

**PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA ORGÁNICA DE LAS FORMACIONES
CRETÁICAS AFLORANTES EN EL FLANCO ORIENTAL DE LA SERRANÍA
DE SAN LUCAS, PLANCHAS 85 Y 96**

JENNY ANDREA GAVIRIA REYES

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

2006



**PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA ORGÁNICA DE LAS FORMACIONES
CRETÁICAS AFLORANTES EN EL FLANCO ORIENTAL DE LA SERRANÍA
DE SAN LUCAS, PLANCHAS 85 Y 96**

JENNY ANDREA GAVIRIA REYES

Trabajo de Grado para optar el título de Geóloga

Director:

MARIO GARCÍA GONZÁLEZ

Ph.D. en Geoquímica

Codirector:

Ph.D. LUIS CARLOS MANTILLA FIGUEROA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE FÍSICO-QUÍMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2006



DEDICATORIA

*A Fanny Lucia Reyes, mi madre
A Maria Alejandra Gaviria, mi hermana
Y, a Daniel Ricardo Jaramillo, mi novio.
"A ellos, les doy las gracias por apoyarme siempre"
Jenny A. Gaviria*

AGRADECIMIENTOS

A la vida por conocer y estudiar una ciencia tan bacana como la Geología.

A los directores del proyecto, los profesores Mario García González y Luis Carlos Mantilla Figueroa, por sus enseñanzas, confianza y apoyo.

A Jorge Eduardo Pinto, Geólogo y gran amigo, por recordarme que la Geología si es para mí.

A mis compañeros, que me apoyaron durante toda la carrera y con quienes compartí en las salidas de campo.

Al equipo de Rugby femenino “Panteras Rugby Club”, por enseñarme a luchar hasta el final y estar con la actitud de ganar siempre.

A mis amigos, que siempre confiaron en mí, y me brindaron su apoyo.

A mi familia, que me ha enseñado y guiado.

A Luz marina de Arco, Silvia Margarita Peña y Rosamaria, quienes desde mi niñez me enseñaron a ser una persona íntegra y creativa. Y a todas las personas que de una u otra forma ayudaron en mi formación y en la realización del proyecto.



RESUMEN

TITULO: PETROGRAFÍA Y GEOQUÍMICA ORGÁNICA DE LAS FORMACIONES CRETÁICAS AFLORANTES EN EL FLANCO ORIENTAL DE LA SERRANÍA DE SAN LUCAS, PLANCHAS 85 Y 96. ¹

Autor: JENNY ANDREA GAVIRIA REYES*

Palabras Clave: Serranía de San Lucas, Geoquímica Orgánica, Madurez termal, modelamiento geoquímico.

La caracterización de rocas generadoras en una cuenca sedimentaria, se definen por la cantidad, calidad y madurez termal de la materia orgánica, para evaluar estos tres requisitos fundamentales, las rocas se someten a los análisis de carbono orgánico total (TOC), pirolisis Rock-Eval y Reflectancia de Vitrinita (Ro), principalmente. Al oriente de la Serranía de San Lucas aflora una franja sedimentaria comprendida por las formaciones Rosablanca, Paja, Simití, El Salto, y La Luna, las cuales fueron sometidas a procesos de subsidencia que dieron lugar a la generación de Hidrocarburos.

La madurez termal alcanzada por la formación La Luna es temprana y Simití alcanza el pico de madurez en este punto, la materia orgánica consiste en kerógenos de tipo II Y III, además se caracterizan por una muy buena cantidad de materia orgánica. El modelado geoquímico 1D complementa la información obtenida en los análisis. Los resultados indican que la Formación La Luna esta comenzando la ventana de generación de petróleo mientras que la Formación Simití esta en el pico de la ventana de generación.

1 Trabajo de grado modalidad investigación

* Facultad de ingenierías fisicoquímicas, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander. Director: Mario García González.



ABSTRAC

TITLE: PETROGRAPHY AND ORGANIC GEOCHEMISTRY OF THE CRETACEOUS FORMATIONS OUTCROPPING THE EASTER FLANK OF THE SAN LUCAS MOUNTAIN RANGE, 85 AND 96 PLATES¹.

Author: JENNY ANDREA GAVIRIA REYES*

Key Words: San Lucas mountain range, organic geochemistry, thermal maturity, 1D geochemical modeling.

Source rocks are evaluated with three basic parameters: quantity of organic matter, quality of organic matter (Kerogen types) and thermal maturity of organic matter. These parameters were determined using TOC, Rock Eval Pyrolysis and Vitrinite reflectance (Ro).

On the Easter flank of the San Lucas range, outcrop middle to upper cretaceous formations Rosablanca, Paja, Simití, El Salto, La Luna. These formations contain potential source rocks. These two formations contain Kerogen II and III and the TOC values with average values of 3,65 % for the La Luna formation and 4,58 % for the Simití Formation.

The 1D geochemical model show that the La Luna formation is entering to OGW and the Simití formation is at the peak of the OGW. These geochemical results were calibrated with Ro and Tmax parameters

1 Undergraduate research thesis

* Faculty of Physics and Chemistry Engineering's, Geology School, University Industrial of Santander. Director: Mario García-González, Ph. D. Professor



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	
1. OBJETIVOS	2
2. GENERALIDADES DE ÁREA	3
2.1. Localización y vías de acceso	3
2.2. Clima y vegetación	5
2.3. Economía	5
3. ANTECEDENTES	6
4. MARCO GEOLÓGICO	9
4.1. Estratigrafía	9
4.1.1. <i>Jurasico</i>	11
4.1.2. <i>Cretácico.</i>	11
4.1.3. <i>Paleógeno-Neógeno.</i>	19
4.1.4. <i>Cuaternario.</i>	19
4.2. Geología Estructural.	19
4.2.1. <i>Falla de las Brisas.</i>	21
4.2.2. <i>Falla de Simití.</i>	21
4.2.3. <i>Falla de San Blas.</i>	22
5. CONSIDERACIONES PREVIAS	24
5.1. Evaluación de la madurez termal y tipo de kerógeno	29
5.1.1. <i>Cantidad de materia orgánica</i>	28

5.1.2. <i>Calidad de la materia orgánica.</i>	31
5.1.3. <i>Grado de madurez termal.</i>	34
5.1.4. <i>Modelamiento geoquímico 1D.</i>	36
6. METODOLOGÍA	38
6.1. Selección de muestra.	38
6.2. Elaboración de láminas delgadas.	38
6.3. Análisis geoquímicos.	39
6.3.1. <i>Carbono orgánico total (TOC), y pirolisis Rock-Eval.</i>	39
6.3.2. <i>Reflectancia de Vitrinita (Ro).</i>	40
6.4. Modelamiento Geoquímico	42
7. RESULTADOS	48
7.1. Petrografía.	48
7.1.1. <i>Plancha 85.</i>	49
7.1.2. <i>Plancha 96.</i>	58
7.2. Geoquímica orgánica.	65
7.2.1. <i>Formación La Luna.</i>	69
7.2.2. <i>Formación El Salto.</i>	71
7.2.3. <i>Formación Simití.</i>	72
7.2.4. <i>Formación Paja.</i>	74
7.2.5. <i>Formación Rosablanca.</i>	75
7.3. Modelamiento Geoquímico	77
8. CONCLUSIONES	82
REFERENCIAS CITADAS	84

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Interpretación del TOC para rocas carbonatadas y shales.
- Tabla 2. Tipos de Kerógeno, origen, potencial y características químicas.
- Tabla 3. Caracterización de la reflectancia de vitrinita de rocas generadoras de hidrocarburos.
- Tabla 4. Porosidades y constantes para diferentes litologías.
- Tabla 5. Conductividades térmicas de rocas sedimentarias.
- Tabla 6. Factores de temperatura para diferentes intervalos.
- Tabla 7. Interpretación de dato de TTI y Ro.
- Tabla 8. Listado de secciones delgadas, con su código. Localización y formación.
- Tabla 9. Correlacionaron de los resultados de TOC y Pirolisis Rock-Eval.
- Tabla 10. Resultados de Reflectancia de vitrinita (Ro).
- Tabla 11. Resultados de los análisis de la formación La Luna.
- Tabla 12. Resultados de los análisis para la formación el salto.
- Tabla 13. Resultados de los análisis para la formación Simití.
- Tabla 14. Resultados de los análisis para la formación el Paja.
- Tabla 15. Resultados de los análisis para la formación Rosablanca.

LISTA DE FIGURAS

- Figura.1 Mapa de localización del área de estudio.
- Figura 2. Columna estratigráfica generalizada del área de las planchas 85 y 96 al oriente de la Serranía de San Lucas
- Figura 3. Esquema estructural de la geometría de la flor positiva del sistema las Brisas.
- Figura 4. Evolución de la rotación flexural del Valle del Magdalena.
- Figura 5. Estados de evolución de la materia orgánica.
- Figura 6. Materia orgánica amorfa. con colonias de *Botryococcus*.
- Figura 7. Materia orgánica amorfa en muestras del Grupo Villeta.
- Figura 8. Materia orgánica leñosa y amorfa en la muestras de la Formación Carbonera.
- Figura 9. Esquema de distribución del carbono orgánico total.
- Figura 10. Diagrama de Van Krevelen, total de muestras seleccionas para la caracterización de tipo de Kerógeno
- Figura 11. Principales fases de evolución termal.
- Figura 12. Esquema de calentamiento y obtención de los picos S1, S2 y S3 durante el análisis de Pirolisis Rock-Eval.
- Figura 13. Secciones listas para la lectura en el microscopio.
- Figura 14. Corte generalizado de la plancha 96 de la Serranía de San Lucas.
- Figura 15. Columna generalizada de la cuenca del Valle Medio del Magdalena.
- Figura 16. Mapa de localización de las muestras seleccionadas para análisis de TOC, Pirolisis Rock-Eval y Ro.
- Figura 17. Diagrama de Van Krevelen para la formación la luna.
- Figura 18. Diagrama de Van Krevelen para la formación El Salto.
- Figura 19. Diagrama de Van Krevelen para la formación Paja.
- Figura 20. Diagrama de Van Krevelen para la formación Simití.
- Figura 21. Diagrama de Van Krevelen para la formación Rosablanca.

