

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				 SC 7384-1 SA-CERES 597526 OS-CER 597555		
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 19 de Octubre del 2020

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Angie Julieth Muñoz Cerquera, con C.C. No. 1075287559

Nohora Andrea Quintero Villegas, con C.C. No. 1075268508

Andrés Fernando Perdomo Leyva, con C.C. No. 1075291769

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado

Titulado LEVANTAMIENTO ESTRATIGRAFICO DETALLADO DEL MIEBRO SHALE DE BAMBUCAS EN EL SECTOR DE PALERMO VEREDA LAS BRISAS presentado y aprobado en el año 2020 como requisito para optar al título de Ingeniero de Petróleos; Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Joneth Cerquera

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma:

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				   	
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO					
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA 1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: LEVANTAMIENTO ESTRATIGRAFICO DETALLADO PARA EL MIEMBRO SHALE DE BAMBUCA EN EL SECTOR DE PALERMO VEREDA LAS BRISAS

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
MUÑOZ CERQUERA	ANGIE JULIETH
QUINTERO VILLEGAS	NOHORA ANDREA
PERDOMO LEYVA	ANDRES FERNANDO

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
VARGAS CUERVO	ROBERTO

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO DE PETRÓLEOS

FACULTAD: INGENIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: INGENIERIA PETROLEÓS

CIUDAD: **AÑO DE PRESENTACIÓN:** **NÚMERO DE PÁGINAS:**

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías_x_ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general___ Grabados___
 Láminas___ Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas
 o Cuadros_x_

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA					   	
	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO							
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: adobe Reader, Microsoft office

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. poligonal	Polygonal	6. Cretáceo	cretaceous
2. cartografía	mapping	7. Formación Villeta	Villeta formation
3. valle superior del magdalena	upper magdalena		
4. fracking	fracking		
5. lutitas	shale		

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Dando continuidad al proyecto de investigación “Estratigrafía de la formación Villeta y su evaluación como yacimientos no convencionales”. Se compilan los resultados en la presentación “Stratigraphy of the Villeta formation, Shale de Bambuca member and it’s potencial as unconventional reservoir” expuesta en el I simposio latinoamericano de exploración y desarrollo y en la primera cumbre del petróleo y gas.

En este nuevo avance del proyecto se da a conocer una nueva sección estratigráfica para el miembro Shale de Bambucá, ubicada en la subcuenca de Neiva, municipio de Palermo vereda las Brisas, la cual posee un espesor real de 378.59 metros.

La sección estratigráfica se levantó realizando una poligonal abierta y georreferenciando 72 puntos de control geodésico tomados con GPS y en la cual se ubicaron los datos estructurales, litológicos y fue la base para la reconstrucción paniplástica de esta, así mismo fueron recolectadas muestras para análisis petrográfico, macroscópico, granulometría y propiedades petrofísicas de la roca, se logra correlacionar el presente trabajo con algunos estudios previos afines realizados por diferentes autores en el Valle Superior del Magdalena, aportando nueva información que permite evaluar y tener un mejor conocimiento de la viabilidad de obtención de recursos energéticos no convencionales como el gas shale por medio de la técnica del Fracking a partir de lutitas del cretáceo de la formación Villeta.

	UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA					   	
	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Continuing the research project "Stratigraphy of the Villeta formation and its evaluation as unconventional deposits". The results are compiled in the presentation "Stratigraphy of the Villeta formation, Shale de Bambuca member and its potential as unconventional reservoir" presented at the 1st Latin American exploration and development symposium and at the first oil and gas summit.

In this new advance of the project, a new stratigraphic section is revealed for the Shale de Bambucá member, located in the Neiva sub-basin, municipality of Palermo, Las Brisas district, which has a real thickness of 378.59 meters.

The stratigraphic section was raised by making an open polygonal and georeferencing 72 geodetic control points taken with GPS and in which the structural and lithological data were located and it was the basis for the paniplastic reconstruction of this, likewise samples were collected for petrographic analysis, macroscopic, granulometry and petrophysical properties of the rock, it is possible to correlate the present work with some previous related studies carried out by different authors in the Upper Magdalena Valley, providing new information that allows evaluating and having a better knowledge of the viability of obtaining resources unconventional energy sources such as shale gas by means of the Fracking technique from Cretaceous shales of the Villeta formation.

APROBACION DE LA TESIS



Msc. Roberto Vargas Cuervo

Firma del Director del Proyecto



PhD. Ingrid Natalia Muñoz Quijano

Firma del Jurado



PhD. Freddy Humberto Escobar

Macualo Firma del Jurado

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.

“LEVANTAMIENTO ESTRATIGRÁFICO DETALLADO PARA EL MIEMBRO SHALE
DE BAMBUCÁ EN EL SECTOR DE PALERMO VEREDA LAS BRISAS”

ANGIE JULIETH MUÑOZ CERQUERA
NOHORA ANDREA QUINTERO VILLEGAS
ANDRES FERNANDO PERDOMO LEYVA

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA DE PETRÓLEOS
NEIVA, HUILA

2020

“LEVANTAMIENTO ESTRATIGRÁFICO DETALLADO PARA EL MIEMBRO SHALE
DE BAMBUCÁ EN EL SECTOR DE PALERMO VEREDA LAS BRISAS”

ANGIE JULIETH MUÑOZ CERQUERA

NOHORA ANDREA QUINTERO VILLEGAS

ANDRES PERDOMO LEYVA

Trabajo de grado presentado como requisito académico para optar al título de Ingeniero de
Petróleos.

Director

Geólogo ROBERTO VARGAS CUERVO

Profesor titular

Docente de la Facultad de Ingeniería de Petróleos

Universidad Surcolombiana

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA DE PETRÓLEOS

NEIVA, HUILA

2020

Nota de aceptación

Firma del director

Firma del Evaluador

Firma del Evaluador

Neiva, Huila

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al profesor Roberto Vargas Cuervo, Geólogo MSC. y director del proyecto por toda la paciencia y dedicación que nos brindó.

A la Universidad Surcolombiana y a su planta de docentes que hicieron parte de nuestra formación integral y profesional.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedicamos a Dios y a nuestras familias.

TABLA DE CONTENIDO

1. GENERALIDADES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. LOCALIZACION GEOGRÁFICA, ACCESOS E INFRAESTRUCTURA..	4
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. AMBIENTES SEDIMENTARIOS	7
2.2. AMBIENTES SEDIMENTARIOS MARINOS.....	7
2.2.1. PLATAFORMA CONTINENTAL	8
3. TRABAJOS PREVIOS.....	10
4. GEOLOGÍA REGIONAL	20
4.2. NOMENCLATURA ESTATIGRÁFICA.....	27
4.3. RELACIÓN ESTRATIGRÁFICA ENTRE LA NOMENCLATURA DEL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO Y LA INDUSTRIA DEL PETROLEO	29
5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	31
6. GEOLOGÍA HISTORICA	33
7. GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO.....	39
7.1 SISTEMAS PETROLIFEROS DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA.....	41

8. GEOLOGÍA LOCAL	
8.1. SECCIÓN LAS BRISAS.....	
8.1.1. Localización geográfica y acceso a la sección las Brisas	
8.1.2. Estratigrafía para la sección las Brisas	
8.1.3. ANALISIS DE FACIES Y PARASECUENCIAS DE LA SECCION LAS BRISAS.....	62
8.1.3.1. PARASECUENCIA 1.....	62
8.1.3.2. PARASECUENCIA 2.....	63
8.1.3.3. PARASECUENCIA 3.....	63
8.1.3.4. PARASECUENCIA 4.....	64
8.1.3.5. PARASECUENCIA 5.....	65
8.1.3.6. PARASECUENCIA 6.....	66
8.1.3.7. PARASECUENCIA 7.....	67
8.1.3.8. PARASECUENCIA 8.....	68
9. GEOLOGIA ESTRUCTURAL SECCION LAS BRISAS.....	69
10. INTERPRETACIÓN DE PRUEBAS DE LABORATORIO.....	
10.1. ANÁLISIS TEXTURAL DE PELITAS POR EL MÉTODO DE PRUEBA DE LA BOTELLA	

10.1.1. Metodología.....	73
10.1.2. Resultados.....	74
10.2. ANÁLISIS PETROGRÁFICO MACROSCÓPICO PARA LA DETERMINACIÓN TEXTURAL Y MINERALÓGICA DEL MIEMBRO SHALE DE BAMBUCA	75
11. DISCUSION DE RESULTADOS	77
12. CONCLUSIONES.....	
13. RECOMENDACIONES	83
14. BIBLIOGRAFÍA	

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Relación estratigráfica entre la nomenclatura del servicio geológico colombiano y la Industria del petróleo. Tomado de la sección de las columnas estratigráficas para el valle superior del Magdalena (Vargas R. 2014) (Modificado por autores)	30
Tabla 2. Datos estructurales, poligonal abierta realizada en el sector las brisas.....	70
Tabla 3. Porcentajes resultantes de la Prueba de Botella	75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena Tomado del Servicio Geológico Colombiano 2012.	4
Figura 2. Ubicación de las zonas de estudio. Espacio mapa 323, IGAC. Tomado de Ferreira et al (2002)	5
Figura 3. Imagen satelital de la zona de estudio de la sección las Brisas, la línea negra muestra el recorrido realizado para el levantamiento de la sección. Tomado de (Earth, 2020) 6	
Figura 4. Localización topográfica de la zona de estudio de la sección las Brisas, ubicado con su respectivo track. Modificado por autores (Vargas Cuervo).....	6
Figura 5. Ambiente deposicional del miembro Shale de Bambucá en la subcuenca de Neiva. Modificado por autores. (Muñoz, Quintero, & Perdomo, 2020).....	9
Figura 6. Ubicación y límites de la cuenca del Valle Superior del Magdalena. (Servicio Geológico Colombiano, 2012)	32
Figura 7. Cuenca Marginal De Relleno, Paleozoico – Inferior. Tomado de (Vargas 1988)..	33
Figura 8. Cuenca Interior Fractura, Paleozoico – Superior. Tomado de Vargas 1988.	34
Figura 9. Cuenca Interior Fracturada, Jurásico – Interior. Tomado de Vargas 1988.....	36

Figura 10. Cuenca Interior Fracturada; Cretáceo Superior – Paleógeno - Neógeno. Tomado de Vargas 1988.....	38
Figura 11. Cuenca Interior Fracturada; Post – Mioceno. Tomado de Vargas 1988.....	38
Figura 12. Diagrama de Van Krevelen modificado, donde se grafican los valores de HI y OI. Nótese que la mayoría de los datos se encuentran en rango de Kerógenos I y II. (Campiño, Parra, & Mora, 2007)	40
Figura 13. Relación de IH vs COT en las muestras estudiadas, Tomada de palinofacies y geoquímica orgánica en las rocas del Aptiano - Coniaciano (Valle Superior del Magdalena). (Campiño, Parra, & Mora, 2007)	41
Figura 14. Carta de eventos de la zona de estudio (cuenca VSM). Se ilustran los eventos en los cuales ocurrió la depositación de la roca generadora, se discriminan las rocas almacén para yacimientos convencionales y No convencionales (Fracking) la roca sello y finalmente la roca de sobrecarga. El tiempo de la conformación de la trampa como también se indica el intervalo en el cual ocurrió el proceso de generación, migración y acumulación. También se muestra el intervalo de la preservación y el momento crítico (Ecopetrol, 2015). Modificado por autores (2020)	43
Figura 15. Modelo de Elevación Digital (MED) del sector las Brisas.....	44
Figura 16. Localización topográfica de la zona de estudio de la sección las Brisas, ubicado con su respectivo track. Tomado de la Plancha 323-III-D del IGAC.	45

Figura 17. Segmento 2, sección las Brisas.....	48
Figura 18. Segmento 3, sección las Brisas.....	49
Figura 19. Segmento 4, sección las Brisas.....	51
Figura 20. Segmento 5, sección las Brisas.....	52
Figura 21. Segmento 6, sección las Brisas.....	53
Figura 22. Segmento 7, sección las Brisas.....	55
Figura 23. Segmento 8, sección las Brisas.....	57
Figura 24. Segmento 9, sección las Brisas.....	58
Figura 25. Segmento 10, sección las Brisas.....	59
Figura 26. Segmento 11, sección las Brisas.....	60
Figura 27. Fotointerpretación del modelo de elevación digital (DEM) del área entre Palermo Teruel, Betania mostrando una serie de alineamientos.	69
Figura 28. Poligonal abierta elaborada para la sección las Brisas	71

Figura 29. Diagrama de FOLK o WINKLER se muestra la clasificación de las muestras J13-J21-J25	75
--	----

Figura 30. Localización Geológica de las secciones estratigráficas del shale de Bambuca. El verde muestra afloramientos del cretácico de la subcuenca de Neiva.	78
---	----

Figura 31. Columnas estratigráficas levantadas en las 7 secciones.	79
--	----

Figura 32. Columna de la formación la luna Estratigrafía y Petrofacies de la Formación La Luna en el Sinclinal de Nuevo Mundo, Valle Medio del Magdalena. Tomado de: Estratigrafía y Petrofacies de la Formación La Luna en el Sinclinal de Nuevo Mundo, Valle Medio del Magdalena (Gustavo Sarmiento et al 2017, pag 6)	80
---	----

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Calizas de Tetuán, de la formación Villeta. Tomada por autores.	22
Fotografía 2. Afloramiento de shale en el sector de las Brisas. (Tomada por autores)	24
Fotografía 3. Mina a cielo abierto perteneciente a Cemex, Formación Payandé.	36
Fotografía 4. Calizas de Tetuán, sección las Brisas. Tomada por autores.....	47
Fotografía 5. Lodolitas calcáreas de color gris oscuro a negruzco, Miembro shale de Bambuco perteneciente al segmento 2, Tomada por autores.	49
Fotografía 6. Zona cubierta con morfología de lomas suaves subredondeadas, Miembro shale de Bambuco perteneciente al segmento 2, Tomada por autores.	50
Fotografía 7. Lodolitas silíceas de color gris claro, Tomada por autores.	51
Fotografía 8. Lodolitas silíceas de color gris claro amarillentas en capas de estratificación fina a media, Tomada por autores.	52
Fotografía 9. lodolitas fisiles, localmente silíceas de color gris claro amarillentos, Tomada por autores.	54
Fotografía 10. lodolitas arenosas localmente silíceas de color gris claro a blancuzco en capas tabulares y lenticulares, Tomada por autores.	56

Fotografía 11. lodolitas silíceas intercaladas con delgadas capas de lodolitas muy fisiles, Tomada por autores.....	57
Fotografía 12. lodolitas silíceas y lodolitas homogéneas, Tomada por autores.....	58
Fotografía 13. Lodolitas muy fisiles con intercalaciones de lodolitas silíceas y limolitas silíceas, Tomada por autores.	60
Fotografía 14. lodolitas silíceas localmente fisiles, Tomada por autores	61
Fotografía 15. Secuencia de areniscas líticas de color gris claro amarillento de grano fino a medio, Tomada por autores	61
Fotografía 16. Calizas de tipo pascktone con delgadas intercalaciones de limolitas arenosas, Tomada por autores.....	63
Fotografía 17. Lodolitas calcáreas de color gris claro, Tomada por autores.	63
Fotografía 18. Lodolitas silícea de colores gris claro amarillentos y lodolitas fisiles de colores gris claro localmente con lentes de lodolitas calcáreas, Tomada por autores.	64
Fotografía 19. Secuencia de lodolitas silíceas, limolita silícea y lodolitas fisiles localmente calcáreas, Tomada por autores.	65
Fotografía 20. Lodolitas arenosas, lodolitas silíceas y lodolitas fisiles, Tomada por autores.	66

Fotografía 21. lodolitas silíceas y lodolitas muy fisil, Tomada por autores.	67
Fotografía 22. Lodolitas de color gris claro homogénea con delgadas intercalaciones de lodolitas silíceas, Tomada por autores.	68
Fotografía 23. Lodolitas muy fisiles con delgadas intercalaciones de limolitas y lodolitas silíceas y lodolitas silificadas, Tomada por autores.	68
Fotografía 24. Muestra de roca Triturada J24. Tomada por autores.....	73
Fotografía 25. Prueba de la botella, donde se logra apreciar la sedimentación de partículas. Tomada por autores.....	74

LISTADO ANEXOS

Anexo A. Plano 1/4 “topográfico restituida sección las Brisas” E. 1:1000

Anexo B. Plano 2/4 “geológico restituida sección las Brisas” E. 1:1000

Anexo C. 3/4 Columna estratigráfica sección las Brisas E. 1:100

Anexo D. 4/4 Secciones estratigráficas del shale de Bambuca E. 1:100

RESUMEN

Continuando con el desarrollo de las investigaciones y los aportes obtenidos para el Valle Superior del Magdalena (VSM), liderados por el Museo Geológico y del Petróleo con el apoyo del Grupo de Investigación Geociencias, Infraestructura, Productividad y Medio Ambiente (GIPE) de la Universidad Surcolombiana, se da continuidad a el proyecto de investigación “ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN VILLETA, MIEMBRO SHALE DE BAMBUCA Y SU POTENCIAL COMO YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES”. En el desarrollo de este proyecto se han realizado varias tesis de grado para el programa de Ingeniería de Petróleos compilados en la presentación “STRATYGRAPHY OF THE VILLETA FORMATION, SHALE DE BAMBUCA MEMBER AND IT’S POTENCIAL AS UNCONVENTIONAL RESERVOIR” expuesta en el simposio latinoamericano de exploración y desarrollo en la primera cumbre del petróleo y gas.

Se desarrolló el trabajo de grado denominado “LEVANTAMIENTO ESTRATIGRÁFICO DETALLADO PARA EL MIEMBRO SHALE DE BAMBUCA EN EL SECTOR DE PALERMO VEREDA LAS BRISAS”, en el que se da a conocer una nueva columna estratigráfica para el miembro SHALE de BAMBUCA, levantada en el municipio de Palermo vereda las Brisas, la cual posee un espesor de 378.59 metros.

El análisis estratigráfico secuencial proporciono un enfoque sobre los cambios eustáticos y ambientes de sedimentación en los que se generó el miembro Bambuca, En la que se determinó un ambiente de tipo plataforma interna a externa, hacia la base y en la unidad

calizas de Tetuán el ambiente que domina es el de tipo shoreface (rampa somera) Muñoz Ingrid, Et Al 2019. El shale de Bambuca hacia su base y en los primeros 55 metros de espesor real domina el ambiente de plataforma interna, fuera de la influencia de las olas con un predominio de lodolitas calcáreas con contactos ondulantes y predominio de laminación planoparalela de continua a discontinua, el cambio de lodolitas silíceas manifiesta un hundimiento de la cuenca pasando a un ambiente de plataforma externa interdigitandose localmente con plataforma media, la secuencia continua hasta los 110 metros de espesor en lodolitas calcáreas, el ambiente de depositacion entre los 110 y 235 se interdigita entre shoreface y plataforma interna, subrayase hasta los 335 metros de espesor real un ambiente predominantemente de plataforma externa a media, para finalizar la secuencia con un ambiente de somerizacion del mar marcada por el ambiente de plataforma interna y shoreface.

Se realizaron pruebas de laboratorio con el fin de apoyar la interpretación geológica del miembro SHALE DE BAMBUCÁ de la formación Villeta, mediante la descripción detallada de muestras con análisis petrográfico macroscópico en laboratorio, análisis textural por el método de Prueba de la Botella, de este modo basados en la información procesada, tanto en campo como de laboratorio, se logra correlacionar el presente trabajo con algunos estudios previos afines realizados por diferentes autores en el Valle Superior del Magdalena, aportando nueva información que permite evaluar y tener un mejor conocimiento de la viabilidad de obtención de recursos energéticos no convencionales como el gas shale por medio de la técnica del Fracking a partir de lutitas del cretáceo de la formación Villeta.

ABSTRACT

Following the research development and the contributions achieved in The Valle Superior del Magdalena (VSM), which are led by the Oil and Geological Museum, along with the support of the geosciences infrastructure productivity and environment research group (GIPE) from the Universidad Surcolombiana. The current research thesis continues the Major research project named “STRATYGRAPHY OF THE VILLETA FORMATION, SHALE DE BAMBUCA MEMBER AND ITS POTENTIAL AS UNCONVENTIONAL RESERVOIRS”.

During the development of this major project, students from the Oil Engineering undergraduate program have carried out several thesis project that are compiled in the presentation “STRATYGRAPHY OF THE VILLETA FORMATION, SHALE DE BAMBUCA MEMBER AND ITS POTENTIAL AS UNCONVENTIONAL RESERVOIRS”. Aforementioned presentation was presented at the Latin American Exploration and Development Symposium, during the first Oil and Gas Summit.

Under this context, the development of the present research Project called “LEVANTAMIENTO ESTRATIGRÁFICO DETALLADO PARA EL MIEMBRO SHALE DE BAMBUCÁ EN EL SECTOR DE PALERMO VEREDA LAS BRISAS” reveals a new stratigraphic column for the for the member SHALE of BAMBUCA, raised in the municipality of Palermo rural town Las Brisas, which has a thickness of 378.59 meters.

The sequential stratigraphic analysis provided a focus on the eustatic changes and sedimentation environments in which the Bambucá member was generated. In addition, it was

determined an internal to external platform-type environment, towards the base and in the limestone unit of Tetuán, the dominant environment is the shoreface type (shallow ramp) (Muñoz Ingrid, Et. Al. 2019). The Bambucá shale towards its base and in the first 55 meters of real thickness dominates the internal platform environment; outside the influence of the waves with a predominance of calcareous mudstones with undulating contacts and a predominance of flat parallel lamination from continuous to discontinuous. The change of siliceous mudstones shows subsidence of the basin passing to an external platform environment interdigitating locally with a middle platform. The sequence continues up to 110 meters thick in calcareous mudstones. The deposition environment between 110 and 235 is interdigitating between shoreface and internal platform, highlighting up to 335 meters of real thickness a predominantly environment of external to medium platform, to end the sequence with an environment of isomerization of the sea marked by the environment of internal platform and shoreface.

Laboratory tests were performed in order to support the geological interpretation of the SHALE DE BAMBUCÁ member of the Villeta formation, through the detailed description of samples with macroscopic petrographic analysis in the laboratory, a textural analysis by the Bottle Test method. In this way, based on the processed information both in the field and in the laboratory, it is possible to correlate the present work with some previous related studies that have been carried out by different authors in the Valle Superior del Magdalena. In addition, to provide new information that allows evaluating and getting a better knowledge of the viability of obtaining unconventional energy resources, such as shale gas through the Fracking technique from Cretaceous shales of the Villeta formation.

1. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El Museo Geológico y del Petróleo con el grupo de investigación Geociencias, Infraestructura, Productividad y Medio Ambiente (GIPE) de la Universidad Surcolombiana ha venido trabajando en proyectos de investigación relacionados con la unidad estratigráfica lutíticas del cretácico (Formación Villeta-Hondita-Lomagorda) consideradas como la roca generadora de Hidrocarburos para el Valle Superior del Magdalena, para el complemento de este estudio se han realizado cuatro proyectos de grado, en apoyo al desarrollo del trabajo de investigación “ESTRATIGRAFIA DE LA FORMACION VILLETA Y SU EVALUACION COMO YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES”, durante los años 2014, 2018, 2019 y actualmente se realiza el proyecto “LEVANTAMIENTO ESTRATIGRÁFICO DETALLADO PARA EL MIEMBRO SHALE DE BAMBUCÁ EN EL SECTOR DE PALERMO – VEREDA LAS BRISAS.”

En esta etapa del proyecto sobre las rocas lutíticas de la formación Villeta se escogió la sección geológica de la vereda Las Brisas ubicada en el municipio de Palermo-Huila, donde se realizó el levantamiento estratigráfico del miembro de Bambucá de la Formación Villeta en el cual se realizó reconocimiento del campo, cartografía de la zona, tipo de ambiente, análisis de estratigrafía secuencial basada en las estructuras sedimentarias presentes, elaboración de su respectiva columna estratigráfica y obtención de las curvas eustática de acuerdo a la información final obtenida para determinar la variación del nivel del mar y el ambiente de deposición.

Debido a la gran tasa de consumo energético y a la evidente disminución de reservas del mismo en Colombia, se ha propiciado la exploración y explotación de los yacimientos no convencionales. De allí la importancia de realizar estudios de reconocimiento geológico, para comprobar en el ámbito local la posibilidad de yacimientos de este tipo (Gas shale y Oil shale), sabiendo la existencia de grandes secuencias de rocas lutíticas que afloran en los piedemontes de la cordillera central y oriental y dentro del valle superior del río Magdalena, subcuenca de Neiva.

El proyecto se llevó a cabo en la subcuenca de Neiva, la cual cobija la parte Occidente del Valle Superior del Magdalena, por lo tanto, se determinó una zona que no habían sido estudiada previamente en trabajos realizados sobre levantamiento estratigráfico del Shale de Bambucá y que se consideran importante para poder tener una secuencia ordenada.

la forma en que se llevó a cabo la realización de este trabajo fue la siguiente:

Reconocimiento de campo: Se localiza la zona en la plancha geológica 323, la formación Villeta en los sectores en que afloraban para poder realizar el levantamiento estratigráfico, Luego se procede a visitar estas zonas y hacer reconocimiento de campo, en la cual se determinó que la zona de las Brisas era óptima para este trabajo. Se realizaron 3 salidas al sector Las Brisas donde se efectuó el reconocimiento de los afloramientos de lutitas en este sector y después el levantamiento estratigráfico detallado de estos donde fue reconocida, medida y muestreada la Formación Villeta, desde la base hacia el tope con la Formación Monserrate (K4).

