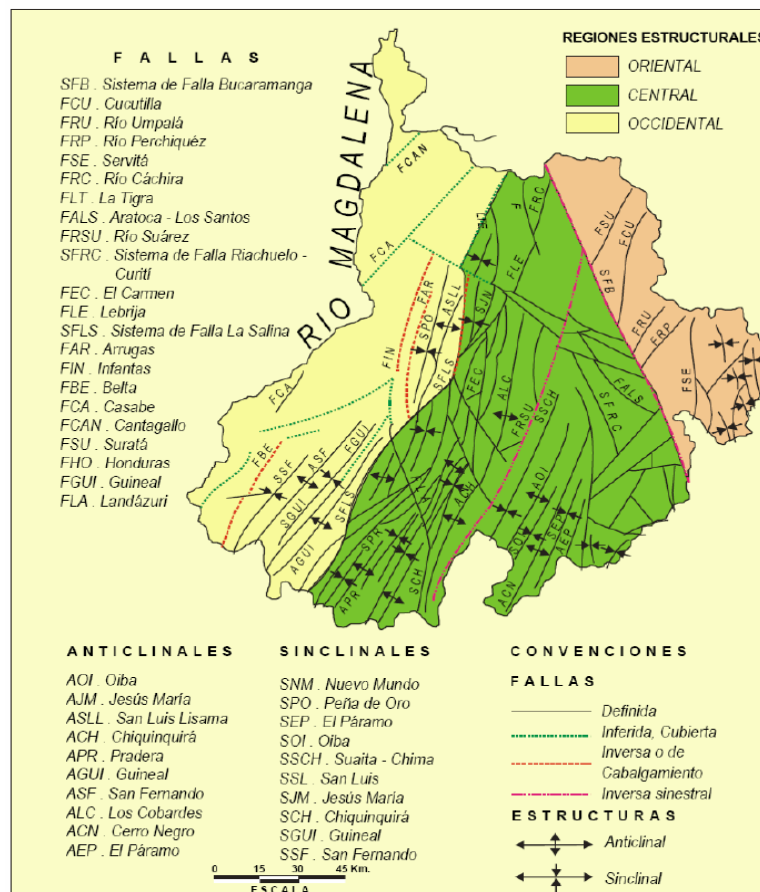
Figura 12. Dominios estructurales del VMM según Córdoba *et al.*, (2001).



Fuente: Sarmiento, (2001). [Adaptada por los Autores]

Además, se reconocen tres estilos estructurales dentro del territorio santandereano, identificando tres regiones bien definidas: una de fallamiento de bloques en la región Oriental, otra de plegamientos en la región Central, y el graben del Magdalena en la región Occidental (Clavijo *et al.*, 1993) (Figura 13). Ésta última provincia representa una región hundida, que corresponde a buena parte del Valle Medio del Río Magdalena con estructuras anticlinales y sinclinales amplias, conformadas por rocas del Cenozoico y fallas inversas con inclinación al Este (Clavijo *et al.*, 1993).

Figura 13. Esquema estructural del departamento de Santander.



Fuente: Clavijo *et al.*, (2001). [Adaptada por los Autores]

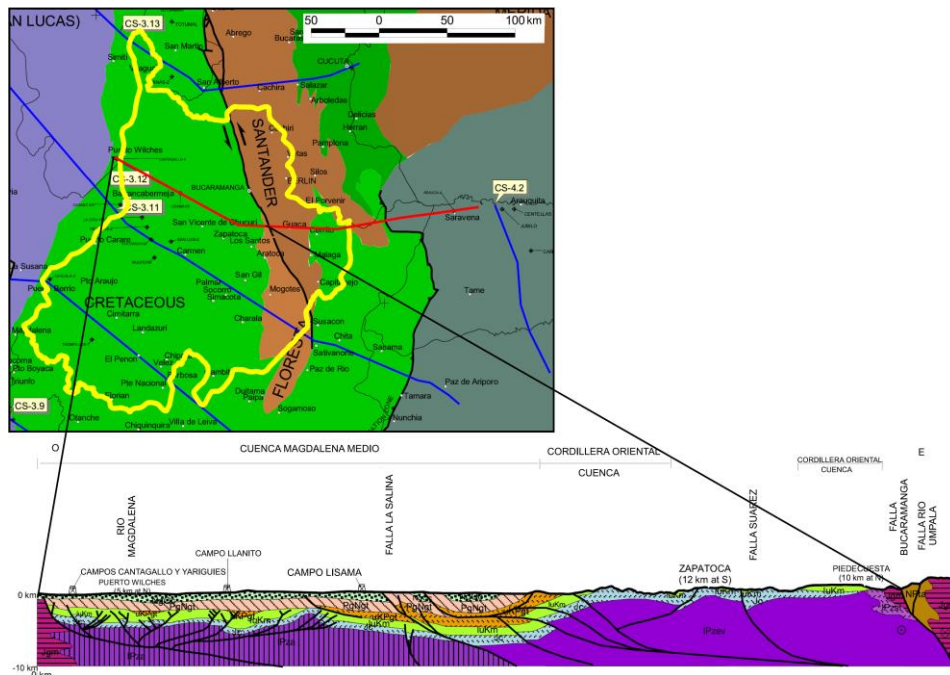
Las estructuras geológicas y fallas cercanas que afectan la zona de estudio se encuentran dentro de las regiones Occidental y Central, encontrándose:

Región Occidental: anticlinales San Luis-Lisama, San Fernando, Provincia y Las Monas; sinclinales Peña de Oro y Guineal; el sistema de fallas La Salina, y las fallas de Arrugas, Cantagallo, Casabe e Infantas.

Región Central: anticlinales de Los Cobardes, Jesús María; sinclinales de Suaita-Chima, Jesús María, Nuevo Mundo; y las fallas de El Carmen, Suárez, Honduras, Riachuelo y Landázuri (Clavijo *et al.*, 1993).

Por otra parte, es posible encontrar una sección geológica cercana a San Vicente que comprende parte del VMM y la Cordillera Oriental, como ocurre con el corte 3-12 (INGEOMINAS, 2003), donde se evidencian estructuras de una dinámica compresiva con fallas inversas de bajo ángulo que afectan desde el basamento hasta la secuencia Cenozoica. Hacia el VMM se observan estructuras de inversión tectónica a partir de fallas normales, mientras que hacia el piedemonte se encuentran secuencias de cabalgamientos de vergencia Oeste junto con fallas inversas muy verticales y profundas que afectan el basamento y en algunos casos lo exponen (Figura 14).

Figura 14. Sección estructural del corte 3-12.



Fuente: INGEOMINAS, (2003). [Adaptada por los Autores]

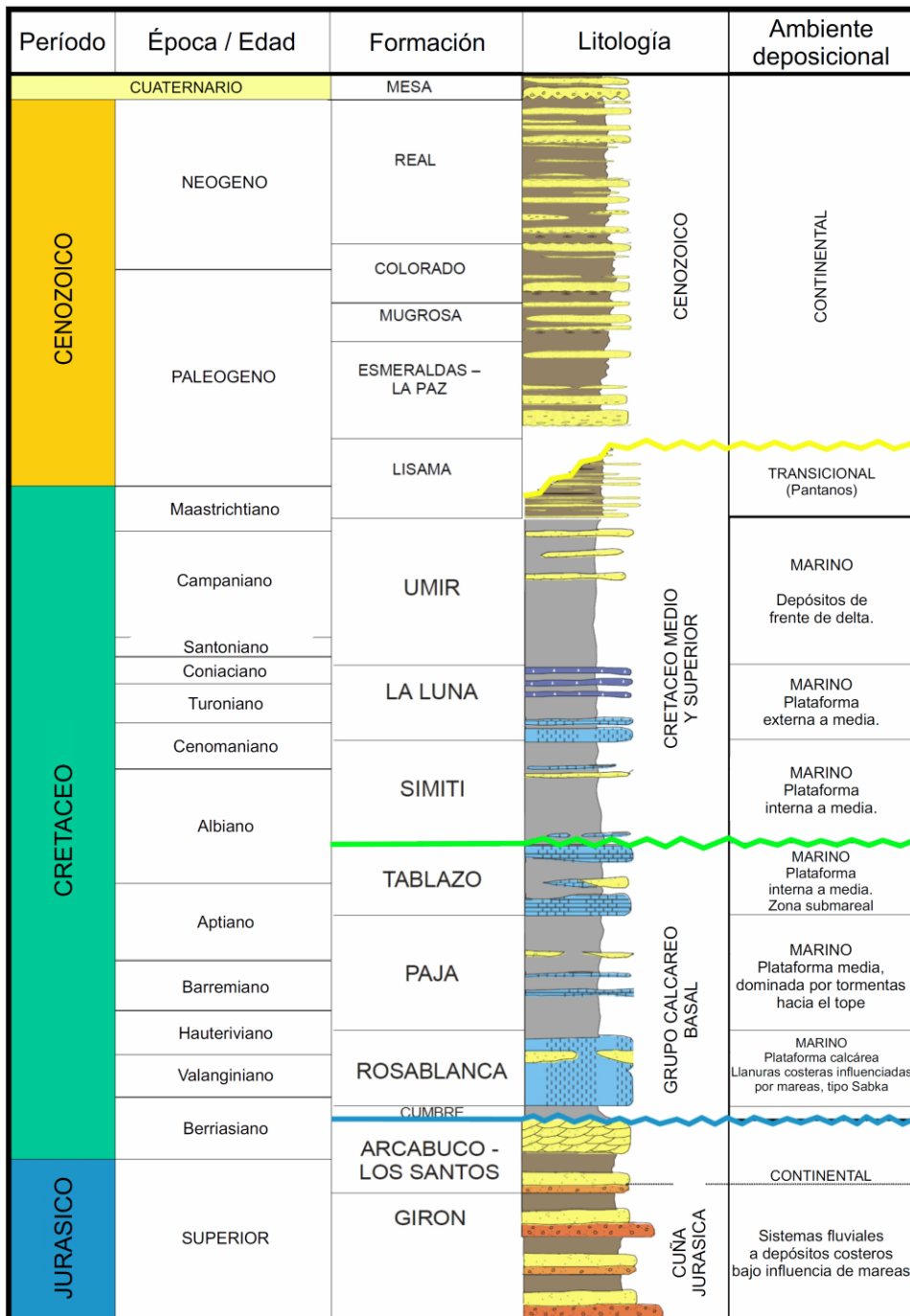
### 6.3. ESTRATIGRAFÍA

(Morales *et al.*, 1958) describen por primera vez la nomenclatura estratigráfica del VMM, que posteriormente fue modificada por (Etayo y Laverde, 1985). De manera general la columna estratigráfica consiste de un basamento ígneo metamórfico de edades desde el Precámbrico al Paleozoico Inferior, y se encuentra suprayacido por una secuencia de rocas sedimentarias que van desde el Jurásico Tardío hasta el reciente (Rolón, 2004) (Figura 15).

Las principales características de la sucesión sedimentaria se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Jurásico- Cretácico Inferior (Berriasiano): depósitos de rocas sedimentarias en un sistema fluvial estructuralmente controlado, (formaciones Girón, Arcabuco-Los Santos) (Etayo, 1968; Fabre, 1983). Estas unidades están siendo suprayacidas por depósitos de rocas sedimentarias siliciclásticas y calcáreas del Cretácico temprano en una plataforma marina somera, que fue más amplia que el actual VMM (Grupo basal conformado por las formaciones Cumbre, Rosablanca, Paja y Tablazo).
2. Albiano a Maastrichtiano: rocas sedimentarias marinas someras a profundas acumuladas en una plataforma afectada por los cambios del nivel del mar (formaciones Simití y La Luna).
3. Cretácico Superior a Paleoceno: rocas siliciclásticas profundas marinas a paludales (formaciones Umir y Lisama) depositadas en ciclos regresivos-transgresivos durante la primera etapa de la deformación Neógena compresional.
4. Neógeno: ambiente fluvial, rocas clásticas lacustres (formaciones La Paz, Esmeraldas, Mugrosa, Colorado y Real) depositadas durante el levantamiento progresivo de las cordilleras Oriental y Central (Colletta *et al.*, 1990; Dengo and Covey, 1993; Cooper *et al.*, 1995) (Figura 15).

Figura 15. Columna estratigráfica generalizada del VMM.



Fuente: Rolón, (2004). [Adaptada por los Autores]

## 7. RESULTADOS

Los resultados obtenidos del trabajo correspondiente a las fases de campo en la región de San Vicente, y su posterior etapa de análisis se presentan a continuación. La descripción de las unidades litoestratigráficas presentes en la zona, un mapa de las estaciones realizadas (Figura 53, Anexo A), un prototipo de mapa geológico local de un área aproximada de 150 kilómetros<sup>2</sup> (Anexo C), dos modelos estructurales locales (Anexos D y E).

Por último, se presentan dos mapas geológicos regionales, uno de ellos superpuesto al *DEM* del área, (Anexos F y G) que vinculan la información existente en los cuadrángulos H-12 Bucaramanga, las planchas geológicas 120 Bucaramanga, 119 Barrancabermeja y la Cartografía de Campo Colorado a escala 1: 25.000 de Zafra (2013), además un corte estructural adicional (Anexo H), que permite relacionar la geología de la zona de estudio dentro de un marco regional. Finalmente se plantea el estilo estructural que la ha afectado.

### 7.1. UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

Algunas de las formaciones geológicas descritas a continuación son muy similares litológicamente (e.g. formaciones Paja, Simtí, Umir, Lisama) y debido a que sus definiciones se basaron únicamente en características litológicas en afloramientos aislados, se presentan interrogadas (?) porque no se tiene estudios complementarios que brinden total certeza. Para conocer la ubicación de los afloramientos presentados a continuación (Anexo A y Anexo B) donde están consignadas las coordenadas de los lugares visitados y el lugar en el mapa donde se hallan, respectivamente.

## 7.2. JURÁSICO

**7.2.1. Formación Girón (Jg):** en general, se identificaron dos litologías predominantes, en grandes afloramientos de potentes capas tabulares. Una más abundante de lodolitas rojizas ligeramente calcáreas y otra que se compone de areniscas conglomeráticas a conglomerados arenosos mal cementados. Probablemente, la primera corresponde a la facies F mientras que la segunda se relaciona a las facies basales A, B, C descritas por Cediél (1968) en (Ward *et al.*, 1973).

En la vereda La Colorada, sobre la vía que conduce de San Vicente a El Carmen, son limolitas de color rojo claro a oscuro, muy compactas, ligeramente calcáreas, masivas, con moteados verdes a grises y micáceas (Figura 16).

Figura 16. Detalle de limolitas rojizas moteadas. En la vereda La Colorada, en el río Chucurí. Estaciones 16 y 152.



En el puente vehicular sobre la quebrada Nororienté, en la misma vereda, son arcillolitas de color morado a marrón rojizo, muy compactas, ligeramente calcáreas, con una laminación curvada no paralela y discontinua, moteados de color verde oliva en formas ovaladas alargadas de tamaños variables y en venas calcáreas del mismo color, de hasta un par de centímetros de espesor, y muscovíticas en algunas caras de la roca, mientras otras desarrollan una laminación paralela ligeramente ondulosa y continua (Figura 17).

Figura 17. Afloramiento de la Formación Girón en la vereda La Colorada, puente vehicular sobre la quebrada Nororienté. Estación 147.