Figura 22. Diagrama de Subsistencia decompactado.

Figura 23. Diagrama Tiempo Vs Temperatura para las formaciones La Luna y Simití.

Figura 24. Diagrama TTI Vs Reflectancia de Vitrinita (R_o) para la formación La Luna.

Figura 25. Diagrama TTI Vs Reflectancia de Vitrinita (R_o) para la formación Simití.

Figura 26. Diagrama Tiempo contra TTI para la formación La Luna.

Figura 27 .Diagrama Tiempo contra TTI para la formación Simití

LISTA DE MICROFOTOGRAFIAS

- Microfotografía 1. IQ85081001. 50X. A. NX. B. NX
Microfotografía 2. IQ85091001.50X. A. NX. B. N
Microfotografía 3. IQ85160004. 50X. A. N//. B. N
Microfotografía 4. IQ85093001. 50X. A. N//. B. NX.
Microfotografía 5. JC85124002. 50X. AX. BX
Microfotografía 6. JC85206002. 50X. A. N//.
Microfotografía 7 . RD85002002. 50X. A. N//. B. NX.
Microfotografía 8. VC85019001. 50X. A. N//. B. N
Microfotografía 9. VC85019003. 50X. A.N//. B. NX
Microfotografía 10. DI96033001. 50X. A. N//, B. N
Microfotografía 11. EC96008001. A. NX, B. NX.
Microfotografía 12. HC96001002. 50X. A. NX, B. NX.
Microfotografía 13. HCE96043. 50X. A. N//. B. NX
Microfotografía 14. LM96033002. 50X. A. N//. B. NX.
Microfotografía 15. LM96040000. 50X. A. N//. B. N//.

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Mapas geológicos actualizados, planchas 85 y 96.
- Anexo 2. Columna Estratigráfica generalizada de las planchas 85 y 96, Serranía de san Lucas
- Anexo 3. Corte generalizado de la plancha 96.
- Anexo 4. Tablas de datos del diagrama de subsidencia.
- Anexo 5. Tablas de datos del diagrama Tiempo-Temperatura.
- Anexo 6. Tablas de datos del cálculo del TTI y Ro.

INTRODUCCIÓN

La información geológica de Colombia se centra hoy día en estudios de exploración a lo largo y ancho del territorio nacional. La Serranía de San Lucas, se extiende entre 8° 50' N – 74° 45' W y 7° N – 74° W, en la zona sur del Departamento de Bolívar y nororiental de Antioquia. Se convierte en un área con gran interés geológico. Actualmente se desarrollan estudios más profundos y puntuales como el presente proyecto, el cual se centra en estudiar las formaciones del cretácico inferior, localizadas en las planchas 85 y 96 a escala 1:100000 del IGAC, encontrando su potencial geológico, y mejorando la calidad de lo que hasta hoy ha sido publicado. Las planchas 85 y 96 enmarcan una franja sedimentaria que por sus características en campo podrán arrojar resultados muy interesantes con respecto a la cantidad de materia orgánica, la calidad de materia orgánica y grado de madurez termal (criterio de rocas generadoras), además de ser formaciones que a través de los tiempos se han convertido en unidades potencialmente importantes en los procesos de generación, expulsión, migración, acumulación, y preservación de hidrocarburos. Así contribuir al desarrollo de geológico del área correspondiente a la Serranía de San Lucas.

El presente proyecto de grado se realiza en el marco del convenio de cooperación específico N° 004, suscrito entre el Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química (INGEOMINAS) y la Universidad Industrial de Santander (UIS), el cual a su vez es dirigido técnicamente por el Grupo de Investigación en Mineralogía, Petrología y Geoquímica (MINPETGEO), proyecto titulado: “CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE 9.600 KM² DE LA SERRANÍA DE SAN LUCAS: PLANCHAS 55 (EL BANCO), 64 (BARRANCO DE LOBA), 85 (SIMITÍ) Y 96 (BOCAS DEL ROSARIO): APORTE AL CONOCIMIENTO DE SU EVOLUCIÓN GEOLÓGICA”.



1. OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar los tipos de kerógeno, madurez termal de la materia orgánica y las características petrográficas de las rocas calcáreas y pelíticas de las Formaciones Rosablanca, Paja, Simití, El Salto y La Luna, aflorantes en las áreas de las planchas IGAC 85 y 96 de La Serranía de San Lucas.

Objetivos específicos

- Revisión de la información bibliográfica sobre los estudios publicados que se han desarrollado en el área de estudio
- Realizar la petrografía y su correspondiente clasificación de las muestras de roca del cretácico sedimentario en el área de estudio.
- Realizar análisis de Carbono Orgánico Total (TOC), Pirolisis Rock-Eval, Reflectancia de Vitrinita (Ro), para determinar la cantidad, calidad y madurez termal de la materia orgánica.
- Realizar un modelamiento geoquímico 1D de las formaciones Rosablanca, Paja, Simití, El Salto y La Luna en el flanco oriental de la Serranía de san Lucas.

2. GENERALIDADES DEL ÁREA

2.1 Localización y vías de acceso

La Serranía de San Lucas es la parte más septentrional de la Cordillera Central de Colombia; tiene una extensión aproximada de 16.000Km², en las planchas 65, 74, 75, 83, 84, 85, 94, 95, 96, 106, 107, 108 y 118, escala 1:100.000 del IGAC; se extiende entre 8° 50' N – 74° 45' W y 7° N – 74° W, en la zona sur del Departamento de Bolívar y nororiental de Antioquia. Por el oriente limita con el río Magdalena, desde el río Cimitarra en el sur, hasta el Brazo de Loba en el norte; por el occidente el límite es el sistema hidrográfico Nechí - Cauca y la zona de ciénagas y lagunas al sur de la población de Barranco de Loba.

Entre las poblaciones más importantes de la zona se destacan Simití, Santa Rosa, Las Brisas, Cerro Burgos, Bodega Central, Loma de Corredor, Puerto Mosquito, Puerto Patiño, Barranca de Lebrija, Cuatro Bocas, El Limón, Puerto Oculto, y Buenos aires entre otras.

La principal vía de acceso a la zona es la Troncal Bucaramanga-Santa Marta, la cual cruza el borde noreste de las planchas 85 y 96 del IGAC, en segundo orden tenemos la navegación fluvial a través del río Magdalena la cual contribuye con el desarrollo económico regional por su conexión de la Serranía de San Lucas hacia poblaciones como Simití y Santa Rosa y Aguachica, el centro del país y la Costa Caribe Colombiana.

El área de estudio se encuentra ubicada en las estribaciones orientales de la Serranía de San Lucas, correspondiendo más exactamente a la parte sur del Departamento de Bolívar, con una extensión territorial de 250Km² aproximadamente (Figura 1).



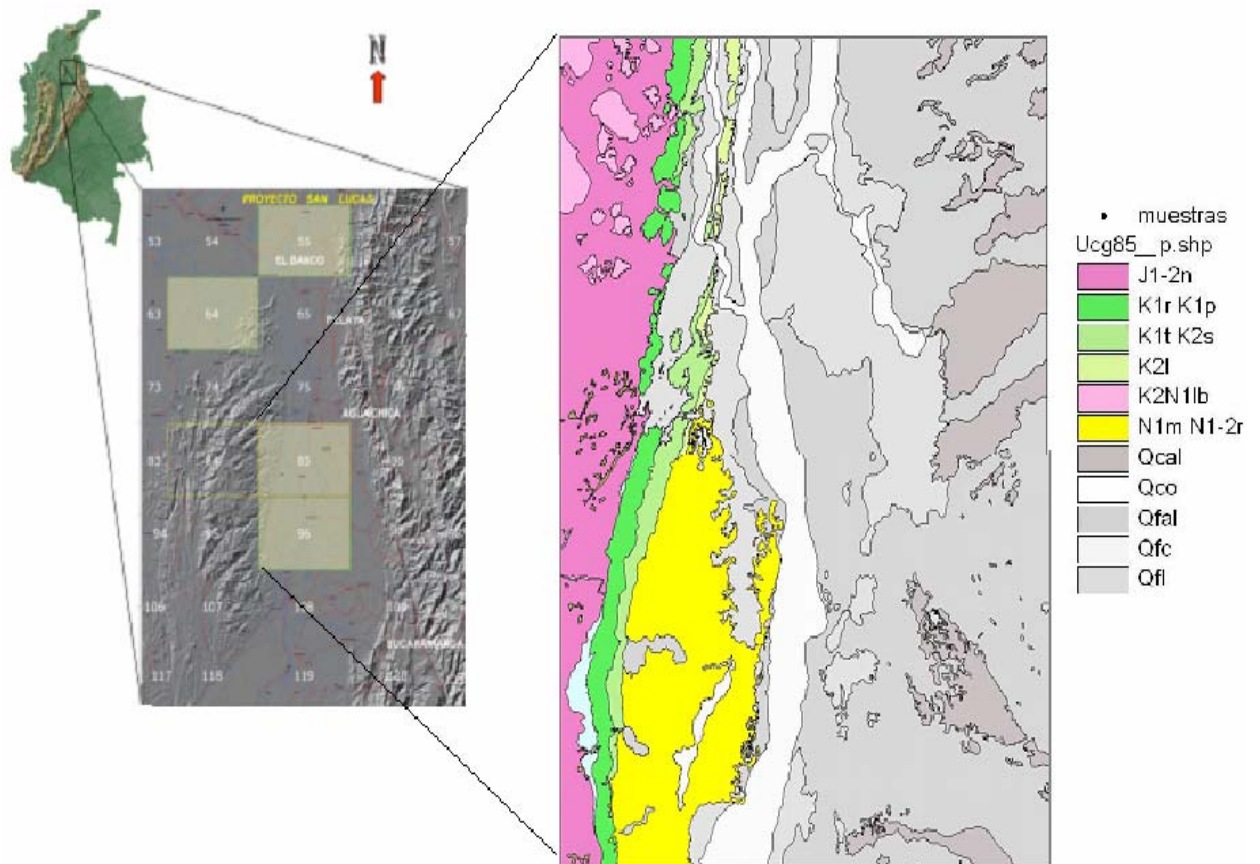


Figura.1 Mapa de localización del área de estudio. Las modificaciones de las formaciones se encuentran en el anexo 1.