En el año 2001 el Servicio Geológico Colombiano (SGC) antiguo IGAC realizó un cambio en la nomenclatura estratigráfica de la subcuenca de Neiva y más específicamente para las unidades litoestratigráficas del Cretácico y Paleógeno, este trabajo se referencia principalmente en la nomenclatura antigua que comúnmente utiliza la industria petrolera y más específicamente para la denominada formación Villeta en la cual Etayo *et al.* (1994) la

dividió en cuatro miembros (Calizas de Tetuán, Shale de Bambucá, Calizas de la Luna, Aico Chert) mientras que la agrupación que hace el servicio geológico no tiene una clara división entre las formaciones Hondita y Loma Gorda. Aunque las lutitas representan una porción significativa de las rocas sedimentarias, su estudio en yacimientos no convencionales no está completamente desarrollado, es por ello por lo que la Subcuenca de Neiva del Valle Superior del Magdalena toma un valor preponderante. Desde el punto de vista estratigráfico, esta es la secuencia con mayor potencial para recursos no convencionales, los resultados que se generen a partir del presente proyecto de investigación podrían servir como información de línea base que abra una ventana de oportunidad a la perspectiva no convencional y posteriores investigaciones.

El resultado final de este trabajo se encuentra representado en una columna estratigráfica detallada denominada “Las Brisas” según la sección perteneciente, la cual alcanza un espesor real de 375.59 metros. De acuerdo con las características litológicas y las estructuras sedimentarias presentes se dividió en 11 segmentos, con esta información se construyó la curva eustática que indicó un ambiente dominado por plataforma interna a externa.

Las características litoestratigráficas mostradas en la sección de interés para el Miembro Shale de Bambucá se caracterizan por poseer las siguientes características: La sección de las Brisas está conformada en su gran mayoría por lodolitas puras de color gris claro a blancas finas homogéneas en capas de estratificación fina a muy fina, con contactos netos y laminación planoparalela discontinua, presenta moldes externos de fósiles tipos foraminíferos, indicando zonas plataforma media-interna, determinado mediante la curva eustática.

1.2 LOCALIZACION GEOGRÁFICA, ACCESOS E INFRAESTRUCTURA

El área de estudio se encuentra ubicada en el Valle Superior del Magdalena en la subcuenca de Neiva, en la vereda las Brisas ubicada a 13 kilómetros medidos desde la desviación a Buenos Aires, esta hace parte del Municipio de Palermo que se encuentra ubicado en el occidente del Departamento del Huila. Limita al norte con el Municipio de Neiva y Planadas (Tolima), al sur con Campoalegre, Yaguará y Teruel, al oriente con Neiva, Rivera y Campoalegre y al occidente con Planadas, Santa María y Teruel. (Véase figura 1)

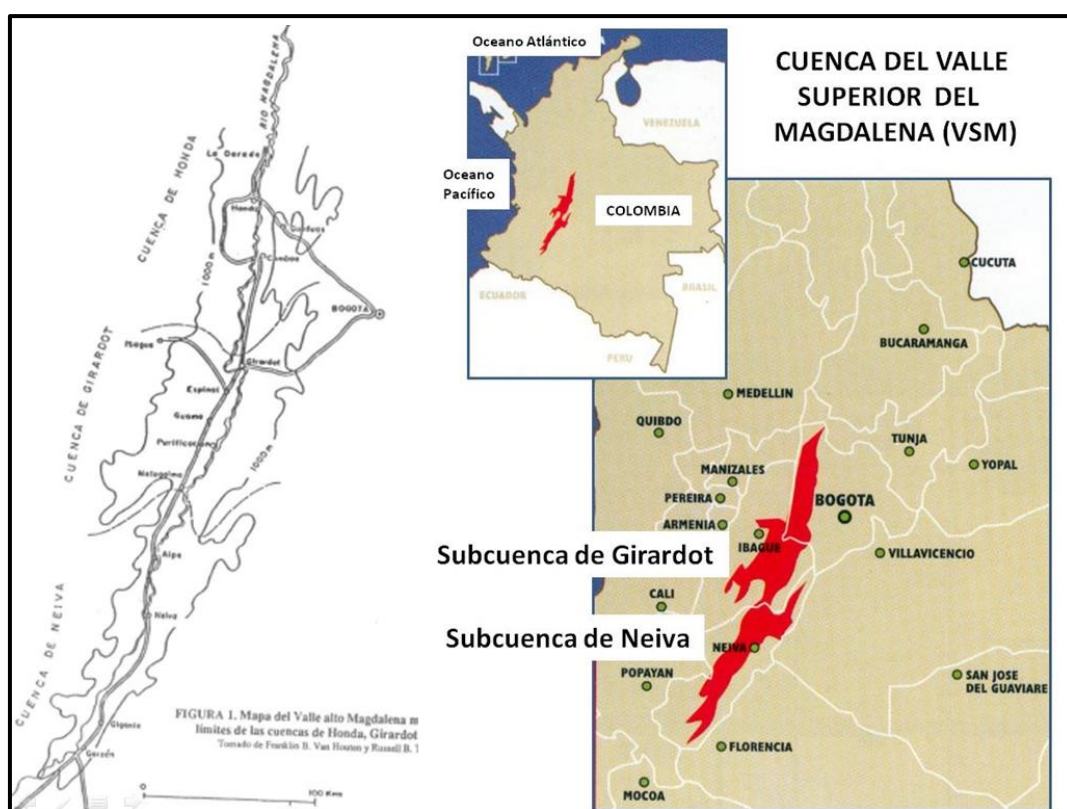


Figura 1. Ubicación de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena Tomado del Servicio Geológico Colombiano 2012.

La base cartográfica utilizada para este proyecto fue consultada y adquirida al Servicio Geológico Colombiano (SGC) utilizando la plancha geológicas y espacio-mapas 323 (Véase Figura 2) a escala 1:100.000, y el mapa topográfico 323-IIID del Instituto Geológico Agustín Codazzi (IGAC); se realizó una restitución de mapas con control de campos, poligonales y

GPS escala 1:1000 (ver anexo) para así obtener más fácilmente la información geológica detallada a la hora de realizar el levantamiento.

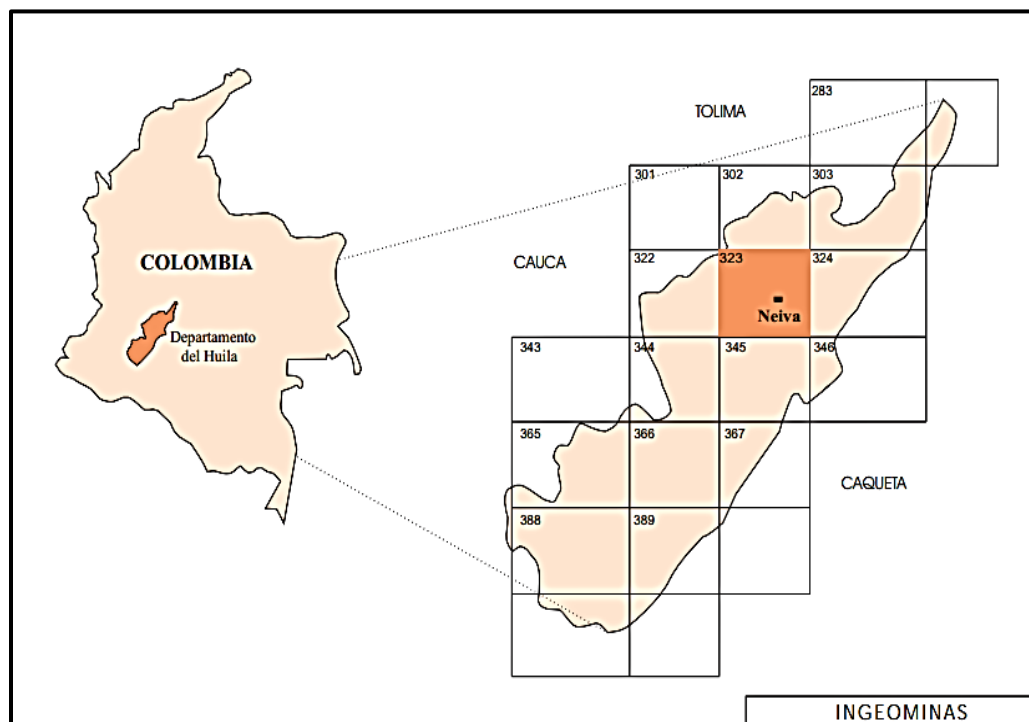


Figura 2. Ubicación de las zonas de estudio. Espacio mapa 323, IGAC. Tomado de Ferreira et al (2002)

Partiendo de la ciudad de Neiva por la vía hacia Palermo, por la carretera que conduce a buenos aires, por dicha carretera hasta llegar a la vereda las brisas punto en el cual se empezó el levantamiento estratigráfico, donde aflora la formación de interés para el estudio hasta llegar al punto donde se localiza el contacto con la formación Monserrate (K4).

El trabajo de campo fue registrado con GPS (Garmin) en el cual se georreferenciaron con coordenadas origen Bogotá.

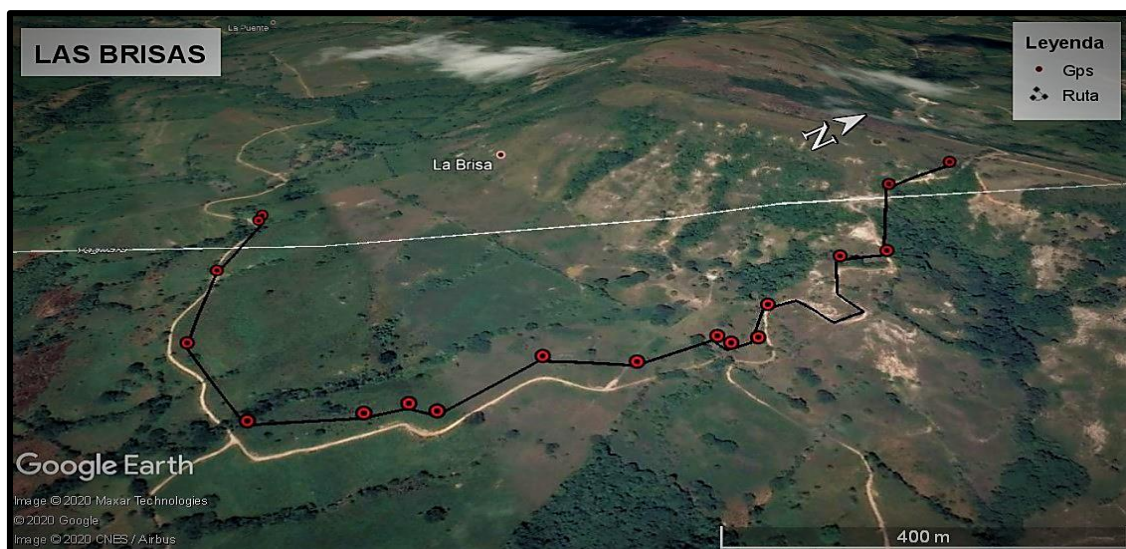


Figura 3. Imagen satelital de la zona de estudio de la sección las Brisas, la línea negra muestra el recorrido realizado para el levantamiento de la sección. Tomado de (Earth, 2020)

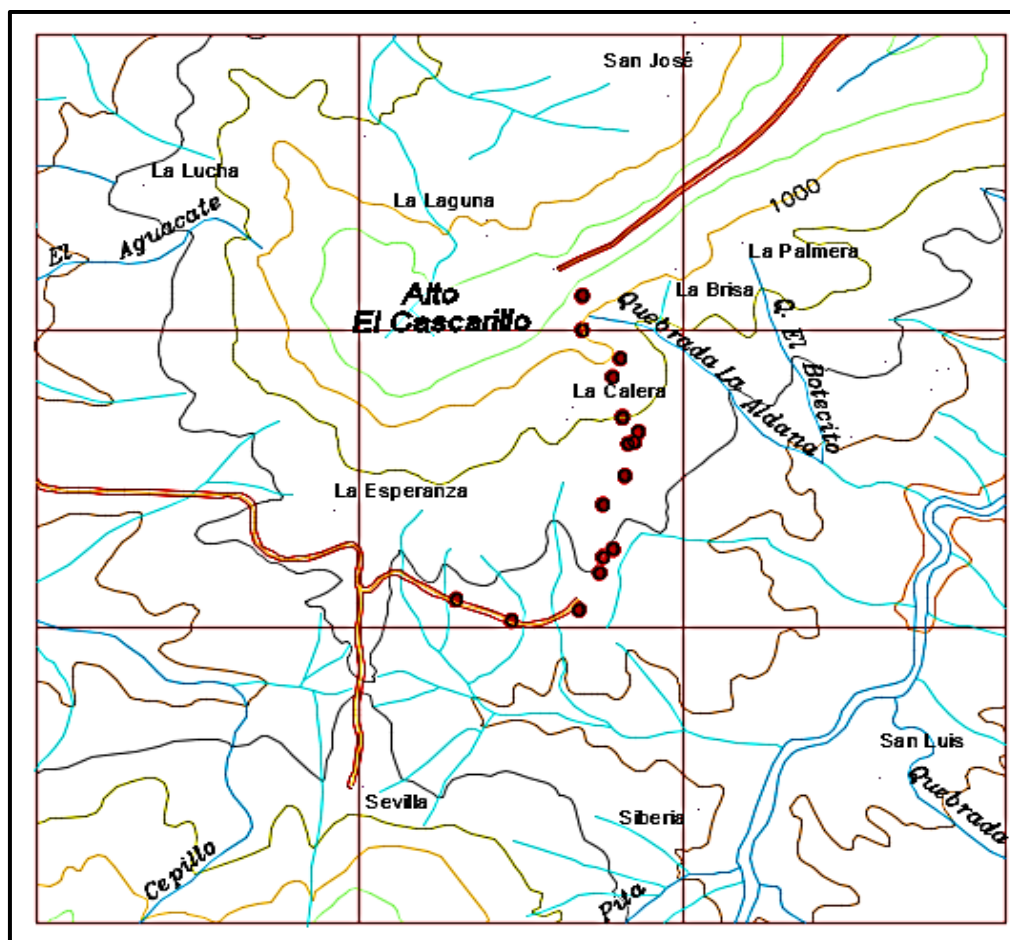


Figura 4. Localización topográfica de la zona de estudio de la sección las Brisas, ubicado con su respectivo track. Modificado por autores (Vargas Cuervo)

2. MARCO TEÓRICO

2.1 AMBIENTES SEDIMENTARIOS

El estudio de los ambientes de sedimentación, proporcionan a la industria del petróleo el conocimiento sobre los sucesos sedimentarios ocurridos y que llevaron a cabo la existencia de las formaciones productoras, generadoras y sello; en este documento son evaluadas las rocas generadoras del miembro Shale de Bambucá, perteneciente la formación Villeta en la Subcuenca de Neiva en la sección las Brisas Los ambientes sedimentarios son zonas de depositación en la geografía con características uniformes en donde a través de procesos geológicos y condiciones ambientales como el transporte y depositación contribuyen a la creación del sedimentos, tambien son la herramienta que permite la interpretación de la historia de las rocas sedimentarias cuya información proporciona la construcción de la curva eustática que mediante características litológicas nos muestra la formación de una secuencia estratigráfica, es por tal motivo que estos conceptos son considerablemente importantes para el presente proyecto de grado y se explicaran a continuación:

2.2 AMBIENTES SEDIMENTARIOS MARINOS

Las zonas de estudio fueron depositadas en ambientes marinos específicamente desde la zona de plataforma media a externa cuya pendiente alcanza los 0.01° - 0.03° con profundidades de decenas de metros con acción de marea baja. En la sección de las Brisas se reconoce por su litología silícea, debido a que durante la diagénesis ocurrieron procesos de silificación a rocas como lodolitas. Las estructuras internas tipo laminación planoparalela continua demuestra que este ambiente es de muy baja energía.

La sección de las brisas se encuentra en ambientes marinos específicamente desde la zona nearshore tipo shoreface cuya pendiente alcanza los 0,1-0,3° con profundidades de decenas de metros con acción de marea baja. Aquí los sedimentos de origen calcáreo se caracterizan por la concentración de hierro formando concreciones sideríticas y según sus estructuras sedimentarias tales como laminación lenticular gruesa indican la existencia de energía que no permitió la continuidad en la depositación del sedimento pelítico y el control sobre los tipos de sedimentación carbonatada y silicio-clástica.

2.2.1 PLATAFORMA CONTINENTAL

Se subdivide en cinco ambientes: línea costera, shoreface, interna, media y externa. De acuerdo con sus rasgos litológicos y sus facies los sedimentos pueden pertenecer a alguno de estos ambientes. El carácter netamente calcáreo identifica la entrada a la plataforma interna cuyas estructuras sedimentarias son evidentemente mejor desarrolladas en un ambiente más tranquilo, así como lo muestra la laminación planoparalela. A media que se profundiza hacia la plataforma media la concentración de carbonato aumenta sustancialmente y el régimen hidráulico disminuye logrando con ello la aparición de concreciones micríticas que muestra poca o nulo transporte de diámetro considerable. La plataforma externa en esta zona marina la cual su superficie es más o menos plana con una pendiente muy suave y régimen hidráulico muy bajo, que bordea todos los continentes hasta la profundidad de los 200 metros fue la distancia marítima más profunda que alcanzaron los sedimentos del Miembro Shale de Bambucá conformada por litología silícea.

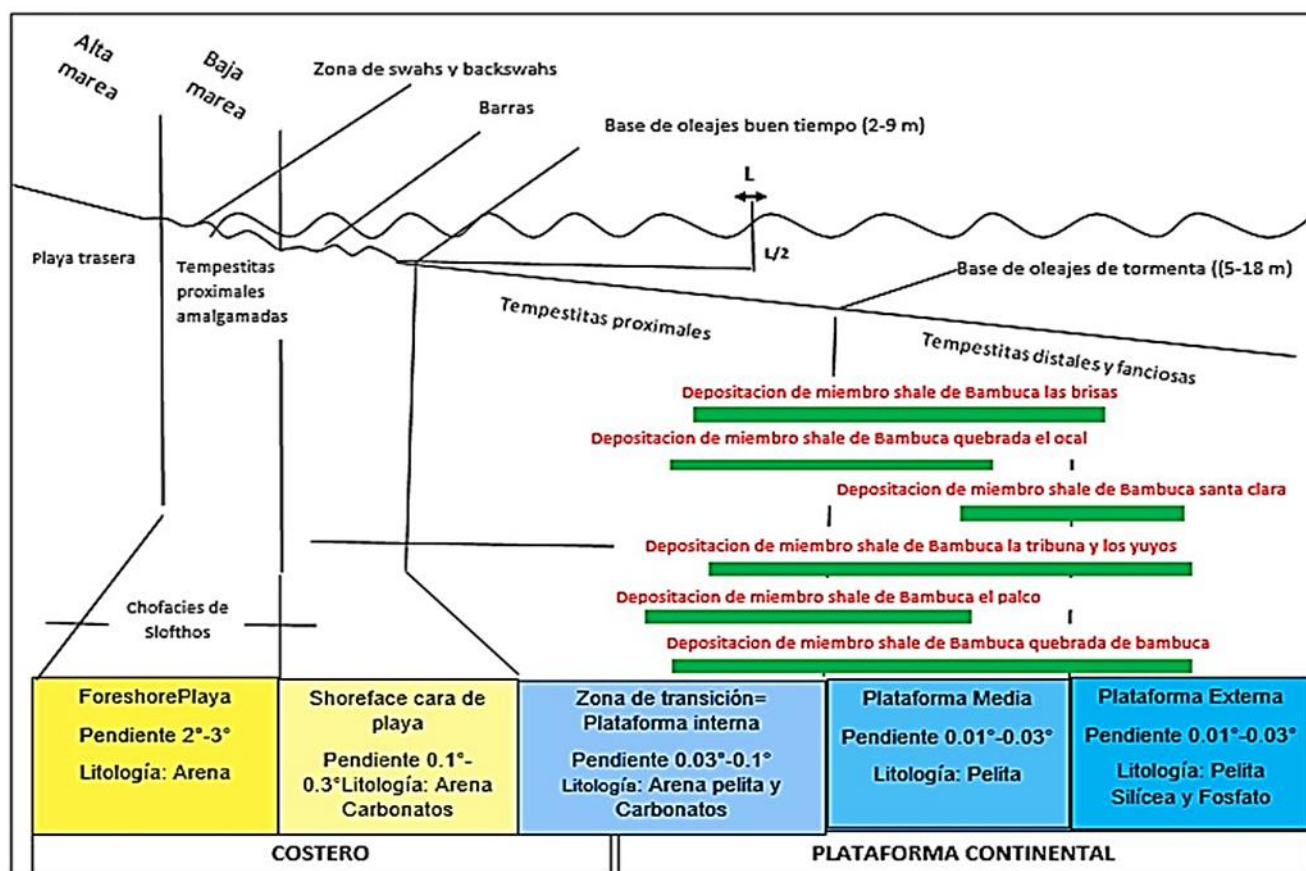


Figura 5. Ambiente deposicional del miembro Shale de Bambucá en la subcuenca de Neiva. Modificado por autores. (Muñoz, Quintero, & Perdomo, 2020)

3. TRABAJOS PREVIOS

En el miembro Shale de Bambucá de la Formación Villeta correlacionable con la formación la Luna del Valle Medio del Magdalena se han realizado numerosos trabajos considerándose como el objetivo principal de la exploración de yacimientos No convencionales (Fracking). A continuación, se mencionan algunos autores que han trabajado en el Valle Superior del Magdalena principalmente en la Formación Villeta o en las secciones estudiadas:

PATARROYO, P (1993) “Las Formaciones Cretácicas Hondita y Loma Gorda, a propósito de Nomenclatura Estratigráfica del Valle Superior del Magdalena”. VI CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA, Tomo III, p 803-814, Medellín.

El uso de Grupo o Formación Villeta, para el sector occidental del Valle Superior del Magdalena, no corresponde con las facies y el rango temporal, presentes dentro de la secuencia Cretácica allí descrita; por tanto, en su lugar, se propone utilizar la nomenclatura creada por De Porta, en el área de Piedras-Tolima.

Es así, como las sedimentitas correspondientes a las formaciones Hondita (Albiano Medio- Coniaciano) y Lomagorda (Coniaciano), representan una sucesión depositada en ambientes comprendidos entre el frente de playa y la plataforma externa, dentro del gran evento transgresivo-regreso del Periodo Cretáceo, en el Norte de Sur América.

La primera de estas, cuyo espesor varía entre 554 y 122 m, está conformada por capas gruesas y delgadas de lodolita terrígena físil, micrita fosilífera y biomicrita, acompañadas por concreciones calcáreas generalmente fosilíferas

La segunda con espesor variable entre 146 y 79 m. está constituida según diferentes localidades, por capas delgadas de “chert”, lodolita calcárea, lodolita terrígena físil eventualmente arenitas bioperturbadas y concreciones calcáreas fosilífera.

El límite inferior de la secuencia representa la superficie que separa normalmente las arenitas de cuarzo más altas de la Formación Caballos, de las lodolitas más bajas de la Formación Hondita, el límite superior divide normalmente las lodolitas más altas de la Formación LomaGorda de los “cherts” más bajos de la Formación Lidita inferior del Grupo Olini.

ETAYO-SERNA, F., & FLOREZ, M. (1994). *“Estratigrafía y estructura de la Quebrada Calambe y el cerro el Azúcar, Olaya Herrera, Tolima”*. Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena. Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Los autores en este trabajo incluyeron los estratos que suprayacen a la Formación Caballos y que subyacen a los cherts del Grupo Olini a las unidades inicialmente informales pero que han sido adoptadas por la industria petrolera a los Miembros de la Formación Villeta (Calizas de Tetuan, Shale de Bambucá, Calizas de la Luna).

VERGARA L., GUERRERO J., PATARROYO P. & SARMIENTO. G.

1995. *“Comentarios acerca de la Nomenclatura Estratigráfica del cretácico Inferior del Valle Superior del Magdalena”*. GEOLOGIA COLOMBIANA, 19, págs. 21-32, Santafé de Bogotá.

La nomenclatura estratigráfica del Cretácico en la cuenca del Valle Superior del Magdalena se encuentra en PATARROYO (1993) Y VERGARA (1994), quienes adjudicaron dificultades de correlación a la falta de precisión en las definiciones de unidades litoestratigráficas y a la escasez de datos bioestratigráficos de apoyo. La importancia de una adecuada definición estratigráfica radica en que son la base indispensable del análisis de la evolución de una cuenca sedimentaria. Aunque la definición de unidades litoestratigráficas se basa en criterios litológicos, consideraron también importante discutir la bioestratigrafía conocida para plantear algunos problemas de correlación. En cuanto a conceptos

estratigráficos y normas de procedimiento, siguieron el North American Stratigraphic Code (NACSN, 1983) por ser conciso, práctico y de amplia difusión internacional.

En materia de confusión en la nomenclatura estratigráfica del VSM es el uso inadecuado de la unidad "Villeta". El problema ya había sido identificado por JULIVERT (1968), quien propuso la restricción de la unidad a la franja occidental de la Cordillera Oriental. De acuerdo con esto, tanto PATARROYO (1993) como VERGARA (1994) reconocieron las formaciones Hondita y Lomagorda de DE PORTA (1965, 1966), redefiniéndolas en sus límites y proponiendo su extensión por todo el Valle Superior del Magdalena. Están compuestas predominantemente por lodolitas negras y micritas; el límite entre las dos unidades se sitúa en la base de un delgado nivel de chert. La litología es de cuarzo arenitas macizas de la infrayacente Formación Caballos y las limolitas silíceas, cherts y porcelanitas de la suprayacente Lidita Inferior del Grupo Olini.