En sectores donde la litología está altamente fracturada, se desarrollan venillas de carbonato y se encuentran numerosos bloques rodados, al parecer de la Formación Los Santos, con caras recristalizadas. En el río Chucurí, casi en el

límite inferior del mapa, se encontró un contacto local concordante entre las formaciones Girón y Los Santos (Figura 18). En las quebradas entre los sectores de La Primavera y La Pradera, aflora como limolitas de color pardo rojizo, ligeramente calcáreas, muy compactas, masivas y ligeramente muscovíticas.

Figura 18. Contacto concordante entre las formaciones Girón y Los Santos en la vereda La Colorada, en el río Chucurí. Estación 152.



En la carretera San Vicente-Zapatoca, entre los sectores de El Boquerón y La Cuchilla del Ramo, la formación Girón se manifiesta como areniscas de grano grueso, areniscas conglomeráticas e incluso conglomerados arenosos, subarcosas, litarenitas feldespáticas y conglomerados líticos, de colores amarillo claro a gris claro, moderadamente a mal calibrados y de granos subredondeados.

### 7.3. CRETÁCICO

**7.3.1. Formación Los Santos (Kita):** en general, consta de cuarzoareniscas silíceas de grano medio a fino, de colores grises, muy compactas y masivas, muy bien estratificadas en grandes afloramientos con capas tabulares que superan fácilmente el metro (Figura 19). En su zona basal, cuando se encuentra relacionada a la Formación Girón, presenta caras recristalizadas de cuarzo que llegan a formar agregados gruesos y venillas de carbonato.

Figura 19. Afloramiento de la Formación Los Santos en la quebrada Las Cruces. Estación 44.



En el trazo de la quebrada Las Cruces, ascendiendo desde el sector de Cantagallos, consiste en cuarzoareniscas de grano fino a medio, a subarcosas, de

tonalidades amarillentas a grises, bien cementadas, silíceas, granosoportadas, de granos subangulares, bien calibradas, muy compactas y masivas. Sectorialmente presentan alto contenido de muscovita en las superficies de fractura, y óxidos de tonos morados y marrones que llegan a formar cortas láminas discontinuas (Figuras 20 a y b).

En la vereda La Colorada, en el río Chucurí, son areniscas de grano medio a fino, subarcosas, de color gris claro ligeramente verdoso a rosado claro y crema, con fuerte brillo craso en gran parte de la roca, silíceas, de granos subredondeados, muy bien calibradas, muy compactas y masivas.

En quebradas, de un área aproximadamente 3 kilómetros hacia el Sur del sector de La Verde, son areniscas de grano medio, cuarzoareniscas a subarcosas, de color gris claro con parches naranjas por oxidación (donde llegan a formarse pequeños agregados de cristales prismáticos de cuarzo traslúcidos de aproximadamente 1 milímetro), con esporádicas recristalizaciones de carbonatos en algunas caras, muy bien calibradas, muy compactas, y con escasa biotita finamente distribuida por la roca que alcanza a formar pequeñas laminaciones planas a ligeramente onduladas discontinuas, como también sucede con los feldespatos, y además hay venas de cuarzo discontinuas de color blanco opaco de tan solo milímetros de grosor hasta otras que alcanzan los 2 centímetros. En las estaciones topográficamente más elevadas del sector, hacia el Noreste de la vereda La Primavera, se encuentran intercalándose capas mucho más delgadas de lodolitas de color gris verdoso claro a ligeramente amarillento y morado, no calcáreas, ligeramente físis, muy compactas, muscovíticas, con desarrollo de láminas oxidadas ligeramente onduladas paralelas y continuas de color pardo a marrón (Figura 21).

Figura 20. (a) Afloramiento de la Formación Los Santos sobre la quebrada Las Cruces. Estación 42, Anexo A. (b) Cuarzoareniscas de grano fino a medio, muy bien cementadas y calibradas. Estación 46.



En un afluente cercano de la quebrada La Verde, son areniscas de grano medio, arcosas líticas, de color café a amarillo claro, con manchas violáceas, silíceas, de granos subangulares, bien calibradas, muy compactas, masivas y ligeramente muscovíticas. En la estación más alejada del pueblo sobre la quebrada La Verde, y próxima a la Formación Girón en el flanco oeste del anticlinal de Los Cobardes, aflora como areniscas de grano grueso o conglomerados arenosos, subarcosas o conglomerados líticos feldespáticos, de color gris a crema, de granos subredondeados, moderadamente a mal calibradas, y algunas muestras de roca tienen parches redondos brillantes de grafito de color gris que son de aproximadamente 1 centímetro de diámetro (Figuras 22 a y b). Un buen afloramiento en la vía San Vicente-Zapatoca se encuentra en la quebrada El Medio en el sector conocido como El Boquerón, donde la litología es muy similar a las primeras ya descritas en la quebrada Las Cruces (Figura 23).

Figura 21. Afloramiento con intercalación de grandes capas de areniscas con niveles menores de capas lodolíticas en la Formación Los Santos, sector de La Primavera. Estación 36.

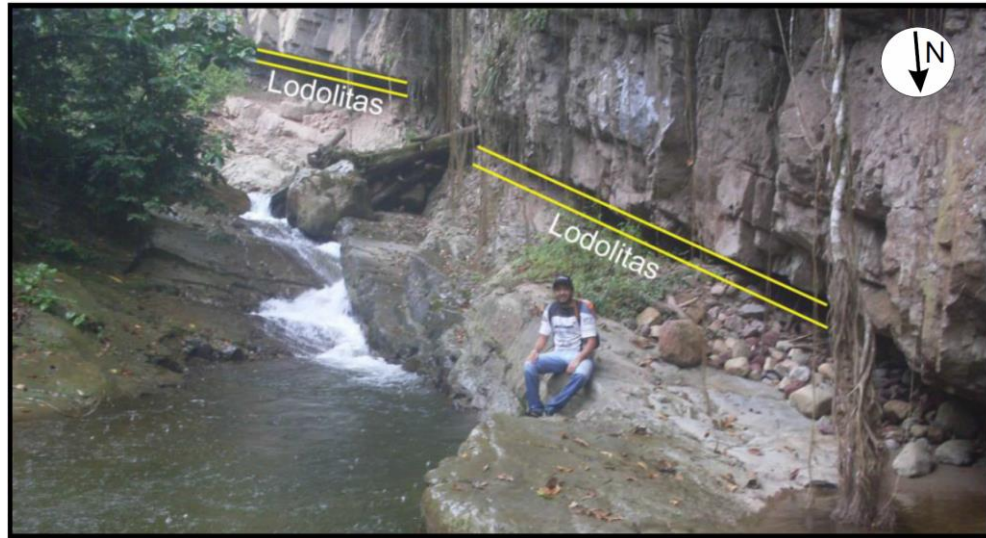


Figura 22. (a) Conglomerado arenoso mal calibrados en afloramiento (b) Detalle de conglomerado lítico feldespático con grafito. Estación 52.

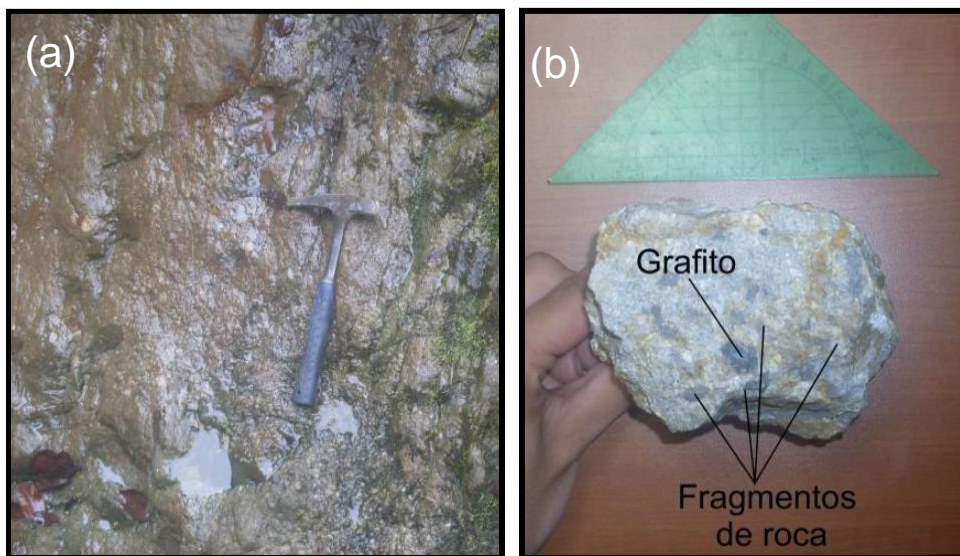


Figura 23. Afloramiento de la Formación Los Santos en la quebrada El Medio, sector El Boquerón en la vía San Vicente-Zapatoca. Estación 224.



**7.3.2. Formación Rosablanca (Kir):** en general, se encuentra expuesta bien estratificada en capas tabulares sobre el trazo de la quebrada Seca, como lodolitas grises oscuras a negras, calcáreas, masivas, muy compactas, con estructuras de disolución kárstica, intercaladas con capas más delgadas de shales de igual color (Figura 24). Además, en potentes capas de caliza y caliza lodosa, tipo *mudstone*, que alcanzan más de un metro de espesor, con variable contenido fósil de muy bajo a nulo, y estructuras de disolución por acción de aguas superficiales que lavan (Figura 25). En casi toda la totalidad del recorrido realizado en la quebrada, se encuentran bloques rodados de calizas biosoportadas con abundantes conchillas pequeñas de bivalvos, de tipo *Biomicrita* o *packestone*.

Descripciones de rocas más detalladas a lo largo de la quebrada contemplan calizas tipo *mudstone* y *wackestone*, de carácter masivo, con tonalidades grises oscuras a negras y contenido fósil de conchillas fracturadas y recristalizadas de bivalvos de tamaños menores a 1 centímetro. En cercanías al sector de Carpinteros, afloran calizas limosas tipo *mudstone* de color gris medio, con venillas planas traslúcidas de carbonatos muy delgadas y discontinuas, así como otras de color blanco a crema, continuas y más abundantes, y algunos agregados carbonáticos pequeños.

Figura 24. Afloramiento de lodolitas calcáreas muy compactas intercaladas con shale negros de la Formación Rosablanca en la quebrada Seca. Estación 69.

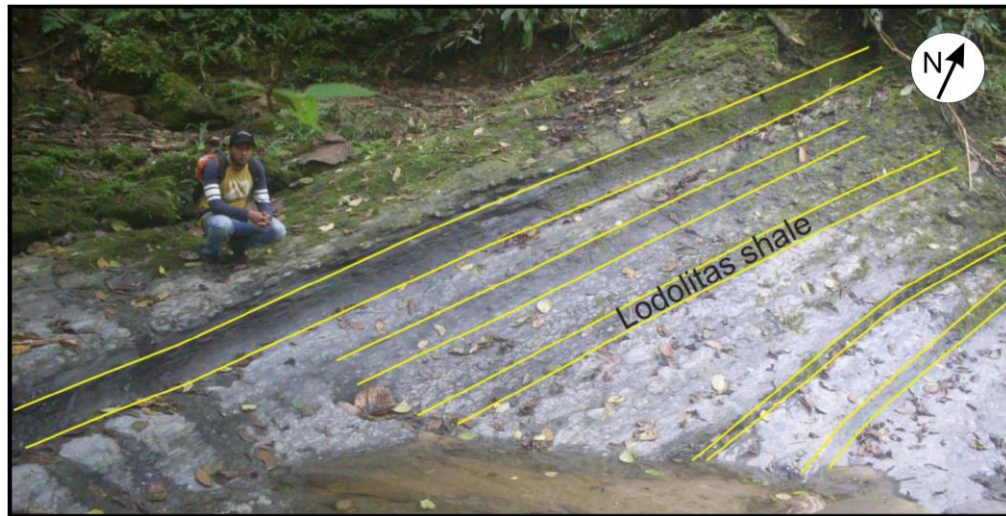


Figura 25. Afloramiento de calizas de la Formación Rosablanca en la quebrada Seca. Desarrollo de estructuras por disolución kárstica por lavado de aguas meteóricas. Estación 66.



**7.3.3. Formación Paja (?) (Kip):** en general, se manifiesta en delgadas capas débilmente estratificadas y constando de lodolitas grises oscuras a negras, a veces fósiles y con contenido micáceo variable, además sectorialmente calcáreas e intercaladas con capas de litologías más competentes como areniscas y calizas especialmente de la suprayacente Formación Tablazo (?).

En la vía que conduce desde San Vicente al sector de La Pradera, en el kilómetro 6, se encuentran shale de tonalidades grises oscuras a negras, levemente calcáreas, masivas, compactas, ligeramente muscovíticas, con pequeños nódulos alargados con carbonatos recristalizados en su interior, e impresiones fósiles y fragmentos de amonites y bivalvos (Figura 26). Por la misma vía, se intercalan con calizas lodosas tipo *mudstone* de color gris oscuro, sin fósiles, con pocas venas muy delgadas de carbonato muy cortas y discontinuas, y pequeñas

recristalizaciones de carbonatos traslúcidos (Figura 27). En la quebrada San Antonio, por el mismo sector, se observan lodolitas de tonalidades pardas a grises claras, no calcáreas y sin contenido micáceo, que forman aquí un pliegue anticlinal muy pequeño a un costado de la quebrada. Un pliegue anticlinal más claro y evidente se destaca en un afloramiento llegando a la vereda La Primavera (Figura 28).

Figura 26. Afloramiento de shale grises oscuras a negras intercaladas con niveles más compactos de lodolitas de color pardo claro, de la Formación Paja (?), sector La Pradera. Estación 1.

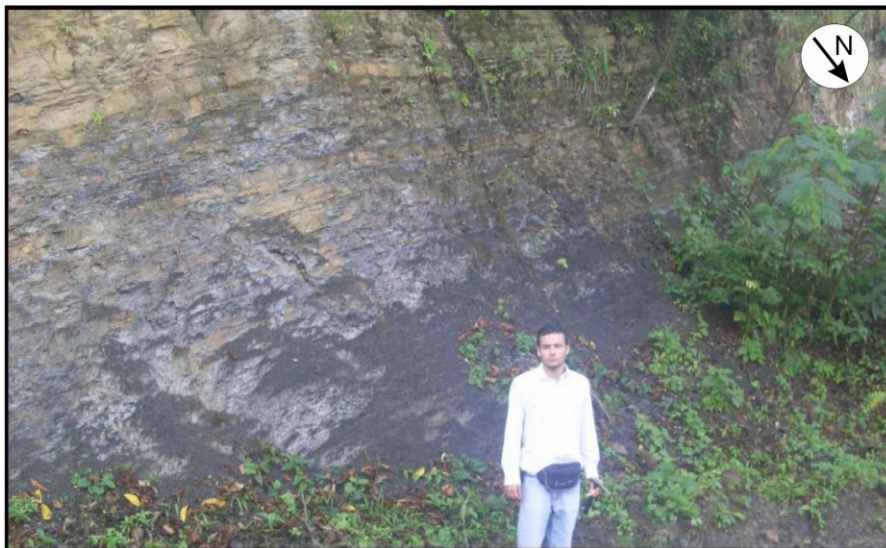


Figura 27. Afloramiento con intercalación de shales con *mudstone* de la Formación Paja (?), vía San Vicente-La Pradera. Estación 9.