2.2 Clima y vegetación

En esta área contrastan 2 regiones naturales como son la Serranía de San Lucas que corresponde al extremo más septentrional de la Cordillera Central donde predomina un relieve montañoso sobresaliente con alturas hasta de 800msnm y por otro lado el Valle del Río Magdalena que constituye una zona plana y cenagosa con alturas del orden de los 50-100msnm. Las condiciones climáticas son calidas y húmedas con temperaturas que oscilan entre los 32° y 40° C., y una precipitación media anual del orden de 1500 a 2500m de distribución bimodal, (IDEAM, 2001). La Serranía de San Lucas es una de las regiones más ricas en diversidad biológica y recursos minerales del país, ocupando casi dos millones de hectáreas de bosque andino tropical y subtropical, únicos en Suramérica. Que se caracterizan por una variedad de flora y fauna característica de este tipo de bosques, Los cuales se han visto afectados por la falta de seguimiento y restricciones ambientales consecuencia de la minería y de la producción de coca principalmente.

2.3 Economía

Las principales fuentes de la economía regional son la ganadería, la agricultura y la pesca como renglón de subsistencia; la minería es también una actividad importante dentro de la economía regional, en la que se incluye la minería artesanal la cual realizan principalmente las personas de la región. Se resalta el alto potencial turístico ambiental que posee la región por la belleza de sus ciénagas y humedales con gran riqueza en flora y fauna. Esto se ve afectado por los grupos al margen de la ley, donde paralelamente se están desarrollando planes de desmovilización en el marco de los proyectos de Paz del gobierno; además, en convenios entre el Estado Colombiano y el SENA se han iniciado proyectos técnicos-educativos.



3. ANTECEDENTES

La Serranía de San Lucas, se ha explorado principalmente en la búsqueda de minerales económicamente importantes debido a sus ambientes favorables para la formación de estos minerales identificados sobre los los complejos igneo-metamórficos allí localizados (Bogotá & Aluja, 1981).

Dentro convenio vigente entre El Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS y la Universidad Industrial de Santander UIS, se estableció la cartografía y geología de las zonas correspondientes al presente proyecto, basados en un estudio directo en la Serranía de San Lucas, así se determinaron las diferentes unidades litoestratigráficas que allí afloran.

En las Planchas 85 y 96 se encuentran rocas ígneas y sedimentarias con edades que van desde el Periodo Jurásico Inferior hasta el Neógeno y depósitos Cuaternarios. Las rocas sedimentarias del Cretácico, las cuales son el punto de partida del proyecto, están representadas por las Unidades Rosablanca, Paja, Simití, El Salto y La Luna. También se encontraron rocas sedimentarias clásticas y bioquímicas del Cretácico, entre las cuales se incluye la Unidad Conglomerática de Arenal.

Otros autores que conforman la base bibliográfica acerca de la serranía de San Lucas, han contribuido con la ejecución de una geología más sólida sobre esta parte del territorio nacional. A continuación se presentan los aspectos más relevantes de dichos trabajos.

- El Cretáceo ha sido estudiado en detalle por Dickey (1941) y Morales (1958), mostrando como sus contactos usualmente son tectónicos con las rocas volcánicas, aunque en otros casos la secuencia cretácica descansa

directamente sobre las rocas volcánicas. Identificando las calizas, margas y shales negros

- Kassem y Arango (1977) publicaron el Mapa Fotogeológico de la Serranía de San Lucas, en escala 1:500.000. La base topográfica sobre la cual se colocó la información fotogeológica fue tomada del mapa del departamento de Antioquia elaborado por el instituto geográfico Agustín Codazzi en 1973. Este mapa indica la presencia de unidades litológicas, constituidas por rocas metamórficas, ígneas (Intrusivas y volcánicas) y sedimentarias con edades entre el Precámbrico y el Terciario, así como depósitos sedimentarios no consolidados del Cuaternario. Este documento presenta, igualmente, las principales fallas y fracturas identificadas en las fotografías aéreas interpretadas).
- Leutsh et al., (1980) en un reconocimiento geológico preliminar (informe inédito) presentan los resultados del análisis petrográfico, con catálogo de muestras, de las diferentes unidades que afloran en la Serranía de San Lucas, describiendo sus rasgos texturales y microestructurales, así como su composición mineralógica y petrogénesis de estas rocas. En este trabajo también se presentan como resultado un mapa estructural a escala 1:500.000 de la Serranía de San Lucas. basado en fotografías aéreas, imágenes de radar y satelitales.
- Bogotá y Aluja (1981) como resultado de los programas de exploración de minerales radiactivos llevados a cabo por el Instituto de asuntos Nucleares "IAN" y la empresa COGEMA proponen modificaciones sustanciales al mapa fotogeológico de la serranía elaborado por Kassem y Arango (1977) y publicado por INGEOMINAS. La publicación del mapa se hace en escala 1:1'250.000, sin mayor información topográfica y es acompañado por una

descripción breve de cada una de las unidades representadas en él. Durante el Jurásico Superior la zona de la Serranía de San Lucas se presenta como una zona emergida, sometida a los fenómenos de erosión. Con la invasión marina del Cretáceo se produce la inmersión del área y la depositación de las rocas de esta edad, entre las cuales se distinguen las calizas, margas y shales negros.

- Etayo et al., (1983) en el Mapa de Terrenos Geológicos de Colombia presentan un resumen de las unidades litológicas presentes en la Serranía de San Lucas, que se apoya en la información suministrada por Bogotá & Aluja (1981), Feininger et al., (1971) y Séller (1973).
- Guillermo Ujueta L. 1992, Fotogeología de la Parte Central y del Norte del Valle Medio del Magdalena, los sedimentos presentes en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena pueden agruparse en cuatro categorías: Sedimentos Continentales Terciarios, Sedimentos Cretáceos de Miogeosinclinal, Sedimentos Marinos Neríticos y Continentales del Paleozoico Superior-Jurásico y Sedimentos de Geosinclinal del paleozoico Inferior.
- Royero et al., 1998 y Clavijo et al., 1998 realizaron la Cartografía Geológica regional a escala 1:100.000 del extremo noreste de la Serranía de San Lucas. De igual manera González, 1992 y Feininger et al.; 1975 realizaron la cartografía geológica de la zona suroeste de la Serranía que corresponde a las Planchas 106 (Liboria) y 117 (Amalfi) respectivamente. En escala 1:200.000 se cuenta con una versión antigua del Cuadrángulo H-11 Barrancabermeja (Servicio Geológico Nacional & Inventario Minero Nacional, 1966), cuyo sector norte corresponde a la Plancha 118 Río Ite.

4. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

4.1 Estratigrafía

En las planchas 85 y 96 afloran rocas volcanosedimentarias, sedimentarias e ígneas extrusivas, de edad Jurásica a Neógena, junto a depósitos consolidados y no consolidados del Pleistoceno-Holoceno.

A continuación se presentan la unidades litoestratigráficas definidas durante el proyecto” Cartografía geológica de 9.600Km² de la Serranía de San Lucas: planchas 55(El Banco), 64 (Barranco de la Loba), 85 (Simití), y 96 (Bocas del Rosario): Aporte al conocimiento de su evolución geológica”. Y en base a los aportes hechos por diferentes autores.

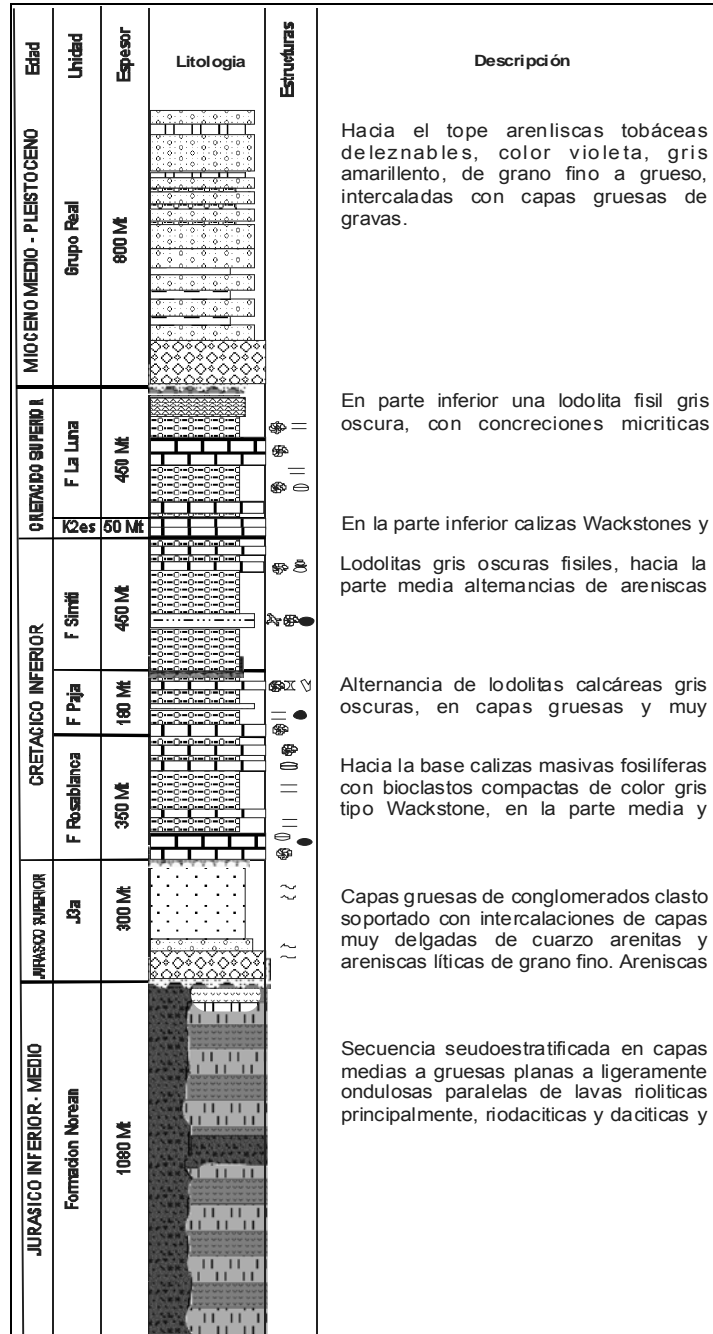


Figura 2. Columna estratigráfica generalizada del área de las planchas 85 y 96 al oriente de la Serranía de San Lucas. UIS-IGEOMINAS, 2006. Ver columna completa en el anexo 2.