GUERRERO J, SARMIENTO G, NAVARRETE R. 2000. *“The Stratigraphy of the West Side of the Cretaceous Colombian Basin in the Upper Magdalena Valley. Reevaluation of Selected Areas and Type Localities Including Aipe, Guaduas, Ortega, and Piedras”*

Proponen el término CUENCA CRETÁCICA COLOMBIANA, para hacer énfasis en el concepto de una única cuenca back Arc (trasarco o marginal) y de foreland (antepaís) al E del arco volcánico, a lo largo de Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina; También la utilizan para determinar los cambios eustáticos del nivel de mar y saber la proveniencia de las fuentes de los detríticos que la predominan.

Con el análisis de petrografía sedimentaria y micropaleontológica de foraminíferos y palinomorfos en varias localidades incluyendo Aipe (formación Hondita), logran una caracterización litológica más precisa, así como dataciones adecuadas.

VARGAS CUERVO, R. 2010. *“Reconocimiento geológico de la cobertura*

productiva de la Subcuenca de Neiva-Huila-Colombia” Universidad Surcolombiana, Neiva- Huila. El Valle Superior del Magdalena es una región compleja geológicamente, donde afloran rocas desde el Precámbrico hasta el Reciente y conforman un relieve irregular. En el trabajo realizado, se enfocó en la descripción de las rocas de interés dentro de la industria del petróleo.

La cobertura productiva de carácter sedimentario de la subcuenca de Neiva está determinada por dos secuencias deposicionales diferentes caracterizada por presentar rocas de origen clástico y químico. La primera se trata de una secuencia clástica marina que abarca desde el Cretáceo Medio (Aptiano - Albiano) hasta el Paleógeno (Paleoceno) y la segunda de rocas sedimentarias de origen continental que abarcan desde el Eoceno hasta el reciente. De un ambiente marino a transicional de la primera secuencia se desarrolló un ciclo regresivo que permitieron la depositación en el área de las formaciones Caballos, Villeta, Monserrate y Guaduala respectivamente.

La formación Villeta es identificada como una unidad marina transgresiva que se encuentra dividida informalmente por las compañías petroleras por cuatro unidades que de base a tope son: Caliza de Tetuán, Shale de Bambucá, Caliza La Luna o Calizas La Frontera y Aico; en el mismo trabajo se encuentra la geología estructural de la zona que se caracteriza por pliegues de tipo anticlinal y sinclinal y fallas geológicas que inciden directamente en el entrapamiento de los hidrocarburos.

MORA, L. & PATARROYO, P. 2013. “*Estratigrafía de la Formación Loma Gorda en la Quebrada Bambucá (Aipe-Huila)*”. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Sintetizan el conocimiento estratigráfico obtenido para la Formación Loma Gorda en el área de la Quebrada Bambucá, utilizando como punto de partida el trabajo de Patarroyo (1991); realizaron un análisis petrográfico, caracterización microfacial, determinación

morfológica y taxonómica de los foraminíferos para determinar las características ambientales de depósito y una aproximación a los eventos diagenéticos ocurridos en la unidad.

Reconocen 245 m de espesor de la Formación Loma Gorda en la Quebrada Bambucá y lo dividen en tres segmentos (Inferior, Intermedio y Superior) y según el análisis realizado, su ambiente de depositación es una rampa carbonatada somera.

CÁCERES, S. & PATARROYO, P. 2013. “*Estratigrafía del Grupo Olini, en el Área de la Quebrada Bambucá (Aipe-Huila)*”. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Se estudió el sector de la Quebrada Bambucá describiendo y analizando secciones del Grupo Olini en el Valle Superior del Magdalena en el municipio de Aipe- Huila; realizando la columna estratigráfica correspondiente a la zona con 110 metros de espesor en la Quebrada Bambucá determinando la litología predominante, estructuras sedimentarias, el ambiente de depósito el cual se afirmó que es marino con algunas variaciones en cuanto a la profundidad de depositación y a que el enriquecimiento de la sílice de estas rocas, es producto de fenómenos tectónicos y diagenéticos. Reconocieron las tres secciones o miembros del Grupo Olini: Formación Lidita Inferior, Formación el cobre y Formación Lidita Superior.

VARGAS R, PEREZ, C; DIAZ, C. 2014. “*Levantamiento Estratigrafico Detallado Para El Miembro Shale De Bambuca En Dos Secciones De La Subcuenca De Neiva*”, Universidad Surcolombiana, Neiva- Huila.

El trabajo de grado representa la primera etapa de la investigación sobre las rocas lutíticas de la formación Villeta y consistió en el levantamiento estratigráfico del miembro Bambucá de la formación Villeta reconociendo sus ambientes de sedimentación y un análisis de la estratigrafía secuencial basado principalmente en las estructuras sedimentarias presentes. Con esto se determinaron las curvas eustáticas las cuales son representativas de las variaciones del nivel del mar y el ambiente sedimentario de depósito.

Para el levantamiento estratigráfico detallado del miembro Shale de Bambucá en la Subcuenca de Neiva fueron escogidas dos secciones geológicas de la parte norte y centro del departamento del Huila, y se enfoca al reconocimiento de la estratigrafía de la denominada cobertura productiva de la Subcuenca de Neiva la cual cobija la parte sur del Valle Superior del Magdalena considerada como una de las cuencas más promisorias de Colombia desde la perspectiva exploratoria de hidrocarburos. El trabajo se enfoca principalmente en el reconocimiento geológico y estratigráfico de la formación Villeta (Hondita - Loma Gorda) y especialmente el miembro Shale de Bambucá.

ESTUDIANTES DE CAMPO. 2015. “*Guía Geológica Campo VI*”, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Guía elaborada por estudiantes de la universidad Nacional de Colombia para la de ciencias incluye información recopilada del área geológica de la cuenca del Valle Superior del Magdalena, en el área del departamento del Huila que cuenta con información litológica, paleontológica, estructural, tectónica, geomorfológica, y de procedimientos geofísicos para toma de datos de la formación de interés (Hondita).

La Formación Hondita la definen principalmente compuesta por lodolitas, con niveles de lodolitas calcáreas y arenitas bio-perturbadas y glauconíticas (la litología se ve reflejada en las columnas estratigráficas de MENDIVELSO (1993) y PATARROYO (2011). Hacen referencia al contacto neto con la formación Calizas de Tetuán definida por GUERRERO 2000 como límite inferior y el superior en un contacto difuso con la Formación Loma Gorda que se distingue por su asociación faunística. Presenta un espesor de 90 m en la Quebrada Hondita (sección tipo) y su espesor es de 163 metros en la Quebrada Bambucá.

VARGAS R, ET AL. 2018. “*Levantamiento Estratigrafico Detallado Para El Miembro Shale De Bambucá En Dos Secciones De La Subcuenca De Neiva*”, Universidad Surcolombiana, Neiva-Huila.

Se continúa con la investigación donde se muestra el levantamiento estratigráfico detallado de dos secciones del miembro Shale de Bambucá, levantadas, la primera, en el flanco oeste del sinclinal de Media Luna por el carreteable que conduce a la Hacienda La Reforma del municipio de Aipe sobre el margen de la quebrada Bambucá con un espesor de 368 metros, y la segunda sección levantada al Norte del sinclinal de Media Luna sobre el carreteable que comunica hacia la Hacienda El Palco del municipio de Aipe, dando como resultado un espesor de 195 metros; siendo lutitas en capas de estratificación muy fina la litología predominante en la unidad estratigráfica.

Se realizan pruebas de laboratorio con el fin de apoyar la interpretación geológica del miembro Shale de Bambucá de la formación Villeta y se logra correlacionar con algunos estudios previos afines, aportando nueva información que permite evaluar y tener un mejor conocimiento de la viabilidad de obtención de recursos energéticos no convencionales como el gas shale, por medio de la técnica del Fracking a partir de lutitas del cretáceo de la formación.

VARGAS R, ET AL. 2019 “*Levantamiento Estratigráfico Detallado Para El Miembro Shale De Bambucá En Dos Secciones De La Subcuenca De Neiva*”,

Se continua con la investigación donde se da a conocer dos nuevas columnas estratigráficas para el miembro SHALE DE BAMBUCÁ, la primera ubicada sobre la subcuenca de Neiva del Valle Superior del Magdalena, al oeste de la ciudad de Neiva sobre el municipio de Palermo, sobre carreteable que conduce hacia los pozos que están en producción del Campo Santa Clara, con un espesor de 265 metros y la segunda sección sobre el carreteable que conduce desde la ciudad de Neiva, hacia la represa de Betania, vía al sitio turístico conocido como “La Cueva del Tigre” a aproximadamente 3.2 km del carreteable principal que conduce a la quebrada El Ocal, esta sección cuenta con un espesor de 155 mts.

Se realizan pruebas de laboratorio con el fin de apoyar la interpretación geológica del miembro SHALE DE BAMBUCÁ de la formación Villeta, mediante la descripción detallada de muestras con análisis petrográfico macroscópico en laboratorio, análisis textural por el método de Bouyoucos y determinación de la porosidad de una muestra por el medio del porosímetro de expansión de helio; de este modo basados en la información procesada, tanto en campo como de laboratorio, se logra correlacionar el presente trabajo con algunos estudios previos que permitan determinar la viabilidad de la técnica del fracking en el Valle Superior del Magdalena (VSM)

MUÑOZ INGRID, ET AL 2019 “*Caracterización diagenética y petrofísica de las rocas carbonatadas FMS. Hondita- Lomagorda, sector cueva del tigre municipio de Yaguara-Huila, con potencial para yacimientos de hidrocarburos*”

La cuenca del Valle Superior del Magdalena presenta formaciones geológicas ricas en rocas carbonatadas de origen marino; es así como se realizó el presente estudio en el sector de la cueva del Tigre, vereda Upar del municipio de Yaguará en el departamento del Huila.

Se realizaron una serie de salidas de campo, en donde se tomaron muestras de mano, datos estratigráficos, estructurales, entre otros; se llevaron las muestras al laboratorio realizando un primer análisis macroscópico, para posterior selección y elaboración de secciones delgadas, una vez preparadas las secciones delgadas se llevaron a los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia en donde se realizó el análisis litológico microscópico con equipos de luz polarizada, seleccionando las secciones más representativas para someterlas al equipo de catodoluminiscencia, a la par se realizan pruebas petrofísicas de porosidad y permeabilidad en el laboratorio Gmas, Bogotá D.C.

Como producto final se obtiene que según la clasificación DUNHAM el 54,54% de las muestras son wackestone, 18,18% packstone y 27,27% mudstone; según FOLK el 72,72%

son Biomicrita, 9,09% oomicrita, 9,09% Micrita fosilífera y 9,09% Micrita. Presentan porosidad según CHOQUETTE & PRAY de tipo intragranular, móldica, de fractura, intercrystalina y vug, como paso final se determinaron los ambientes de deposición, identificando que pertenecen en un 27,27% a arrecifes, 36,36% plataforma retrabajada, 27,27% a lagoons y 9,09% Plataforma Foreslope.

MUÑOZ INGRID, ET AL.2020 *“Microtermometría De Rocas Carbonatadas De Las Formaciones Hondita - Loma Gorda, Sector Cueva Del Tigre, Municipio De Yaguará - Huila, Colombia”*

Las limitadas reservas petrolíferas de Colombia hacen que cada día sea importante encontrar nuevos campos de extracción o potencializar los existentes, siendo fundamental el fortalecimiento de los proyectos de exploración, la Cuenca del Valle Superior del Magdalena (VSM) ha sido una de las primeras cuencas de exploración y producción de hidrocarburos de Colombia, cuyas reservas presentan ya dichas limitaciones. En la industria del petróleo, las propiedades geoquímicas son utilizadas para entender el origen, la migración, la acumulación y la alteración de los hidrocarburos, donde uno de los parámetros más importantes para entender dicha evolución, es la temperatura de formación del sistema petrolífero.

Se realizaron mediciones microtermométricas de las inclusiones fluidas de las rocas carbonatadas de las formaciones Hondita y Loma Gorda, evaluando e identificando su historia térmica y factores generados en la evolución de estas, determinando las características del sistema petrolífero que forman y sus potencialidades. Por esto, se determinaron ciertas variables fisicoquímicas básicas como la temperatura de homogenización, densidad y salinidad del fluido en el momento de su entrapamiento, aportando evidencias evolutivas de la cuenca sedimentaria.

Los resultados de las propiedades mencionadas de las inclusiones fluidas poseen salinidades que varían desde 20.27% a 24.30% eq. en peso NaCl, densidades con un valor promedio de 1.10 g/cc calculadas a partir de las temperaturas de fusión final del hielo que oscilan entre -22.6°C a -17°C y las temperaturas de homogenización que van desde 105.5°C hasta 150.1°C, indicando que, en el momento de entrapamiento de estas, las rocas se encontraban en la ventana de generación de hidrocarburos medianos - livianos para la formación Loma Gorda y pesados - livianos para la formación Hondita siendo esta última la de mayor potencial generador; de igual manera se evidencia una evolución regresiva y transgresiva del Mar Cretácico debido a la variación de energía en los ambientes sedimentarios.

4. GEOLOGÍA REGIONAL

4.1 COBERTURA PRODUCTIVA

CRETÁCEO

- **Formación Villeta (Kv) (Hondita – Lomagorda)**

Edad: Cenomaniano-Coniaciano (99.6 – 89.3 M.a.)

Compuesta por los miembros: Calizas de Tetuán, Shale de Bambucá, La Luna, Aico Chert. Las dos unidades inferiores son conocidas como la Formación Hondita en la nomenclatura del Servicio Geológico Colombiano. La Formación Lomagorda (SGC) corresponde al miembro La Luna.

Como parte del presente trabajo se realizó el respectivo levantamiento estratigráfico a toda la secuencia litológica de la Formación Villeta DEL MIEMBRO SHALE DE BAMBUCA en el sector de las Brisas, el cual representó de manera evidente dos de sus cuatro Miembros anteriormente mencionados. Por medio del método de poligonal abierta se logró obtener la columna estratigráfica de toda la Formación

- **Miembro Calizas De Tetuán**

Edad: Albiano tardío-Cenomaniano (112 – 99.6 M.a.)

Su nombre se deriva del río Tetuán, por lo que Guerrero (2000) propone la localidad tipo de la unidad en el área de Ortega. Buenos afloramientos se ubican en el Anticlinal de Chicumbe, a 6 km al NE de Ortega y 10 km al N del río Tetuán. La Formación Tetuán incluye los 150 a 200 m más bajos de la Formación Villeta. Otra buena sección aflora sobre la Quebrada Bambucá, aproximadamente a 15 Km al NW de la cabecera municipal de Aipe, Huila.

Secciones de referencia de la Formación Tetuán son las de Ataco (VERGARA, 1997) y de la Quebrada Olini (VILLAMIL, 1998). Según VERGARA (1997), estaría compuesto por

"margas negras laminadas intercaladas con lechos de Biomicrita y abundantes concreciones de carbonatos". Según VILLAMIL estaría compuesto de calizas pelágicas y lutitas calcáreas ricas en materia orgánica.

Las Calizas de Tetuán habían sido nombradas por BARRIO & COFFIELD (1992) quienes aclaran que este nombre fue establecido por la Texas Petroleum Company (1962) para designar cuerpo de calizas reconocido en el Campo Ortega e incluido dentro de la Formación Caballos. En el área del Valle San Luis el espesor tiene un rango de 120 a 200 m. En aquel trabajo colocan la Formación Calizas de Tetuán suprayaciendo a una unidad informal denominada Arenisca Inferior ("Lower Sandstone"), e infrayaciendo el "Shale de Bambucá" que a su vez está estratigráficamente por debajo de la Formación Caballos. Una analogía evidentemente confusa e incorrecta.

PATARROYO (1993) dividió la formación Hondita en tres segmentos. Haciendo el paralelismo, el segmento inferior correspondería al Miembro Calizas de Tetuán que describe como conjuntos de capas de lodolitas calcáreas negras, intercaladas con capas medias y delgadas de micrita, micrita fosilífera y biomicrita, de color gris a negro; con laminación plana paralela, discontinua ondulosa no paralela, ondulosa paralela y ondulosa no paralela. Acompañadas de concreciones calcáreas de tamaño variable, generalmente fosilífera.

PEÑA & ANICCHARICO (1999) realizan estudio petrográfico de la unidad que ellos denominan "Calizas de Tetuán", llegando a la conclusión que la litología predominante de la unidad estudiada es una biomicrita de foraminíferos. Ellos realizan este trabajo en las rocas sacadas de varios pozos exploratorios perforados al sur de Neiva y colocan a las "Calizas de Tetuán" por encima de las areniscas de la Formación Caballos y por debajo de la denominada unidad "Shale de Bambucá"; para ellos las Calizas de Tetuán son el miembro inferior de la Formación Villeta.

Para SARMIENTO (2004) en el Valle Superior del Magdalena esta unidad posee un espesor

de 135 m.

GAMBA (2002) en la sección Quebrada Bambucá levanta 219 m. de la Formación Calizas de Tetuán. Litológicamente esta Formación en la sección Quebrada Bambucá consiste hacia el contacto con la Formación Caballos de lutitas grises con algunos niveles carbonatados y concreciones sideríticas. Intercalaciones de calizas de tipo Biomicrita de color gris gradando a amarillento con estratificación gruesa a fina con niveles de Lodolitas grises oscuras fosilíferas con estratificación fina a muy fina y laminación planoparalela.

Se manifiestan bastantes concreciones sideríticas de diámetro aproximadamente 50 cm. Conjunto de lodolitas fisiles calcáreas de color gris oscuro a negro, blandas, oxidadas, fracturadas, semimeteorizadas con estratificación fina a muy fina. Suprayace un paquete de calizas de color gris en capas de estratificación media a gruesa de tipo Biomicrita con niveles concrecionales de tipo nódulos. Estas calizas presentan gran cantidad fósiles con intraclastos y pellets según Dunham denominada como Packstone.



Fotografía 1. Calizas de Tetuán, de la formación Villeta. Tomada por autores.

- **Miembro Shale de Bambucá**

Edad: Cenomaniano (99.6 M.a)

El nombre Shale de Bambucá es usado por las compañías petroleras reportadas en trabajos previos en el área del Valle Superior del Magdalena. BARRIO (1992) la define como una unidad compuesta de shale oscuro finamente laminado con intercalaciones de calizas micríticas grises tabulares hacia el tope y concreciones carbonatadas. En el área del Valle de San Luis, entre los municipios de Payandé y Chaparral en el Tolima; subcuenca de Girardot, hacia el sector de la Quebrada El Cobre posee un espesor de 150 m. Mientras que en el área de Ortega indican que ostenta un espesor de 100 m. (Basados en la Compañía Texas Petroleum, 1962) y se caracteriza de shales laminados oscuros con intercalaciones delgadas de areniscas y calizas hacia el tope.

En la sección las Brisas se constituye hacia la base la aparición de las Calizas de Tetuan, calizas micríticas con sucesiones de shale con estratificación fina a muy fina de color gris gradando a negro. A medida que se asciende es cada vez más escasa la presencia de calizas micríticas. Hacia el tope se presentan secuencias de lodolitas calcáreas de color gris oscuro a negro, en capas de estratificación finas a muy finas con esporádicas capas de caliza micrítica.



Fotografía 2. Afloramiento de shale en el sector de las Brisas. (Tomada por autores)

- Analogía con La Formación Hondita.

Su nombre se deriva de la Quebrada Hondita en el Municipio de Piedras, Departamento del Tolima; denominada Formación Hondita por De Porta (1965), el contacto a la base es marcada por las areniscas más altas de la Formación Caballos y al tope con la primera Biomicrita de la Formación Loma Gorda (Guerrero et al. 2000; Patarroyo & Dueñas, 2006). VERGARA (1992) indica que el límite entre las formaciones Caballos y Hondita, presenta una superficie transgresiva, sobre el cual se desarrolló un suelo siderítico.

VERGARA (1997) al referirse a la nomenclatura del Valle Superior del Magdalena coloca suprayaciendo a la Formación Caballos, la Formación Hondita, dándole a esta un espesor de 378.59 metros en la sección de las Brisas.

- Formación Lomagorda

Edad: Turoniano-Coniaciano (93.5 – 89.3 M.a.)

El nombre de esta formación fue introducido por De Porta (1965) tomado de Lomagorda ubicada entre los caminos de Lomagorda y La Tabla en el municipio de Piedras (Tolima). La sección aflora por el camino que conduce de Piedras al caserío de La Tabla (Porta en Juliviert, 1968), mientras que la localidad corresponde a Lomagorda según Etayo et

al. (1983).

PATARROYO (1993) separa la Formación Lomagorda en dos segmentos. El segmento inferior, cuya característica principal, es la ocurrencia de capas medias a delgadas de “chert”; que corresponden a micritas y biomicritas, parcial o totalmente reemplazadas por cuarzo microcristalina (Patarroyo, 1991). Un fenómeno diferente de concentración de sílice, fue detectado por Jaramillo y Yepes (1992) en los “cherts” del Grupo Olini. La estratificación interna del chert es ondulosa paralela y planoparalela, de color gris, interestratificadas con estos aparecen lodolitas calcáreas negras, micritas, micritas fosilíferas, de color gris.

En la parte alta de la sección aparecen secuencias de limolitas silíceas. Patarroyo (2006) sobre la misma sección obtiene 245 metros de espesor de la Formación. El ambiente de formación refleja condiciones de plataforma media a externa (aporte de carbonatos) mientras para los segmentos con lodolitas terrígenas se interpretan condiciones de plataforma interna con cercanía a las áreas de aporte, reforzado por la ocurrencia de depósitos de tormenta, sin descartar leves descensos del nivel del mar.

MORA (2013) describe La Formación Lomagorda en 3 secciones (inferior, intermedio y superior):

La primera con un espesor de 99 m. que aparece encima de las últimas lodolitas fisiles de la Formación Hondita (Shale de Bambucá), en contacto plano. Paquete de biomicritas compuesto de foraminíferos planctónicos y fragmentos de peces y granos de cuarzo de tamaño de arena fina, se presenta en láminas delgadas con estratificación convoluta y ondulosa paralela. En el segmento alternan Lodolitas calcáreas, micritas en capas delgadas a medias con estratificación interna planoparalela, micritas fosilíferas y dos capas de Lodolitas terrígenas de colores gris oscuro, estas últimas muestran estratificación interna planoparalela. Presenta concreciones calcáreas de tamaño variable de centímetros a metros por lo general fosilíferas. En este segmento se observa mayor cantidad de carbonatos, fauna planctónica y

continuidad lateral de los estratos (finamente laminados) con lo cual se deduce un aumento en el nivel del mar y condiciones anóxicas.

En el segundo segmento con 52 m de espesor se destacan los niveles silificados que en la clasificación de campo pueden parecer capas de “chert” pero petrográficamente son micritas y biomicritas silificadas por diagénesis con intercalaciones de lodolitas calcáreas con fragmentos fosfáticos y concreciones calcáreas, laminación planoparalela y ondulosa paralela.

El ambiente se asume que, aunque se mantenían las condiciones de baja energía estas se alternaban con ambientes más agitados que permitían la acumulación de material fosfático.

En el tercer segmento de 94 m. de espesor se encuentra capas delgadas a muy delgadas de limolitas y lodolitas fisiles (en mayor proporción) y cuarzoarenitas con glauconita y laminación ondulosa paralela y no paralela. Petrográficamente este tipo de rocas apuntan a la disminución en el nivel del mar que conlleva a condiciones más oxigenadas durante su depósito.

El segmento 2 correspondería al Miembro Aico Chert de la Formación Villeta constituido por conjuntos de lodolitas silíceas con intercalaciones de limolitas silíceas y chert de color gris con estratificación media a muy fina de forma lenticular y tabular. Suprayace a estas capas silíceas secuencias de lodolitas de color gris claro que van gradando a amarillentas, fisiles, silíceas de textura arenosa con delgadas intercalaciones de shale gris oscuro muy fracturado con estratificación fina a muy fina hacia el tope. Según MORA (2013), este miembro (Aico Chert) pertenece al segundo y una porción del tercer segmento. Segmento que alcanza a tomar el Miembro K4 de la Formación Monserrate y según las areniscas mencionadas, posiblemente una porción del miembro K3 de la Formación anteriormente mencionada.

En la sección GIRARDOT-NARIÑO (Cundinamarca) Subcuenca de Girardot,

VARGAS, TRUJILLO & CARVAJAL (2015) realizan el estudio detallado de la Formación Lomagorda describiéndola hacia su base como un nivel de lutitas y shales grisáceos con abundantes nódulos calcáreos de hasta 1 metro de diámetro. Su parte media y el tope están compuestas por lutitas interestratificadas con esporádicos niveles de chert gradando con pequeñas capas de areniscas de grano fino, siendo comunes en toda la sucesión las intercalaciones calcáreas. El techo está limitado por el primer banco de chert y corresponde a la formación Lidita Inferior del Grupo Olini; su edad es de unos 80 millones de años correspondiente al Coniaciano.

La Formación Lomagorda representa el contacto superior de la Formación Hondita, en el que se observa el cambio litológico entre las lodolitas fisiles de la subyacente (Guerrero *et al.* 2000; Patarroyo & Dueñas 2006).

4.2 NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA

Las Formaciones Caballos, Villeta, Monserrate pertenecientes al Cretácico han sido estudiadas durante los últimos años, otorgando información importante que a su vez generan ambigüedades motivadas por las diferencias entre estos estudios. Una acertada correlación entre las formaciones sugiere el uso de una apropiada nomenclatura estratigráfica.