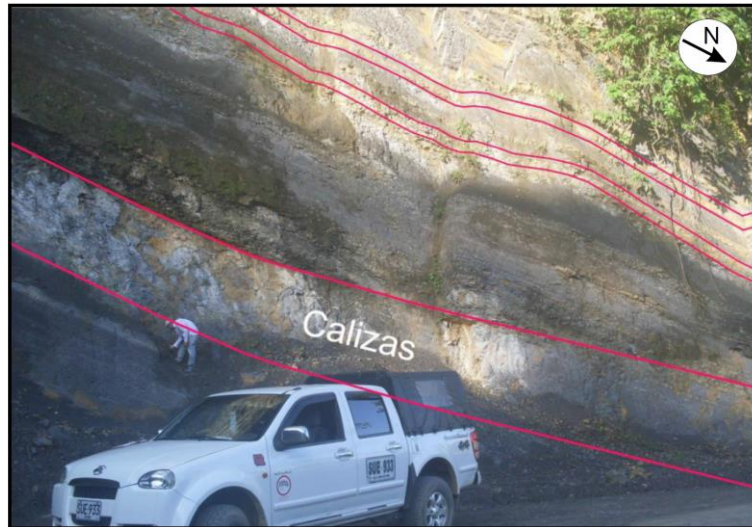
Pasando el sector de La Primavera, al Sur, son shales o arcillolitas de color gris medio, no calcáreas, moderadamente compactas, con laminación plana paralela continua a discontinua de carbonatos de color blanco a amarillo así como también hay carbonato recristalizado en las caras de fracturas, muchos nódulos que varían de 7 a 12 centímetros aproximadamente, de color morado oscuro, sin reacción al HCl diluido en su parte externa mientras que internamente son de aspecto ferruginoso rompiéndose en cascarones, y con un sedimento calcáreo de color negro brillante a gris muy oscuro en su núcleo y halos de calcita recristalizada traslúcida. Cerca al sector de Nápoles, consta de arcillolitas color marrón oscuro, no calcáreas, moderadamente compactas, muscovíticas, con una laminación plana a ligeramente curvada paralela continua de color amarillo claro de feldespatos alterado.

En la carretera hacia Zapatoca desde San Vicente, se encuentran importantes niveles de shale de tonalidades gris claro a pardo oscuro, calcáreas, con nódulos calcáreos alargados que pueden variar en tamaño de aproximadamente 5 a 60 centímetros y moldes en las rocas dejados por estos, e intercaladas con capas de caliza de hasta casi 2 metros de espesor de la Formación Tablazo (?) (Figura 29).

Figura 28. Pliegue Anticlinal en la Formación Paja (?) en el sector La Primavera. Estación 22.

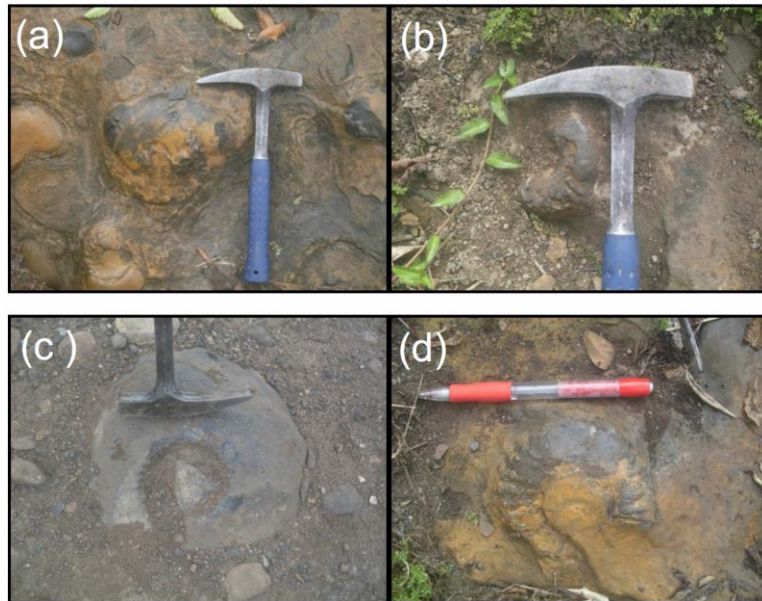


Figura 29. Afloramiento con intercalación de shale de la Formación Paja (?) con gruesas capas calizas de la Formación Tablazo (?), vía San Vicente-Zapatoca. Estación 220.



**7.3.4. Formación Tablazo (?) (Kit):** es litológicamente muy variada. Se encuentran en general, calizas lodosas o lodolitas de colores grises, calcáreas y no calcáreas, masivas, muy compactas, con nódulos de caliza que pueden llegar hasta los 20 – 25 centímetros, e importante presencia, a veces recristalizada, de amonites, fragmentos de costillas, conchillas fracturadas de bivalvos e impresiones de ambos (Figura 30). También lodolitas de tonos amarillentos, muy compactas y que sectorialmente presentan disolución kárstica, y en poca proporción limolitas arenosas y areniscas finas ligeramente calcáreas. En los mejores afloramientos de la formación, en quebradas y ríos, aflora como potentes capas de caliza de colores grisáceos, fosilíferas en baja proporción, y a veces intercaladas con lodolitas calcáreas que contienen nódulos de igual naturaleza.

Figura 30. Nódulos de caliza en la Formación Tablazo (?), vía Maracaibo-Puerto Murcia. (a) (b) y (d) Fragmentos fósiles de amonites. (c) Impresiones fósiles de amonites. Estación 88.



Hacia la quebrada Malpaso o Tambora, afloran calizas lodosas tipo *mudstone* de color gris oscuro, y lodolitas de color gris oscuro a negro muy compactas con grandes nódulos alargados de caliza que cuentan con impresiones fósiles de conchillas de bivalvos. Por el trazo de la quebrada Tambora, a aproximadamente menos de 1 kilómetro de su unión con la quebrada Paramera, se tienen en grandes afloramientos con cascadas de agua calizas tipo *mudstone* de color gris muy claro, sin fósiles, con recristalización de carbonatos de color blanco opaco y caliche de un par de centímetros de espesor sobre planos de fractura (Figura 31).

Figura 31. Afloramiento de *mudstone* gris claro con caliche sobre planos de fractura de la Formación Tablazo (?), quebrada Malpaso o Tambora. Estación 80.

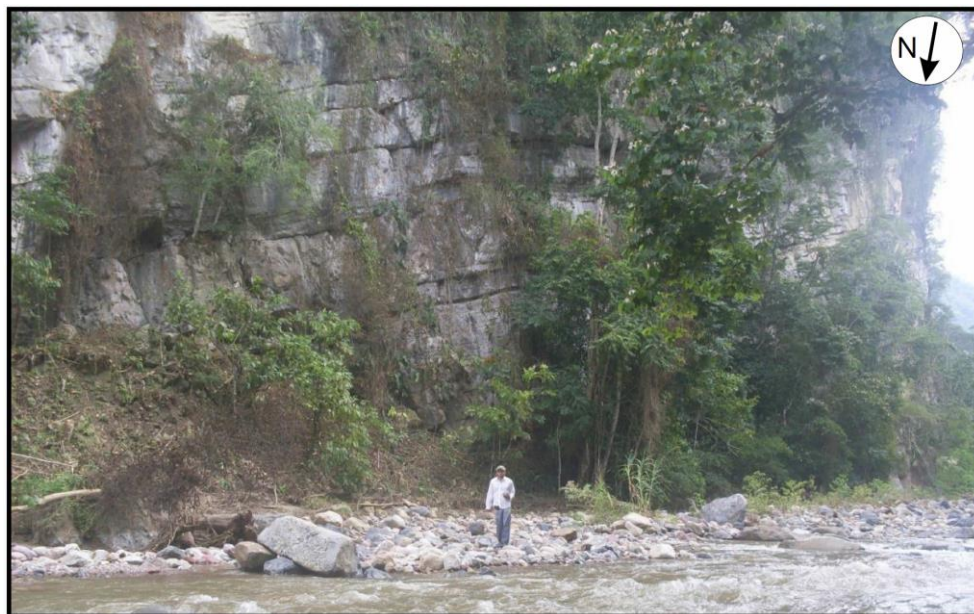


En la quebrada Marranera, son calizas de colores grises tipo *wackestone* con contenido fósil de conchillas de bivalvos recristalizadas.

En la vía que conduce de San Vicente hacia El Carmen, en el sector de Puente Murcia (margen Este del río Chucurí), afloran calizas grises claras tipo *mudstone* sin contenido fósil, masivas, y *wackestone* del mismo color con manchas naranjas por oxidación, ligeramente cristalinas, con bajo contenido fósil de conchillas muy pequeñas de bivalvos, recristalizadas, algunas rotas y otras completas, y delgadas venillas calcáreas ligeramente onduladas que llegan a alcanzar más de 1 centímetro de espesor (Figura 32). Aquí, también hay presencia de caliche de

incluso más de 5 centímetros de espesor y color blanco opaco, en planos de fractura. Yendo al Sur desde este punto hacia la vereda La Colorada, afloran limolitas arenosas de color gris claro y crema, zonalmente calcáreas, muy compactas, con una leve laminación ondulosa paralela discontinua de feldespatos de color amarillo claro y coloraciones moradas en caras de fracturas con muscovita.

Figura 32. Afloramiento de *mudstone*, *wackestone* de la Formación Tablazo (?) en el margen Este del río Chucurí, Puente Murcia. Estación 145.



Por la vía que va de Puente Murcia a la Concentración de Desarrollo Rural “José A. Galán”, más adelante de la Escuela de Barandillas, hay calizas tipo *wackestone* de color gris medio a claro, con venas de calcita de hasta medio centímetro, de

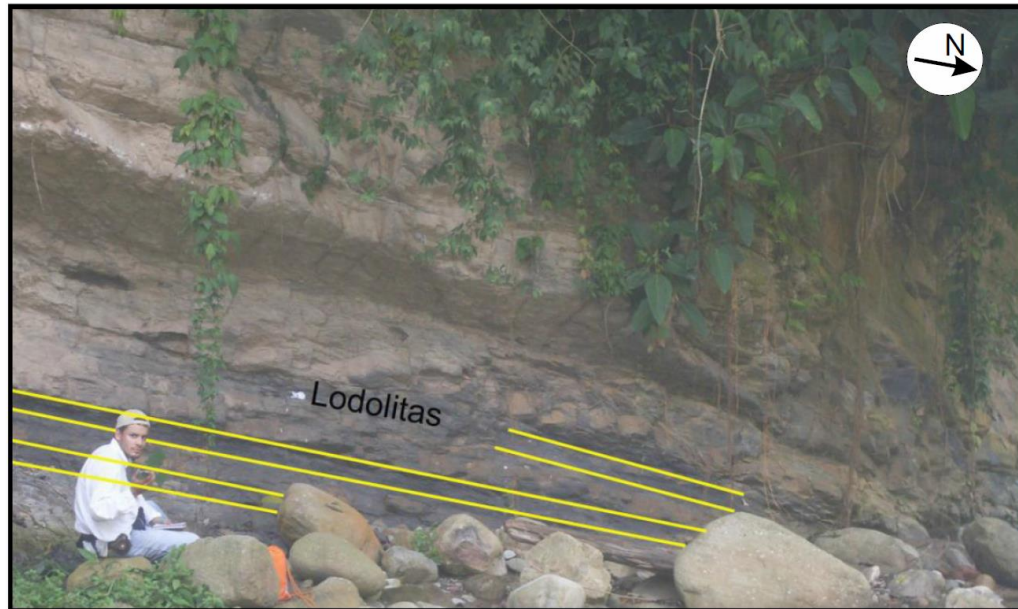
color blanco ligeramente traslúcido, que generalmente se acuñan, planas, discontinuas, no paralelas y que llegan a cortarse entre sí. También cuentan con algunos agregados calcáreos finos de color blanco opaco y el contenido fósil es de unas pocas conchillas de bivalvos completas y recristalizadas.

En Canaán, por la vía que conduce desde San Vicente hacia la vereda Guamales, se tienen potentes calizas a veces intercaladas con shale calcáreos (Figura 33). Las calizas encontradas son de tipo *wackestone* de color gris claro con delgadas venas de calcita discontinuas y traslúcidas, y otras oscuras, así como carbonatos recristalizados que forman finos agregados, fósiles de conchillas de bivalvos de aproximadamente 1 centímetro, aunque algunas alcanzan los 2 centímetros, completas y rotas, recristalizadas y sin recristalizar. Con menos frecuencia *mudstone* de color gris medio, sin fósiles y pocas venillas muy delgadas de carbonatos de brillo vítreo, onduladas, no paralelas y discontinuas. Ya en la vereda Guamales, llegan a encontrarse en algunos afloramientos areniscas finas de color crema a ligeramente amarillas y rojizas, altamente meteorizadas, muy bien calibradas y medianamente compactas, con una leve laminación curvada no paralela y discontinua. Más al Sur, casi en el límite inferior del mapa, se encuentran gruesas capas bien estratificadas de caliza gris oscura tipo *mudstone*, sin fósiles, bastante cristalinas, que se intercalan con capas de menor espesor de lodolitas grises oscuras, ligeramente calcáreas, muy compactas y muscovíticas, con laminación ligeramente ondulosa, continua y no paralela (Figura 34).

Figura 33. (a) y (b) Afloramientos con intercalación de wackestone grises claras con niveles muy delgados de shale calcáreos de la Formación Tablazo (?), en la vía San Vicente-Guamales, sector Canaán. Estaciones 110 y 111.



Figura 34. Afloramiento con intercalación de *mudstone* con lodolitas ligeramente calcáreas muy compactas de la Formación Tablazo (?), en el río Chucurí, sector Guamales. Estación 100.



Hacia el sector de San Agustín se encuentran lodolitas fósiles de color gris oscuro a negras, de muy fuerte carácter calcáreo, moderadamente compactas, leve laminación plana paralela continua de brillo ligeramente vítreo y algunas recristalizaciones de carbonatos sobre superficies de fractura.

Sobre el río Chucurí, en el sector conocido como Cacelata, se observan intercalaciones de potentes capas de caliza de color gris oscuro de tipo *wackestone*, de contenido fósil escaso a nulo, pero numerosas venas delgadas de carbonatos, intercaladas con niveles de shale calcáreos grises oscuros de espesor mucho menor (Figura 35).

Figura 35. Afloramiento con intercalación de *wackestone* con niveles menores de shale calcáreo en la Formación Tablazo (?) sobre el margen Oeste del río Chucurí, sector Cachelata. Estación 171.



Al Suroeste de San Vicente, por la vía que sale desde el Barrio Buenos aires del pueblo hacia la vereda Mérida, afloran sobre la carretera, calizas tipo *mudstone* de color gris medio con moteados internos de colores violáceos y marrón claro sobre las cuales se distinguen finas muscovitas, no fosilíferas.

En la vía San Vicente-Zapatoca, antes de El Boquerón y del sitio conocido como Loma Redonda, se encuentran grandes afloramientos con capas de hasta más de 2 metros de calizas grises y lodolitas grises oscuras muy compactas, en sectores con abundantes nódulos, e intercaladas con shale ligeramente calcáreos (Figura 36).

Figura 36. Afloramiento de lodolitas grises muy compactas de la Formación Tablazo (?) en la vía San Vicente-Zapatoca. Estación 221.



**7.3.5. Formación Simití (?) (Kis):** tiene importante variedad litológica. En general se halla como lodolitas de color gris oscuro, calcáreas, bien compactas, con grandes nódulos en su mayoría de caliza mayores a 15 centímetros de diámetro y que tienen impresiones de costillas de amonites y otros, intercaladas con capas de shale calcáreas más delgadas y en menor proporción. Ocasionalmente no son calcáreas y pueden intercalarse con capas menores de 1 metro de calizas grises oscuras sin fósiles. En las lodolitas calcáreas de buena estratificación y más compactas suelen encontrarse conchillas de bivalvos y amonites recristalizadas, así como venas de cuarzo y carbonatos de hasta 2 centímetros de espesor. Otras manifestaciones frecuentes de la Formación Simití (?) son en intercalaciones de areniscas amarillentas de grano fino, muy compactas, con shale de color gris claro.