4.1.1 Jurásico

Formación Noreán (J1-2n)

El nombre de esta unidad fue propuesto por Clavijo J. (1996), corresponde a una secuencia volcanoclástica la cual ha sido subdividida en cuatro conjuntos. Esta unidad se depositó en lo que hoy conocemos como los valles del Magdalena Medio y del Cesar, a principios y mediados del Jurásico, Clavijo J. (1996).

La Formación Noreán, está constituida principalmente por tobas, lavas y, en menor proporción por rocas epiclásticas. Las primeras son principalmente tobas cristalino-líticas de composición dacítica e ignimbritas dacíticas y riódacíticas. Las lavas varían en composición desde andesitas a dacitas, y riolitas. Las epiclásticas son lodolitas, arenitas y conglomerados tobáceos.

4.1.2 Cretácico

Formación Rosablanca (K1r)

La Formación Rosablanca, Según Morales et al., (1958), el nombre deriva del Cerro Rosa Blanca y fue propuesta por Wheeler O.C en 1929 en un informe inédito. Esta formación presenta su sección tipo en el cañón del Río Sogamoso (Plancha 120-I-D, A-8). La Formación Rosablanca en el área de las planchas está constituida por calizas terrígenas conglomeráticas, líticas y sublíticas con cemento calcáreo, sobre las cuales descansan esparitas, bioesparruditas y bioesparitas con intercalaciones lodosas menores, estas últimas son calcáreas y se presentan en capas muy delgadas, de color gris amarillento a gris claro cuando están alteradas y gris oscuro cuando frescas. Seguidamente se tienen biomicruditas con intercalaciones de lodolitas gris oscuras con concreciones y presencias aisladas de thalassynoides.

infrayacente con la Formación Noreán en discontinuidad, marcado por el cambio



abrupto entre lavas riodacíticas del tope de esta última y arenitas conglomeráticas calcáreas de la base de la Formación Rosablanca. El contacto superior, es continuo y neto con la Formación Paja, se ubica entre la última capa de bioesparruditas con ostreidos de la formación Rosablanca y la primera de micritas con amonitas del Barremiano de la Formación Paja. La edad de la Formación Rosablanca ha sido establecida con base en el registro fósil que ha sido encontrado en esta unidad, se encontraron amonitas y bivalvos que permiten ubicar cronológicamente la unidad con bastante precisión. La edad de la Formación Rosablanca en el área de la planchas 85 y 96 es Valanginiana?-Barremiana Temprana, Los sedimentos que hoy constituyen las rocas de la Formación Rosablanca se acumularon en un ambiente de plataforma somera de carbonatos, con aporte siliclástico en la base. La Formación Rosablanca se considera generadora de hidrocarburos en la cuenca de Maracaibo y Valle Medio del Magdalena, y recientemente se le ha considerado con potencial almacenador debido a su porosidad secundaria y fracturamiento. Igualmente las calizas ricas en CaCO_3 , son materia prima para fabricación de cemento, vidrio, concentrados y otros usos.

Formación Paja (K1P)

La Formación La Paja fue descrita por Wheeler O. C. en (1929) y Morales et al., (1958). El nombre deriva de la Quebrada La Paja, afluente del Río Sogamoso, entre Bucaramanga y San Vicente, donde también se ubica su sección tipo con un espesor máximo es de 625m, está constituida por arcillolitas físisles negras, limosas, ligeramente calcáreas y con laminación fina; los primeros 250 a 300m contienen concreciones de caliza, nódulos, septarias y venas de calcita.

En el área de la plancha 85 la Formación Paja forma una franja de 1.5Km. De



ancho, 14Km. de longitud, donde se ha conservado mejor debido a factores tectónicos. En la región central desaparece cubierta por depósitos recientes y hacia el sur adelgaza inicialmente a 0.5Km. Pero en los límites con la plancha 96 aumenta su anchura a 2Km. Hacia la parte sur, después de ser cubierta parcialmente por depósitos recientes, ocupa superficies topográficamente más bajas y se continúa en la plancha 96 con una franja mas continúa.

La Formación Paja suprayace en continuidad estratigráfica y en contacto neto a la Formación Rosablanca; este se traza entre las biomicruditas (Packstones) del tope de Rosablanca con las primeras micritas con amonitas (*Nicklesia*) del Barremiano Temprano de la Formación Paja. El contacto superior con la Formación Simití, es una paraconformidad (falta la Formación Tablazo) Es notable la ausencia de las calizas de La Formación Tablazo o de sus variedades arenosas, lo cual plantea la necesidad de revisar la continuidad de la misma en otras áreas del Valle Medio del Magdalena.

La edad de la Formación Paja, ha sido establecida con base en amonitas, así como con las referenciadas en estudios anteriores. Morales et al., (1958), reportan la presencia de *Pulchellia* (Barremiano Medio) en la Ciénaga de Simití; Corredor (1955, según revisión de F. Etayo, 2006) reporta una fauna de amonitas colectadas en alrededores de Simití y de la ciénaga homónima, de edad barremiana media a Aptiana Tardía. Los sedimentos que hoy constituyen la Formación Paja se depositaron en un ambiente de baja energía en una plataforma marina somera que se profundiza hacia el tope.

Formación Simití (K1s)

La Formación Simití descrita por Morales, 1958; Julivert 1968, y su nombre se refiere a las rocas que afloran en la orilla sur de la Ciénaga de Simití al sur del



Departamento de Bolívar. Topográficamente esta formación da lugar siempre a formas deprimidas (valles). En el informe geológico del cuadrángulo H-12 (Taborda, 1965, en Ward et al., 1973), se menciona que en los pozos de los campos de petróleo La Cira e Infantas y Llanito, los shales de la Formación Simití son marrón oscuros y negros, muy calcáreos, con diaclasas rellenas de calcita, dispuestos en capas delgadas de caliza, marrón oscura, arcillosa y pirítica. Ward et al., (Ibid.)

En el área de la plancha 85 los afloramientos de la Formación Simití son escasos, alguno cubiertos por depósitos fluviales del brazo Simití y lacustres de la ciénaga del mismo nombre. Aunque no se tiene una columna estratigráfica de la formación, los datos de campo permiten establecer que la unidad está constituida mayoritariamente por arcillolitas físis en capas gruesas y muy gruesas, planas paralelas. En la parte media se observan intercalaciones de arenitas calcáreas, “nodulares”, con concreciones fosilíferas; mientras que hacia el tope se intercalan capas medianas de micritas con amonitas.

La edad de la Formación Simití ha sido establecida con bastante precisión, con base en amonitas, que corrobora en parte lo reportado en estudios anteriores (Morales et al., 1958). Lo anterior permite asignarle una edad Albiana Temprana-Albiana Tardía, lo cual significa que la sedimentación de la unidad se extendió durante todo el Albiano.

Las rocas de la Formación Simití representan la mayor profundización del mar cretácico en esta parte de la cuenca del Valle Medio, predominado ambientes de baja energía con abundante aporte de materia orgánica.

Formación El Salto (K2es)

El nombre procede de la Quebrada El Salto, a unos 7Km al NE del campo de



Totumal, donde se encuentra su localidad tipo Morales et al., (1958). Constituida por caliza arcillosa, gris, dura, alternada con numerosas capas delgadas de lodolita calcárea, físil, gris oscura que localmente contiene nódulos.

En el área de la plancha 85 la Formación EL Salto constituye una franja muy delgada (200m) fraccionada en dos segmentos. El primero de 12Km de extensión y dirección NS, aflora en la margen oriental del Brazo Simití y forma escarpes muy característicos conocidos como Las Paredes de Ororia. Este segmento está controlado por la falla de Las Brisas al norte y por la falla de Simití al sur. El segundo segmento, situado al sur del primero, bordea la orilla oriental de de la ciénaga de Simití, formando colinas bajas, se continúa hacia el sur hasta desaparecer controlada por la falla de San Blas, a la latitud del Río Inanea. Este segmento ha sido flexurado por efecto de la mencionada falla, la cual hace que cambie de dirección formando una “S” invertida hacia el extremo sur, aunque su orientación predominante sea SSW-NNE.

La unidad está constituida por una secuencia de bioesparrudita (Packstones) con conchas de bivalvos y amonitas en capas gruesas, interpuestas con capas delgadas de biomicrudita y biomicrita, en su mitad superior; mientras que la inferior consiste de biomicritas terrígenas con thalassinoides y amonitas (Wackstones). La presencia de Thalassinoides le da el aspecto “nodular” a algunas capas de biomicritas y micritas (Wackstones).

La Formación El Salto suprayace en continuidad estratigráfica a la Formación Simití e infrayace en discontinuidad (?) a la Formación La Luna. Esta última relación es probable debido a que la presencia de superficies endurecidas (hard ground) en las capas de biomicruditas (packstones) en el contacto superior de la unidad, podrían indicar un hiato. El espesor estimado es de 50m.

Su edad ha sido establecida con base en el registro fósil, de amonitas del

Cenomaniano Temprano (Morales et al.,1958), (Ingeominas-UIS 2006) Los sedimentos que hoy constituyen las rocas de la Formación El Salto se acumularon en un ambiente marino somero de plataforma interna, en condiciones estables.

La Formación El Salto se considera generadora de hidrocarburos en del Valle Medio del Magdalena. Recientemente se ha determinado su potencialidad para la producción de hidrocarburos con base en identificación de porosidad secundaria, producida por fracturamiento.