En Colombia es frecuente que la información geológica de muchos de los estudios sea imprecisa y difieran bastante de investigaciones sobre las mismas unidades realizadas por CORRIGAN (1967), BELTRAN & GALLO (1968) y MOJICA & MACIA (1983). Esto normalmente se debe al desconocimiento de trabajos originales (anteriormente nombrados) que los anteceden pasando por alto información y recomendaciones hechas con antelación. Es de suma importancia eliminar estas discrepancias, ya que al momento de correlacionar las unidades de las diferentes cuencas la sensibilidad debe llegar a ser tal que las descripciones

litológicas sean propiamente detalladas sin causar ningún tipo de tergiversación. Reconocer los límites estratigráficos augura un adecuado manejo de la incertidumbre en parámetros esenciales como lo son los espesores en la exploración de hidrocarburos.

El conocimiento, identificación y análisis geológico del Valle Superior del Magdalena es de suma importancia, es la base para el avance en la exploración y explotación de hidrocarburos en esta cuenca sedimentaria y como hoy después de 100 años de Industria Petrolera en Colombia, esta cuenca ha evolucionado y sugiere que las investigaciones deban dirigirse hacia los yacimientos no convencionales.

En el trabajo denominado “Comentarios acerca de la nomenclatura Estratigráfica del Cretácico Inferior del Valle Superior del Magdalena”, Vergara L., Guerrero J., Sarmiento G. (1995). Se define las unidades litoestratigráficas de estudio del presente trabajo, basadas en criterios litológicos, bioestratigráficos mediante conceptos y normas de procedimiento del North American Stratigraphic Code (NACSN, 1983).

Los registros históricos realizados por Patarroyo (1993) y Vergara (1994) sobre la estratigráfica del Cretácico en el Valle Superior del Magdalena reportan afinidades complejas debido a la pobre información de las formaciones y poco conocimiento de la bioestratigrafía de apoyo.

Con el fin de lograr una apropiada identificación de los límites, litología, datación, estratigrafía, etc. de las formaciones específicas que fueron reconocidas durante el desarrollo y ejecución del proyecto de grado denominado, “LEVANTAMIENTO ESTRATIGRÁFICO DETALLADO PARA EL MIEMBRO SHALE DE BAMBUCÁ EN EL SECTOR DE PALERMO VEREDA LAS BRISAS”, se utilizará a conveniencia según la información obtenida en campo.

PATARROYO (1995) y VERGARA (1994) acogen los nombres Formación Hondita y Formación Lomagorda de DE PORTA (1966, 1965). Redefiniendo sus límites y

expandiéndolo a todo el Valle Superior del Magdalena.

El carácter peculiar de las diversas estructuras geológicas de la zona esta simbolizado con las fallas y pliegues controladas tectónicamente que han formado una topografía irregular en la cual se han depositado los sedimentos del Cretácico sobre el Valle Superior del Magdalena, es por ello que las sucesiones difieren en algunos lugares empieza por la Formación Yaví y en otros las diferentes unidades de la Formación Caballos que a su vez no mantiene la secuencia de las posiciones estratigráficas definidas, por lo que en algunas zonas existe ausencia de algún miembro. Estas anomalías estratigráficas dentro de una misma formación se atribuyen al tectonismo intenso de la cuenca manifestada por cambios laterales de sus facies.

En el marco de la sucesión Cretácea, la estratigrafía del Valle Superior del Magdalena puede ahora ser reconocida aplicando la terminología adecuada para las secciones. Las variaciones de espesores que exhibe la Formación Villeta en el área del Valle Superior del Magdalena, se manifiestan en el incremento hacia el margen oriental mientras que el margen occidental del Valle Superior el espesor claramente disminuye a un ritmo más lento con facies que representan ambientes menos profundos que los equivalentes al margen oriental. Esto está relacionado a sedimentos de ambientes menos profundos vinculados a la orogénesis que para la época (Cretácico) estaba representada por la Cordillera Central. Sin embargo, la abundancia de carbonatos en la secuencia implica menor aporte clástico en la cuenca.

4.3 RELACIÓN ESTRATIGRÁFICA ENTRE LA NOMENCLATURA DEL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO Y LA INDUSTRIA DEL PETROLEO

Para evitar confusiones con el mapa de IGAC (actualmente Servicio Geológico

Colombiano) del Huila del 2001, se correlaciona las unidades estratigráficas de acuerdo con la nomenclatura empleada por la Industria Petrolera y la del Servicio Geológico Colombiano para el Valle Superior del Magdalena.

Tabla 1. *Relación estratigráfica entre la nomenclatura del servicio geológico colombiano y la Industria del petróleo. Tomado de la sección de las columnas estratigráficas para el valle superior del Magdalena (Vargas R. 2014) (Modificado por autores)*

EDAD		NOMENCLATURA EMPLEADA EN LA INDUSTRIA PETROLERA		NOMENCLATURA EMPLEADA POR EL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO	
ERA	PERIODO	GRUPO	FORMACIÓN	GRUPO	FORMACIÓN
CRETÁCICO	SUPERIOR	Maestrichtiano Santoniano	Monserate	K III	Buscavidas La Tabla
					Olini
	INFERIOR	Coniaciano	Villeta	K II	Loma Gorda
					Hondita
		Albiano	Caballos	K I	Caballos
					El Ocal
					Alpujarra
		Aptiano	Yaví		Yaví

5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El Valle Superior del Magdalena es una depresión alargada en la dirección NE-SW que separa la mitad meridional de las Cordilleras Central y Oriental (Mojica & Dorado, 1987), y se extiende desde Pitalito (en el Sur), hasta Honda (en el Norte); es caracterizada por su estilo estructural compresivo, de cabalgamiento- plegamiento, delimitada en los bordes por fallas inversas, que ocupa el vértice interno de la bifurcación de las Cordilleras Central y Oriental hasta un poco al Norte de Girardot (Mojica & Dorado, 1987). Ha sido subdividida, por su morfología y sus principales rasgos estructurales, en la Subcuenca de Neiva, al Sur, y la Subcuenca de Girardot, al Norte, las cuales están separadas por el umbral o alto del basamento económico de Patá o de Natagaima (Mojica & Bayer, 1987). Es así que la cuenca limita al Norte con el denominado umbral de Natagaima, que divide el VSM en dos secciones anteriormente mencionadas, Sudeste con el sistema de fallas Algeciras-Garzón y al Oeste con las rocas del Pre-cretáceo de la cordillera occidental. Abarca parte del área rural de los municipios de Girardot y Nariño.

La secuencia cretácica en el VSM se depositó en una depresión tectónica tipo "rift", heredada del Jurásico y que continuó durante el Cretácico temprano, en este último lapso la subsidencia era predominantemente de tipo termal, luego en el Cenozoico la Cordillera Oriental fue plegada durante la Orogenia Andina, lo que produjo la inversión tectónica de las fallas antes normales a un nuevo sistema de cabalgamiento (Villamil 1998).

El carácter peculiar de las diversas estructuras geológicas de la Subcuenca de Neiva causadas por múltiples eventos tectónicos, esta simbolizado con las fallas y los pliegues a grandes rasgos como lo son: el sinclinal Media Luna y el sistema de fallas chusma- Teruel, que reúne las fallas de cabalgamiento con forma sinuosa que limita la subcuenca de Neiva con la cordillera central.

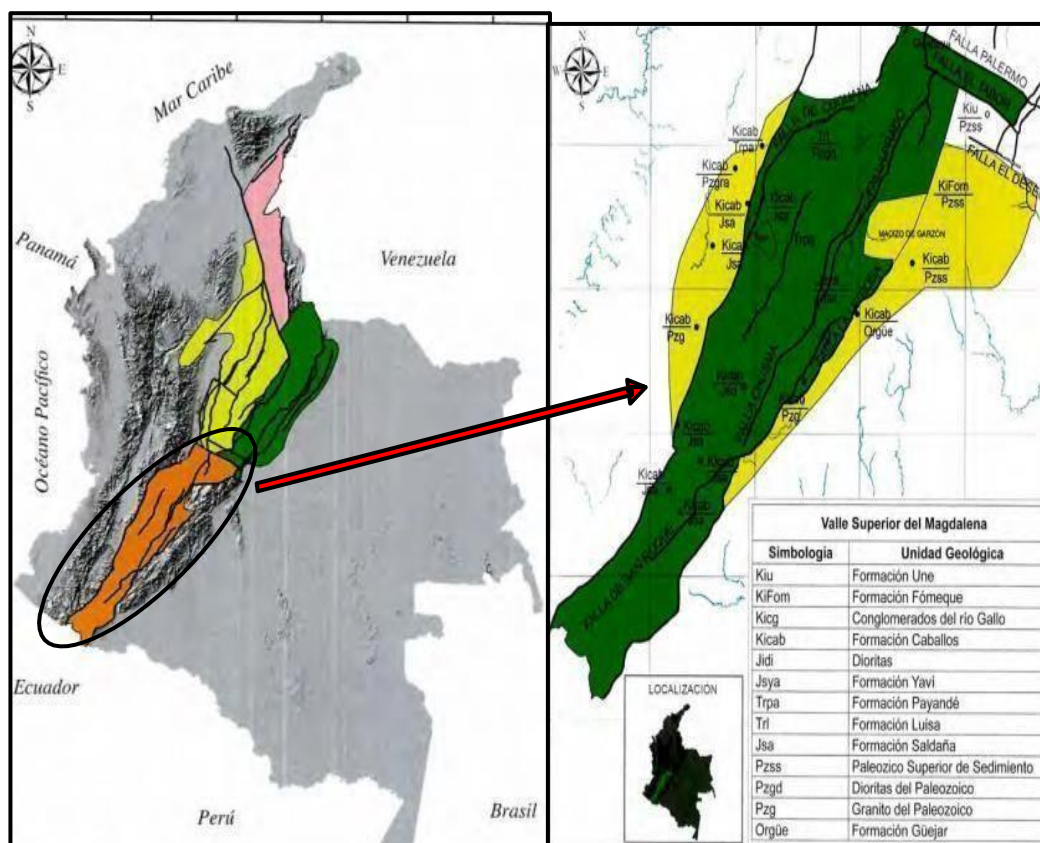


Figura 6. Ubicación y límites de la cuenca del Valle Superior del Magdalena. (Servicio Geológico Colombiano, 2012)

A lo largo de las secciones estudiadas las rocas sedimentarias presentan abundante diaclasamiento, fracturamiento y fallamiento local (inversas, de cabalgamiento y distensivas) que afectan las formaciones que infra y suprayacen a la Formación Villeta (Hondita) que se incrementa considerablemente en zonas cercanas a los sistemas fallados.

6. GEOLOGÍA HISTÓRICA

La geología histórica de los procesos sedimentarios y de deformación del valle superior del Magdalena es bastante compleja y se correlaciona con el origen de las cuencas sedimentarias continentales localizadas entre la Cordillera Central y el Macizo de la Guayana. El Museo geológico y del Petróleo, en varios trabajos ha reconstruido estratigráfica y estructuralmente los eventos ocurridos desde el Paleozoico hasta el Reciente. (Vargas Cuervo R., 2014). Para este trabajo se toma la evolución de la geología histórica de las cuencas continentales en Colombia enfatizando en la depositación del Valle Superior del Magdalena.

Durante el paleozoico inferior (cámbrico ordovícico) en la región entre la ancestral cordillera central y los llanos orientales de Colombia, existía una cuenca marina de tipo marginal de relleno, somera sobre un basamento precámbrico conformado por lo que hoy se denomina el macizo de la Guayana y correlacionarle en el Huila con el Macizo de Garzón. La placa oceánica no había chocado con el continente y la depositación en esta cuenca consistió principalmente en sedimentos de plataforma conformado por rocas pelíticas (limolitas, lodolitas y arcillolitas), calizas y rocas clásticas gruesas.

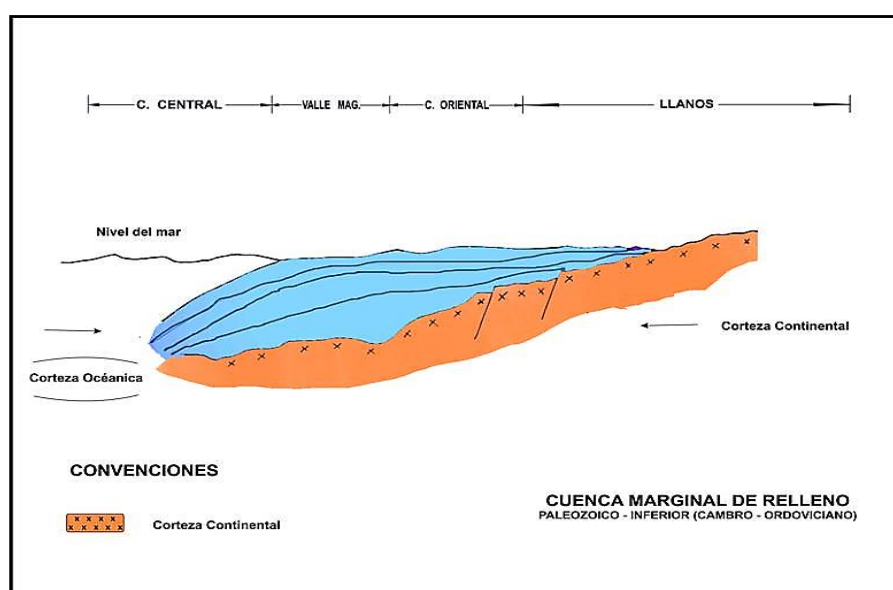


Figura 7. Cuenca Marginal De Relleno, Paleozoico – Inferior. Tomado de (Vargas 1988.)

En el paleozoico superior (silúrico devónico permico) hace contacto la placa oceánica chocando contra la placa continental generando un paleorelieve positivo siendo el inicio de la ancestral cordillera central esto provoca un evento orogénico denominado orogenia caledoniana la cual litifica los sedimentos del paleozoico inferior y sufren de metamorfismo regional de bajo a medio grado, principalmente en su margen occidental (cordillera central, valle superior del magdalena y cordillera oriental) generando los hoy denominados grupos Cajamarca (Huila y Tolima) grupo Valdivia y Ayura Montebello en el norte de Colombia y conformados principalmente por pizarras, filitas, esquistos grafitosos, cloríticos, entre otros. Hacia el sector oriental del hoy llamado llanos orientales, las rocas del paleozoico inferior no sufrieron metamorfismo, estando conformadas por lutitas, margas y areniscas, razón por la cual en algunas perforaciones realizadas en los llanos se ha bajado a esta secuencia paleozoica.

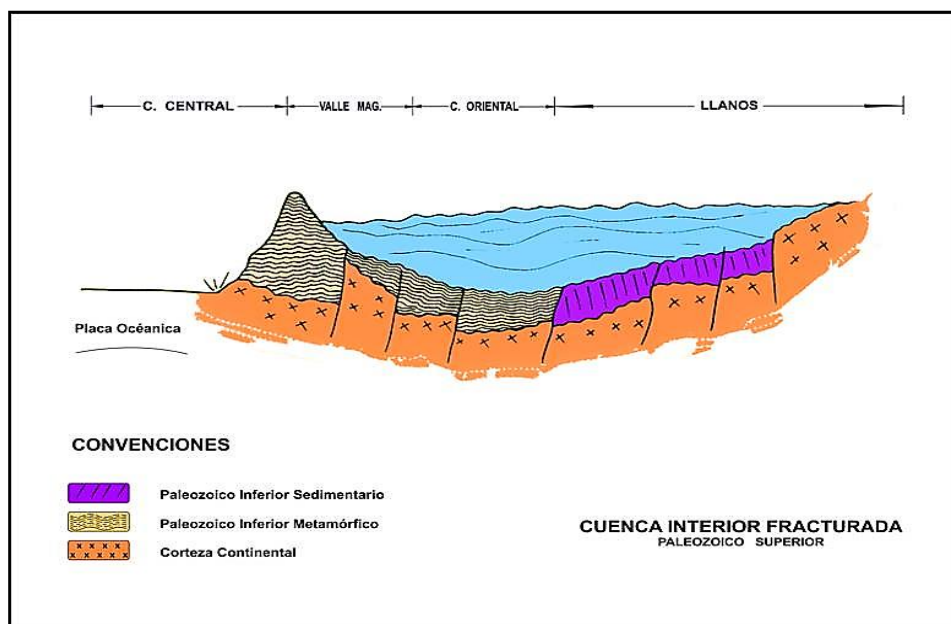


Figura 8. Cuenca Interior Fractura, Paleozoico – Superior. Tomado de Vargas 1988.

Como producto del fenómeno orogénico se genera una tectónica de bloques formando una cuenca marina interior fracturada en la cual deposita sedimentos de plataforma y zona

batial principalmente como lodolitas arcillolitas, calizas y niveles fosilíferos estando representados en el Huila por las rocas de la formación hígado localizadas en el sector de garzón.

Durante el triásico inferior se retira el mar generando un ambiente continental altamente oxidante representado por las capas rojas de la Formación Luisa conformadas por limolitas ferruginosas, areniscas con hematites y lodolitas ferruginosas, la cual se restringió a la región occidental del actual Valle Superior del Magdalena. En el Triásico superior luego de una intensificación de los procesos tectónicos y de la subsidencia del área de sedimentación, el mar penetró al hoy Valle Superior del Magdalena y dio lugar a un ambiente de Shorface y plataforma interna representada por la deposición de calizas correspondientes a la Formación Payandé. Las calizas son de tipo micrítico principalmente y en la región de Payandé son explotadas en una mina a cielo abierto por la empresa Cemex. A finales del triásico hay una nueva regresión marina y en un ambiente continental se inicia la depositación de la formación Saldaña. A principios del Jurásico se inicia una actividad volcánica explosiva y simultáneamente ocurre una ampliación del área receptora de materiales, tendencia que continúa hasta el fin de la sedimentación de la Formación Saldaña conformada por rocas ígneas, volcánicas hipoabisales de carácter ácido y conformadas por riolitas, dacitas principalmente, con delgadas intercalaciones de rocas sedimentarias clásticas como areniscas ferruginosas y limolitas. Cuando cesó la subsidencia, se colmató la cuenca y se extinguió el vulcanismo; Durante todo este periodo Jurásico se entran intermitentemente depósitos sedimentarios conformados por limolitas y lodolitas rojas y areniscas ferruginosas. A finales del Jurásico y asociados a la zona de subducción ocurren grandes eventos intrusivos de carácter ácido generando en la región Surcolombiana el Batolito de Ibagué y varios Stock dentro los cuales se encuentran el de Teruel, el Juncal, Payandé entre otros.



Fotografía 3. Mina a cielo abierto perteneciente a Cemex, Formación Payandé.

Así también, a finales del Jurásico ocurre el rompimiento de la placa tectónica oceánica en la zona de subducción y retrocediendo a la zona de subducción actual (Baudó) y acrecentando la corteza oceánica. A finales del jurásico ocurren procesos orogénicos dejando la cuenca de carácter continental con un relieve irregular y prosiguió un período erosivo que se prolongó hasta el Cretácico Pre-Aptiano.

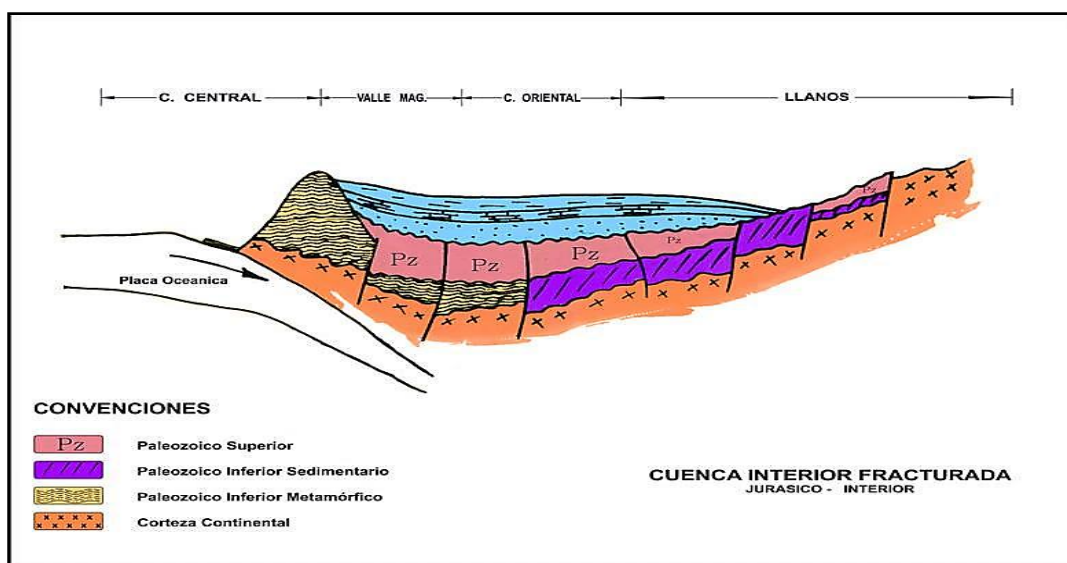


Figura 9. Cuenca Interior Fracturada, Jurásico – Interior. Tomado de Vargas 1988.

La deposición de la Formación Yaví señala el inicio de una nueva etapa de distensión, con que cubre el Valle Superior del Magdalena y el ámbito de las actuales Cordilleras Central.

La secuencia vulcano-sedimentaria del Triásico -Jurásico, señala la existencia de un período de fallamiento de tipo distensivo y un importante evento erosivo precretácico, que significa que la Formación Saldaña, además de constituir el sustrato para la trasgresión marina acaecida en el Cretácico, jugó un papel temporal como región de aporte de sedimentos para la unidad más baja de dicha trasgresión.

Durante el periodo cretácico se genera una cuenca marina interior fracturada la cual deposita las formaciones caballos, Villeta y Monserrate. A finales del mastrichtiano se retira el mar iniciando un proceso de transición representado por la formación Guaduala, lo cual deposita principalmente arcillas en un ambiente parálico. Posteriormente con un solevantamiento de la cordillera central genera grandes corrientes fluviales que deyectan en dirección oeste – este generando durante el eoceno y oligoceno grandes depósitos fluviales correspondientes las formaciones gualanday, Doima, Potrerillo y Honda, colmatando la cuenca sedimentaria. A principio del mioceno se inicia el proceso de levantamiento de la cuenca producto denominada orogenia andina generando la llamada hoy cordillera oriental y generando el rompecabezas de las actuales cuencas continentales.

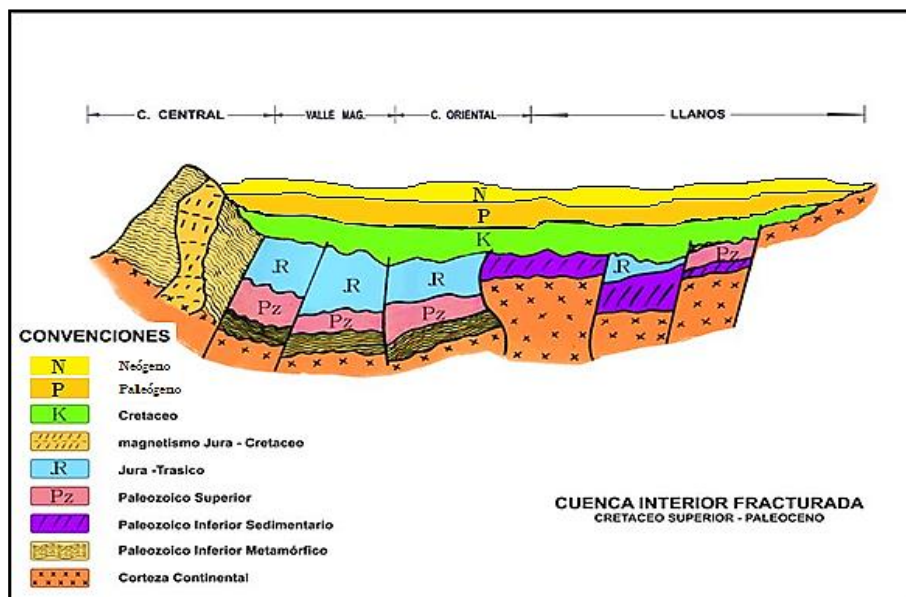


Figura 10. Cuenca Interior Fracturada; Cretáceo Superior – Paleógeno - Neógeno. Tomado de Vargas 1988.

Durante el cuaternario la actividad volcánica de la cordillera central genera una gran cantidad de sedimentos piroclásticos que han cubierto parcialmente las rocas sedimentarias de la subcuenca de Neiva y corresponden a las formaciones Gigante y Guacacallo.

Así también durante el Cuaternario, en ambiente continental y debido a procesos agradacionales por la dinámica fluvial y la acción de la gravedad fundamentalmente, se conforman depósitos aluviales, vulcano-clásticos, fluvio- lacustres, de flujos de lodo y de ladera.

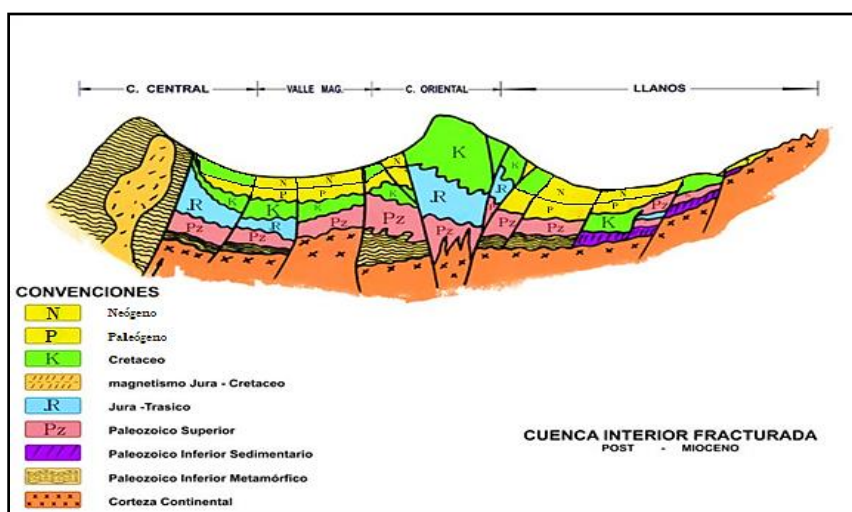


Figura 11. Cuenca Interior Fracturada; Post – Mioceno. Tomado de Vargas 1988.