Otros tipos de nódulos menos habituales son de colores rojizos con recristalización interna de carbonatos y calcopirita, además de otros grandes, también calcáreos, y que expelen olor a hidrocarburos al golpearlos.

En la vía de Puente Murcia a San Vicente, se encuentran algunos niveles de aproximadamente medio metro de calizas grises oscuras a negras de tipo *mudstone*, masivas y sin contenido fósil, pero más al Norte, en el cruce de la misma vía con la quebrada Paramera, predominan shale de tonalidades grises oscuras a negras, calcáreas, con venillas de carbonatos, intercaladas con delgadas capas de calizas similares a las ya descritas antes (Figura 37). Dentro de estos shales se encuentran nódulos calcáreos muy grandes de hasta 60 centímetros con fósiles de amonites y conchillas de bivalvos e impresiones de los mismos (Figura 38), y otros con calcopirita en su interior.

Figura 37. Afloramiento de shale grises oscuros de la Formación Simití (?) en la quebrada Paramera. Estación 71.

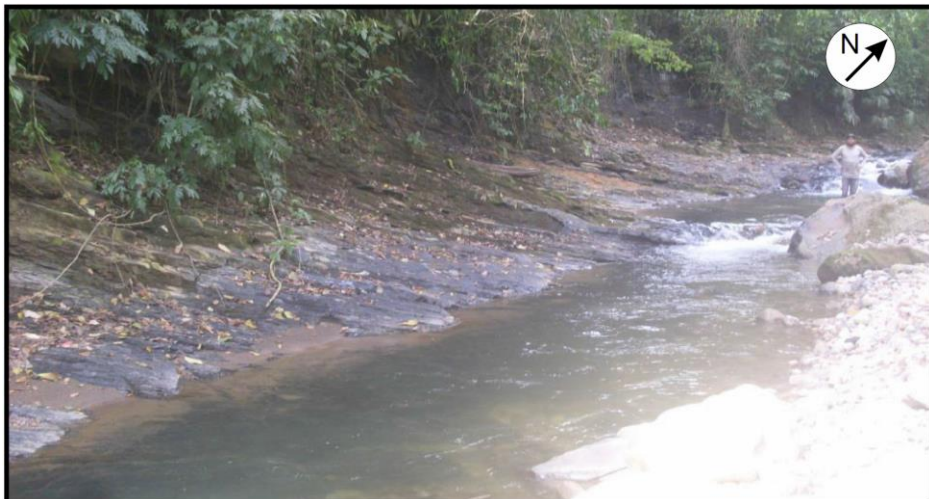


Figura 38. Detalle de de nódulos de caliza con fósiles e impresiones fósiles de amonites de la Formación Simití (?), quebrada Paramera. Estación 71.



En la vía San Vicente-Barrancabermeja, en Villa Río junto al puente vehicular que cruza el río Chucurí, son lodolitas de color gris muy oscuro a negro de fuerte carácter calcáreo, bien compactas y de laminación plana paralela de color gris claro. Más delante de Villa Río, a tal vez unos 2 kilómetros, se encuentran areniscas finas, subarcosas, de color gris claro a gris oscuro y crema, con parches naranjas por oxidación, silíceas, bien calibradas, compactas, con algunas cavidades tal vez dejadas por fragmentos de roca que ya no están y con laminación oscura paralela a ligeramente ondulosa que no es continua en toda la roca. Por la misma vía, desviándose hacia el sector conocido como La Cooperativa, afloran cuarzoareniscas de grano fino y muy fino a subarcosas, con tonalidades amarillentas a grises claras, granosoportadas, de granos subredondeados, bien calibradas y muy compactas. Yendo hacia el Cerro de La Magdalena, desde el sector de Palmira a la Concentración de Desarrollo Rural “José A. Galán”, se tienen shales, de tonalidades grises oscuros compactos (en menor proporción otras meteorizadas de color café oscuro a gris), no calcáreas, de leve laminación plana, con venas planas de carbonato de brillo vítreo de aproximadamente 2 centímetros de grosor que las cortan y con nódulos calcáreos

alargados que al romperse huelen a hidrocarburos de tamaño variable desde algunos centímetros a cerca de 1 metro (Figura 39), intercaladas con niveles menores de areniscas de grano fino a muy fino con tonos pardos a grises oscuros, bien calibradas, compactas, masivas y ligeramente muscovíticas (Figura 40).

Figura 39. Nódulo calcáreo en la Formación Simití (?), vía Palmira hacia la Concentración de Desarrollo Rural “José A. Galán”. Estación 120.



Figura 40. (a) Intercalación de shale con areniscas de grano fino. (b) Se detallan las venas y nódulos calcáreos, en la Formación Simití (?), vía Palmira hacia la Concentración de Desarrollo Rural “José A. Galán”. Estación 121.



Pasando por el sector conocido como El Cairo, en la quebrada El Progreso o Imbombera, hay lodolitas grises oscuras ligeramente físciles (algunas muy alteradas de color gris a naranja y menos compactas), no calcáreas, muy compactas, ligeramente muscovíticas, con una leve laminación calcárea curvada a plana muy discontinua de color blancuzco y venas de carbonatos de 1 a 2 centímetros (Figura 41), con contenido fósil de conchillas recristalizadas de bivalvos tanto completas como rotas (Figura 42). Un poco más adelante por la misma vía, luego de pasar la finca El Progreso, se encuentran limolitas shale de color gris oscuro a negro, calcáreas y muy compactas, con laminación plana paralela continua de color marrón junto con otras delgadas láminas calcáreas de color blanco amarillento, y feldespato alterado dispuesto al azar. En las caras de ruptura de la roca hay desarrollo superficial de brillantes bandas calcáreas negras, sinuosas y discontinuas.

Figura 41. Lodolitas grises muy compactas con venas de carbonatos en la Formación Simití (?), quebrada El Progreso o Imbombera. Estación 138.

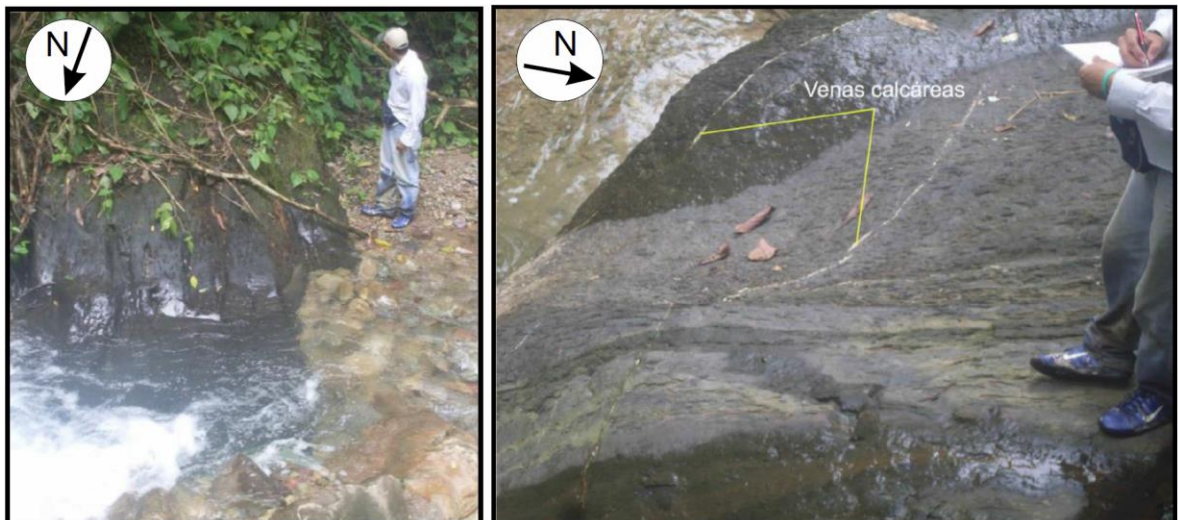


Figura 42. Fragmentos de conchillas recristalizadas de bivalvos en la Formación Simití (?), quebrada El progreso o Imbombera. Estación 136.



Hacia Berlín, las arcillolitas negras, no calcáreas, ligeramente fisiles, tienen grandes impresiones de conchas de amonites y bivalvos sobre algunas superficies de ruptura donde toman tonos violetas y naranjas brillantes, así como una laminación grisácea plana paralela discontinua (Figura 43). En el sector de La Secreta, hay nódulos de aproximadamente 12 a 15 centímetros, de color gris a marrón, ligeramente calcáreos, muy masivos y no se rompen en cascarones. Hacia su núcleo el aspecto es arcilloso de color gris mucho más oscuro con halos de calcopirita que se disponen en torno a un agregado de carbonatos de color negro muy brillante (Figura 44). Sobre la vía que pasa por la escuela de Guamales, que se desvía desde la principal San Vicente - El Carmen, luego de La Primavera, se encuentran lodolitas arcillolitas de color gris muy oscuro, calcáreas, masivas y compactas, con venas blancas de 1 a 2 milímetros de calcita con brillo

vítreo y paralelas, intercaladas con capas de aproximadamente medio metro de calizas lodosas tipo *mudstone*, grises y no fosilíferas.

Figura 43. Afloramiento de arcillolitas de la Formación Simití (?), sector Berlín. (b) Detalle de impresiones fósiles de amonites y bivalvos, sector Berlín. Estación 122.



Figura 44. Nódulos de caliza con recristalización interna de calcopirita y carbonatos de la Formación Simití (?), sector de La Secreta. Estación 121.



## 7.4. CRETÁCIO SUPERIOR

**7.4.1. Formación La Luna (?) (Ksl):** se observa en dos litologías similares. En general, son lodolitas grises oscuras a negras en delgadas capas tabulares a veces intercaladas con niveles más blandos de shale, calcáreos, compactos, masivos, en su gran mayoría con olor a hidrocarburos al golpearlas y con pequeños nódulos calcáreos. También se encuentra como *chert* gris oscuro calcáreo intercalado con niveles más delgados de shale también calcáreos, con marcada laminación plana, nódulos calcáreos de hasta medio metro de diámetro, de color gris y que al golpearlos expelen olor a hidrocarburos. Particularmente estas litologías se encuentran altamente fracturadas a manera de “cubos” con caras muy planas, así como también desarrollan pliegues sinclinales y anticlinales cuyos ejes se orientan en sentido NE-SO. Posiblemente las descripciones aquí presentadas de la formación corresponden con el Miembro Galembó propuesto por Morales *et al.*, (1958) y descrito por O.C. Wheeler en (Ward *et al.*, 1973).

En el trazo de la quebrada La India, en cercanías al sector de La Unión, se encuentra como *chert* calcáreo gris muy oscuro a negro, bien compacto, roto en forma de “cubos”, con una leve laminación plana paralela continua de color gris claro (en algunas muestras la laminación llega a formar pequeños lentes de medio a un centímetro de longitud que bordean pequeñas partículas calcáreas oxidadas incrustadas en la matriz lodosa de la roca y que tienen aspecto de diminutos nódulos,) y que al golpearse da olor a hidrocarburos (Figura 45). La anterior descripción, excepto por la particular laminación en lentes mencionada, coincide con las rocas de la Formación La Luna (?) vistas al NNO de San Vicente en la vereda Barro Amarillo y hacia los sectores de Miraflores y Palestina a lo largo de la vía que va desde el puente Las Arañas, sobre el río Chucurí, hasta Palmira, en las

que su laminación es mayormente plana paralela continua aunque a veces carecen de estructura interna y se presentan muy masivas.

En las estaciones hechas más al Norte, sobre la misma quebrada La India, afloran arcillolitas negras, calcáreas, con importante recristalización de carbonatos en superficie que toman colores grises-verdosos, muy compactas, de suave olor a hidrocarburos al golpearse, con algunas venillas muy delgadas y sinuosas de óxidos, y una laminación de color negro, plana paralela y continua que contrasta con otra calcárea de color blanco, ligeramente ondulosa y discontinua, y que está en menor proporción. Además, aquí se encuentran nódulos de geometría muy circular y de casi medio metro de diámetro (Figura 46).

Figura 45. Afloramiento de *chert* calcáreo oscuro muy compacto de la Formación La Luna (?) en la quebrada La India. Estación 117.



Figura 46. (a) Afloramiento con intercalación de arcillolitas calcáreas muy compactas con niveles menores de shale en la Formación La Luna (?). (b) Detalle de nódulos de calizas masivas, quebrada La India. Estación 118.



Por la vía que conduce a La Unión desde el sector de Colepato, son arcillolitas de color gris muy oscuro, calcáreas, bien compactas, con laminación plana paralela continua que desarrolla delgadas bandas calcáreas de color amarillo claro. Además se encuentran nódulos calcáreos de unos 5 centímetros de diámetro, alargados, de tonalidades grises, con una apariencia muy similar a la de la roca en la que están.

Llegando al sector de El Filón, por la vía que conduce desde el Cerro de La Magdalena se encuentran, tanto lodolitas muy oscuras casi negras, de carácter

calcáreo muy fuerte, muy compactas, de fuerte olor a hidrocarburos al golpearlas, rotas en “cubos”, con carbonatos recristalizados en superficie, abundante contenido micáceo muy fino y laminadas de manera plana paralela discontinua de carbonatos traslúcidos, así como otras lodolitas menos frecuentes que son masivas, no calcáreas y que no se percibe olor a hidrocarburos al martillarlas. En este sector se encontró un pliegue tipo *chevron* (Figura 47).

En la vía que conduce de San Vicente a Barrancabermeja luego de pasar el río Chucurí en Villa Río, pero antes de Palmira, tenemos un *chert* de color gris medio, calcáreo, muy compacto, de fuerte olor a hidrocarburos al golpearlo, con laminación blancuzca paralela continua plana a curvada, además de una aparente leve biotita diseminada (Figura 48).

Figura 47. Pliegue tipo *chevron* en la Formación La Luna (?), sector El Filón. Estación 130.



Figura 48. Afloramiento de *chert* calcáreo gris oscuro a negro de la Formación La Luna (?), en la vía San Vicente-Barrancabermeja, entre los sectores de Villa Río y Palmira. Estación 115.



**7.4.2. Formación Umir (?) (Ksu):** son básicamente shale de color gris oscuro, con muchos nódulos calcáreos de un par de centímetros, intercaladas con delgados niveles de limolitas grises claras, compactas y con laminación interna. Algunos shales presentan escasas impresiones de conchillas de bivalvos. Esta formación se caracteriza por su topografía suave, desarrollando valles en las zonas topográficamente más bajas de la región, que son lugar de grandes extensiones de cultivos.

Por la vía que conduce de San Vicente a Barrancabermeja, entre el sector de Colepato y el puente de la vereda Llana Caliente, se encuentran lodolitas de color gris claro, no calcáreas, moderadamente compactas, con laminación de color negro plana, continua a discontinua, junto con otras de brillo vítreo curvadas no paralelas y discontinuas. En sus caras expuestas y algunos planos de fractura

exhiben manchas de color naranja por oxidación y se encuentra también carbonato recristalizado (Figura 49).

Figura 49. Afloramiento con intercalación de shale nodulares con niveles limolíticos en la Formación Umir (?), en la vía San Vicente - Barrancabermeja, sector Colepato. Estación 162.