Formación La Luna (K2I)

La Formación La Luna fue un término inicialmente introducido en 1926 por Garner en Venezuela como “La Luna Limestone” El nombre deriva de la Quebrada La Luna al W de la Casa La Luna, NW de Perijá. Constituye shale calcárea, negra, fosilífera con concreciones de calizas negras...” (WARD et. al, 1973). Morales et al. (1958) adoptan el nombre de dicha formación para la región del Valle Medio del Magdalena y la subdividen en 3 miembros que de abajo hacia arriba son: Salada, Pujamana y Galembo.

La Luna aflora casi en su totalidad en la plancha 85 , de norte a sur en una franja conformada por colinas suaves que se adelgaza hacia los límites con la plancha 96, donde desaparece bajo los depósitos recientes y de la Formación Real.

La unidad está constituida hacia la base por lodolitas calcáreas (Mudstones), grises oscuras, en capas gruesas a muy gruesas, con intercalaciones delgadas de micrita gris oscura con concreciones esferoidales de hasta 15cm de diámetro, que contienen amonitas; seguidamente se tienen limolitas grises amarillentas con concreciones esferoidales, las cuales contienen amonites, sobre estas últimas se presentan biomicritas (Wackstones) con amonites y areniscas calcáreas con bioclastos; hacia el tope aumenta el contenido de lodolitas calcáreas y lodositas

silíceas de color amarillo naranja grisáceo, estas últimas al golpearlas se parten en forma de panela.

La Formación La Luna suprayace en continuidad estratigráfica a la Formación El Salto. El contacto superior no se observa. Su edad ha sido establecida con base en el registro fósil colectado durante el desarrollo de este proyecto y en estudios anteriores (Morales, 1958). Este registro está constituido por amonitas del Turoniano y Coniaciano.

Los sedimentos que hoy constituyen las rocas de la Formación La Luna se acumularon en un ambiente de plataforma externa. Durante el Cenomaniano.- Turoniano se inicia el evento de máxima inundación del mar Cretácico para el norte de Suramérica (Macerali, 1988).

La Formación La Luna se considera generadora de hidrocarburos en la Cuenca de Maracaibo y en la cuenca del Valle Medio del Magdalena. Recientemente se ha determinado que puede tener potencial para la producción de hidrocarburos debido a porosidad secundaria por fracturamiento.

Formación Umir (K2u)

Esta unidad no aflora en el área de las planchas 85 y 96, pero está bien documentada en el subsuelo de la misma. Fue descrita inicialmente por Huntley (1917) y redefinida por Link (1925). Recibe el nombre de la Quebrada Umir, que constituye la localidad tipo, 3Km al W del Cerro Umir, en el Valle Medio del Magdalena (Morales et al., 1958). La parte inferior de la formación consta de lodolitas finamente laminadas, de color gris oscuro, gris azulado a negro, con delgadas láminas carbonáceas y micáceas; caracterizada por capas delgadas, lentes y pequeñas concreciones ferruginosas. La parte superior está constituida por de lodolita gris oscura, blanda, en capas delgadas con numerosas láminas

delgadas de carbón, y de mineral de hierro, arenisca de grano fino y limonita. Forma amplios valles debido a su naturaleza blanda. El espesor aproximado es de 1 000m. En el subsuelo del área de la plancha 85, alcanza los 600m.

El contacto inferior de la Formación Umir sobre la Formación La Luna es discontinuo locamente (paraconformidad?), según Ward, et al., (1973). El contacto superior, debajo de la Formación La Paz-Esmeraldas es una discontinuidad regional, conocida como la Discordancia del Eoceno Inferior.

La edad de la unidad se ha establecido como del Campaniano-Maestrichtiano. Con base en el contenido fósil, principalmente de foraminíferos: Siphogenerinoides cretácea, S. bramlettei y Ammobaculites colombianus (Petters, 1955; en Julivert, 1968). La Formación Umir es correlacionable con La Formación Colón-Mitojuan, de la subcuenca de Catatumbo.

Los sedimentos de lo que hoy constituyen las rocas de la Formación Umir se depositaron en un ambiente marino somero en la parte basal, y de bahías y estuarios en la parte superior.

Unidad Extrusiva de Las Brisas (K2N1b?)

Propuesta como una nueva unidad informal, que deriva su nombre del corregimiento de Las Brisas, del municipio de Simití, Departamento de Bolívar (Ingeominas-UIS, 2006). En donde presenta su sección tipo, caracterizada por una serie de cerros que no superan los 1.000msnm y sobresalen en la morfología de las rocas volcánicas de edad Jurásica de la Formación Noreán (J1-2n).

Sus relaciones de campo con las unidades adyacentes. Sería pos Rosablanca (Cretácico Inferior) con base en el contacto intrusivo observado en campo con esta unidad y/o Paleógeno-Neógeno (pre-Mioceno ó Mioceno) por su morfología anteriormente descrita y porque los suelos desarrollados por esta unidad son



mucho más orgánicos y arcillosos, que los otros observados en otros suelos residuales derivados de rocas más antiguas. Dataciones radiométricas indican que corresponden al Albiano

4.1.3 Paleógeno – Neógeno

Las unidades del Paleógeno y de parte del Neógeno, como son: La Paz-Esmeraldas, Colorado, Mugrosa y La Cira no afloran en superficie, pero su presencia en el subsuelo, está confirmada por los registros obtenidos en los numerosos pozos que se han perforado en la región. A continuación se hace una breve descripción de cada una de ellas.

4.1.4 Cuaternario

Estos materiales corresponden a sedimentos transportados y depositados por las corrientes principales y diferentes procesos de sedimentación como la acreción lateral, la acreción vertical o los depósitos de flujos o avalanchas. En general se distinguen depósitos que corresponden a diferentes ambientes de depósito y procesos sedimentarios tales como abanicos aluviales y valles aluviales (terrazas), , llanuras de inundación, depósitos fluviolacustres y depósitos de canal.

4.2 Geología Estructural

La Serranía de San Lucas corresponde a un bloque emergido del basamento de la Cordillera Central, durante la terminación transpresiva del Sistema de Falla Palestina, ocurrida en su fase principal durante el Jurásico Tardío (Barrero, 2001).



Orozco y Osorio (2004), proponen que la fase de acreción del bloque Panamá – Choco, que comienza durante el Eoceno, continúa activo en la actualidad y condiciona los mecanismos de deformación actuales en todo el territorio. Estos mecanismos de deformación se particionan y además de ser progresivos, se presentan de manera diferencial generando complicadas relaciones de reactivación en los sistemas pre-Eoceno e intensos mecanismos de deformación reciente de tipo transpresivo y transtensivo controlado por grandes fallas transversales NE a la cordillera de tipo principalmente transcurrete.

La Serranía de San Lucas en el proceso actual representa un bloque aislado desprendido cinemáticamente del sistema maestro de Palestina, (osorio et al., 2004), que se desplaza en dirección NEE controlado en sus límites por fallas transcurrentes mayores, como son al norte la Falla Espíritu Santo y al Sur por la Falla Cimitarra de carácter dextral principalmente. En este proceso la velocidad diferencial entre estas fallas mayores genera al interior del bloque, deformaciones asociadas a rotaciones de bloques menores en un claro sistema de cizalla simple. De esta manera, sobresalen estructuras dextrales que al interior particionan el sistema deformativo controlando específicamente zonas de influencia más pequeñas. En este proceso es posible entonces encontrar zonas donde los campos de esfuerzo local cambian desde transcurrencia a transpresión o transtensión, induciendo características deformativas particulares.

A nivel regional el sistema deformativo está representado por una estructura transpresiva dextral de dirección NE tipo flor positiva, la cual cruza la región límite entre estas placas. La deformación al interior de la flor afecta la secuencia sedimentaria del Valle del Magdalena, y especialmente en las rocas Cretácicas genera pliegues de arrastre tipo S que confirman el mecanismo de cizalla propuesto (Paredes del Ororia). De igual manera los depósitos cuaternarios y en

especial el cauce del Río Magdalena es claramente controlado por el mismo mecanismo de cizalla, indicando que la progresión de la deformación tiene marcadas características de actividad reciente.

Las principales fallas de este sistema han sido definidas como Las Brisas, Simití y San Blas. Dada la estrecha relación geográfica de las planchas 85 y 96 en la margen oriental de la Serranía de San Lucas y su sistema deformativo se describen unidas regionalmente.

4.2.1 Falla Las Brisas

Corresponde a la estructura principal que controla la transcurrencia del sistema de flor positiva de Las Brisas. Esta estructura tiene su mejor expresión topográfica cerca al Corregimiento de Las Brisas (C-2), allí el desplazamientos del relieve en componente dextral se continua por cerca de 8Km, para posteriormente llegar al piedemonte y seguir hacia el NE cortando y controlando drenajes asociados al Brazo de Simití del Río Magdalena.

4.2.2 Falla Simití

Hace parte del sistema interno de la flor positiva del sistema Las Brisas, su geometría sinuosa de carácter dextral se extiende de SW a NE afectando rocas de la Formación Noreán donde genera deformación cataclástica cerca de la falla, cambiando hasta sistemas de fracturas conjugadas que bajan de intensidad a medida que se aleja de ella. Cerca de la cabecera municipal de Simití está estructura se orienta de nuevo hacia el NE controlando el cauce del Río Magdalena y limitando la cuenca de la Ciénaga de Simití, donde los índices morfológicos de control de drenaje permiten su continuidad a largo de la plancha. En esta región la secuencia cretácica expuesta en las Paredes de Ororia presenta

pliegues tipo S cuya geometría indica un avanzado estado de deformación en cizalla simple.

4.2.3 Falla San Blas

Junto con la Falla Simití limita la flor en su costado oriental. La Falla San Blas es una estructura de rumbo dextral contenida dentro de la estructura transpresiva principal de Las Brisas. En su fase transcurrete esta estructura genera claros índices de deformación asociados a desplazamiento de relieve, control del drenaje ruptura del cuaternario, y una fuerte expresión de cizalla en las rocas de la Formación Noreán. La característica principal es que cerca de la falla predomina la deformación cataclástica y gradualmente hacia fuera en el bloque colgante, la deformación cambia a sistemas de fracturas conjugadas (varias de ellas abiertas en direcciones antitéticas, están rellenas de cuarzo en espesores no mayores a 20cm).