7. GEOLOGÍA DEL PETRÓLEO

La sección correspondiente al presente proyecto de grado engloba las principales rocas generadoras, almacén y sello de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena. En la cual se busca comprender de manera precisa la distribución de las facies y los ambientes de depositación para la exploración y explotación de Hidrocarburos en la Cuenca, para lograr un entendimiento más amplio de la evolución geológica del Valle Superior del Magdalena.

Debido a que en el siguiente trabajo no se anexan estudios geoquímicos de las rocas para poder cuantificar el potencial generador, fue necesario recurrir a estudios previos realizados para poder realizar la comparación y conocer el potencial generador que tiene. Respecto al Miembro Shale de Bambucá de la formación Villeta (Hondita-Lomagorda); se toma la información suministrada por el trabajo realizado por Campiño, L. F., Parra, Mantilla, P., Mora, C. (2007) denominada “PALINOFACIES Y GEOQUIMICA ORGANICA EN LAS ROCAS DEL APTIANO-CONIACIANO (VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA)” en el cual se establecen que, según los datos geoquímicos, esta formación presenta altos valores de COT (contenido total orgánico) MOA (materia orgánica amorfa) e IH de tipo marino relacionados con Kerógeno tipo II. Mientras que la Tmax revela que la mayoría de las muestras analizadas no han alcanzado la madurez termal para la generación de Hidrocarburos.

La integración de esta información puede dar un indicio en el entendimiento y conocimiento del ambiente de depositación, grado de alteración, dispersión y procesos diagenéticos para la formación de hidrocarburos y los procesos que afectaron la materia orgánica contenida. Finalmente se recomienda tomar análisis geoquímicos y datos ópticos más específicos de la zona donde están las secciones en la subcuenca de Neiva, puesto que no se precisa de información completa por factores como el carácter confidencial de dicha

información debido al interés económico de la zona.

Según CAMPIÑO (2007) El miembro Shale de Bambucá se caracteriza por presentar dos tendencias en cuanto a la concentración de COT, una ascendente desde la base hasta y una descendente desde este punto hasta el tope de la formación. El descenso del COT y el IH pueden estar relacionados con un descenso en el nivel del mar, indicando menor aporte de material orgánico rico en lípidos. La MOA bien preservada y los altos valores de COT sugieren condiciones anóxicas donde la tasa de depositación de la materia orgánica debió ser lenta. La Tmax muestra de que a pesar de que la Formación sea potencial generadora de Hidrocarburos, la madurez de la materia orgánica no ha sido alcanzada aún.

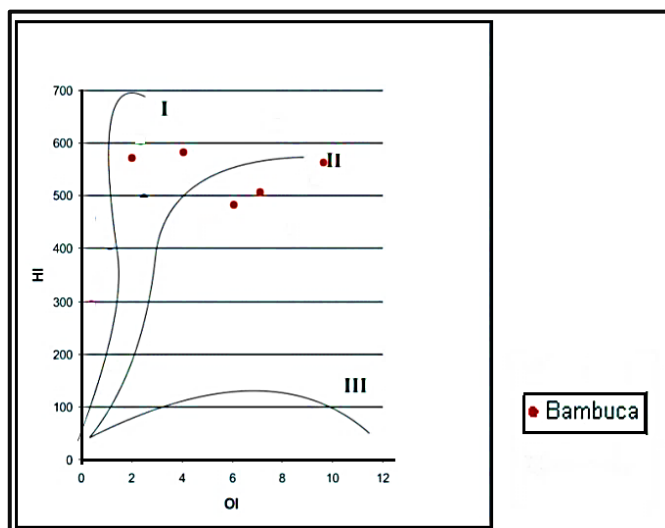


Figura 12. Diagrama de Van Krevelen modificado, donde se grafican los valores de HI y OI. Nótese que la mayoría de los datos se encuentran en rango de Kerógenos I y II. (Campiño, Parra, & Mora, 2007)

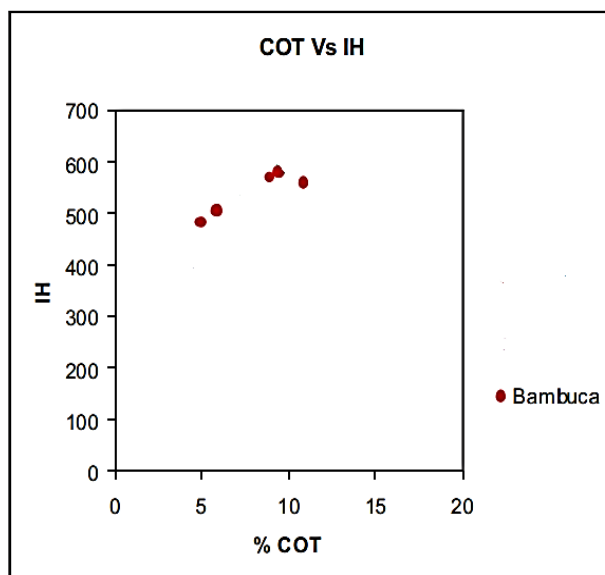


Figura 13. Relación de IH vs COT en las muestras estudiadas, Tomada de palinofacies y geoquímica orgánica en las rocas del Aptiano - Coniaciano (Valle Superior del Magdalena). (Campiño, Parra, & Mora, 2007)

7.1 SISTEMAS PETROLIFEROS DEL VALLE SUPERIOR DEL MAGDALENA

En el Valle Superior del Magdalena fueron identificados cuatro sistemas petrolíferos, dos de estos sistemas están localizados en la Subcuenca de Girardot y los otros dos en la Subcuenca de Neiva.

Las calizas lateralmente cambiando a shales de la Formación Villeta depositados durante el Cenomaniano-Coniaciano posterior a eventos de inundación marina, constituyendo la principal roca generadora. Estas rocas contienen entre 1-4% TOC y Kerógeno tipo 2.

Las cuarzoareniscas de la formación Caballos (Aptiano-Albiano) y la formación Monserrate (Santoniano-Maestrichtiano) son las principales rocas almacén. Las rocas sellos son las arcillas del Cretácico y Paleógeno perteneciente a la Formación Guaduala. La sobrecarga incluye las rocas del Cretácico y los depósitos del Cenozoico simultáneamente con desarrollo de dos sistemas opuestos de empuje. Estos eventos de deformación fueron los responsables de la creación de las trampas.

Las distancias de migración lateral hacia arriba son relativamente cortas y las fallas

ejercen vías de migración verticales. Una inmensa cantidad de crudo probablemente fue degradada en superficie, como resultado de la erosión y deformación del Mioceno.

El Valle Superior del Magdalena es una cuenca angosta intermontañosa localizada a lo largo del extremo sur del valle del río Magdalena, entre las Cordilleras Central y Oriental de los Andes Colombianos.

La cuenca del VSM contiene reservas de crudo y gas. Entre 1962 y 1982 varios campos fueron descubiertos solo al norte de Neiva en la parte más superior del cretácico (Formación Monserrate). A comienzos de 1984, el petróleo era descubierto a lo largo de las fallas Dina-San Jacinto en la formación Caballos (Aptiano-Albiano). Para 1994; 542.1 MMbbl de crudo y 91,9 BCF de gas recuperable habían sido descubiertos en más de 30 yacimientos y 287,5 MMbbl de crudo se han extraído.

Un total de 191 pozos exploratorios y más de 300 pozos de evaluación y desarrollo han sido perforados en la cuenca. A pesar de las características petrolíferas de la cuenca, el conocimiento existente de los sistemas petrolíferos en esta cuenca es mínima.

Buitrago (1994) definió dos sistemas petrolíferos al sur de la subcuenca de Neiva ambos relacionados con la misma roca fuente de la Formación Villeta. Ecopetrol ICP (1994) y Córdoba (1998) han también propuesto esquemas de sistemas petrolíferos para el VSM.

Sarmiento & Rangel (2004) describen el registro sedimentario del Valle Superior del Magdalena que hace énfasis sobre los procesos sedimentarios que controlan la distribución y calidad de los elementos de los sistemas petrolíferos, también discuten sobre el enfoque geoquímico para correlaciones de las rocas generadoras. Identifican y describen los sistemas petrolíferos del VSM aplicando conceptos y terminologías discutidas por Magoon (1992) y Magoon & Dow (1994).

El sistema petrolífero de la subcuenca de Neiva se presenta en la carta de eventos propuesta por Ecopetrol y modificada por los trabajos realizados en el Museo Geológico y del

Petróleo.

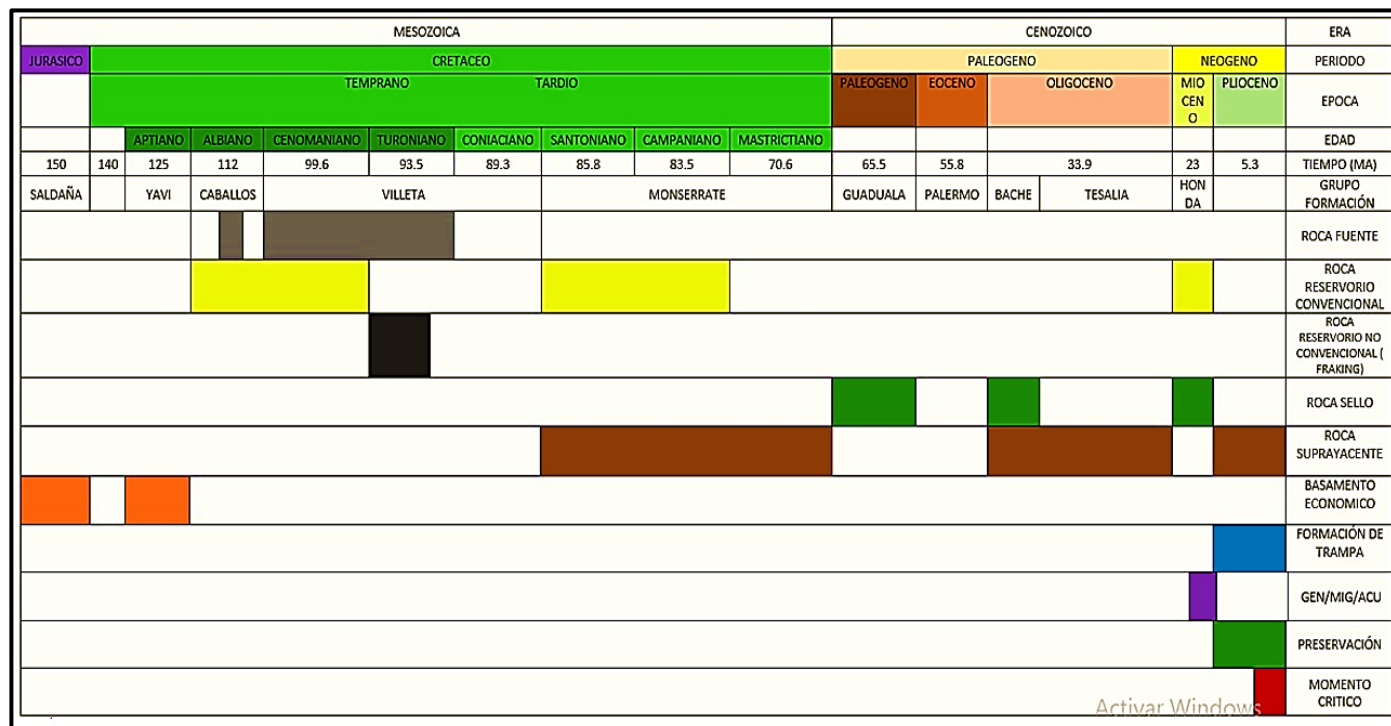


Figura 14. Carta de eventos de la zona de estudio (cuenca VSM). Se ilustran los eventos en los cuales ocurrió la depositación de la roca generadora, se discriminan las rocas almacén para yacimientos convencionales y No convencionales (Fracking) la roca sello y finalmente la roca de sobrecarga. El tiempo de la conformación de la trampa como también se indica el intervalo en el cual ocurrió el proceso de generación, migración y acumulación. También se muestra el intervalo de la preservación y el momento crítico (Ecopetrol, 2015). Modificado por autores (2020)

8. GEOLOGIA LOCAL

Continuando con el proyecto de investigación “ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN VILLET, MIEMBRO SHALE DE BAMBUCA Y SU POTENCIAL COMO YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES”. liderado por el Museo Geológico y del Petróleo y con el apoyo de estudiantes de ingeniería de petróleo desarrollando su proyecto de grado, se presenta esta nueva sección estratigráfica localizada en el are sector de las brisas municipio de Palermo, en la figura 15 se muestra un modelo de elevación digital con la localización del área de estudio.

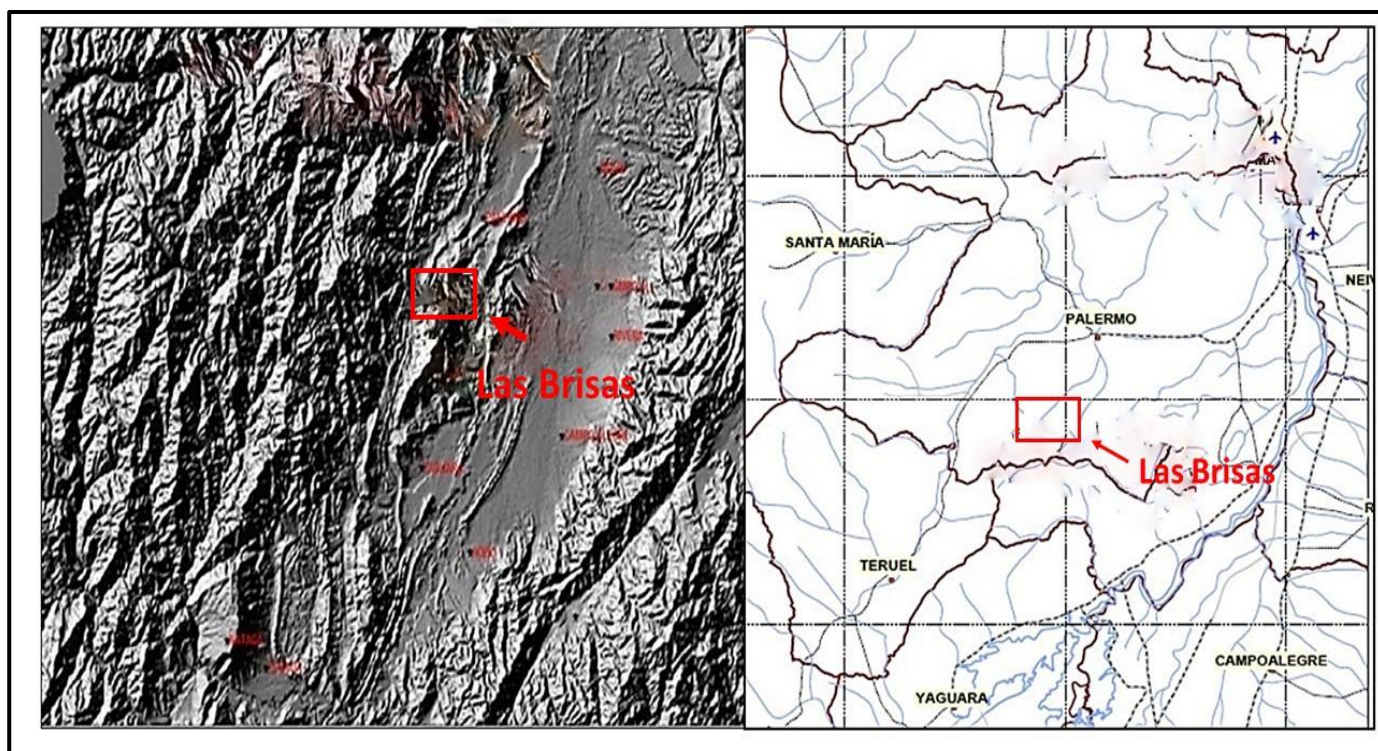


Figura 15. Modelo de Elevación Digital (MED) del sector las Brisas

8.1. SECCION LAS BRISAS

8.1.1. Localización Geográfica y acceso a la sección las brisas

La sección estratigráfica levantada se encuentra localizada en el sector norte de la subcuenca de Neiva al noroccidente dela ciudad de Neiva y perteneciente a la zona rural del

municipio de Palermo. Se accede al área por un carreteable con conduce al municipio de Teruel

Para el trabajo de campo de la sección las Brisas se realizaron 3 comisiones durante las cuales se realizó la cartografía geológica 1:1000 y en el levantamiento de la columna estratigráfica se realizó una poligonal abierta con Brújula Bronton e Hip Chain con el objeto de determinar los espesores aparentes, posteriormente en trabajo de oficina se realizó la reconstrucción paniplástica de la poligonal y realizando un balanceo de la sección, con el objeto de calcular el espesor real. (Véase figura 29 y tabla 2)

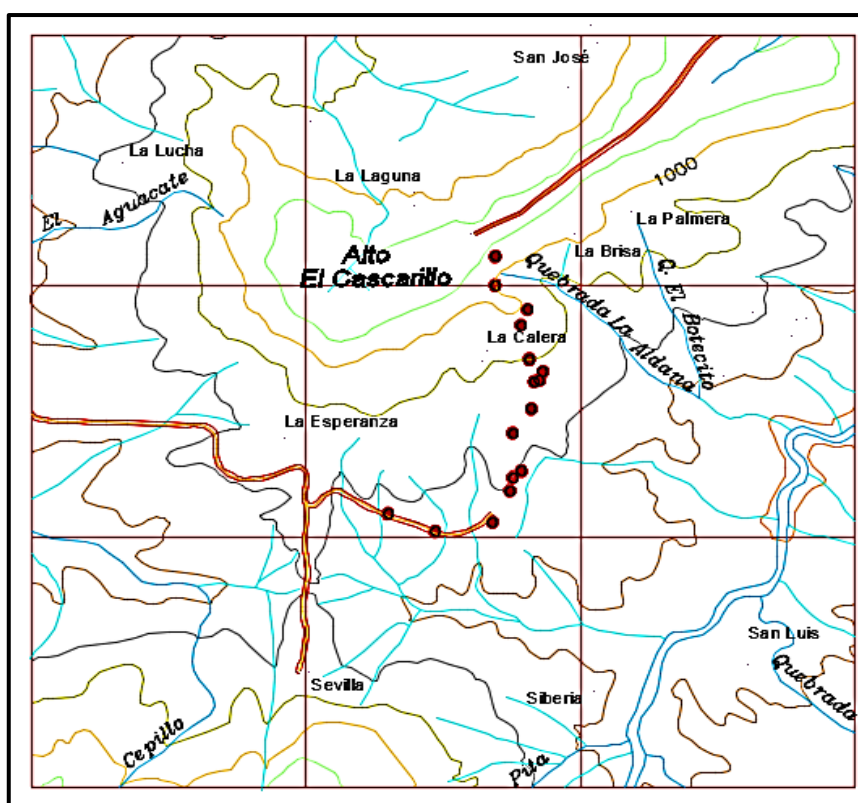


Figura 16. Localización topográfica de la zona de estudio de la sección las Brisas, ubicado con su respectivo track. Tomado de la Plancha 323-III-D del IGAC.

Con base en esta reconstrucción paniplástica se levantó la columna estratigráfica de la sección las Brisas y de la cual se determinaron 11 segmentos basados en la descripción litológica, características de las capas y de sus estructuras sedimentarias como, los contactos estratigráficos con o sin paralelismo determinando las disconformidades y discordancias presentes, relación lateral dentro de las unidades sedimentarias como fueron los lentes, interdigitalización y degradación lateral progresiva. Uno de los argumentos fuertes para determinar el ambiente de sedimentación y construir los segmentos y parasecuencias y la curva eustática se basó en las estructuras sedimentarias internas como son :1. regular o masiva 2. Laminada y en estas determinar si las láminas son paralelas o no paralelas y discontinuas o continuas, laminación ondulante paralela, como también la estratificación cruzada, también en la medida del conocimiento se llevó un registro fosilífero. Finalmente, y con la interpretación de las litofacies y de la curva eustática realizada para este proyecto estos 11 segmentos fueron agrupados en 8 parasecuencias como resultado final del análisis secuencial de la estratigrafía levantada para la sección de las Brisas

8.1.2.estratigrafía para la sección las brisas

De acuerdo con el levantamiento de la columna estratigráfica y a las observaciones de campo y de laboratorio de las muestras colectadas fueron determinados 8 segmentos, así también fue reconocido 8 metros de espesor real del miembro Calizas de Tetuán de la formación Villeta en la cual se presenta dentro de la columna estratigráfica del shale de bambuca:

CALIZAS DE TETUAN

➤ **SEGMENTO 1.** (0 -8mts)

Fueron reconocidos 8 metros de espesor real del miembro calizas de Tetuán en la sección de la quebrada la Guagua presentándose como 2 metros de calizas biomicriticas de color gris oscuro a negras frescas en capas de estratificación gruesas conformadas por un armazón 40% (en fragmentos de fósiles de tipo vibalbos y amonitas) y la matriz 60% conformada micrita muy fina de color negro (packstone), 1 metro de Limolitas arenosas de color gris claro a verdoso fisiles compuestas texturalmente por limo 75% arenas 25% y 5 metros calizas de color gris oscuro en capas de estratificación gruesa a muy gruesa de formas tabulares a lenticulares cortadas por venillas de calcita cristalina (packstone).



Fotografía 4. Calizas de Tetuán, sección las Brisas. Tomada por autores.

SHALE DE BAMBUCA.

De acuerdo con el levantamiento estratigráfico y al análisis de sus litofacies, el shale de Bambuca en la sección las Brisas fue dividido en 11 segmentos.

➤ **SEGMENTO 2: (8-42 mts)**

Con un espesor de 34 metros se presenta con una secuencia monótona de lodolitas calcáreas, Los primeros 4 metros de base a techo se presentan 4 metros de lodolitas calcáreas con estratificación muy fina, estos son fisiles, duros y con contactos netos paralelos, internamente presenta laminación planoparalela discontinua a localmente lenticular, en estos lentes se observan fósiles de foraminíferos y con moldes externos localmente los topos de las capas se encuentran oxidados.

Continua la secuencia con 17 metros de Lodolitas calcáreas de color gris oscuro a negruzco fisiles blandas en capas de estratificación finas muy fina con diaclasas abiertas rellenas de calcita en forma de venas, también se observan venas de calcitas paralelas a los planos de estratificación, internamente las capas presentan laminación planoparalela continua y con moldes externos de vibalbos, la secuencia continua con 13 metros de Lodolitas calcáreas de color gris oscuro fina blandas en capas de estratificación fina a muy fina, con contactos ondulantes, laminación planoparalela continua finas homogéneas lodolitas calcáreas y localmente presenta delgadas capas de margas finas homogéneas.

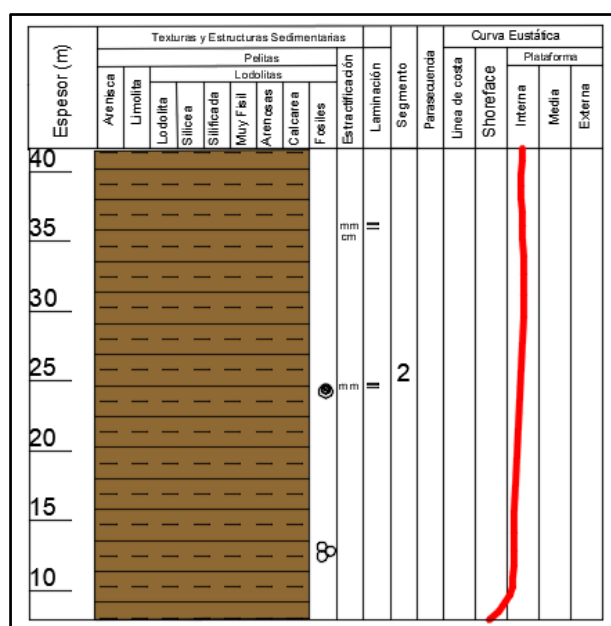


Figura 17. Segmento 2, sección las Brisas.



Fotografía 5. Lodolitas calcáreas de color gris oscuro a negruzco, Miembro shale de Bambuco perteneciente al segmento 2, Tomada por autores.

➤ **SEGMENTO 3: (42-65 mts),**

con un espesor de 23 metros se presenta una zona cubierta con morfología de lomas suaves subredondeadas, en el perfil del suelo se observan fragmentos semi-meteorizados de lodolitas calcáreas

Espesor (m)	Texturas y Estructuras Sedimentarias										Estratificación	Laminación	Segmento	Parasecuencia	Curva Eustática			
	Arenisca	Limolita	Pelitas							Shoreface					Plataforma			
			Lodolitas												Interna	Media	Externa	
			Lodolita	Silicea	Silificada	Muy Fissi	Arenosas	Calcareas	Fosiles									
60																		
55																		
50												3						
45													2					

Figura 18. Segmento 3, sección las Brisas.



Fotografía 6. Zona cubierta con morfología de lomas suaves subredondeadas, Miembro shale de Bambuco perteneciente al segmento 2, Tomada por autores.