## 7.5. PALEÓGENO-NEÓGENO

**7.5.1. Formación Lisama (?) (Tpl):** los mejores afloramientos de esta formación se encuentran en la vía San Vicente-Barrancabermeja y está conformada, en general, por limolitas de tonos grises claros a rojizos, intercaladas con niveles menores de shale. Aflora también como areniscas de grano muy fino a fino de color gris, ligeramente calcáreas, compactas, y micáceas, con pequeños nódulos

no calcáreas de aproximadamente 5 centímetros y delgados niveles carbonosos de cercanos a los 10 centímetros de espesor que no se encuentran con facilidad.

En la vía San Vicente-Barrancabermeja, tomando algunos desvíos, se llega a inmediaciones de El Trianón y El Marcito, donde son limolitas a limolitas arenosas de color vino tinto a ocre con halos internos de color naranja por oxidación, no calcáreas, bien calibradas y compactas, con una laminación plana paralela a ligeramente ondulosa y otra de delgadas bandas carbonosas. Muy cerca de la finca de El Trianón hay lodolitas arcillolitas fósiles de color gris medio a gris muy oscuro, no calcáreas, algunas masivas y otras laminadas de forma plana paralela, con escasos nódulos de unos 5 centímetros, no calcáreas. Allí, existen capas carbonosas muy brillantes de unos 10 centímetros, entre los niveles arcillolíticos más compactos (Figura 50). En el sector conocido como La Curva, se encuentran limolitas arenosas de color gris claro a gris medio, no calcáreas, muy compactas, finamente muscovíticas, con laminaciones planas paralelas a ligeramente curvada y cruzada, diferenciándose laminas oscuras de otras ligeramente calcáreas más claras. Estas limolitas arenosas están intercaladas con niveles muy delgados de shale (Figura 51).

Figura 50. Afloramiento con un nivel de carbón en la Formación Lisama (?), sobre la vía después de la finca El Trianón hacia El Marcito. Estación 160.



Figura 51. Afloramiento de limolitas arenosas muy compactas intercaladas con shale de la Formación Lisama (?), en el sector de La Curva. Estación 156.



En el sector conocido como Colepato, son limolitas arenosas a areniscas limosas de color gris claro, muy compactas, con marcada laminación plana a ligeramente curvada paralela continua de color oscuro que reacciona al HCl diluido, y en diversas caras de la roca se ven carbonatos recristalizados (Figura 52). En otras muestras de roca del mismo sitio alcanzan a distinguirse laminaciones cruzadas. También muy cerca de allí, hay areniscas de grano fino a muy fino de color gris medio, bastante oxidadas, ligeramente calcáreas, muy bien calibradas, masivas, con muscovita en algunas de las rocas finamente distribuida.

Figura 52. Afloramiento de areniscas limosas grises de la Formación Lisama (?) en la vía San Vicente - Barrancabermeja, sector Colepato. Estación 163.



## 7.6. ESPESORES DEFINIDOS

En la construcción de las secciones geológicas, además de seguir los principios geométricos de balanceo, se deben definir previamente los espesores que se van a usar para cada unidad litoestratigráfica (Tabla 1). La ausencia de información de pozos y líneas sísmicas interpretadas, limitan la determinación de los espesores netamente a los datos obtenidos a partir del mapa geológico elaborado y plasmados en los cortes estructurales, respetando con precisión los sectores donde afloran las formaciones y los buzamientos de sus capas (Anexo B). Se hace una comparación de los espesores reportados en la memoria del Cuadrángulo H-12 Bucaramanga en algunas localidades tipo, con respecto a los que se presentan en los cortes.

Los tres modelos estructurales que se presentan fueron elaborados con una orientación aproximada E-O perpendicular al rumbo de las formaciones y estructuras. En ellos se mantuvieron constantes los espesores arriba definidos de las formaciones, mientras que hacia el Este de la Falla del Suárez, se evidencia en el Corte C-C' un cambio de espesor de la Formación Girón que se acuña en un sentido Oeste-Este (Anexo H), variando desde aproximadamente 4650 metros en la localidad tipo (río Lebrija), Cuadrángulo H-12, hasta cero en el sector Este de La Mesa de Los Santos (Ward *et al.*, 1973).

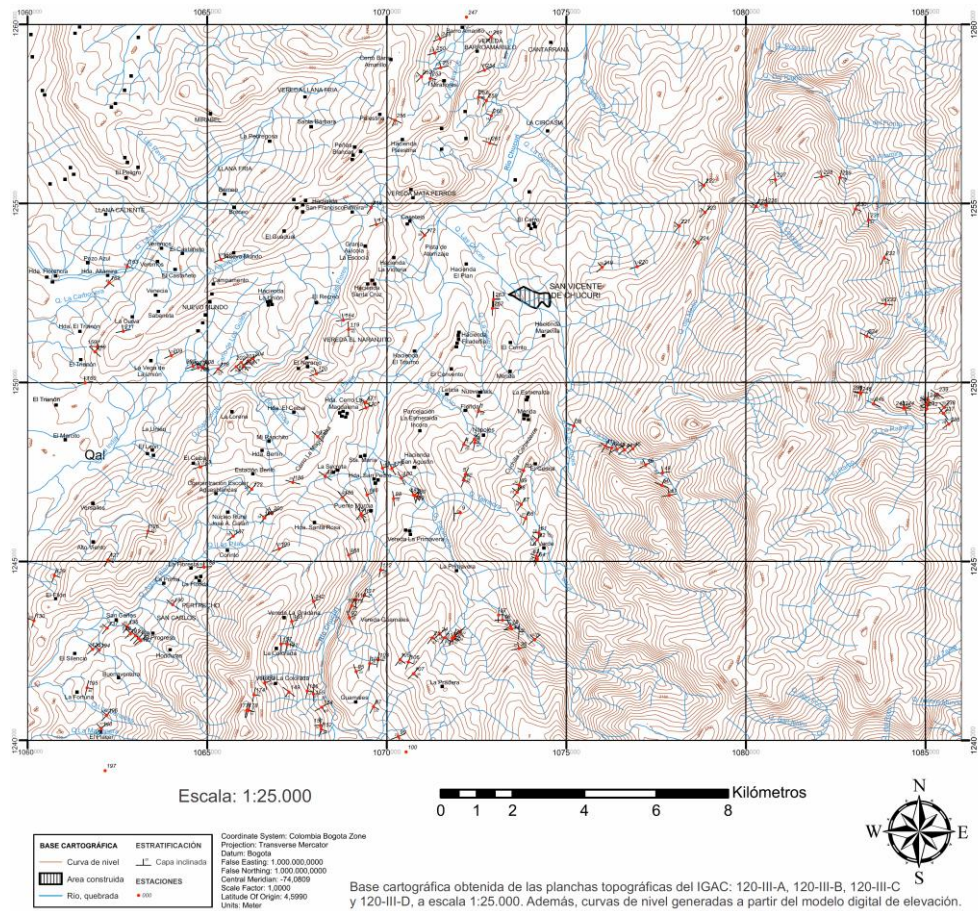
Tabla 1. Espesores de las formaciones litoestratigráficas.

Unidad Litoestratigráfica	Espesor definido (m)	Espesores reportados (Ward <i>et al.</i> , 1973)		
		Espesor (m)	Miembros	Localidad
Formación Lisama	1150	1225		Quebrada Lisama (Sur del río Sogamoso)
		1100		
Formación Umir	150			
Formación La Luna	505	180	Galembo	Cerro Galembo
			Pujamana	Quebrada Pujamana
		50	Salada	Quebrada Salada
		247	Galembo	Pozos La Cira - Infantas y Llanito (VMM)
		213-234	Pujamana	
		107-131	Salada	
Formación Simití	505	460-550		Oeste de Bucaramanga
		655		Pozo La Cira - Infantas (VMM)
		598		Pozo Llanito (VMM)
Formación Tablazo	238.6	150		Puente Tablazo (río Sogamoso)
		186,5		Río Sogamoso
		278		
Formación Paja	328.5	625		Confluencia quebrada La Paja y río Sogamoso
Formación Rosablanca	425	425		Puente Tablazo (río Sogamoso)
		428		Quebrada Pujamanes
Formación Los Santos	508	650		Valle del río Lebrija
		366		Quebrada Piedra Azul
Formación Girón	4000	4650		Cañón del río Lebrija
		3500		
		2650-2950		

## 7.7. MAPA DE ESTACIONES

En el siguiente mapa se indican enumeradas las estaciones de campo en las cuales se adelantó la toma de datos estructurales y estratigráficos en afloramientos (Figura 53).

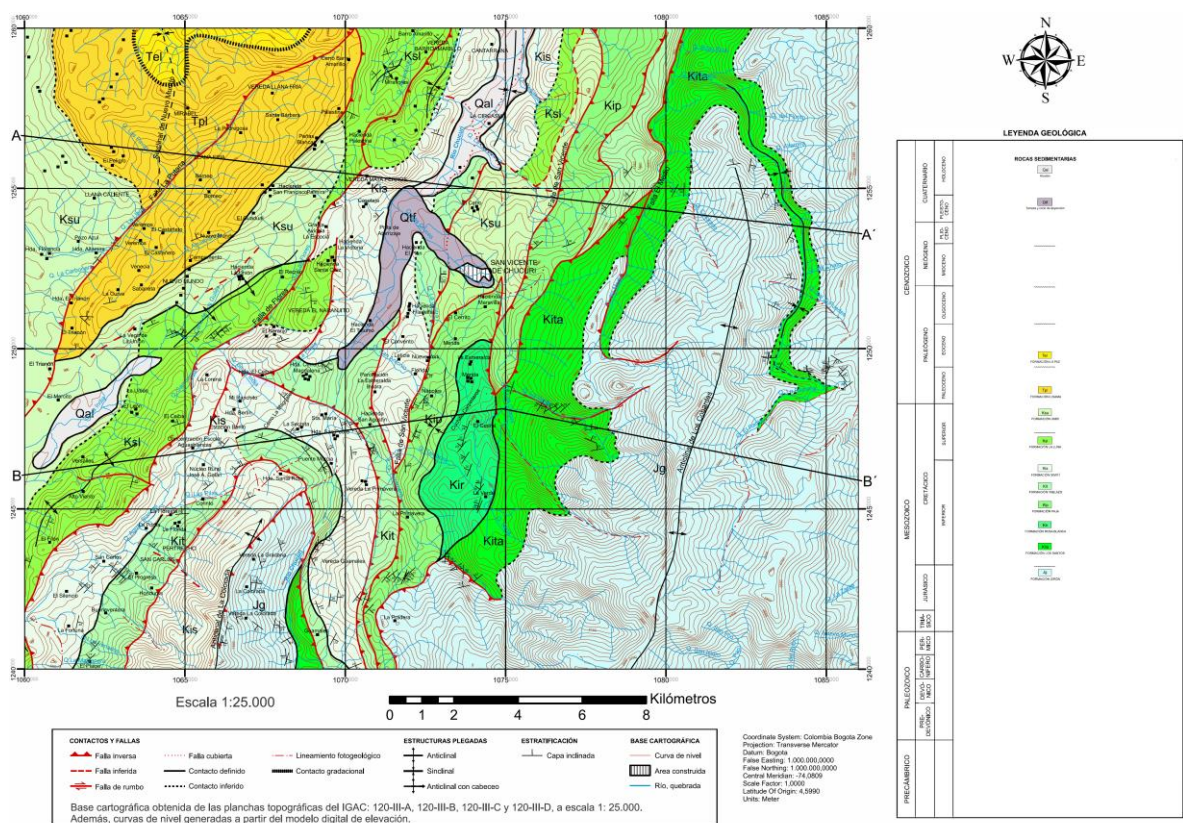
Figura 53. Mapa de estaciones de la zona de estudio. Anexo A.



## 7.8. MAPA GEOLÓGICO LOCAL DE SAN VICENTE DE CHUCURÍ, SANTANDER

Se presenta el mapa geológico donde se observan las diferentes formaciones aflorantes junto con las estructuras de fallamientos y plegamientos que controlan la configuración de la zona de estudio (Figura 54, Anexo C).

Figura 54. Mapa Geológico local de San Vicente, Santander. Se muestran las líneas de los cortes A-A' y B-B'. Anexo C.



## 7.9. MODELOS GEOLÓGICOS LOCALES

Figura 55. Modelo estructural A-A'. Escalas vertical y horizontal iguales. Anexo D.

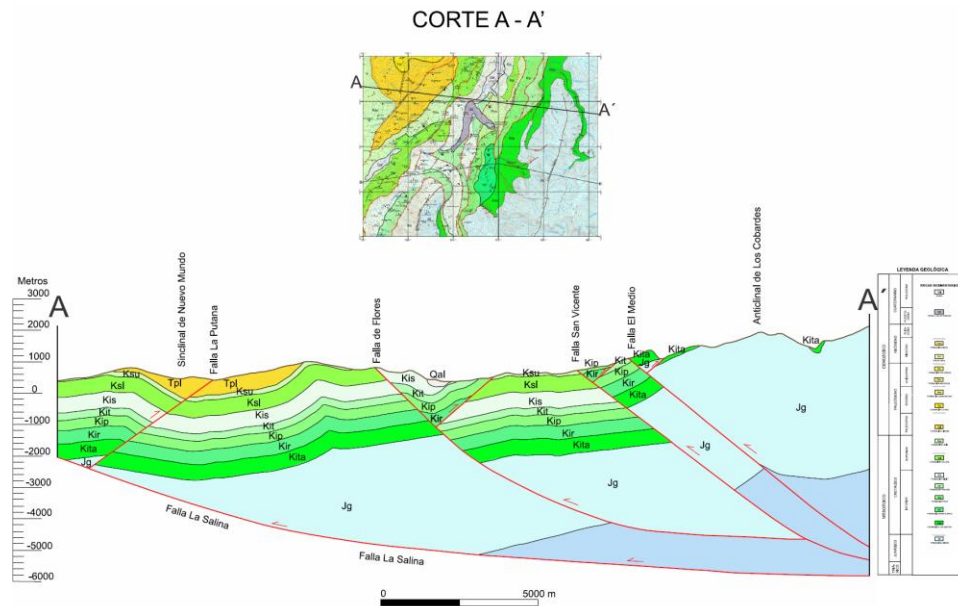
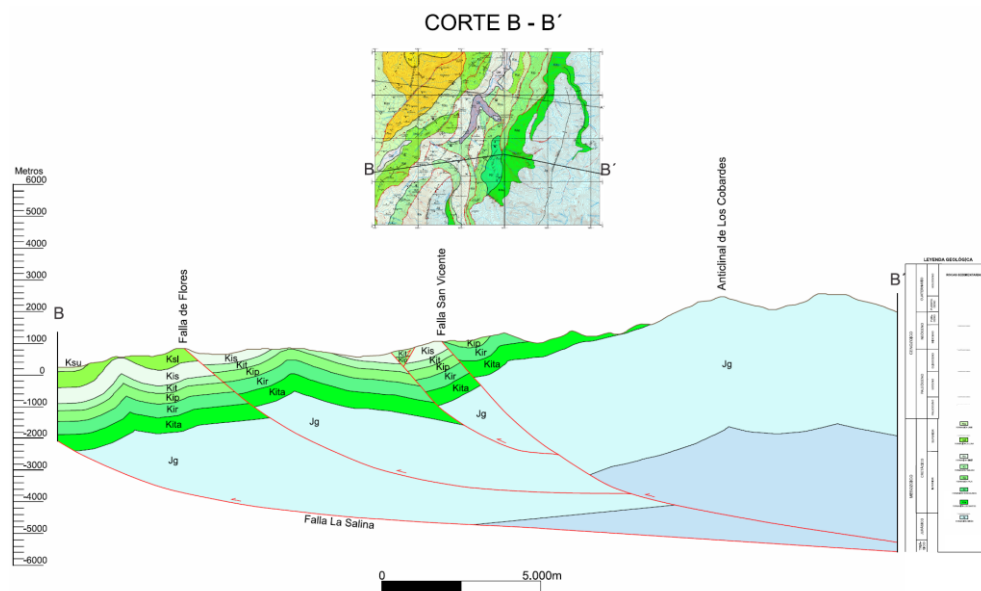


Figura 56. Modelo estructural B-B'. Escalas vertical y horizontal iguales. Anexo E.