En conclusión, la rotación en sentido horario de la estructura en flor, genera una respuesta flexural de las rocas al E, causando de forma progresiva el aumento proporcional del basculamiento en dirección SE.

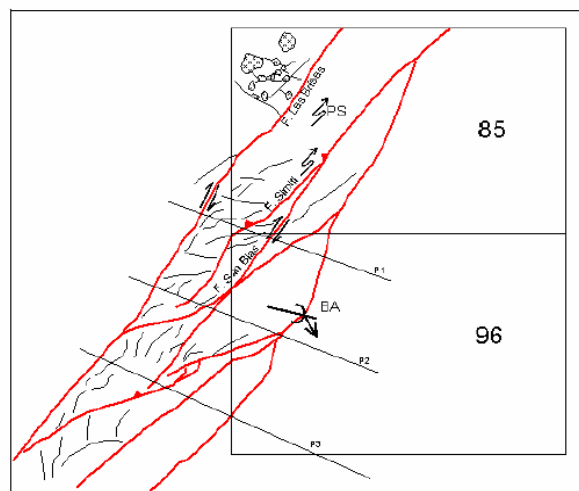


Figura 3. Esquema estructural de la geometría de la flor positiva del sistema las Brisas. BA basculamiento por flexura. PS pliegue de arrastre tipo S. Achurado en cruz vulcanismo de las Brisas. Ingeominas-UIS, 2006

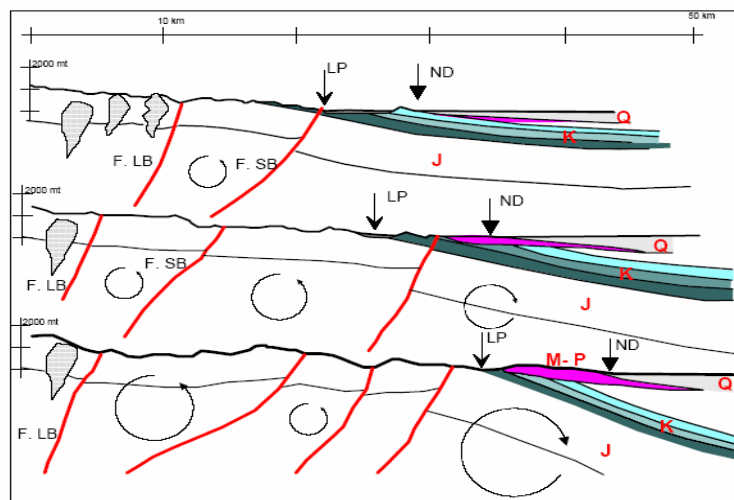


Figura 4. Evolución de la rotación flexural del Valle del Magdalena por levantamiento transpresivo del sistema de flor positiva Las Brisas. LP-Línea de piedemonte, ND-nivel de deposición actual, F. LB-Falla Las Brisas, F.SB-Falla San Blas, Q-Cuaternario, M-P depósitos del Grupo Real, K-secuencia cretácica, J-secuencia Jurasica. Arcos indican la dirección de rotación. Achurado en cruz cuerpos volcánicos de Las Brisas. Ingeominas-UIS, 2006

5. CONSIDERACIONES PREVIAS

Dentro del estudio geológico de las planchas 85 y 96 correspondientes a la serranía de San Lucas encontramos localizadas formaciones que a través de los tiempos se han convertido en unidades potencialmente importantes en los procesos de generación, expulsión, migración, acumulación, y preservación de hidrocarburos. Las rocas generadoras se caracterizan empleando tres criterios, 1) cantidad de materia orgánica, 2) calidad de materia orgánica y 3) grado de madurez termal.

Una roca madre depende principalmente de la producción, acumulación y preservación de la materia orgánica. La materia orgánica sufre tres principales estados de evolución termal, la diagénesis, la catagénesis, y la metagénesis:

Diagénesis: este proceso sucede a poca profundidad, con bajos incrementos de temperatura (50°C) y presión. Durante este proceso los sedimentos que originalmente tenían grandes cantidades de agua alcanzan su equilibrio y la actividad biológica es uno de los agentes de transformación, la energía proviene de la descomposición de la materia orgánica. Los biopolímeros son destruidos y así se van produciendo las estructural policondensadas (geopolímeros), precursoras del kerógeno. ($R_o \sim 0.5\%$).

Catagénesis: aumento de temperatura y presión, debido a la subsidencia principalmente pero la tectónica también puede contribuir con estos cambios. La temperatura esta en un rango de 50-150°C y la presión geostática de enterramiento de 300 a 1000-1500 bars. En esta etapa la materia orgánica experimenta los mayores cambios ya que sucede una evolución progresiva del

kerógeno produciéndose el primer petróleo líquido (ventana del petróleo), gas húmedo y condensados, acompañados de metano, y una pérdida de hidrogeno. Esta fase varia entre valores de 0.5 y 2.0 % de Ro.

Metagénesis: ultimo estado de evolución de la materia orgánica. La temperatura (entre 200-250°C) y presión alcanza los máximos valores, la roca también se expone a la influencia de magmas y efectos hidrotermales. El metano disminuye y comienza a formarse grafito del kerógeno residual.

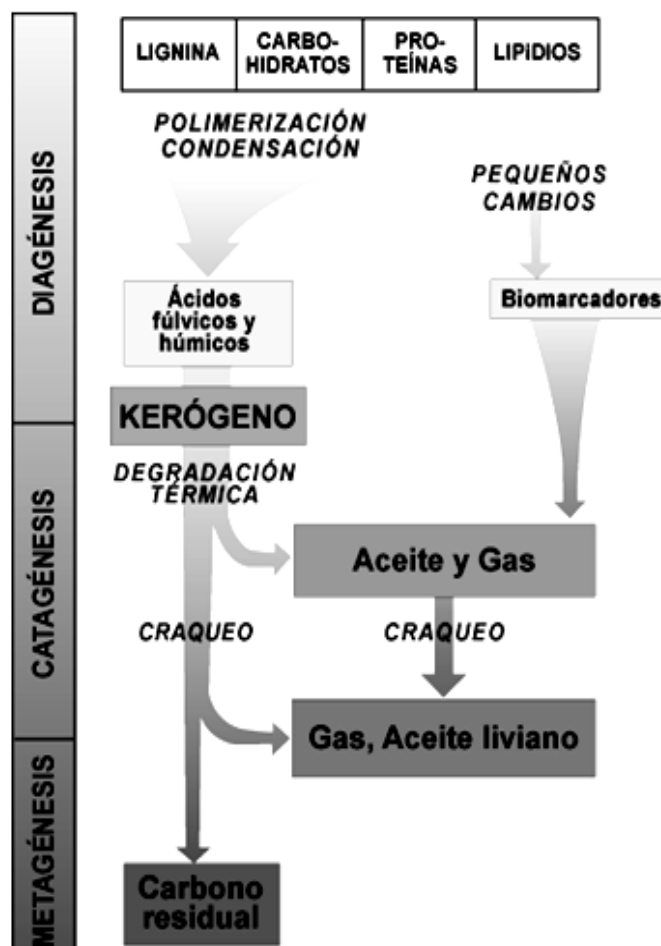


Figura 5. Estados de evolución de la materia orgánica. Tissot & Welte, 1984.

Estas etapas de evolución de la materia orgánica indican su historia termal, ahora el tipo de kerógeno que se producirá depende del tipo de materia orgánica y del ambiente en el cual se desarrollaran las etapas de evolución. Las bacterias, el fitoplancton, el zooplancton y las plantas superiores son los mayores contribuyentes del kerógeno en los sedimentos. Así el kerógeno es el constituyente orgánico de las rocas sedimentarias, insoluble en solventes alcalinos, o en solventes orgánicos y acompaña al bitumen que es el componente orgánico y por lo tanto soluble en solventes de la misma naturaleza. La concentración y composición del kerógeno depende de dos cosas principalmente, la primera del tipo de materia orgánica incorporada al sedimento, y la segunda la historia termal del kerógeno (Tissot and Welte 1984). Los tipos de kerógeno que podemos encontrar en la naturaleza son:

Kerógeno tipo I:

El kerógeno de este primer tipo se caracteriza por poseer un alto contenido inicial de hidrogeno. Predominan los lípidos debido a un aporte de material algal, es raro y común en ambientes lacustres de agua dulce (estratificados) o hipersalinos, en lagos, estuarios y lagunas.



Owens Lake, California. The pillars in the foreground and background consist of tufa, which is lake-

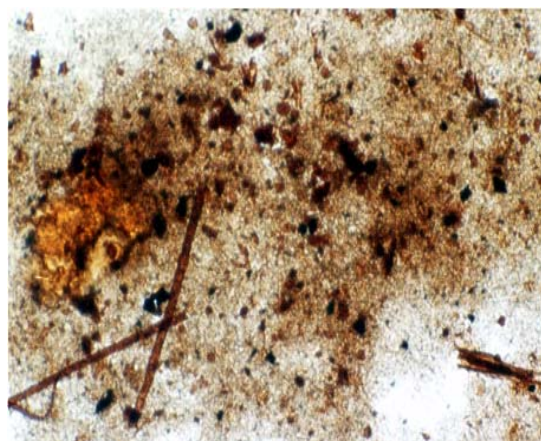
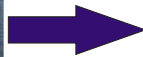


Figura 6. Materia orgánica amorfa con colonias de *Botryococcus* (ambiente

lacustrino) en muestras de la Formación Carbonera (Piedemonte LLAO) (Tomado de Giraldo, 2002 Y Bernardo L. M., 2005)

Kerógeno tipo II:

Este tipo de kerógeno es el más frecuente en rocas generadoras del mundo. Tiene altas concentraciones de hidrogeno y bajas de oxigeno. La concentración de materia orgánica se deriva de fitoplancton, zooplancton y bacterias, debido al gran aporte de sedimentos marinos.



Figura 7. Materia orgánica amorfa en muestras del Grupo Villeta, Quebrada Calambé-VSM. (Tomado de Giraldo, 2002 Y Bernardo L. M., 2005).