➤ **SEGMENTO 4:** (65-105 mts)

40 metros de espesor real. Hacia la base este segmento se presenta 10 metros de espesor real de lodolitas calcáreas de color gris oscuro a negro blandas muy fisiles con laminación planoparalela discontinua, las paredes de sus diaclasas se observan moldes externos de foraminíferos (sphogeneigloides).

Suprayace a este nivel de lodolitas calcáreas 7 metros de lodolitas silíceas de color gris claro con tonalidades oscuras en su núcleo, con contactos ondulantes y localmente fisiles con fractura concoidea.

Hacia el tope se presentan 23 metros de lodolitas de color gris claro muy fisiles blandas, en capas de estratificación fina con laminación ondulada discontinua, localmente se observan lentes de lodolitas calcáreas.

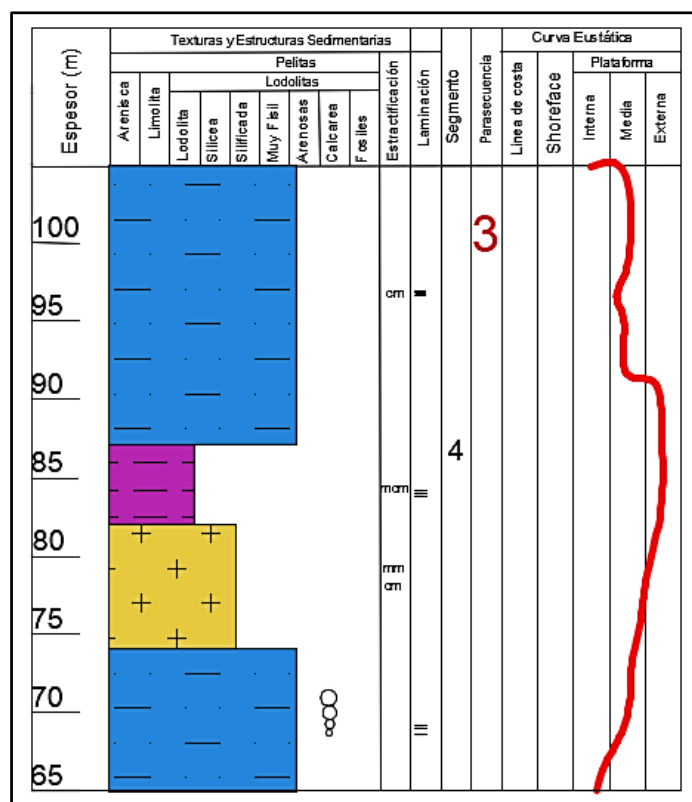


Figura 19. Segmento 4, sección las Brisas.



Fotografía 7. Lodolitas silíceas de color gris claro, Tomada por autores.

➤ **SEGMENTO 5:** (105-132 mts)

27 metros de espesor real, se presenta una secuencia monótona de Lodolitas silíceas de color gris claro amarillentas en capas de estratificación fina a media, con laminación planoparalela a localmente lenticular, presenta fractura concoidea

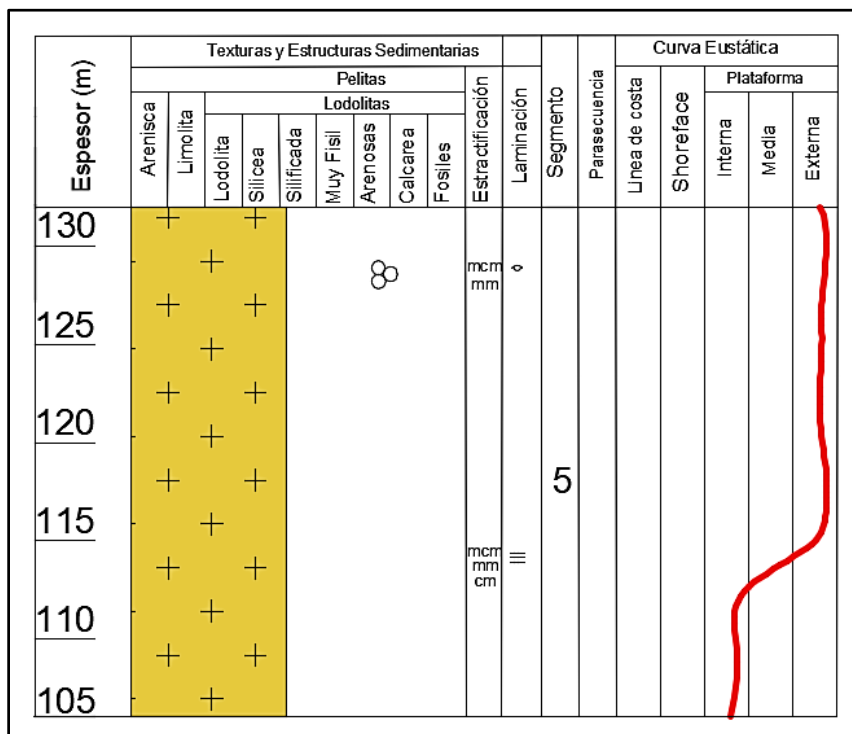


Figura 20. Segmento 5, sección las Brisas.



Fotografía 8. Lodolitas silíceas de color gris claro amarillentas en capas de estratificación fina a media, Tomada por autores.

➤ **SEGMENTO 6:** (132-168 mts)

36 metros de espesor real, se presenta una secuencia de lodolitas fisiles, localmente silíceas de color gris claro amarillentos en capas de estratificación fina a muy fina y con contactos ondulados, laminación planoparalela continua no paralela localmente lenticular

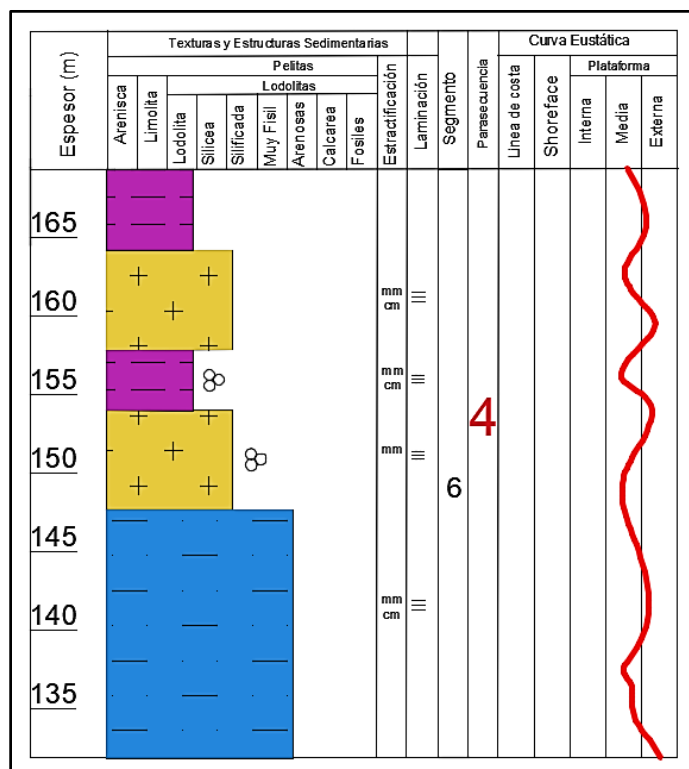


Figura 21. Segmento 6, sección las Brisas.



Fotografía 9. lodolitas fisiles, localmente silíceas de color gris claro amarillentos, Tomada por autores.

➤ **SEGMENTO 7:** (168-235 mts)

67 metros de espesor real, se presenta una secuencia monótona de lodolitas arenosas localmente silíceas de color gris claro a blancuzco en capas tabulares y lenticulares con estratificación media a fina, las lodolitas arenosas presentan estructuras internas de tipo laminación no paralela discontinua y tienen delgadas intercalaciones de lodolitas fisiles (shale) en capas de estratificación fina a muy fina y con laminación planoparalela continua.

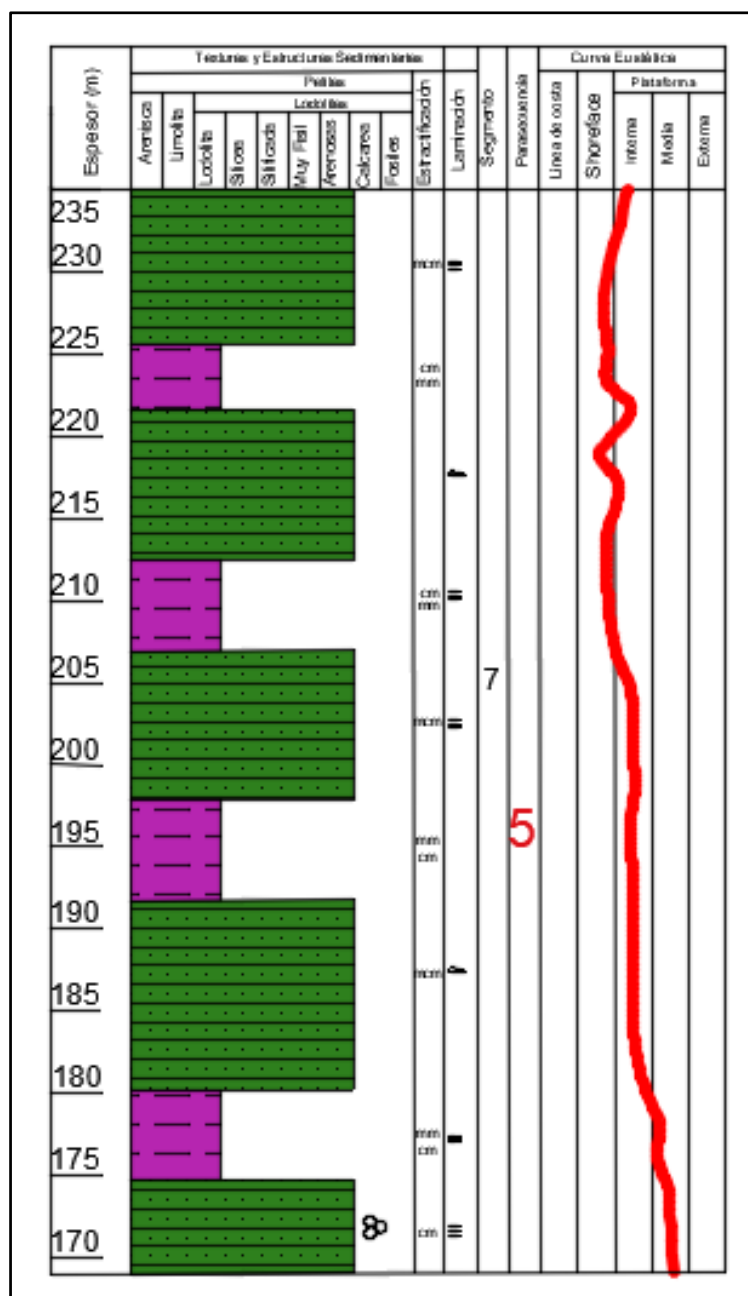


Figura 22. Segmento 7, sección las Brisas.



Fotografía 10. lodolitas arenosas localmente silíceas de color gris claro a blancuzco en capas tabulares y lenticulares, Tomada por autores.

➤ **SEGMENTO 8:** (235-285 mts)

con 50 metros de espesor real. Se presenta una secuencia de lodolitas silíceas intercaladas con delgadas capas de lodolitas muy fisiles.

Las lodolitas silíceas son de color gris claro a amarillentas en capas de estratificación fina a media, homogénea con contactos netos paralelos y laminación interna gruesa y discontinua, las intercalaciones se presentan como lodolitas muy fisiles de color gris claro en capas de estratificación fina, contactos ondulantes y laminación planoparalela discontinua

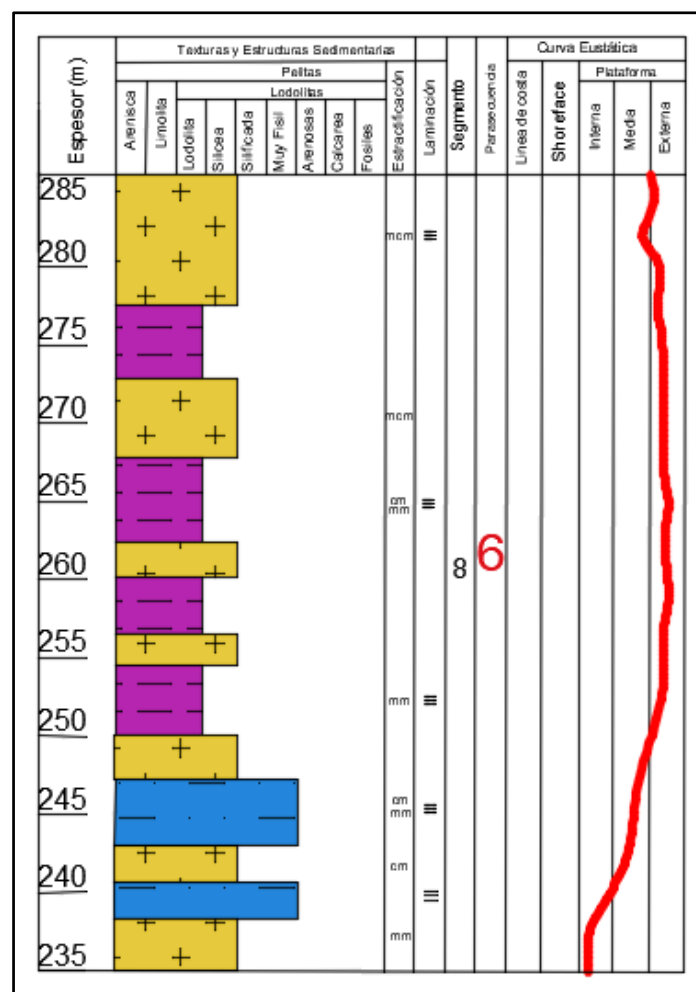


Figura 23. Segmento 8, sección las Brisas.



Fotografía 11. lodolitas silíceas intercaladas con delgadas capas de lodolitas muy fisiles, Tomada por autores.

➤ **SEGMENTO 9:** (285-322 mts)

37 metros de espesor real, se presenta como una secuencia interdigitada de lodolitas silíceas y lodolitas homogéneas, las lodolitas silíceas son de color gris claro duras frescas homogéneas, localmente fisiles con planos de estratificación en contactos netos y ondulantes, laminación planoparalela media gruesa discontinua.

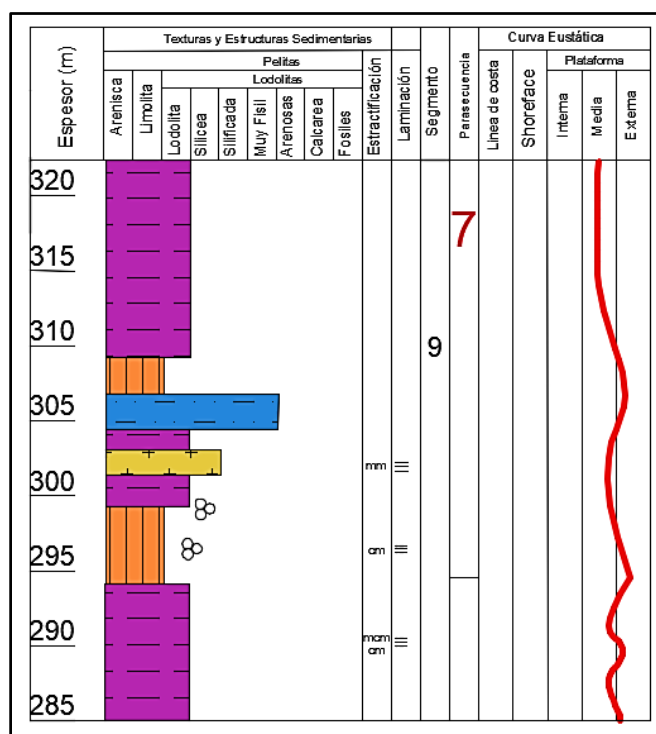


Figura 24. Segmento 9, sección las Brisas.



Fotografía 12. lodolitas silíceas y lodolitas homogéneas, Tomada por autores.

➤ **SEGMENTO 10:** (322 m-352mts)

30 metros de espesor real, se presenta una secuencia de lodolitas muy fisiles con intercalaciones de lodolitas silíceas y limolitas silíceas, hacia las base del segmento predomina las lodolitas fisiles de color gris claro duras frescas homogéneas con planos de estratificación ondulantes, hacia la parte media del segmento se presentan intercalaciones de limolitas y lodolitas de color gris claro con tonalidades oscuras en capas de estratificación fina a muy fina con contactos netos, presentan laminación planaoparalela discontinua gruesa y con variación de colores claros a oscuros, hacia el tope predominan las limolitas que son de color gris claro a blancas blandas frágiles con laminación planoparalea continua y presenta fisilidad a través de sus planos de estratificación

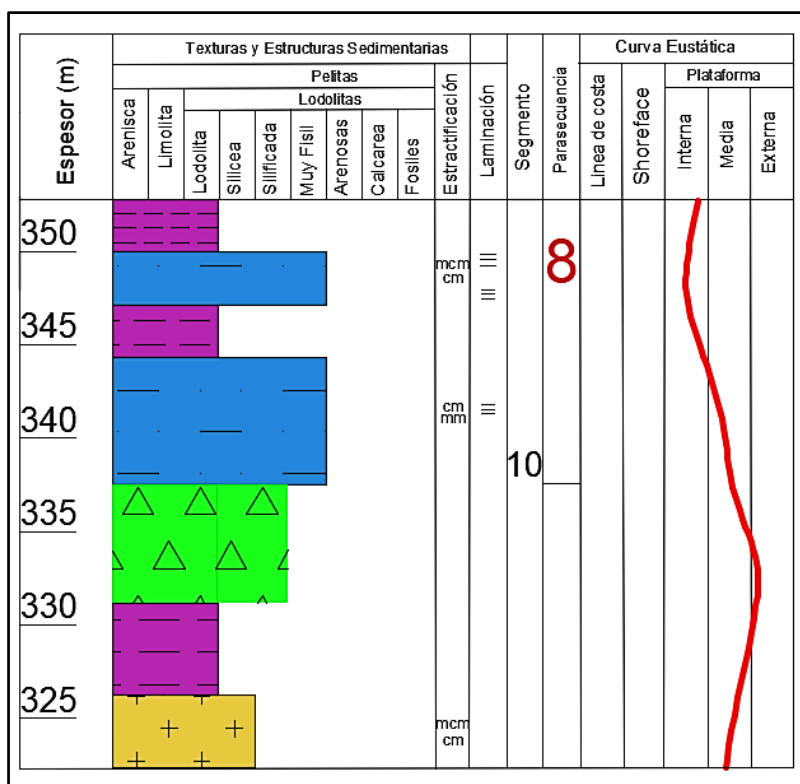


Figura 25. Segmento 10, sección las Brisas.



Fotografía 13. Lodolitas muy fisiles con intercalaciones de lodolitas síliceas y limolitas síliceas, Tomada por autores.

➤ **SEGMENTO 11:** (352 m-362mts)

10 metros de espesor real, se presenta una secuencia de lodolitas síliceas localmente fisiles con delgadas intercalaciones de limolitas síliceas de color gris claro duras frescas homogéneas, presenta fractura concoidea y laminación planoparalela discontinua.

Espesor (m)	Texturas y Estructuras Sedimentarias										Estratificación	Laminación	Segmento	Parasecuencia	Curva Eustática				
	Arenisca	Limolita	Pelitas							Shoreface					Plataforma				
			Lodolita	Silicea	Silificada	Muy Fisil	Arenosas	Calcareas	Fosiles						Interna	Media	Externa		
360																			
355												11							

Figura 26. Segmento 11, sección las Brisas.



Fotografía 14. lodolitas síliceas localmente fisiles, Tomada por autores

En discordancia paraconforme con la formación Monserrate se presenta una secuencia de areniscas líticas de color gris claro amarillento de grano fino a medio, regularmente seleccionada compuesta por cuarzo 60%, fragmentos líticos, chert 30% y 10% de feldespatos y corresponde a una arenisca lítica con delgadas intercalaciones de limolitas y lodolitas síliceas localmente fisiles



Fotografía 15. Secuencia de areniscas líticas de color gris claro amarillento de grano fino a medio, Tomada por autores

8.1.2. ANALISIS DE FACIES Y PARASECUENCIAS DE LA SECCION LAS BRISAS

Con base en la interpretación de las litofacies y la construcción de la curva eustática fueron determinadas para la sección las Brisas 8 parasecuencias:

De las cuales las primeras corresponden a las calizas de Tetuán y las 7 suprayacentes corresponden a la sección medida de shale de Bambuca la cual presenta un espesor real de 375.59

8.1.2.1. PARASECUENCIA 1

Comprende el segmento 1 con un espesor de 8 metros de la columna estratigráfica de las Brisas y está conformado por una facies de plataforma ubicada en la curva eustática como zona de shoreface y está conformada por calizas de tipo packstone con delgadas intercalaciones de limolitas arenosas representando un ambiente de media energía con presencia de olas y tempestitas de tempestades, de acuerdo con el análisis litológico y facial de los segmentos 1 se puede agrupar la parasecuencia 1 en la siguiente litofacies:

LITOFACIES: (PACKSTONE – LIMOLITAS Arenosas)



Fotografía 16. Calizas de tipo pascktone con delgadas intercalaciones de limolitas arenosas, Tomada por autores.

8.1.2.2.PARASECUENCIA 2

Comprende los segmentos 2 y 3 con un espesor de 57 metros de la columna estratigráfica de las Brisas y está conformado por una facies de plataforma ubicada en la curva eustática como zona de plataforma interna fuera de la influencia de olas y conformada por lodolitas calcáreas de color gris claro de acuerdo al análisis litológico y facial del segmento 2 y 3 se puede agrupar la parasecuencia 2 en la siguiente litofacies:

LITOFACIES: (LODOLITA CALCAREO – SHALE CALCAREO)



Fotografía 17. Lodolitas calcáreas de color gris claro, Tomada por autores.

8.1.2.3.PARASECUENCIA 3

Comprende el segmentos 4 y 5 con un espesor de 67 metros de la columna

estratigráfica de la sección las Brisas y está conformado por una facies de plataforma ubicada en la curva eustática como zona de plataforma media a externa representada por el contenido de sílice y está conformada por lodolitas silíceas de colores gris claro amarillentos y lodolitas fisiles de colores gris claro localmente con lentes de lodolitas calcáreas esto representa un ambiente de media a baja energía con ausencia de olas de acuerdo al análisis litológico y facial de los segmentos 4 y 5 se puede agrupar la parasecuencia 3 en la siguiente litofacies:

LITOFACIES: (LODOLITA SILICEA – LODOLITAS FISILES)



Fotografía 18. Lodolitas silíceas de colores gris claro amarillentos y lodolitas fisiles de colores gris claro localmente con lentes de lodolitas calcáreas, Tomada por autores.

8.1.2.4. PARASECUENCIA 4

Comprende el segmento 6 con un espesor de 36 metros de la columna estratigráfica de la sección las Brisas y está conformado por una facies de plataforma ubicada en la curva eustática como zona de plataforma media a externa y está conformada por una secuencia de lodolitas silíceas, limolita silícea y lodolitas fisiles localmente calcáreas. De acuerdo al análisis litológico y facial de los segmentos 6 se puede agrupar la parasecuencia 4

en la siguiente litofacies:

LITOFACIES: (LODOLITA SILICEAS – LIMOLITA SILICEA-LODOLITA FISILES)



Fotografía 19. Secuencia de lodolitas silíceas, limolita silícea y lodolitas fisiles localmente calcáreas, Tomada por autores.

8.1.2.5.PARASECUENCIA 5

Comprende el segmento 7 con un espesor de 67 metros de la columna estratigráfica de la sección las Brisas y está conformado por una facies de plataforma ubicada en la curva eustática como zona de plataforma media a interna y está conformada por lodolitas arenosas, lodolitas silíceas y lodolitas fisiles esto representa un ambiente de baja energía con ausencia de olas De acuerdo al análisis litológico y facial de los segmentos 7 se puede agrupar la parasecuencia 5 en la siguiente litofacies:

LITOFACIES: (LODOLITA SILICEA – LODOLITAS ARENOSA)



Fotografía 20. Lodolitas arenosas, lodolitas silíceas y lodolitas fisiles, Tomada por autores.

8.1.2.6.PARASECUENCIA 6

Comprende el segmento 8 y 9 con un espesor de 61 metros de la columna estratigráfica de la sección las Brisas y está conformado por una facies de plataforma ubicada en la curva eustática como zona de plataforma media a externa representada por sus estructuras sedimentarias y contenido de sílice, esto representa un ambiente de baja energía con ausencia de olas, de acuerdo al análisis litológico y facial de los segmentos 8 y 9 se puede agrupar la parasecuencia 6 en la siguiente litofacies:

LITOFACIES: (LODOLITA SILICEA– LODOLITAS MUY FISIL)



Fotografía 21. lodolitas silíceas y lodolitas muy fisil, Tomada por autores.

8.1.2.7.PARASECUENCIA 7

Comprende el segmentos 9 y hasta la parte media del segmento 10 con un espesor de 40 metros de la columna estratigráfica de la sección las Brisas y está conformado por una facies de plataforma ubicada en la curva eustática como zona de plataforma media con pequeñas interdigitaciones de plataforma externa y está conformada por lodolitas de color gris claro homogénea con delgadas intercalaciones de lodolitas silíceas, localmente hacia el tope del segmento se observan lodolitas silificadas, esto representa un ambiente de baja energía con ausencia de olas de acuerdo al análisis litológico y facial de los segmentos 9 y 10 se puede agrupar la parasecuencia 7 en la siguiente litofacies:

LITOFACIES: (LODOLITA MUY FISIL – LODOLITAS SILICEA)



Fotografía 22. Lodolitas de color gris claro homogénea con delgadas intercalaciones de lodolitas silíceas, Tomada por autores.