## 7.10. ESTRUCTURAS

En el área de trabajo se observaron estructuras con orientación preferencial NNE, tanto para fallas y pliegues. Las fallas principales son de tipo inverso con una vergencia hacia el Oeste y algunas fallas de tipo *back-thrust* que se derivan de estas como resultado de la dinámica compresiva. Estas estructuras llegan a involucrar grandes desplazamientos al evidenciarse marcados saltos estratigráficos. Las estructuras de plegamiento principales se ubican hacia el Sur de la zona donde se desarrollan anticlinales, y al NNO un sinclinal, junto con algunas series de pliegues sinclinales - anticlinales menores.

**7.10.1. Falla El Medio:** se denomina así a la falla que sigue el trazo de la quebrada El Medio. Es una falla inversa, de alto ángulo, de vergencia Oeste y rumbo NNE que afecta rocas de edad Jurásica poniendo en contacto la Formación Los Santos al Este con las formaciones Tablazo (?) al Norte y Paja (?) más hacia el Sur. Es una falla de retrocabalgamiento derivada de la Falla San Vicente y junto con esta, hacen parte del límite Oeste del Anticlinal de Los Cobardes (Anexos C y D).

**7.10.2. Falla de San Vicente:** es una falla inversa, de alto ángulo, con rumbo NNE, y vergencia Oeste que se encuentra afectando rocas Jurásicas y la secuencia Cretácica suprayacente. Hacia San Vicente, pone en contacto rocas de las formaciones Paja (?) hacia el Este y Umir (?) al Oeste, mientras que hacia el Sur la Formación Paja (?) está en contacto con las formaciones Tablazo (?) y Simití (?) al Oeste. Hacia el sector de Nápoles, esta estructura genera un plegamiento local de tipo anticlinal que fue medido en la Formación Paja (?) (Anexos), y a su vez lo limita por su flanco Oeste.

**7.10.3. Falla de Flores:** se denomina así por seguir el trazo de la quebrada Las Flores. Es de tipo inverso, con rumbo NNE, de alto ángulo y vergencia Oeste derivada de la Falla San Vicente y afectando rocas de edad Jurásica y la secuencia Cretácica. En algunos sectores, como ocurre más al Norte, afecta rocas dentro de una misma formación (Formación Luna (?)), además de exhibir cabalgamientos de formaciones del Cretácico Inferior (Formación Simití (?)) sobre rocas del Cretácico Superior (formaciones Luna (?) y Umir (?)) (Anexos C, D y H).

**7.10.4. Falla La Putana:** falla inversa con vergencia Este y rumbo NNE, derivada de la Falla La Salina como una estructura *back-thrust* que afecta el flanco Este del Sinclinal de Nuevo Mundo (Anexos C y D). Pone en contacto unidades Cretácicas Superiores (Formación Umir (?)) con unidades Cenozoicas (Formación Lisama (?)), así como rocas de edad Cenozoica de la misma formación.

Además de las fallas mencionadas anteriormente, dentro de la zona de estudio se encuentran otras fallas que mantienen la vergencia hacia el Oeste, y despegan a profundidad de fallas principales como La Salina y San Vicente. En general estas estructuras establecen contacto entre unidades Cretácicas y en algunos casos con unidades Jurásicas. Un ejemplo de esto último es la falla que se encuentra hacia la vereda La Colorada, donde el eje del anticlinal del mismo nombre está fallado, poniendo en contacto la Formación Girón en su flanco Este con la Formación Simití (?) en el flanco Oeste (Anexos C-H).

A partir de las fallas con vergencia Oeste, se derivan otra serie de fallas de vergencia opuesta, que son interpretadas como estructuras tipo *back-thrust*. Las fallas San Vicente y Las Flores presentan este tipo de estructuras afectando la

secuencia Cretácica, mientras que otros *back-thrust*, como la Falla El Medio, se encuentra afectando rocas tanto Jurásicas como Cretácicas (Anexos C-H).

**7.10.5. Sinclinal de Nuevo Mundo:** estructura amplia, ligeramente asimétrica, cuyo eje está recargado hacia su flanco Oeste (Royero y Clavijo, 2001). Presenta una orientación aproximada NNE, y se encuentra limitada al Oeste por la Falla La Salina, y al Este por La Falla La Putana que corta su eje y sigue extendiéndose al Norte bordeando su flanco. Dentro de la zona de estudio, se encuentra aflorando la Formación La Paz hacia su núcleo y la Formación Lisama (?) hacia sus flancos (Anexos C y D).

**7.10.6. Anticlinal de Los Cobardes:** estructura orientada NNE, de longitud aproximada de 80 kilómetros, ligeramente asimétrica, con su flanco Este más inclinado que el Oeste, cabecea hacia el Sur, mientras hacia el Noreste es truncado por la Falla Bucaramanga – Santa Marta (Royero y Clavijo, 2001). Se ubica hacia la parte Este de la zona de estudio, y está constituida hacia su núcleo por rocas de la Formación Girón, y hacia sus flancos por unidades Cretácicas Inferiores (formaciones Los Santos y Rosablanca). Limitado hacia el Oeste por las fallas de San Vicente y El Medio, y hacia el Este por la Falla del Suárez (Royero y Clavijo, 2001) (Anexos C-H).

**7.10.7. Anticlinal de La Colorada:** se propone este nombre por ubicarse sobre la vereda La Colorada, hacia el Suroeste de la zona de estudio. Con una orientación NNE, cabecea al Norte, su eje axial es afectado por una falla que pone en contacto las formaciones Girón y Simití (?), además, sus flancos se encuentran limitados también por fallamientos inversos. Las formaciones Tablazo (?) y Simití (?) conforman su flanco Oeste, y Los Santos, Tablazo (?) y Girón el flanco Este.

Se definió un contacto de tipo neto entre las formaciones Girón y Los Santos en el flanco Este, sobre el río Chucurí (Anexo C, F y H).

Pliegues más locales de tipo sinclinal-anticlinal, se encuentran en las formaciones La Luna (?) y Simití (?). Los primeros, relacionados con la Falla de Flores y ubicados sobre el bloque yacente de esta estructura, con una orientación NNE que coincide con el rumbo general de las estructuras regionales mayores. Sobre la formación Simití (?) se tiene un pliegue sinclinal inferido, con rumbo N-NE influenciado posiblemente por acción del *back-thrust* de esta falla.

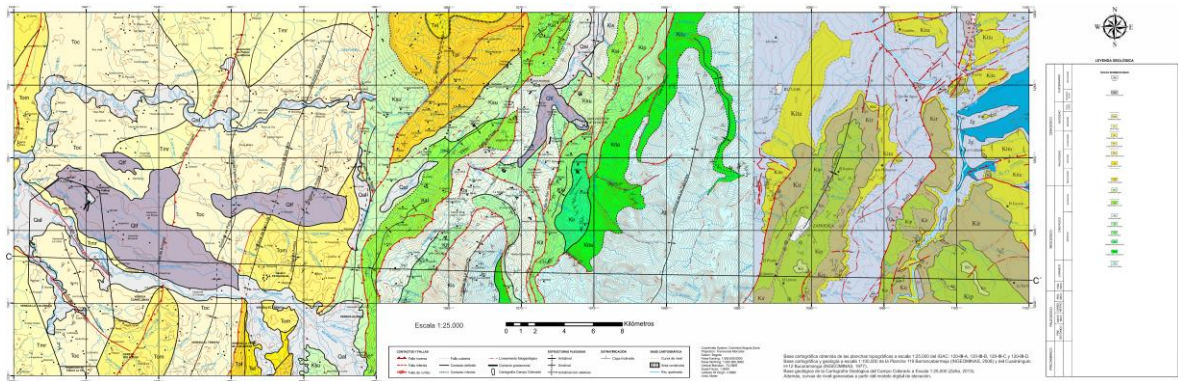
#### **7.11. INTEGRACIÓN DE LA GEOLOGÍA LOCAL DEL ÁREA DE ESTUDIO CON LA GEOLOGÍA REGIONAL**

Como parte de los objetivos planteados en este trabajo, se busca vincular la geología de la zona de estudio dentro de un marco más regional para entender mejor el contexto geológico del cual hace parte. Por ello, se presentan un mapa geológico regional (Anexo F) y un modelo estructural de orientación aproximada E-O (Anexo H), que permiten ver la relación que tienen las estructuras locales con las regionales, y a su vez, integrarlo con la información existente del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga, la Plancha Geológica 119 Barrancabermeja y la Cartografía de Campo Colorado.

El modelo geológico que resulta hacia el VMM, en el área de Campo Escuela Colorado, es coherente con el modelo geológico presentado por Chajín *et al.*, (2013).

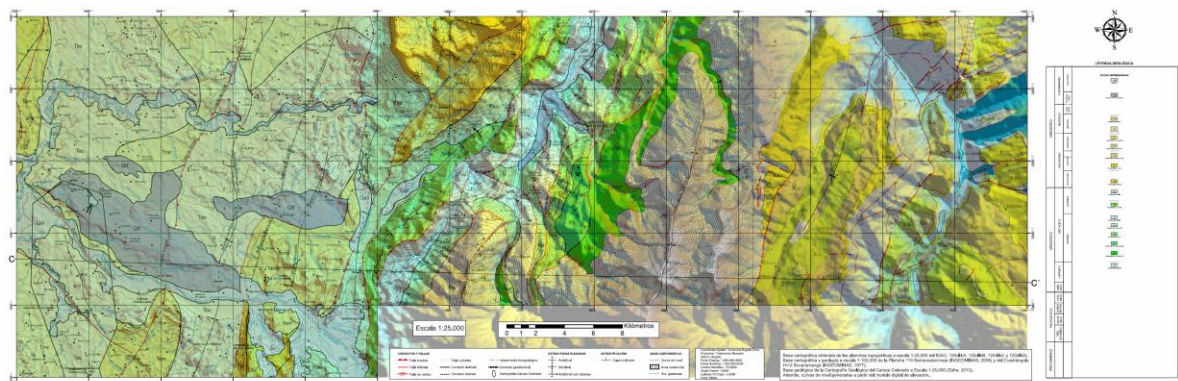
### 7.11.1. Mapa Geológico Regional

Figura 57. Mapa geológico regional. Anexo F.



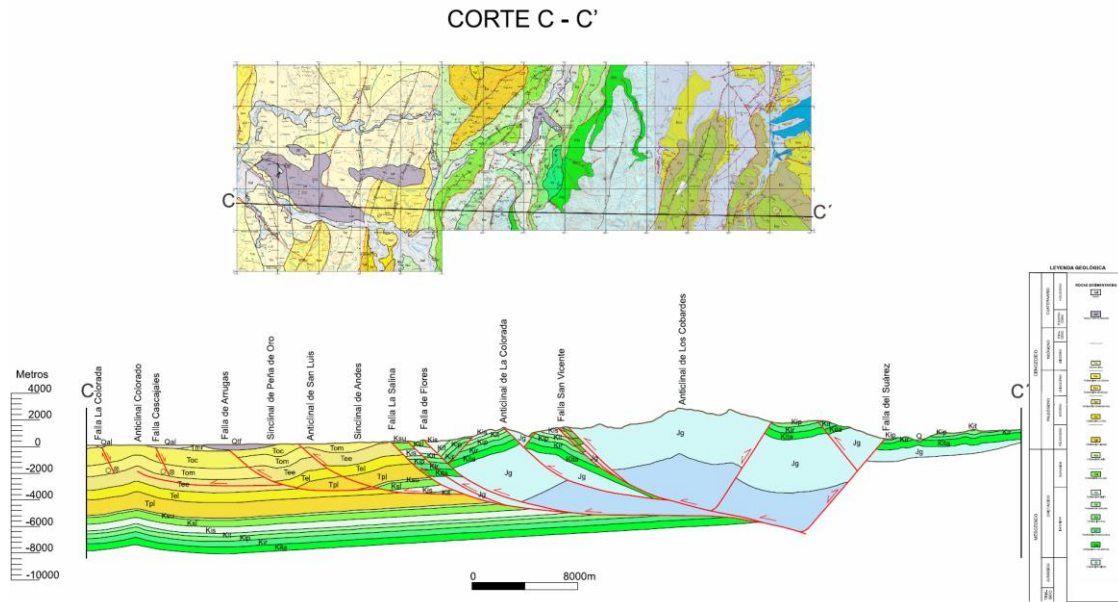
### 7.11.2. Mapa Geológico Regional con el DEM

Figura 58. Mapa geológico regional con el DEM. Anexo G.



### 7.11.3. Modelo Estructural Regional

Figura 59. Modelo estructural regional C-C'. Escalas vertical y horizontal iguales. Anexo H.



## 8 DISCUSIÓN

Es ideal explicar el estilo estructural del piedemonte Oeste de la Cordillera Oriental, junto con el estilo del VMM y observar cómo se dispone en zonas del Campo Colorado.

### 8.1. ESTILO ESTRUCTURAL

La evolución del modelo compresivo que ha afectado al piedemonte Oeste de la Cordillera Oriental, cuenta con características tanto del modelo tectónico de *thin-skinned* como de *thick-skinned* (Coward, 1983). En las secciones geológicas balanceadas construidas se hace evidente la vinculación, de las rocas Jurásicas de la Formación Girón, en la dinámica de acortamiento sufrida. Es posible definir fallas en superficie a raíz de los importantes saltos estratigráficos y/o cambios litológicos laterales que son hallados, incluso a veces, en distancias bastante cortas. Estos cambios ocurren, por ejemplo, entre formaciones geológicas que no son fieles a la secuencia estratigráfica de la región involucrando pérdida de una o varias de estas, permitiendo inferir el gran desplazamiento vertical que debió ocurrir a profundidad. De esta manera, es viable proponer que tales fallas definidas en superficie son controladas y deben derivarse de otra gran estructura en el subsuelo como resultado de los grandes esfuerzos a los que han sido sometidas. Además, y aunque no ocurre como regla general para nuestro caso, las fallas suelen coincidir con sectores donde los buzamientos medidos en las formaciones aflorantes son bastante altos constituyendo un claro indicio del elevado ángulo con el que estas estructuras terminan aflorando, y que debe mantenerse hasta algún punto en profundidad donde tienden a disminuir su

buzamiento e incluso a horizontalizarse, como puede verse en el modelo interpretado de la Línea Sísmica Trasandina (ANH, 2006).

Para poder contar con la geometría de rampas y *flats* a gran profundidad que afecten al basamento y no solo a la cobertera sedimentaria, es vital la presencia de estructuras previas a la inversión tectónica (Coward, 1983) que reactivaran desde un gran *detachment* las antiguas fallas normales de cuencas extensionales en el antiguo *rifting* Mesozoico (Colleta *et al.*, 1990) y constituyeran un medio óptimo para el desplazamiento y acortamiento cortical. Los cambios de espesor registrados en formaciones como Simití y más explícitamente en la Formación Girón, son resultado de la presencia muy temprana de fallas que pudieron constituir barreras al momento de la depositación de las formaciones.