Kerógeno tipo III:

Este kerógeno se caracteriza por una contenido inicial de hidrogeno mas bajo que el tipo II, pero mas alto contenido de oxigeno. La materia orgánica es derivada de plantas superiores por lo tanto no muy favorable para la generación de hidrocarburos.

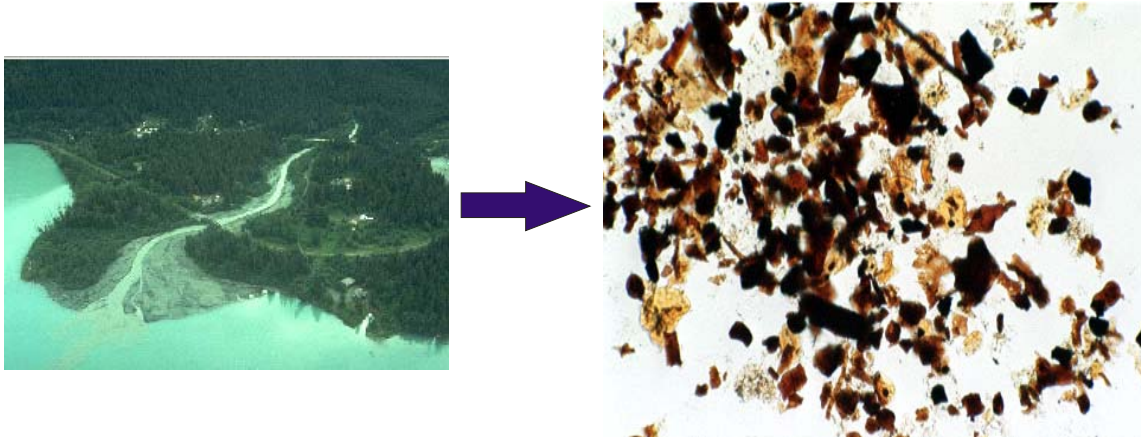


Figura 8. Materia orgánica leñosa y amorfa en la muestras de la Formación Carbonera (sector de Tauramena) (Tomado de Giraldo, 2002 Y Bernardo L. M., 2005)

Además de estos tres principales tipos de kerógeno encontramos en la naturaleza otra variedad de kerógenos que han sido propuestos:

Kerógeno tipo IV: es un kerógeno que presenta contenidos muy bajos de hidrógeno, la inertinita es el maceral principal. El potencial generador es muy bajo y casi nulo. Este tipo de kerógeno es resultado de la oxidación/retrabajamiento de otros kerógenos.

Kerógeno tipo II-S: se relaciona con sedimentos marinos carbonáticos donde la reducción de sulfato asociada a la deficiencia de hierro producen un exceso de S el cual pasa a incorporarse al kerógeno (relación $S/C > 0,04$).

Tipo I-S: esta relacionado a depósitos lacustre hipersalinos donde la asociación de intensa sulfato-reducción con una deficiencia de hierro resulta en un exceso de S que también acaba incorporándose al kerógeno.

5.1 Evaluación de la madurez termal y tipo de kerógeno

Para la evaluación de las rocas sedimentarias presentes en las planchas 85 y 96 al este de la Serranía de San Lucas, se emplearon los siguientes métodos: 1) Carbono Orgánico total (TOC), 2) Pirolisis tipo Rock-Eval y 3) Reflectancia de Vitrinita (Ro). La integración de estos métodos ayuda a determinar la cantidad, calidad y madurez termal de las muestras de roca analizadas.

5.1.1 Cantidad de materia orgánica

El TOC (Total Organic Carbon), es una medida de cuanto una roca sedimentaria se ha enriquecido de materia orgánica. La fuente de materia orgánica se deriva de la variedad biológica que ha sido depositada y enterrada a través del tiempo geológico. (Tissot y welter, 1984, Hunt, 1979).

El potencial generador de hidrocarburos de una formación esta directamente relacionado con el contenido de carbono, el TOC es generalmente el primer método que se aplica en el estudio geoquímico de la roca. Para entender como se deriva el carbono orgánico de una muestra de sedimento, ver la figura 9.

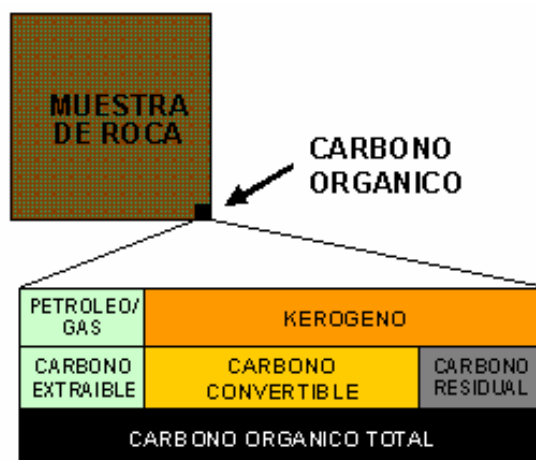


Figura 9. Esquema de distribución del carbono orgánico total en una muestra de roca. Tomado de Jarvie, (1991).

La evaluación de TOC consta de 3 componentes:

- Materia orgánica extraíble (EOM): es el carbono contenido en el hidrocarburo parcialmente formado.
- Carbono convertible: representa el potencial (posible) para generar hidrocarburo de una muestra sedimentaria.
- Carbono residual: se toma el carbono orgánico presente que no es generador.
-

Para la evaluación de los resultados del TOC, los comparamos con la siguiente tabla:

Tabla 1. Interpretación del TOC para rocas carbonatadas y shales. Tomado de Tomado de Jarvie, (1991)

<i>Potencial Generador</i>	<i>TOC Shales</i>	<i>TOC Carbonatos</i>
Pobre	0.0-0.5	0.0-0.2
Regular	0.5-1.0	0.2-0.5
Bueno	1.0-2.0	0.5-1.0
Muy Bueno	2.0-5.0	1.0-0.2
Excelente	>5.0	>2.0

5.1.2 Calidad de la materia orgánica.

La calidad de materia orgánica se evalúa identificando los tipos de kerógeno presentes en la roca generadora. Mediante el método de pirolisis Rock-Eval se caracteriza el tipo de materia orgánica presente en una roca o sedimento, así como también determina su potencial de generación de hidrocarburos y grado de madurez termal.

Los tipos de kerógeno, tipo de materia orgánica, sus características químicas, su potencial se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2. Tipos de Kerógeno, origen, potencial y características químicas. Tomado de Bernardo L. M., 2005.

Tipo de Kerógeno	Aportes de MO	Características Químicas	Potencial Petrolero
Tipo I	Algas & bacterias	Muy rica en Hidrógeno Muy pobre en oxígeno	Alto potencial para la generación de hidrocarburos líquidos
Tipo II	Principalmente algal & bacterias	Rica en Hidrógeno Pobre en oxígeno	Potencial para la generación de hidrocarburos líquidos
Tipo III	Plantas superiores	Pobre en hidrógeno Pobre en oxígeno	Alto potencial para la generación de hidrocarburos gaseosos. Algo de líquido
Tipo IV	Detritos oxidados	Muy pobre en Hidrogeno	Nada

En el proceso de Pirolisis obtenemos datos directos e indirectos que son los siguientes:

- **Tmax:** indica la temperatura máxima de generación. esta temperatura se registra cuando el pico S2 alcanza su máximo, varía dependiendo de la madurez termal de la materia orgánica (Tissot y Espitaliè, 1976 en Bordenave, 1993. Los resultados de Tmax se correlaciona de la siguiente forma:

<435 inmaduro
 435-445°C madurez temprana
 445-470°C madurez tardía
 > 470°C sobremaduro

- S1: medida de los hidrocarburos libres presentes en la roca. Un alto S1 puede indicar la presencia de hidrocarburos migrados.
- S2: representa el potencial de generación de hidrocarburos, la temperatura es proporcional a la de Tmax. Este pico se forma por los hidrocarburos generados durante el craqueo térmico, por ejemplo cuando tenemos una roca madura este pico disminuye debido a la perdida de hidrogeno y así hasta convertirse en grafito. El valor del pico S2 depende del tipo de materia orgánica (kerógeno), el la cantidad de carbono en la roca y de su evolución termal (Bordenave, 1993).
- S3: mide el contenido de CO₂ en la roca, el pico S3 registra los. El pico S₃ depende del tipo de materia orgánica y de su madurez termal, este disminuye a medida que aumenta su madurez (Bordenave, 1993).

Indirectos:

- HI: (S2/TOC). Índice de hidrogeno, la cantidad de hidrogeno en la roca es directamente proporcional al potencial generador. Además el HI vs. OI, indican el tipo de Kerógeno. Se compara con la siguiente tabla:

<150: Gas

150-300: gas y aceite

>300: aceite

(Ro= 0.6)

- OI: (S3/TOC). Índice de oxigeno en la roca y se relaciona con el nivel de oxidación del ambiente de depositación. Junto con el HI determina el tipo de kerógeno presente en la roca, esto con el diagrama de Van Krevelen:

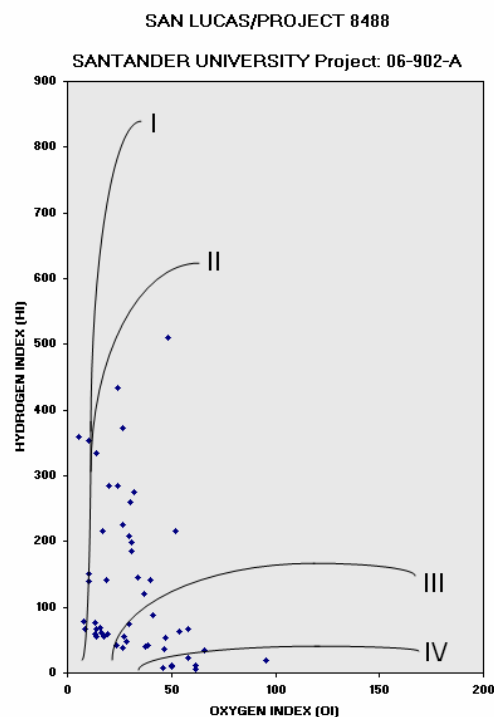


FIGURE - 2 Kerogen type determination from TOC and Rock-Eval pyrolysis data. Types I and II will generate oil, type III gas, and type IV little or no hydrocarbons.