8.1.2.8.PARASECUENCIA 8

Comprende el segmentos 10 y 11 con un espesor de 26 metros de la columna estratigráfica de la sección las Brisas y está conformado por una facies de plataforma ubicada en la curva eustática como zona de plataforma interna con pequeñas interdigitalizaciones a plataforma media y está conformada por lodolitas muy fisiles con delgadas intercalaciones de limolitas y lodolitas silíceas y lodolitas silificadas, esto representa un ambiente de baja energía con ausencia de olas de acuerdo al análisis litológico y facial de los segmentos 10 y 11 se puede agrupar la parasecuencia 8 en la siguiente litofacies:

LITOFACIES: (LIMOLITA – LODOLITAS FISILES)



Fotografía 23. Lodolitas muy fisiles con delgadas intercalaciones de limolitas y lodolitas silíceas y lodolitas silificadas, Tomada por autores.

9. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL SECCIÓN LAS BRISAS

El área de estudio la brisa se localiza estructuralmente en el flanco occidental del anticlinal de la guagua el cual tiene una orientación con una dirección predominante N30E, en el flanco este de este anticlinal y específicamente en el área de trabajo se presenta frecuentemente pequeños relegamientos afectados principalmente por fallas de carácter distencivos de pequeña longitud y no cartografiables a la escala de este trabajo, se realizó una fotointerpretación del modelo de elevación digital (DEM) del área entre Palermo Teruel, Betania mostrando una seria de alineamientos que varían entre direcciones N30E a N10O (véase figura 28.)

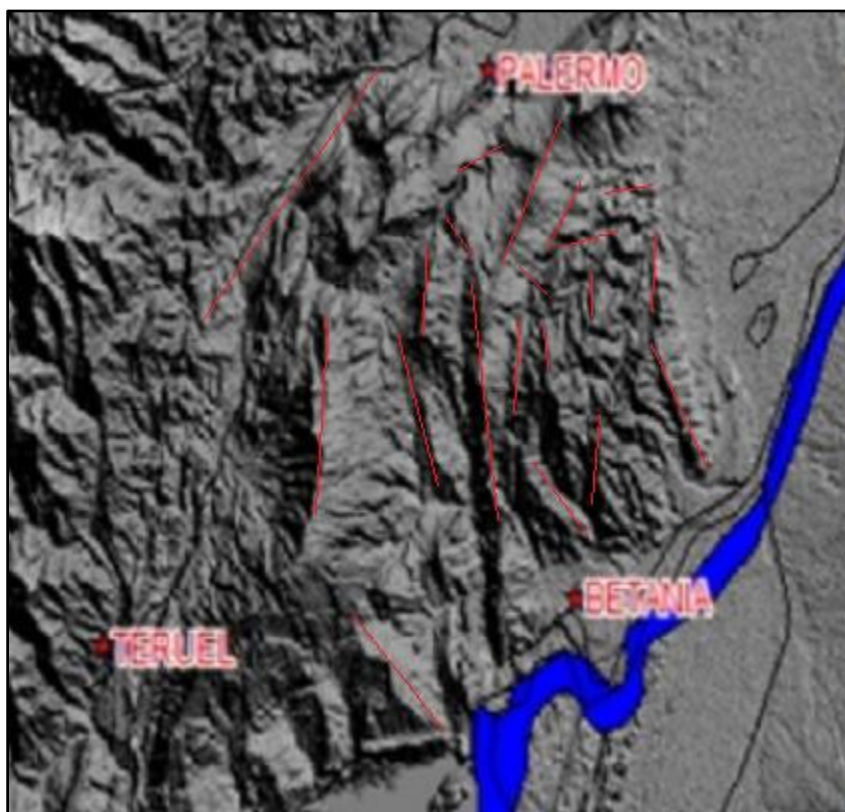


Figura 27. Fotointerpretación del modelo de elevación digital (DEM) del área entre Palermo Teruel, Betania mostrando una seria de alineamientos.

El rasgo estructural más importante corresponde a la falla de Upar la cual se considera como una falla inversa con un plano inclinado entre 40 y 45 grados al oeste y la cual hace parte del trucks de la falla chusma Teruel, para el área de estudio y con el levantamiento de la

poligonal abierta elaborada para la sección de las brisas véase la tabla 2 se muestran los datos estructurales y las pequeñas fallas principalmente de carácter normal que se encuentran en la sección, Así también en la sección de la columna donde predominan los shale calcáreos se presentan fallas estratiformes las cuales hacen repetir las secuencias y para el levantamiento de la columna estratigráfica y basados en la reconstrucción paniplastica de la poligonal se determinaron las secuencias repetidas y se elaboró la columna estratigráfica real con espesores reales

Tabla 2. *Datos estructurales, poligonal abierta realizada en el sector las brisas*

PUNTO	AZIMUT	DISTANCIA	R/B	ESPESOR REAL
11-12.	170°	25	40/66	22,83
12.-13	143°	33,5	45/20	11,45
13-14	150°	62,7	128/34	35,06
14-15	120°	32,5	128/34	18,17
15-16	115°	46,3	55/30	23,15
16-17	210°	48,9	35/25	20,66
17-18	215°	28,4	2400/25	12
18-19	130°	67,3	350/80	66,28
19-20	245°	44,2	350/60	38,28
20-21	195°	46,9	350/60	40,62
21-22	260°	51,1	350/30	25,55
22-23	256°	45,9		22,95
23-24	205°	26,1	45/20	8,93
24-25	125°	72,1	320/20	24,66
25-26	140°	25,5	160/18	8

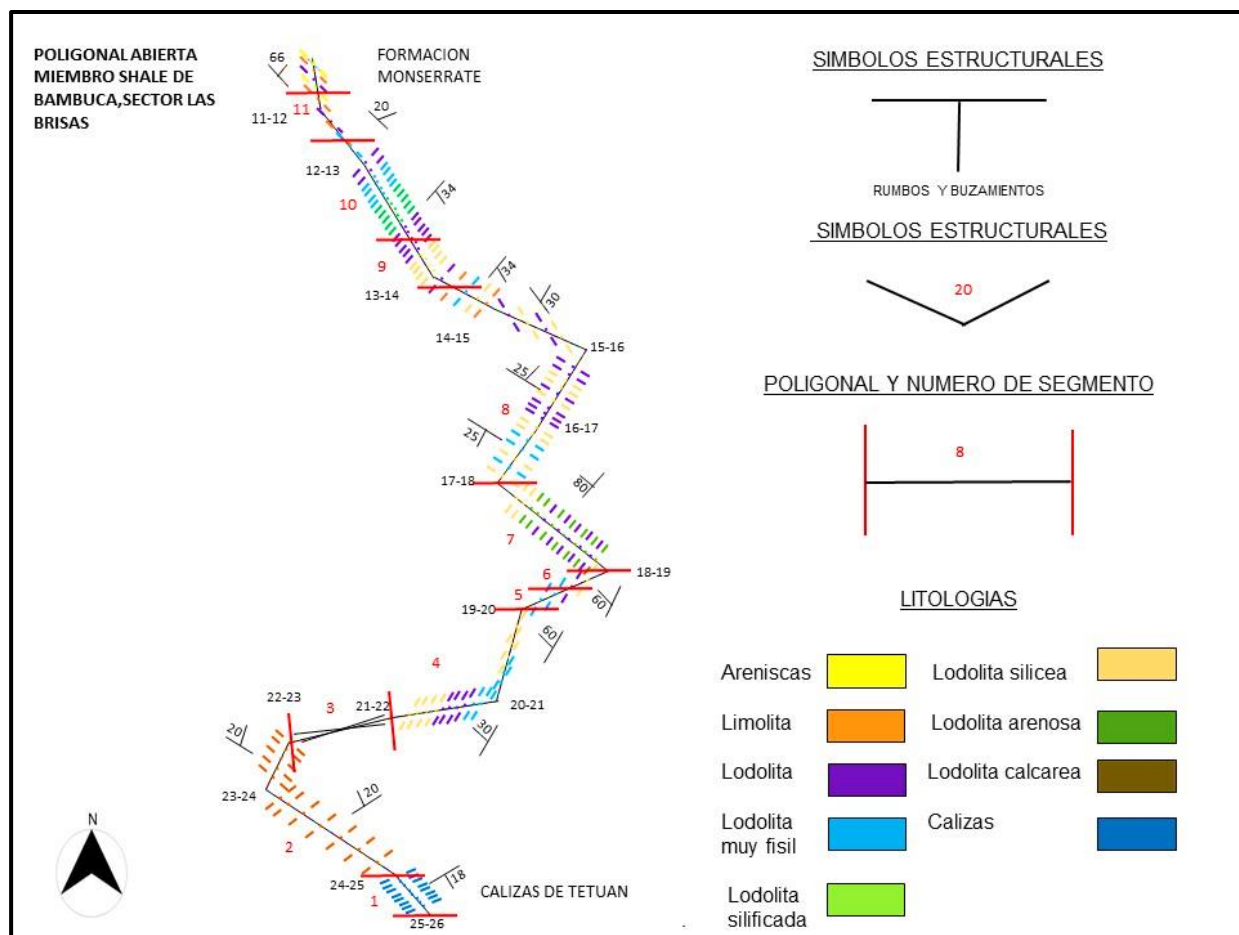


Figura 28. Poligonal abierta elaborada para la sección las Brisas, realizada por autores

10. INTERPRETACION DE PRUEBAS DE LABORATORIO

Para el desarrollo de los objetivos del proyecto “LEVANTAMIENTO ESTRATIGRÁFICO DETALLADO PARA EL MIEMBRO SHALE DE BAMBUCÁ EN EL SECTOR DE PALERMO – VEREDA LAS BRISAS” fueron realizadas las pruebas de laboratorio necesarios para caracterizar textural, mineralógica y petrofísicamente las diferentes litofacies establecidas en el levantamiento estratigráfico elaborado para el miembro Shale de Bambucá de la Formación Villeta el cual cuenta con un espesor de 378,59 metros en la sección de Vereda las Brisas – Palermo. Los análisis correspondientes fueron:

- Análisis textural por el método de la botella (3 muestras)
- Análisis petrográfico macroscópico para la determinación textural y mineralógica del miembro Shale de Bambucá

10.1. ANÁLISIS TEXTURAL DE PELITAS POR EL MÉTODO DE PRUEBA DE LA BOTELLA

En el presente proyecto “LEVANTAMIENTO ESTRATIGRÁFICO DETALLADO PARA EL MIEMBRO SHALE DE BAMBUCÁ EN EL SECTOR DE PALERMO – VEREDA LAS BRISAS” fueron realizados tres análisis texturales de rocas lutíticas por medio del método de Observación de las Capas de Sedimentación o Prueba de la Botella, para lo cual se seleccionaron tres muestras del levantamiento estratigráfico de la sección las Brisas.

El análisis granulométrico de las rocas pelíticas está basado en la aplicación de la Ley de Stokes, el cual describe el principio físico que regula el asentamiento de las partículas más finas. Este procedimiento consiste en la determinación de los porcentajes de arena, limo/lodo y arcilla presentes en la fracción mineral de cada muestra de la roca.

Estos porcentajes se obtienen mediante la separación de las partículas en capas clasificadas según su diámetro. El método aplicado para la determinación de los porcentajes en peso de los diferentes tamaños es denominado el Método de Observación de las capas de Sedimentación o Prueba de la Botella, el cual fue utilizado para el análisis de este proyecto.

10.1.1. METODOLOGIA

Se procesaron 3 muestras; J13-J21-J24.

Para realizar la prueba de la Botella se procede a triturar una cantidad suficiente de roca (110gr) que este previamente seca.

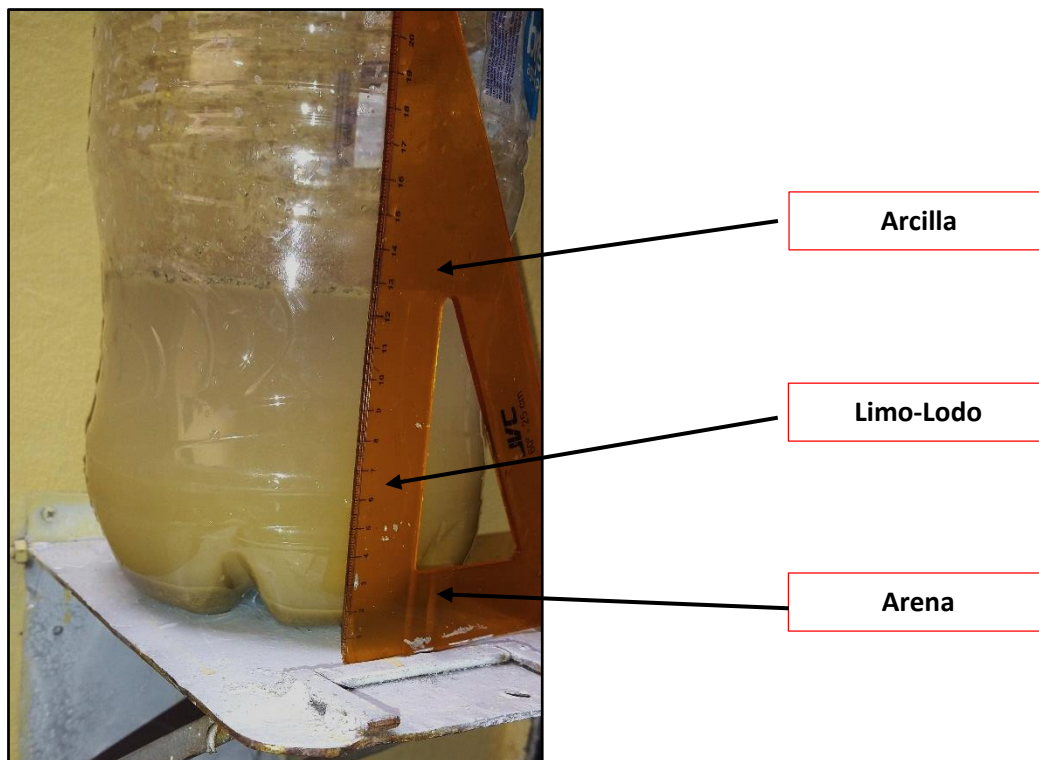


Fotografía 24. Muestra de roca Triturada J24. Tomada por autores.

En un recipiente transparente y limpio se agregan 110 gramos de la muestra de roca, seguidamente se le agregan los 250 ml de agua destilada,

Adicionamos 3 cucharadas de sal, esta actual como (Dispersante) y seguidamente se agitan bien la muestra depositada en la botella, dejando reposar por 24 horas en una superficie plana.

Las piedras o grava se asientan en el fondo, luego encontramos la arena, enseguida la arcilla con arenilla fina o limo, después el agua turbia por encima la materia orgánica flotando.



Fotografía 25. Prueba de la botella, donde se logra apreciar la sedimentación de partículas. Tomada por autores.

10.1.2. RESULTADOS

Para realizar el respectivo análisis granulométrico por medio de la Prueba de la Botella fueron seleccionadas 3 muestras de roca lutíticas representativas de la formación de interés, en la sección de estudio. De la cual se obtuvo la correspondiente composición granulométrica (Véase Tabla 3) para cada muestra y, se determinó la clasificación de las mismas mediante del diagrama Folk o Winkler (Véase figura 30)

Tabla 3. Porcentajes resultantes de la Prueba de Botella

MUESTRA	%ARENAS	%ARCILLAS	%LODO/LIMO	CLASIFICACION
X13	18	22	60	Lodolita Arenosa
X21	25	15	60	Lodolita Arenosa
X25	20	20	60	Lodolita Arenosa

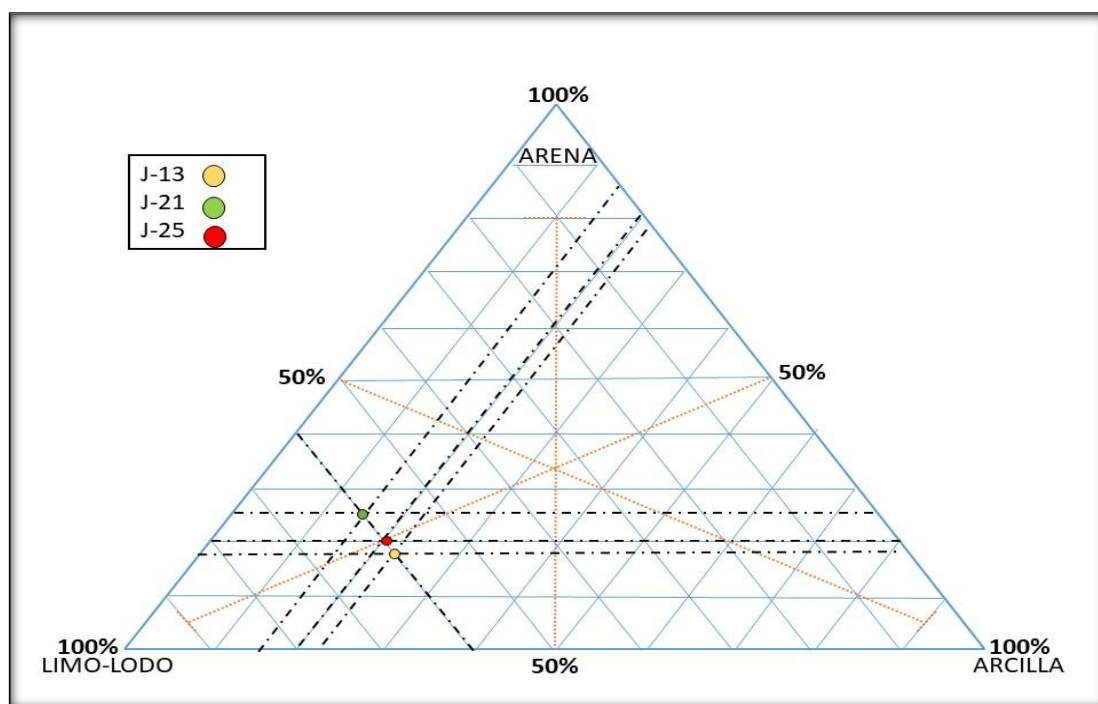


Figura 29. Diagrama de FOLK o WINKLER se muestra la clasificación de las muestras J13-J21-J25

10.2. ANALISIS PETROGRAFICO MACROSCOPICO PARA LA DETERMINACION TEXTURAL Y MINERALOGICA DEL MIEMBRO SHALE DE BAMBUCÁ

Para complementar el análisis textural y granulométrico realizado en campo y en pruebas anteriores para la caracterización lito estratigráfica de la zona de interés en el miembro del Shale de Bambucá se realizó el análisis de 25 muestras para la sección Palermo-Vereda las Brisas. Todo esto para describir detalladamente la sección a estudiar del presente proyecto.

Se recolectaron las muestras más representativas de la zona de estudio del miembro Shale de Bambucá y por medio del microscopio binocular se realizó la respectiva observación para seguidamente a partir de cada muestra realizar una descripción de las generalidades de estas, como tipo, color, lustre, textura y tipo de roca con el fin de apoyar la interpretación geológica del miembro de formación Villeta, lo cual se encuentra representado en la columna estratigráfica detalladamente para la sección las brisas.

11. DISCUSION DE RESULTADOS

Ecopetrol y la agencia nacional de hidrocarburos ANH en los trabajos de exploración realizados en la subcuenca de Neiva en el valle superior del Magdalena descartan temporalmente desarrollar trabajos en el subsuelo, como geofísica, perforaciones de pozos A3 y muestreo sistemático en superficie para análisis geoquímico.

Los trabajos conocidos sobre la caracterización geoquímica sobre la cuenca del valle superior del Magdalena se concentran principalmente al sur del departamento del Tolima, y puntualmente algunos en el área de san francisco, así también realizaron trabajos de exploración por intermedio de sensores remotos con control de campo en áreas asociadas a sinclinales para la subcuenca de Neiva.

El Museo Geológico y del Petróleo con sus trabajos sobre la estratigrafía sobre el shale de Bambuca ha levantado 7 columnas estratigráficas cubriendo las regiones desde el sur en Tesalia (sección los Yuyos) véase plano 4 hasta la sección del palco en la región del sinclinal de Media Luna en Aipe Huila

Así también los estudios de la formación Villeta en le subcuenca de Neiva han sido enriquecidos con los trabajos realizados por el grupo de investigación GIPE con la caracterización del miembro Calizas de Tetuán, aplicando análisis de catodoluminiscencia y termometría con el fin de determinar entre otros el grado diagenetico al que estuvieron sometidas estas rocas.

Los resultados iniciales mostrados con los proyectos “ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN VILLETA, MIEMBRO SHALE DE BAMBUCA Y SU POTENCIAL COMO YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES”. Con el levantamiento estratigráfico de 7 secciones y su caracterización litofacial y de ambiente sedimentarios de depositacion, así

como las características petrográficas de Lodolitas ricas en materia orgánica, en las secciones de Aipe, la Tribuna, el Ocal y los Yuyos muestran un buen potencial en espesores para seguir insistiendo a las compañías petroleras estatales la financiación de la geoquímica en estas secciones.

También es común apreciar en la correlación de las columnas estratigráficas que las secciones Santa clara y las Brisas presentan un enriquecimiento en sílice la cual puede indicar subsidencia en la cuenca, como también un grado diagenético alto.

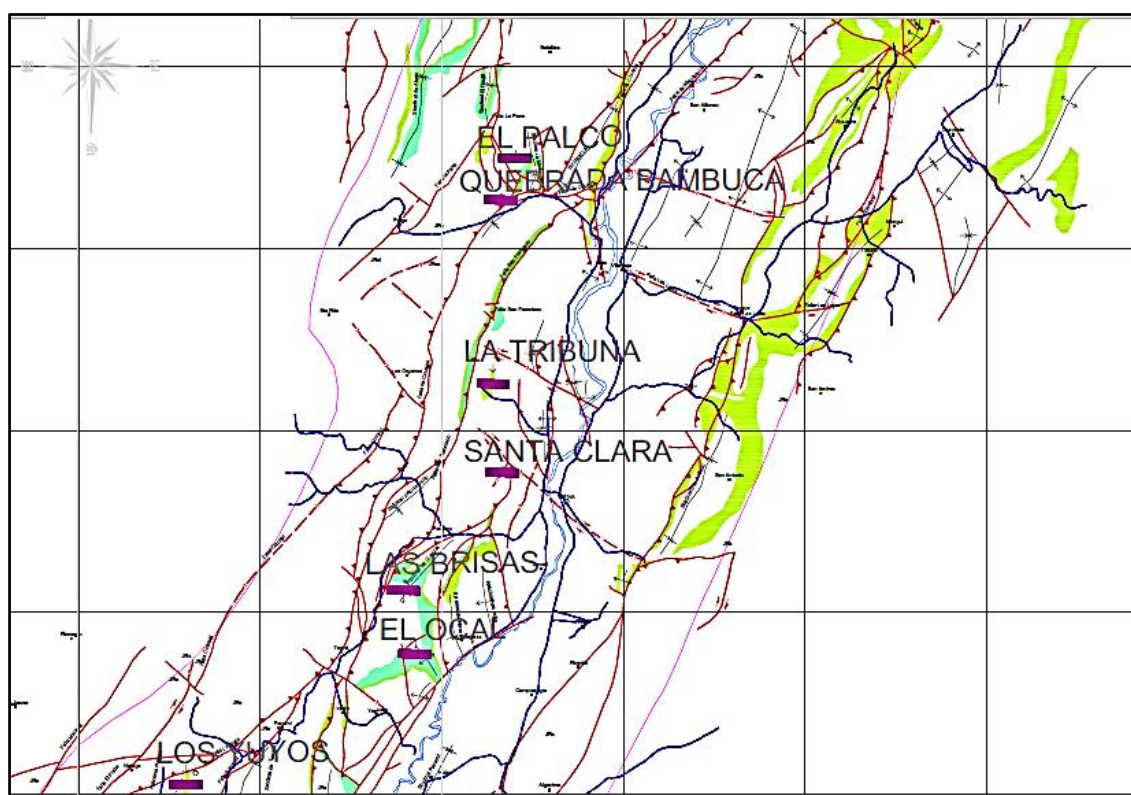


Figura 30. Localización Geológica de las secciones estratigráficas del shale de Bambuca. El verde muestra afloramientos del cretácico de la subcuenca de Neiva.