Otro aspecto importante está dado por el desarrollo de grandes estructuras plegadas como lo son, entre otras de menor tamaño, el sinclinal de Nuevo Mundo, Anticlinal de Los Cobardes y el propiamente mencionado Anticlinal de La Colorada. Todas las anteriores están influenciadas por el esfuerzo responsable del desplazamiento de material a lo largo de las fallas, pero aún más relacionado al modelo de *thick-skinned*, es el hecho de que en las dos últimas se encuentran rocas de edad Jurásica en su núcleo e involucradas plenamente en uno de sus flancos con su eje altamente fallado, respectivamente. Tener las rocas más antiguas aflorando en algunos sectores fortalece la idea de que estas no se hallan planas sino enormemente afectadas (ver cortes geológicos).

Dejando a un lado el piedemonte, y yendo hacia el VMM, se encuentra menos acción de fallas a profundidad que afecten a la par tanto a rocas Jurásicas como a

la secuencia Cretácica y demás unidades suprayacentes, incluso son comunes fallas profundas que no afloran debido a la no exposición de unidades Cretácicas sino Paleógenas-Neógenas posteriores a la dinámica de las fallas, como puede verse en el Perfil Geológico A-A' de la Plancha 119, Barrancabermeja (INGEOMINAS, 2008) (Anexo I). A diferencia de la sección geológica hacia el Este, aquí no se encuentran las rocas más antiguas aflorando. Los desplazamientos verticales a lo largo de las fallas a profundidad han de ser mucho menores permaneciendo uniforme la secuencia sedimentaria sin grandes alteraciones. Así, es posible interpretar que los despegues de las fallas aflorantes se encuentran más superficialmente, derivados de alguna otra falla que actúa a mayor profundidad y con mayor magnitud. Aquí, la geometría de rampas y *flats* de los fallamientos se dispone sobre el basamento y debe afectar un espesor mucho menor que el de modelos de *thick-skinned*, rompiendo a través de las unidades menos competentes.

Si bien no se llevó a cabo una restauración de las secciones geológicas, los acortamientos habrán de ser mayores en aquellos lugares donde es más fuerte la reactivación tectónica de fallas y la asociada generación de pliegues, y que puede acentuarse aún más si se tienen, como ocurre en este caso, secuencias de fallamiento de tipo *back-thrust* que afectan a las delgadas y menos competentes unidades superiores, y provienen de las fallas principales ajustadas ya sea al modelo de *thin-skinned* o de *thick-skinned*.

En general, los acortamientos pueden variar dependiendo del volumen de roca que desplazan y la profundidad desde la que actúan, siendo mayor el acortamiento en las formaciones geológicas afectadas sin involucrar basamento por la facilidad que implica mover menores espesores de roca en ángulos de

despegue más suaves (haciendo alusión a un modelo tectónico de *thin-skinned*), a diferencia de los grandes volúmenes de roca que llegan a afectar al basamento y son desplazados con marcada verticalidad sobre inclinados planos de falla con el consecuente desarrollo de topografías más abruptas (aludiendo al modelo opuesto).

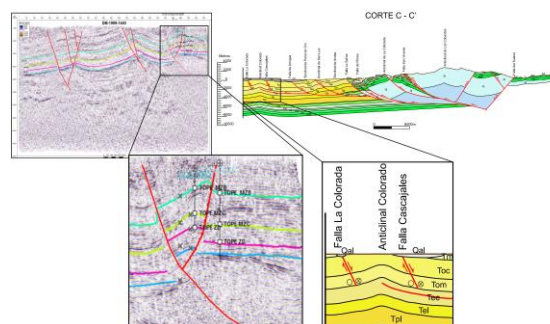
Hacia el Oeste, en inmediaciones del Campo Colorado, se acentúa la acción de una cinemática de rumbo sinistral que concuerda con la atenuación del fuerte fallamiento inverso. Estas fallas posteriores a los despegues profundos afectan a las formaciones Cenozoicas con un componente transpresivo que permite la evolución de pliegues con una orientación de rumbo similar a la de las fallas normales sinestrales de Cascajales y La Colorada, como se muestra en la Cartografía Geológica del Campo Colorado a Escala 1:25.000 (Zafra, 2013) (Anexo J).

Por último, se determina que tanto el modelo de *thin-skinned* como de *thick-skinned* son aplicables a la sección geológica regional C-C', donde las estructuras de *thin-skinned* afectan las formaciones geológicas superiores más jóvenes ubicadas hacia el VMM, mientras las de *thick-skinned* afectan a las rocas más antiguas, Jurásicas-Cretácicas aflorantes, sobre el piedemonte Oeste de la Cordillera Oriental. Toda la sección es segmentada por sucesiones de fallas y pliegues de orientación NNE.

Haciendo énfasis en la geología del Campo Colorado, se puede observar en el corte regional C-C' una estructura de tipo anticlinal controlada por las fallas de Cascajales y La Colorada que resulta de un estilo compresivo de cabalgamientos

en el VMM, similar al estilo que se extiende hacia el piedemonte (Figura 59). Chajín *et al.*, (2013) proponen en la Reinterpretación del Modelo Estructural del Campo Escuela Colorado que su estructura corresponde a un anticlinal asimétrico, cuyo flanco más extenso buza al Este y el más corto al Oeste con inclinaciones entre 25 a 45°, con eje N-S y con cabeceo hacia el Norte, ubicado en el bloque colgante de una falla inversa en sentido N-S con buzamiento hacia el Este denominada como la Falla de Colorado, y que es producto de la interacción de ésta con un retrocabalgamiento inclinado al Oeste que limitan el anticlinal y lo caracterizan como una trampa estructural efectiva. La estructura definida en el corte C-C' es coherente con la presentada por Chajín *et al.*, (2013) a partir de la interpretación sísmica (Figura 60), si bien la información disponible no nos permitió proponer una serie de *back-thrust* a partir de fallas de vergencia Oeste para la zona del Campo Colorado ya que estas fueron definidas como fallas de tipo normal sinestral en Zafra (2013), a diferencia de los numerosos retrocabalgamientos que en cambio pudieron definirse hacia el casco urbano de San Vicente.

Figura 60. Modelo estructural del Campo Escuela Colorado. Estructura anticlinal definida por la línea sísmica DM-1989-1440 y el modelo obtenido del Corte C-C' en Campo Colorado.

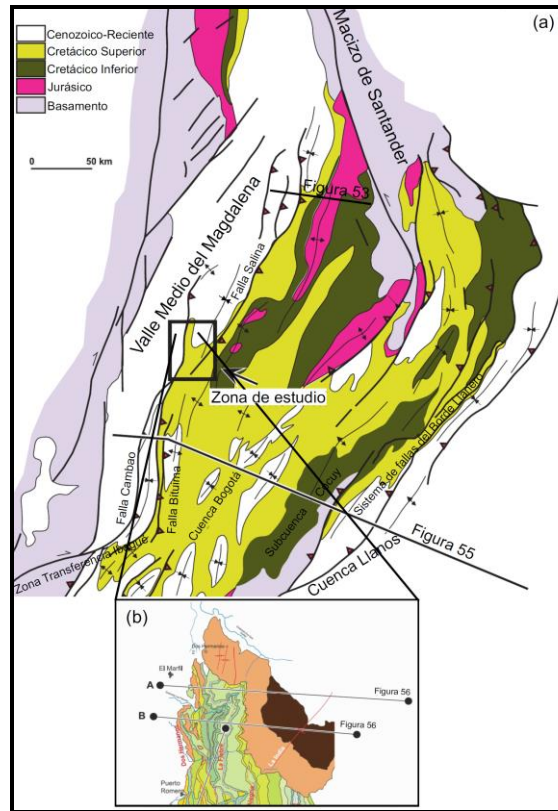


Fuente: Chajín *et al.*, (2013). [Adaptada por los Autores]

Restrepo *et al.*, (2004) proponen que las rocas de la Cordillera Oriental han sufrido *telescoping* y plegamientos, que han generado un cinturón plegado y fallado con vergencia al Este a lo largo del flanco Este, y otro de vergencia Oeste sobre el flanco opuesto, definiéndola con una geometría *pop-up* asimétrica, limitada hacia sus flancos por las cuencas *foreland* Cenozoicas de Los Llanos y del Magdalena Medio (Figura 61a). Hacia el Sur del VMM, analizan el cinturón plegado sobre el flanco Oeste de la Cordillera Oriental, proponiendo un inicio de la deformación Andina durante el Paleoceno tardío a Eoceno Temprano, en forma de vergencia Oeste, cuya mayor fase de levantamiento es resultado de los procesos de inversión tectónica durante el Mioceno Tardío, ocasionados por el esfuerzo debido a eventos de acreción de terrenos occidentales alóctonos a las actuales cordilleras Central, Occidental, y del Arco de Panamá, que transfirieron la deformación hacia el Este mediante un despegue basal intracortical (Figura 62), como lo sugieren Dengo y Covey (1933), Cooper *et al.*, (1995), Roeder y Chamberlain (1995).

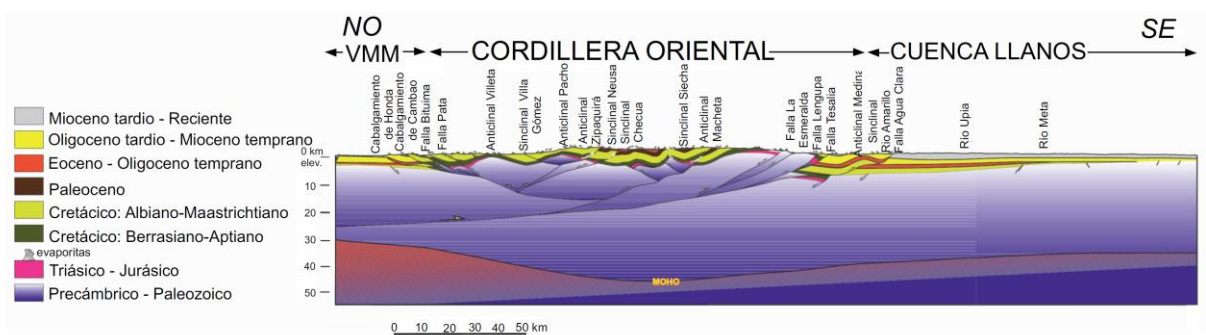
Partiendo de este hecho, que hacia el flanco Este de la Cordillera Oriental las estructuras presentan vergencia Este, se puede inferir una profundidad muy grande para este *detachment*, limitando la acción de sus fallas derivadas exclusivamente a este flanco y que, ajustándolo a nuestro modelo, podría ser un mecanismo análogo responsable de incidir en las estructuras preexistentes de vergencia opuesta en el flanco Oeste que causa retrocabalgamientos a partir de ellas, a diferencia de lo propuesto por Restrepo *et al.*, (2004) en sus cortes más al Norte de su área de estudio (Figuras 61b, 63 A y B) que cuentan con las estructuras más profundas de vergencia Oeste y no habrían de estar afectadas por acción del despegue mencionado anteriormente.

Figura 61. (a) Geología estructural del VMM. (b) Zona Norte del área de estudio y ubicación de los cortes A y B.



Fuente: Restrepo *et al.*, (2004). [Adaptada por los Autores]

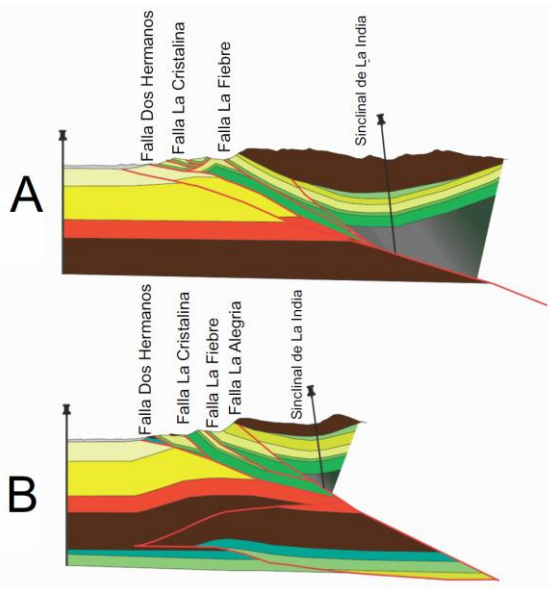
Figura 62. Corte regional de los Andes del Este de Colombia: Cordillera Oriental.



Fuente: Restrepo *et al.*, (2004). [Adaptada por los Autores]

En la zona de estudio, plegamientos anticlinales como La Colorada y Los Cobardes, con rocas Jurásicas hacia su núcleo, permiten proponer niveles de despegue de las fallas sobre la Formación Girón, mucho más profundos que los propuestos hacia el Sur del VMM por Restrepo *et al.*, (2004) quienes también reportan anticlinales al Este de la Falla La Salina con rocas basales Cretácicas haciendo parte del núcleo de estas estructuras (y que asumen como basamento), además de intervalos de shale exhibiendo pliegues apretados e intervalos de *chert* altamente fracturados y alcanzando inclusive pliegues de tipo *chevron* (Figura 47), como pudo verse de modo similar, por ejemplo, en la Formación La Luna en toda su extensión a lo largo del bloque yacente de la Falla de Flores.

Figura 63. Cortes A y B del Cinturón plegado sobre el flanco Oeste de la Cordillera Oriental.

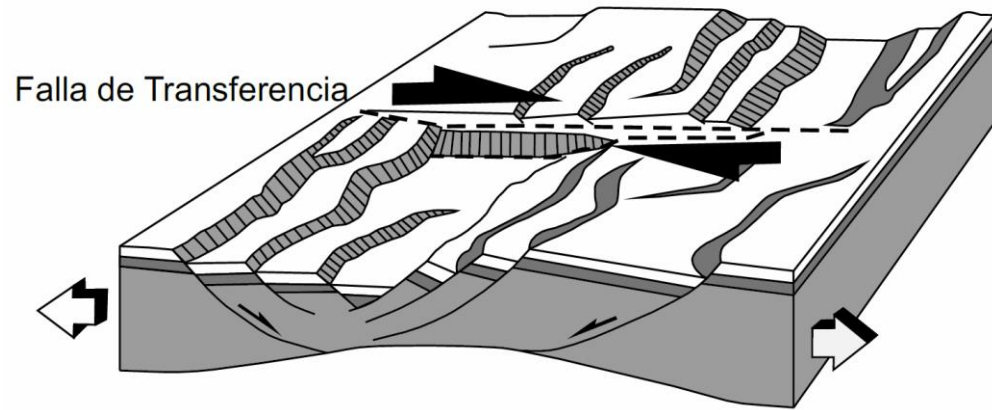


Fuente: Restrepo *et al.*, (2004). [Adaptada por los Autores]

Por último, plantean suaves niveles de despegue, de tipo *thin-skinned*, dentro de las formaciones Paja y Simití, junto con despegues adicionales en Umir, que terminan involucrando la sucesión Cenozoica hacia el frente de fallamiento, situación contraria a lo que sucedería más al Norte hacia San Vicente (Figura 58), donde estos niveles generan *flats* desde rocas Jurásicas y rompen como rampas a lo largo de toda la secuencia Cretácica en ángulos bastante altos. Teniendo esto en cuenta, el modelo tectónico nuestro cuenta con un estilo predominante de *thick-skinned* hacia el piedemonte, pero de *thin-skinned* en el área de Campo Colorado hacia el VMM, donde se llegó a ubicar el despegue de la Falla de Arrugas en la Formación Umir basados en el Perfil Geológico A-A' de la Plancha 119, Barrancabermeja (INGEOMINAS, 2008).