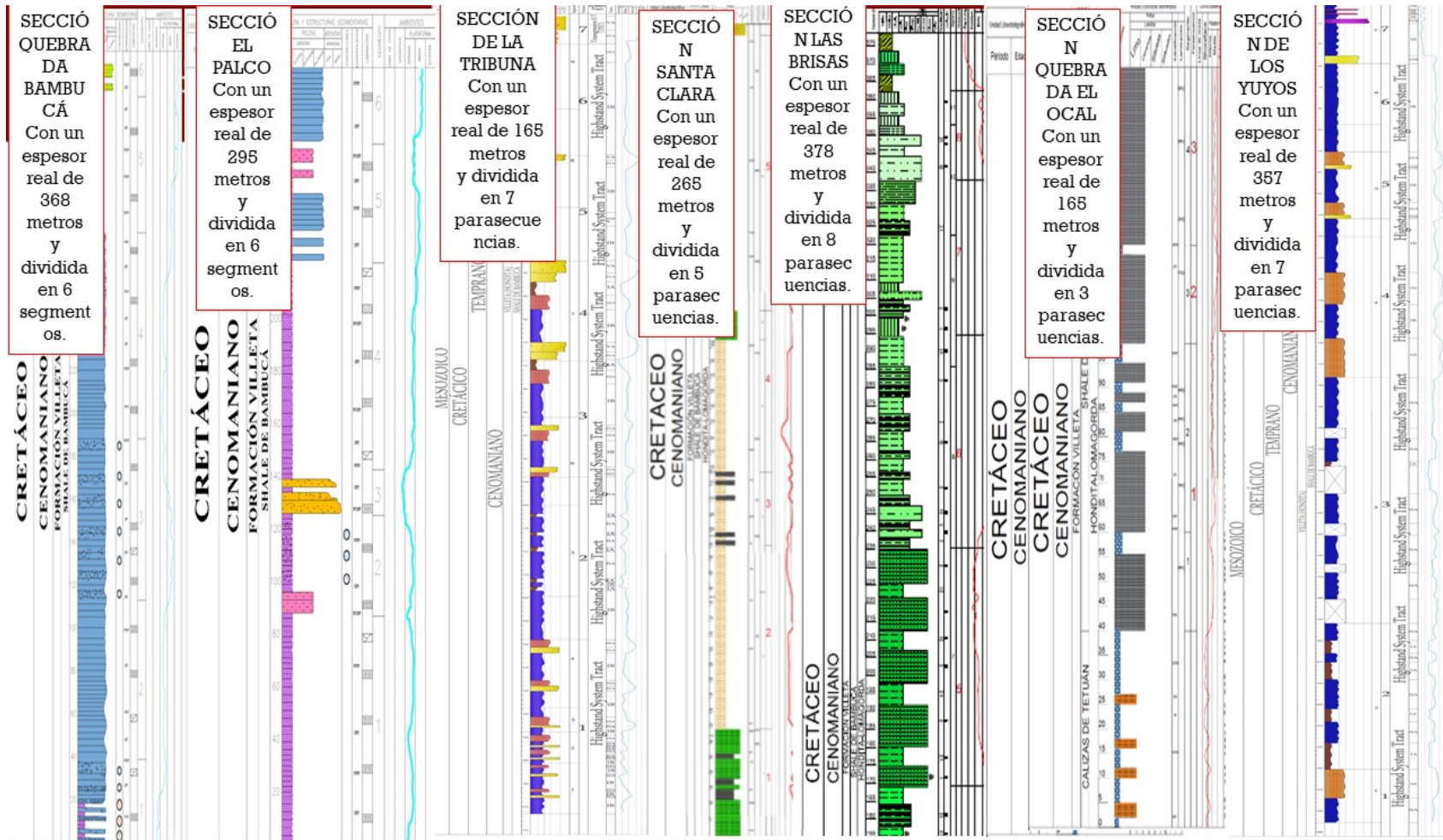


Figura 31. Columnas estratigráficas levantadas en las 7 secciones.

En Colombia los primeros prospectos de fracturamiento hidráulico se planean desarrollar en el valle medio del Magdalena, en donde, Según Arthur Little (2017), en Colombia la formación geológica La Luna puede tener un potencial de reservas de más de 5.000 millones de barriles equivalentes (BOE), correspondiente a más de tres veces las reservas actuales del país, 1665 millones de barriles.

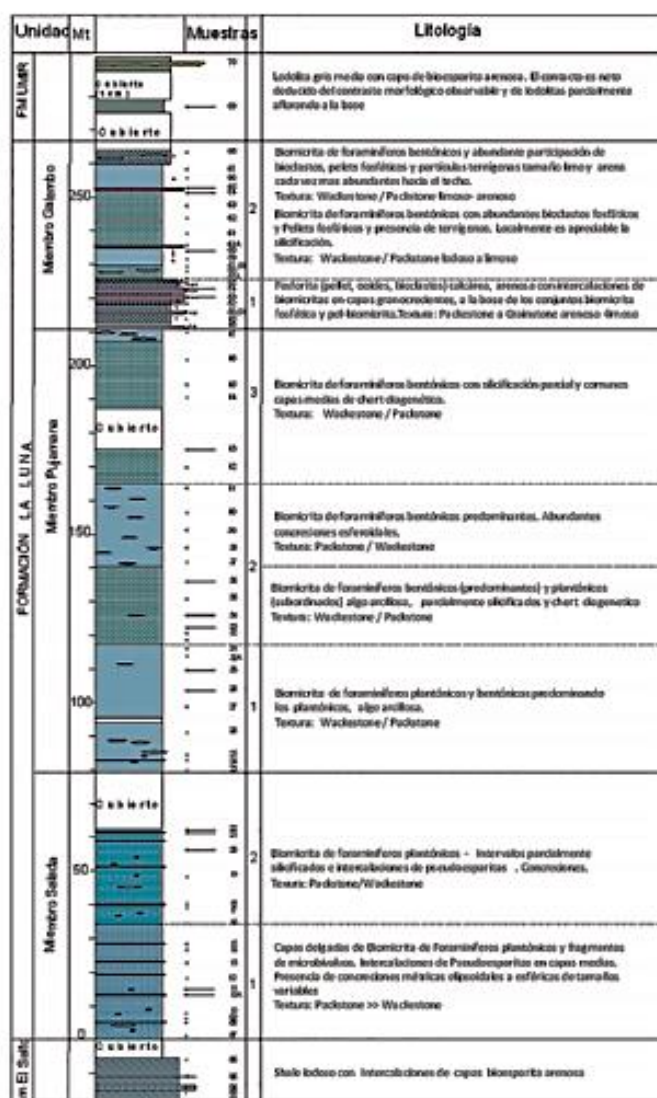


Figura 32. Columna de la formación la luna Estratigráfica y Petrofacies de la Formación La Luna en el Sinclinal de Nuevo Mundo, Valle Medio del Magdalena. Tomado de: Estratigráfica y Petrofacies de la Formación La Luna en el Sinclinal de Nuevo Mundo, Valle Medio del Magdalena (Gustavo Sarmiento et al 2017, pag 6)

Por último, en base al análisis de las parasecuencias, las litofacies y el contenido orgánico, se amplía el modelo de plataforma para el shale de Bambucá, obteniendo que la sección de las Brisas presenta un ambiente de plataforma interna media externa, concordando así con lo obtenido en los estudios previos como se ve en la figura 32. Esto indica que la sección de las Brisas presenta una secuencia con un ambiente de somerización del mar marcado por un ambiente de plataforma interna y shoreface.

12. CONCLUSIONES

- El levantamiento de la sección estratigráfica la brisa muestra una correlación litoestadística y facial con las secciones de Aipe (Quebrada Bambuco y Palco), San Francisco (LA TRIBUNA, Santa Clara) Palermo (las Brisas, Ocal), Tesalia (Yuyos)
- El espesor real alcanzado por el Miembro Shale de Bambucá en la sección de las brisas fue 378 mts, considerándose el mayor espesor de las 6 secciones levantadas
- Fueron determinados para la sección de las brisas 11 segmentos los cuales se agruparon en 8 parasecuencias determinando para estas las litofacies específicas.
- El análisis textural determinó que las muestras de las brisas corresponden macroscópicamente a lodolitas arenosas.
- Se afianza más el conocimiento de la estratigrafía del miembro Shale de Bambucá en los trabajos realizados por el Museo Geológico y del Petróleo completando 7 secciones las cuales son “Quebrada Bambucá”, “El Palco”, “La tribuna”, “Los Yuyos”, “Santa Clara” y “El Ocal” “las brisas”.
- Con base en el análisis de las parasecuencias y las litofacies se amplía el modelo de deposición del miembro shale de Bambucá

13. RECOMENDACIONES

- Continuar con la caracterización e investigaciones cartográficas sobre las rocas lutíticas de la Formación Villeta (Hondita-Lomagorda) sobre el VSM lideradas por el Museo Geológico y del Petróleo debido al interés que presentan en la exploración y explotación de yacimientos no convencionales.
- Unificar los trabajos realizados por el Museo Geológico y del Petróleo sobre el shale de Bambuca para solicitar la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) el apoyo para realizar geoquímica termometría, catodoluminiscencia, por petrografía óptima.
- Unir todos los trabajos del proyecto “ESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN VILLET Y SU EVALUACIÓN COMO YACIMIENTOS NO CONVENCIONALES” para un mejor y más fácil acceso a dicha información.

14. BIBLIOGRAFIA

- Barrio C. A. & Coffield D. Q. (1992) Late Cretaceous stratigraphy of the Upper Magdalena Basin in the Payandé-Chaparral segment (Western Girardot Sub-Basin), Colombia. *Journal of South American Earth Sciences* 5(2). pp. 123-139.
- Beltrán N, & Gallo J (1968). The Geology of the Neiva Sub-Basin, Upper Magdalena Basin, Southern Portion. IX Annual Field Conference, Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists. Reprinted in pp. 253-275, CSPGG Geological Field Trips Colombia, 1959-1978. Geotec, 1979, 545 pp. Bogotá, Colombia.
- Beltrán, N., & Gallo, J., (1979). The Geology of the Neiva Sub- basin, Upper Magdalena Basin, Southern Portion, 1968. In: Geo- logical &eld Trips, Colombia: 1958-1978, pp. 253-275. Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists, Bogotá, Colombia.
- Buitrago, J. (1994). Petroleum systems of the Neiva área. Upper Magdalena Valley, Colombia. In L. B. Magoon, & W. G. Dow (Eds.), *The Petroleum System. From Source to Trap* Vol. 60, pp. 483–497.

- Butler, K & Schamel, S. (1988). Structure along the eastern margin of the central Cordillera, Upper Magdalena Valley, Colombia. *Journ. Of South América*, Vol. 1, n. 1, pp. 109-120.
- Caicedo, J. C., & Roncancio, J. H. (1994). El Grupo Gualanday como ejemplo de acumulación sintectónica en el Valle Superior del Magdalena durante el Paleógeno. *Estudios geológicos del Valle Superior del Magdalena*, capítulo X, pp. 19, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá, Colombia.
- Campiño, L. F., Parra, P., & Mora, C. (2007). Palinofacies y geoquímica orgánica en las rocas del aptiano- coniciano (Valle Superior del Magdalena). *Boletín de Geología*, 75-83.
- Córdoba, F (1998). Sistemas Petrolíferos de la sub-provincia de Neiva Valle Superior del Río Magdalena, Colombia. Tesis de Maestría, Universidad Federal de Rio de Janeiro, Río de Janeiro.
- Corrigan, H (1967). The Geology of the Upper Magdalena Basin (Northern Portion). VIII Annual Field Conference. Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists. Reprinted in p. 221-251: CSPGG Geological Field Trips Colombia, 1959-1978, Geotec, 1979, pp. 545, Bogotá.

Corrigan, H. T. (1979). The geology of the Upper Magdalena Basin (northern portion). In: Geological Field Trips, Colombia: 1959-1978, pp. 221-249. Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists, Bogotá, Colombia.

Curiale, J. A. (1992). Application of organic geochemistry to sequence stratigraphic analysis; four corners platform area, New México, USA. In C. B. Eckard (Ed.),

De porta, J. (1965). Estratigrafía del Cretácico Superior y Terciario en el extremo S del Valle Medio del Magdalena. Boletín Geológico de la UIS vol. 19, pp 5-50, Bucaramanga.

De Porta, J. (1965). Estratigrafía del Cretácico Superior y Terciario en el extremo S del Valle Media del Magdalena. Boletín Geológico de la UIS vol. 22/23, pp. 5-347, Bucaramanga.

De Porta, J. (1966). La Geología del Extremo S del Valle Medio del Magdalena entre Honda y Guataquí (Colombia). Boletín Geológico de la UIS vol. 22/23, pp 5-347, Bucaramanga.

Díaz Poveda, L. (1994a). Distribución de las facies siliciclásticas correspondientes a la Formación Arenisca Tierna y Equivalentes en el Valle Superior del Magdalena.

Drake (Eds.), Mesozoic–Cenozoic stratigraphy and tectonic evolution of the Caribbean región/northern South América: Implications for eustasy from exposed sections of a

Cretaceous-Eocene passive margin setting (pp. 45 Geological Society of America. Bulletin, Paper C-8).

Díaz Poveda, L. (1994b). Reconstrucción de la Cuenca del Valle Superior del Magdalena, durante el Paleógeno. Estudios geológicos del Valle Superior del Magdalena, capítulo XI, pp. 13, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá, Colombia. Ecopetrol-Icp (1994). Evaluación geoquímica Cuenca Valle Superior del Magdalena, Informe Interno, Empresa Colombiana de Petróleos, Instituto Colombiano del Petróleo, Internal Report, pp. 195. Piedecuesta, Colombia.

Drake (Eds.), Mesozoic–Cenozoic stratigraphy and tectonic evolution of the Caribbean región/northern South América: Implications for eustasy from exposed sections of a Cretaceous-Eocene passive margin setting (pp. 45 Geological Society of America. Bulletin, Paper C-8).

Earth, G. (20 de Septiembre de 2019). *Google Earth Versión Libre*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/@2.95967817,75.34695113,559.6640182a,1483.92401207d,35y,347.5589264h,0t,0r>

Ecopetrol. (12 de Abril de 2015). *Meine Weltsicht*. Obtenido de https://ruddygarroussmeineweltsicht.blogspot.com/2015/04/potencial-hidrocarburofero-decolombia_13.html?fbclid=IwAR0FpNbxM14zLUr3ulxdkiKIfXirchKDOC7rgc53wzFfO4EbV5bKOUFUS0

Etayo F. Renzoni G, Barrero D (1976). Contornos Sucesivos del Mar Cretáceo en Colombia. Memoria del Primer Congreso Colombiano de Geología. pp. 438, Bogotá.

Etayo, F. y Otros (1983). Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia. IGAC, Publicación Geológica Especial, n. 14, pp. 235, Bogotá, Colombia.

Etayo-Serna, F. (1994). A Modo de Historia Geológica del Cretácico en el Valle Superior del Magdalena. En Capitulo XX, pp. 1-6 (Etayo, F) Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena. Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Etayo-Serna, F., Moreno, M., & Llinás, R. (1994). Estratigrafía de las capas basales de la Formación Ocal, Quebrada de Bambucá (Aipe), Valle Superior del Magdalena, Colombia. Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena. Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

Fabre, A. (1985). Dinámica de la Sedimentation Cretácica en la Región de la Sierra Nevada del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia). En Capitulo XIX, pp. 1-20, Publicaciones Geológicas Especiales del IGAC No. 16. Bogotá, Colombia.

Flórez M, & Carrillo, G. (1994). Estratigrafía de la Sucesión Litológica Basal del Cretácico del Valle Superior del Magdalena. En el Capítulo II: pp. 1-26 (Etayo, F.). Estudios

Geológicos del Valle Superior del Magdalena. Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Gómez, E (2001). Tectonic controls on the late cretaceous to Cenozoic sedimentary fill of the Middle Magdalena Valley Basin, Eastern Cordillera and Llanos Basin, Colombia. PhD Dissertation, 5 Appendixes, Cornell University, New York.

Guerrero J, Sarmiento G, Navarrete R. (2000). The Stratigraphy of the W Side of the Cretaceous Colombian Basin in the Upper Magdalena Valley. Reevaluation of Selected Areas and Type Localities Including Aipe, Guaduas, Ortega, and Piedras, Geología Colombiana, Vol. 25, pp. 45-110.

Houseknecht, D. W. (1991). Stratigraphic variation in petrology, diagenesis and reservoir potential of Cretaceous and Tertiary sandstones, Upper Magdalena Valley, Colombia. Internal Report Prepared for Hocol.

IGAC. (s.f.). Modelo de Elevación Digital de la plancha 323. Huila, Colombia.

IGAC, Paulina Ferreira; Alberto Nuñez; Miguel A Rodríguez. (1998). Plancha 323 Neiva a escala 1:100000. Colombia.

IGAC. (1999). GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 345 CAMPOALEGRE, escala: 1:100000. Velandia,F; Morales, C; Calcedo, J; Nuñez, A. Huila, Colombia

- J; Naar, J; Peñas, R; Fulham, A, & Taborda, A. (1995). Basin Development and Tectonic History of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia. AAPG Bulletin 79(10), pp.1421-1443.
- Jaramillo, C & Yepes, O. (1994). Palinoestratigrafia del Grupo Olini Coniaciano-Campaniano, Valle Superior del Magdalena. Estudios Geológicos del Valle Superior del Magdalena, pp. 1-18. Bogotá, Colombia.
- Julivert, M. (1968). Léxico Estratigráfico Internacional, Vol. 5 América Latina, Fascículo 4a Colombia, Primera Parte. -Centre National de la Recherche Scientifique, pp. 651, Paris.
- Magoon, L. B. (1992). The petroleum system—Status of research and methods. US Geological Survey Bulletin 2007, pp. 111.
- Magoon, L.B. & Dow, W. G., (1994). The Petroleum System. In: Magoon, L. B., Dow, W.G. (Eds.). The Petroleum System - from source to trap. A.A.P.G. Memoria 60, Capítulo 1, pp. 3-24.
- Mendivelso, D., (1993). Aspectos fotogeológicos y estratigráficos del Cretáceo por la Quebrada Itaibe, Valle Superior del Río Magdalena, Colombia. Revista Ciprés, V. 14, No. 1, pp. 67-84, IGAC, Bogotá

Mojica, J. & Dorado, J. (1987). El Jurásico anterior a los movimientos intermalmicos en los Andés colombianos. Parte A: Estratigrafía En: VOLKHEIMER, W, Edit. Bogotá, Colombia.

Mojica, J. & Macia, C. (1983). Características Estratigráficas y Edad de la Formación Yaví, Mesozoico de la Región entre Prado y Dolores, Tolima, Colombia. Geología Colombiana 12, pp.7-32, Departamento de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Mojica, J., & Bayer, K (1987). Características esenciales del Valle Superior del Magdalena, una cuenca petrolífera Cretácica interandina de Colombia. Memoria 3er Simposio. Cretácico de América Latina, Tucuman, Argentina, Proyecto International Correlation Program, 242, pp. 11–16.

Mora, L. & Patarroyo, P. (2013). Estratigrafía de la Formación Loma Gorda en la Quebrada Bambucá (Aipe-Huila) (Trabajo de Grado). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

OLSSON, AA. (1956). Colombia. - En: Jenks, W.F (ed.), Handbook of South American Geology, An explanation of the Geologic Map of South América. - Geological Society of América, Memoir 65, pp. 293-326, New York.

Pasley, H. A., Gregory, W. A., & Hart, G. F. (1991). Organic matter variations in transgressive and regressive shales. Organic geochemistry, 17, pp. 483–509.

Patarroyo, P. & Dueñas, H. (2006). Eulophoceras jacobi Hourq y palinomorfos

asociados del Coniaciano temprano, formación Loma Gorda, Quebrada Bambucá (Aipe- Huila-Colombia, S.A) Revista de la Academia de ciencias exactas, físicas y naturales 30 (117), pp. 503-510, Bogotá, Colombia.

Patarroyo, P. (1991) Estratigrafía de las Sedimentitas del Cretácico Superior en la Quebrada Bambucá (Aipe-Huila). Subdirección de Exploración Geológica – Sección de Estratigrafía. IGAC, Santa Fe de Bogotá.

Patarroyo, P. (1993) Las Formaciones Cretácicas Hondita y Lomagorda, a propósito de la Nomenclatura Estratigráfica del Valle Superior del Magdalena. VI CONGRESO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA, Tomo III, P. 803-814. Medellín.

Patarroyo, P. (2011). Sucesión de Amonitas del Cretácico Superior (Cenomaniano-Coniaciano) de la parte más alta de la Formación Hondita y de la Formación Lomagorda en la Quebrada Bambucá, Aipe-Huila. Boletín de Geología, Vol. 33, pp. 69- 92. Peña, J. & Anniccharico, G. (1999). Evaluación Regional de las Calizas de Tetuán.

Patiño, F., Aldemar, P., & Alejandra, S. (2018). *Levantamiento estratigráfico detallado para el miembro shale de Bambucá en dos secciones de la subcuenca de Neiva*. Neiva: Universidad Surcolombiana (Patiño, Aldemar, & Sedano, 2018).

Potencial Reservorio de Hidrocarburos en la Sub-Cuenca de Neiva, Valle Superior del Magdalena. Departamento de Geociencias Universidad Nacional, Bogotá.

- Peñas, R., and Vargas, C. (1989). Análisis Facial de las Sedimentitas almacenadoras de aceite del Aptiano-Albiano-Formación Caballos, en la Región de Ortega- Tetuán, Departamento del Tolima, Cuenca del Valle Superior del Magdalena. (Trabajo de Grado). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Petters, V. (1954). Tertiary and Upper Cretaceous Foraminifera from Colombia, S.A. Contr. Cush. Found. Foram. Res. V/1, pp. 37-41, Bogotá, Colombia.
- Raasveldt, HC; Burgl, H, & Van Der Hammen T (1956). Mapa Geológico de la Plancha L9 (Girardot), Escala 1:200.000. Servicio Geológico Nacional, Bogotá, Colombia.
- Ramírez Vargas, H., & Ramírez Criollo, N. L. (1994). Estratigrafía y origen de los carbonatos del Cretácico Superior del Magdalena, Departamento del Huila, Colombia. Estudios geológicos del Valle Superior del Magdalena, capítulo V, pp. 15, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá, Colombia.
- Renzoni, G. (1994a): Yaví (Formación) En: Catalogo de las unidades estratigráficas de Colombia. - IGAC, p. 6-18, Bogotá. -(1994b) Caballos (Formación) En: Catalogo de las unidades estratigráficas de Colombia.
- Rodríguez, E., & Castro, P. E. (1994). El Maestrichtiano de la región Honda-Guaduas, límite N del Valle Superior del Magdalena: Registro sedimentario de un delta dominado por ríos trenzados. Estudios geológicos del Valle Superior del Magdalena, capítulo III, pp. 20, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Geociencias, Bogotá, Colombia.

Sarmiento Rojas, L. F (1989). Stratigraphy of the Cordillera Oriental west of Bogotá Colombia. Msc thesis, University South Carolina, EEUU.

Sarmiento, L. F., Rangel, A., (2004). Petroleum systems of the Upper Magdalena Valley, Colombia. Marine and Petroleum Geology Vol. 21, pp. 373-391.

Sarmiento-Rojas, L. F., (2001). Mesozoic Rifting and Cenozoic Basin Inversion History of the Eastern Cordillera, Colombian Andes (Tesis doctorado Ph. D) Vrije University, pp. 295.

Servicio Geológico Colombiano. (2012). Las Calizas en Colombia, Geología, Recursos, Calidad y potencial. 76-78.

Vargas Cuervo, R. (2010). “Reconocimiento geológico de la cobertura productiva de la Subcuenca de Neiva-Huila-Colombia”, Universidad Surcolombiana, Neiva- Huila.

Vargas Cuervo, R. (s.f.). Mapas generados por el grupo de investigación del Museo Geológico y del petróleo. Neiva, Huila, Colombia.

Vargas R, Pérez C, & Diaz, C. (2014). Levantamiento Estratigráfico detallado para el miembro Shale de Bambucá en dos secciones de la Subcuenca de Neiva (Trabajo de Grado), Universidad Surcolombiana, Neiva- Huila.

- Vargas R, Aguja A, & Et Al. (2014). Caracterización geológica de los indicios superficiales de hidrocarburos en el sector centro y norte del departamento del Huila (Trabajo de Grado), Universidad Surcolombiana, Neiva-Huila.
- Vargas, R; Trujillo, C; & Carvajal, G. (2015). Evaluación detallada y levantamiento por estratigrafía secuencial de la Formación Lomagorda y Grupo Olini en la sección Girardot – Nariño. (Trabajo de Grado), Universidad Surcolombiana, Neiva- Huila.
- Vergara, L. (1992). Lower Cretaceous Stratigraphic, sequences in the Quebrada Bambucá (Aipe), Upper Magdalena Valley, Colombia. *Giessener Geologische Schriften* n. 48, pp. 183-200, Giessen.
- Vergara, L. (1994). Stratigraphic, micropaleontologic and organic geochemical relations in the Cretaceous of the Upper Magdalena Valley, Colombia. *Giessener Geologische Schriften* n. 50, pp. 179, Giessen.
- Vergara, L. (1997). Stratigraphy, Foraminiferal Assemblages and Paleoenvironments in the Late Cretaceous of the Upper Magdalena Valley, Colombia. (Part I). *Journal of South American Earth Sciences* 10(2), pp. 111-132. Oxford.
- Vergara, L., Guerrero, J., Patarroyo, P. & Sarmiento. G. (1995). Comentarios acerca de la Nomenclatura Estratigráfica del cretácico Inferior del Valle Superior del Magdalena. *Geología Colombiana*, 19, págs. 21-32, Santafé de Bogotá.

Villamil, T. (1994). Relative sealevel, chronology and a new sequence stratigraphy model for distal offshore facies. Albion to Santonian, Colombia. In J. A. Pindell, & C. D.

Villamil, T. (1998). Chronology, Relative Sea-level History and a new Sequence Stratigraphic Model for Basinal Cretaceous Facies of Colombia. SEPM Spec. Publ. 58. pp. 161-216

Vargas R, Et Al. 2019 “Levantamiento Estratigráfico Detallado Para El Miembro Shale De Bambucá En Dos Secciones De La Subcuenta De Neiva”, (Trabajo de Grado), Universidad Surcolombiana, Neiva- Huila.

Muñoz Ingrid, Et Al. 2020 “Microtermometría De Rocas Carbonatadas De Las Formaciones Hondita - Loma Gorda, Sector Cueva Del Tigre, Municipio De Yaguará - Huila, Colombia” (Trabajo de Grado), Universidad Surcolombiana, Neiva- Huila.