Si bien hay coincidencia en la vergencia Oeste de los principales despegues, en la zona de San Vicente se cuenta con importantes y numerosas secuencias de estructuras *back-thrust* de vergencia Este (que parecen no estar más hacia el Sur del VMM) que afectan tanto a rocas de edad Jurásica, en algunos casos, como a la totalidad de las formaciones Cretácicas. Estos fallamientos debieron ser posteriores a la bivergencia inicial de la Cordillera Oriental y podrían atribuirse a la acción de un modelo de zona de transferencia de cinemática de rumbo de tipo dextral (Figura 64), similar al que ocurre hacia la zona de Ibagué que transfirió la contracción en el cinturón Este fallado de la Cordillera Central a través del sector Oeste de la Cuenca del Magdalena Superior, hacia el cinturón Oeste fallado de la Cordillera Oriental a lo largo de la Cuenca del Magdalena Medio durante el Paleógeno. Un sistema estructural similar a la zona de transferencia de Ibagué existe en el sector Norte de la Cuenca del Magdalena Medio cerca al Campo Provincia (Restrepo *et al.*, 2004). Este último podría ajustarse como el posible mecanismo responsable de la generación de estructuras de retrocabalgamiento con vergencia al Este en la región de San Vicente.

Figura 64. Esquema de una zona de transferencia de cinemática dextral.



Fuente: Ghiglione *et al.*, (2009). [Adaptada por los Autores]

## 9. CONCLUSIONES

En la zona de estudio en San Vicente, afloran formaciones geológicas que abarcan edades desde el Jurásico Tardío al Cenozoico, además de unidades Cuaternarias de tipo fluvial y aluvial reconocibles en el trazo del río Chucurí y en la quebrada La India en sus zonas topográficamente más bajas. Las rocas del Jurásico Tardío corresponden a la Formación Girón; las rocas Cretácicas Inferiores representadas por las formaciones Los Santos, Rosablanca, Paja (?), Tablazo (?) y Simití (?); rocas Cretácicas Superiores por las formaciones La Luna (?) y Umir (?); y finalmente la formación cenozoica Lisama (?).

Los espesores definidos de las formaciones aflorantes se mantienen constantes a lo largo de la zona de estudio, salvo para las formaciones Girón y Simití (?). En la Formación Girón ocurre un adelgazamiento hacia el Este en el bloque yacente de la Falla del Suárez que indica que es una antigua falla normal reactivada, y en el flanco Oeste del anticlinal de La Colorada la Formación Simití (?) se engrosa. Al compararse con los espesores reportados en Ward *et al.*, (1973), para las secciones tipo, se observan que son similares.

Las estructuras de fallamiento y los ejes de plegamientos se encuentran orientados al NNE, similar al rumbo de las formaciones aflorantes. Las fallas principales son de tipo inverso, de alto ángulo con vergencia hacia el Oeste, a partir de las cuales se derivan fallas de retrocabalgamiento (*back-thrust*) con vergencia opuesta. Hacia los núcleos de los principales anticlinales se encuentran aflorando las rocas más antiguas, correspondientes a la Formación Girón.

Las estructuras producto de la dinámica compresiva se acentúan hacia el piedemonte de la Cordillera Oriental, donde actúan fallas inversas de alto ángulo profundas, responsables del afloramiento de rocas Jurásicas y que afectan a su vez la secuencia Cretácica. Hacia el VMM, las fallas son menos profundas, adquieren una importante componente de rumbo sinistral y actúan dentro de la secuencia Cenozoica que aflora.

El estilo estructural de la zona corresponde con un modelo de *thick-skinned* hacia el piedemonte Oeste de la Cordillera Oriental mientras que hacia Campo Colorado, en el VMM, se observa un estilo de *thin-skinned* que muestra la amplia estructura del anticlinal Colorado controlado por las fallas de Cascajales y La Colorada, resultado del estilo compresivo de cabalgamientos que se extiende hacia el piedemonte.

## 10. RECOMENDACIONES

Se recomienda integrar la geología de superficie con información interpretada de datos de sísmica, y registros de pozos, para lograr una representación más real del subsuelo, que a su vez permita definir con más precisión los espesores de las formaciones y el comportamiento de las fallas a profundidad.

En la construcción de secciones balanceadas, realizar el proceso de retrodeformación para calcular el porcentaje de acortamiento, y de esta manera entender las variaciones que ha generado la dinámica regional compresiva y compararlo con otros trabajos que si presentan estos datos.

Ante la dificultad de encontrar estructuras que evidencien fallamiento, fortalecer esta tarea en la etapa de campo buscando elementos como estrías de fallas, que den mayor veracidad. Además, de estudios de familias de diaclasas que permitan generar un modelo cinemático.

Realizar estudios palinológicos y bioestratigráficos que den un grado mayor de veracidad en la identificación de las formaciones geológicas que afloran, y poder determinar cómo está dispuesta la secuencia estratigráfica en la zona de estudio.

## BIBLIOGRAFÍA

BARRERO, D., PARDO, A., VARGAS, C., MARTÍNEZ, J. Colombian sedimentary basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). Edited and compiled by: ANH and B&M Exploration Ltda. Bogotá. 2007, p. 15-50.

BELTRÁN, A., QUINTERO, C. Geología de la Plancha 119, Barrancabermeja. Escala 1: 100.000. INGEOMINAS. Bogotá. 2008.

CABALLERO, V., PARRA, M., MORA, A. 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, 2010, vol. 32, no. 1, p 45-77.

CHAJÍN, P., MIER, R., PALMERA, T. DELGADO, L., LUNA, J. Reinterpretación del Modelo Estructural del Campo Escuela Colorado, VMM, Colombia. En XV Congreso Colombiano de Petróleo y Gas. Noviembre 20 al 22-Corferias. Bogotá, 2013.

CLAVIJO, J., *et al.* Contribución al conocimiento de la geología de los Santanderes. Cuarto Simposio de Geología Regional. INGEOMINAS. Bucaramanga. Documento interno, 1993, p. 99.

COLLETTA, B., HEBRARD, F., LETOUZEY, J., WERNER, P., AND RUDKIEWICZ. J. Tectonic style and crustal structure of the Eastern Cordillera (Colombia) from a balanced cross section, in *Petroleum and Tectonics in Mobile Belts*, edited by J. Letouzey, 1990, p. 81-100.

COOPER, M. A., ADDISON, F. T., ÁLVAREZ, R., CORAL, M., GRAHAM, R. H., HAYWARD, S. H., MARTÍNEZ, J., NAAR, J., PEÑAS, R., PULHAM, A. J., TABORDA, A. Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 1995, vol. 79, no. 10, p. 1421-1443.

CÓRDOBA, F., ROLÓN, L., BUCHELLI, F., SUAREZ, M. Provincia petrolífera del Valle Medio del Magdalena, Colombia. *Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL)*. Santafé de Bogotá, 1996, p. 603-605.

CÓRDOBA, F., LÓPEZ, C., ROLÓN, L., BUCHELLI, F., SOTELO, C. Proyecto evaluación regional del Valle Medio del Magdalena y Cordillera, *ECOPETROL*, informe interno: Bogotá, 2001

COWARD, M. P. Thrust tectonics, thin skinned or thick skinned, and the continuation of thrusts to deep in the crust. Department of Earth Sciences, Leeds University, Leeds, U.K. *Journal of Structural Geology*, 1983, vol. 5, no. 2, p. 113 - 123.

CRUZ GUEVARA, L. E. CABALLERO, V. M. Guía de Laboratorio de Sedimentología para Geólogos. Escuela de Geología, UIS, 2010.

DAHLSTROM, C. D. A. (1969). Balanced cross sections en Foster N.H. y Beaumont E.A. (eds.) Structural concepts and techniques I. Basic concepts, folding and structural techniques. AAPG publicación especial no. 9, 1969, p. 635-659.

DENGO, C. A., COVEY, M.C. Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: implications for trap styles and regional tectonics. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 77, 1993, p. 1315-1337.

ETAYO - SERNA, F. El sistema Cretáceo en la región de Villa de Leiva y zonas próximas: Geología Colombiana, 1968, vol. 5, p. 5-74.

FABRE, A. La subsidencia de la Cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y el Terciario Inferior. Primera parte: Estudio cuantitativo de la subsidencia: Geología Norandina, 1983, vol. 8, p. 22-27.

FOSSSEN, Haakon. Structural Geology. Cambridge University Press, 1er ed. Londres, 2010. 481 p.

GUERRERO, E., DÍAZ, L., CASTAÑO, K., REY, C. Línea Sísmica Trasandina ANH-TR-2006-4A. VMM-Cordillera Oriental. Ariana Ltda., Inforpetrol S.A, Agencia Nacional de Hidrocarburos, ANH, 2006.

INGEOMINAS. Geología del Cuadrángulo H-11, Barrancabermeja. Escala 1:100.000. Edición Preliminar. Bogotá, D. E. 1966.

INGEOMINAS. Upper crust models of Colombia Cross sections and Tectonostratigraphic terrains location map. República de Colombia. Ministerio de Minas y Energía. 2003.

INSTITUT CARTOGRÀFIC I GEOLÒGIC DE CATALUNYA. CARTOGRAFIA I GEODÈSIA. Geologic map. Geological Atlas of Catalonia. The geological cross-sections [Online]. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. [cited: 10 Febrero 2015] Available from Internet: [http://www.igc.cat/web/en/mapageol\\_atles\\_talls.html](http://www.igc.cat/web/en/mapageol_atles_talls.html)

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - IGAC. MAPA BASE. Mapa de Cartografía básica a escala 1: 100.000 y 1: 500.000. [En línea] Instituto Geográfico Agustín Codazzi [citado: 25 Febrero 2015] Disponible en internet: <http://ssiglwps.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapald=7&title=Mapa%20Base>

GHIGLIONE, MATÍAS C. *at el.* Structure and evolution of the austral basin fold-thrust belt, Southern Patagonian Andes. Revista Asociación Geología Argentina, 2009, vol. 65, no.1, p. 215-226.

GLOBAL LAND COVER FACILITY. EARTH SCIENCE DATA INTERFACE. Path/Row Search [cited: 10 October 2014] Disponible en internet: <http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/>

MARSHAK, S Y WOODWARD, N. (1988). Introduction to cross-section balancing. En Marshak, S. Y Mitra, G. *Basic methods of structural geology*, New Jersey, 1988, p. 303-332.

MÉGARD, F. Cordilleran Andes and Marginal Andes: A review of Andean geology north of the Atica Elbow (18°S), *Geodyn*, 1987, vol. 18, p. 71-95.

MITRA, S. (1992). Balanced structural interpretations in fold and thrust belts. En Mitra, S. Y Fisher, G. *Structural geology of fold and thrust belt*, Baltimore, USA, Johns Hopkins University, p. 53-77.

MORALES, L. G. *et al.* General geology and oil occurrences of Middle Magdalena Valley, Colombia. In L. G. Weeks ed. *A symposium conducted by A.A.P.G.: Habitat of Oil*, 1958, p. 641-695.

MORENO, C. J., HORTON, B. K., CABALLERO, V., MORA, A., M., SIERRA, J. 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*, 2011, vol. 32, p. 246-263.

PÉREZ, G., VALENCIA, M. Evaluación geológica del Valle Medio del Magdalena. Informe 588, Div. Explor. Depto. Geol., ECOPETROL, Bogotá. 1977.

RESTREPO - PACE, P. A., F. COLMENARES, C. HIGUERA, AND M. MAYORGA. A Fold and thrust belt along the western flank of the Eastern Cordillera of Colombia-Style, kinematics, and timing constraints derived from seismic data and detailed surface mapping, in K. R. McClay, ed., *Thrust tectonics and hydrocarbon systems: AAPG Memoir 82*, 2004, p. 598– 613.

ROEDER, D., AND R. L. CHAMBERLAIN. Eastern Cordillera of Colombia: Jurassic-Neogene crustal evolution, in A. J. Tankard, R. Suarez-S., and H. J. Welsink, eds., Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62, 1995, p. 633-645.

ROLÓN, L., F. Structural Geometry of the Jura-Cretaceous Rift of the Middle Magdalena Valley Basin-Colombia. Department of Geology and Geography, Morgantown, WV. 2004.

ROYERO, J., CLAVIJO, J. Mapa Geológico Generalizado Departamento de Santander. Bogotá: INGEOMINAS. 2001.

SARMIENTO, L. F. Geology and Hydrocarbon Potential Middle Magdalena Basin. Petroleum Geology of Colombia, 2011, vol. 11, p. 35-60.

SEGGIARO, R. E. Cátedra de geología estructural. Principios básicos de secciones geológicas balanceadas. Curso de capacitación. Estructuras de fajas plegadas. Métodos de construcción de perfiles balanceados. SEGEMAR IGRM. Junio 2000.

SCHAMEL, S. Middle and Upper Magdalena Basins, Colombia: Active Margin Basins, 1991, p. 283-301.

SHAW, J., BILOTTI, F. Seismic interpretation of compressive Structures: field trip in the Front ranges of the southern Canadian Rockymountains. Alberta, Canada, 2011, 110 p.

SUPPE, J. Geometry and kinematic of fault-bend-folding, en Foster N.H. y Beaumont E.A. (eds.) Structural concepts and techniques I. Basic concepts, folding and structural techniques. AAPG publicación especial no.9, 1983, p. 422-461.

TABOADA, A., RIVERA, L. A., FUENZALIDA, A., CISTERNAS, A., PHILIP, H., BIJWAARD, H., OLAYA, J., RIVERA, C. Geodynamics of the northern Andes: subductions and intracontinental deformation (Colombia). Tectonics 19, 2000, p. 787-813.

TABORDA, B. The geology of the de Mares Concession in Geological Field Trips, Colombia. 1958 -1978: Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists, 1965, p. 119-159.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA-BERKELEY. SEISMOLOGICAL LABORATORY. Structural Geology. Laboratory LAB Exercise #7. Balancing & Restoring Cross Sections. [Online]. University of California. [Berkeley, CA., Estados Unidos] University of California-Berkeley: Structural Geology, EPS 116, Thursday, 2 April 2009 [cited: 16 Febrero 2015] Available from Internet: [http://seismo.berkeley.edu/~burgmann/EPS116/labs/lab7\\_xsection/lab7\\_2009.pdf](http://seismo.berkeley.edu/~burgmann/EPS116/labs/lab7_xsection/lab7_2009.pdf)

WARD, D. E., GOLDSMITH R., JIMENO, A., CRUZ, J., RESTREPO, H., GÓMEZ, E. Mapa Geológico de Colombia Cuadrángulo H-12, Bucaramanga. Planchas 109 Rionegro - 120 Bucaramanga, Cuadrángulo H-13, Pamplona. Planchas 110 Pamplona - 121 Cerrito. Escala 1: 100.000. Memoria explicativa. Colombia. 1973. Colombia Ministerio de Minas y Petróleos, Inst. Nal. Inv. Geológico – Mineras.

WARD, D. E., GOLDSMITH, R., JIMENO, A., CRUZ, J., RESTREPO, H., GÓMEZ, E. Geología de la Plancha 120, Bucaramanga. Escala 1: 100.000. INGEOMINAS. Bogotá. 1977.

WARD, D. E., GOLDSMITH, R., JIMENO, A., CRUZ J., RESTREPO, H., GÓMEZ E. Mapa Geológico del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga. Escala 1: 100.000. INGEOMINAS. 1977.

ZAFRA, E. Cartografía geológica del Campo Colorado a escala 1: 25.000. Tesis de Pregrado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología, 2013. 118 p.