Figura 10. Diagrama de Van Krevelen, total de muestras seleccionas para la caracterización de tipo de Kerógeno. Laboratorios Baseline Resolution, Texas (2006).

- IP: $(S1/S1+S2)$. Índice de producción. Se determina con la siguiente tabla:
 - <0.1= Inmaduro
 - 0.1-0.4= Petróleo líquido
 - >0.4= Gas
- GP: $(S1+S2)$. Potencial generador. Se determina con la siguiente tabla
 - <2: Pobre
 - 2-6: Regular
 - > 6: Muy bueno

5.1.3 Grado de madurez termal.

Para evaluar la madurez termal de las rocas sedimentarias, se determina el grado de madurez que alcanzo sobre las tres principales fases de evolución termal: la diagénesis, la catagénesis y la metagénesis, las cuales se correlacionan con el tipo de Kerógeno y tipo de generación como se muestra en la figura.

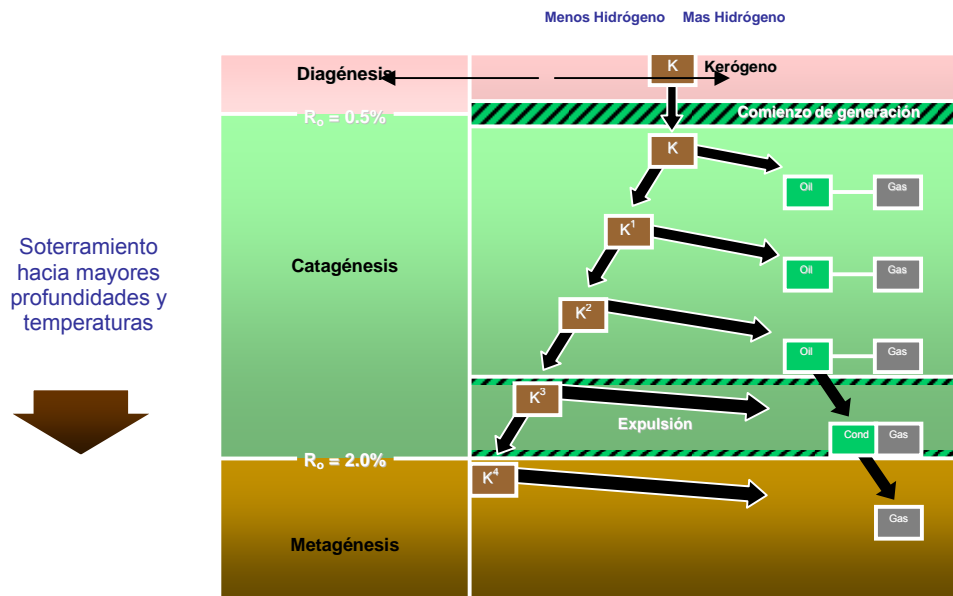


Figura 11. Principales fases de evolución termal. Tomado de Horsfield y Rulkotter, 1994.

Por último la Reflectancia de Vitrinita (R_o), es un parámetro que permite obtener un valor estimativo de la madurez de la materia orgánica. Consiste en hacer incidir una luz brillante sobre una partícula de vitrinita y determinar el porcentaje de luz reflejado. Entre mayor sea el grado de madurez térmica, mayor será el grado o porcentaje de reflectancia (% R_o).

La vitrinita es un maceral de la familia de los carbones humito y generalmente es originado por materia orgánica de origen terrestre. Los macerales son constituyentes del kerógeno, se reconocen por su morfología y con esta se diferencia los tipos de materia orgánica. La reflectancia de vitrinita se compara con la siguiente tabla:

Tabla 3. Caracterización de la reflectancia de vitrinita para los estos de madurez de rocas generadoras de hidrocarburos.

<i>Madurez Térmica</i>	<i>Ro %</i>
Inmaduro	0.2-0.6
Madurez Temprana	0.6-0.65
Pico de Madurez	0.65-0.9
Madurez Tardía	0.9-1.35
Sobremaduro	>1.35

Ya con los resultados obtenidos al aplicar las técnicas anteriores, obtenemos una caracterización bastante buena de la madurez térmica, los tipos de kerógeno, el potencial generador de petróleo, de una roca sedimentaria.

5.1.4 Modelamiento Geoquímico 1D

El modelamiento geoquímico 1D se encarga de extrapolar la información del subsuelo y evaluar en un solo punto el comportamiento individual de los indicadores de madurez, los procesos de generación y expulsión de hidrocarburos y el craqueo térmico de petróleo a gas. Esta directamente relacionado con la historia de formación de la cuenca sedimentaria, su historia de subsidencia, flujo de calor, temperaturas de la cuenca entre otros aspectos.

En la evaluación de la cuenca solo se toman en cuenta los cambios verticales de litología, roca madre y propiedades térmicas. El intercambio de flujo de calor es considerado usualmente por conducción. (Intercambio de calor por convección solo se evalúa en casos especiales). La principal causa de madurez termal sufrida

por la materia orgánica (roca madre) es por el progresivo soterramiento de las capas sedimentarias causadas por subsidencia, bajo un flujo de calor. Otras fuentes de madurez menos comunes y de menor influencia, son originadas por intrusiones volcánicas, movimientos de materia (fallas, diapirismo) y por fuentes radiactivas. (Bernardo I., 2005)

El modelamiento geoquímico incluye la historia de subsidencia, la cual es el primer paso para representar la evolución de la cuenca ya que el mecanismo fundamental para el inicio y formación de las cuencas sedimentarias es la subsidencia tectónica. La grafica de la historia de subsidencia muestra los tiempos y las magnitudes de los eventos geológicos sucedidos en la cuenca, tales como: erosión, hiatos, depositación, etc. Los cambios de temperatura en el tiempo también son significativos para determinar la temperaturas máximas, se utiliza La grafica de tiempo vs temperatura, con la cual calculamos los valores de TTI (Time temperatura Index). El TTI es un método desarrollado por N. V. Lopatin donde correlaciona el régimen termal que afectan los procesos de generación y preservación de hidrocarburos, donde el efecto de la temperatura con respecto al tiempo puede ser considerado para calcular la madurez termal de la materia orgánica en sedimentos, (Douglas W. Waples, 1982).

6. METODOLOGÍA

6.1 Selección de muestras

Para la realización del proyecto, se revisaron las rocas que se encuentran localizadas dentro de la formación Rosablanca, Paja, Tablázo, Simití, El Salto y La Luna, incluidas en la franja sedimentaria correspondiente al cretácico de las planchas 85 y 96 del IGAC, al oriente de la Serranía de San Lucas. Para la realización de la petrografía se seleccionaron 15 muestras distribuidas en la franja sedimentaria de las dos planchas, en base a su posición geográfica y estratigráfica, así como su contenido fósil, descripción macroscópica, y contenido de materia orgánica.

En los análisis de Carbono Orgánico Total (TOC), Pirolisis Rock-Eval y Reflectancia de Vitritina (Ro) se escogieron las muestras de campo con mayor contenido de materia orgánica, igualmente distribuidas geográfica y estratigráficamente dentro del cretácico sedimentario de las planchas. Para la realización de TOC y Pirolisis Rock-Eval se analizaron 52 muestras en total, y para el análisis de Reflectancia de vitritina se realizó sobre 10 muestras localizadas transversalmente en la franja sedimentaria cretácica.

6.2 Elaboración de láminas delgadas

Para la realización de la petrografía se siguió el procedimiento de laboratorio conocido tomando las muestras ya seleccionadas y pasándolas por los diferentes procesos de corte, pulido, secado entre otros. El estudio petrográfico de las secciones delgadas se realizó en los laboratorios de microscopía de la escuela de Geología en la Universidad Industrial de Santander, utilizando microscopios Nikon Alphaphot YS2-T de luz transmitida.



6.3 Análisis geoquímicos

6.3.1 Carbono Orgánico Total (TOC) y Pirolisis Rock-Eval

Para la realización de estos análisis, se tomaron 52 muestras seleccionadas, se pulverizaron, obteniendo una cantidad aproximada de 5g por muestra, las cuales fueron enviadas al laboratorio Baseline Resolution, Inc, localizado en la ciudad de Texas en Estados Unidos. Allí se realizaron los análisis de LECO Total Organic Carbon (TOC) y Pyrolysis by Rock-Eval 2. El procedimiento realizado en los laboratorios es el siguiente: primero la muestra se calienta (100mg) en una atmósfera de Helio a 300°C durante 3 minutos, en esta etapa se obtiene el pico S1 que corresponde a los hidrocarburos libres presentes en la roca. Después se aumenta la temperatura a una velocidad de 25°C/min hasta 600°C, durante esta segunda etapa de calentamiento son expulsados los hidrocarburos y los compuestos que contienen oxígeno, formando el pico S2 que corresponde al potencial presente de la roca. Los compuestos de oxígeno descompuestos entre 300 y 390°C y el CO₂ resultante, es medido como el pico S3.

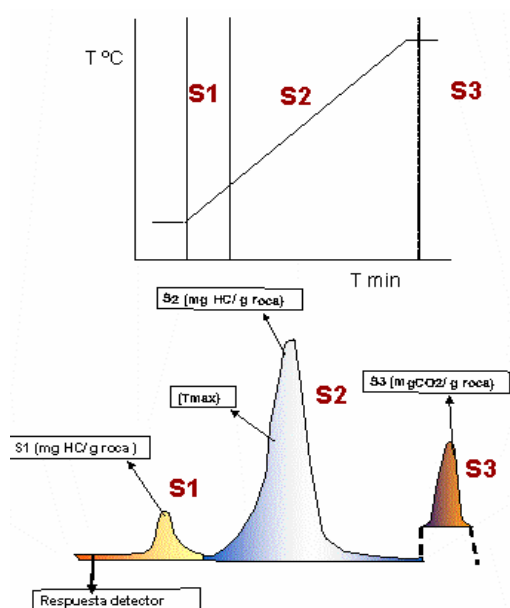


Figura 12. Esquema de calentamiento y obtención de los picos S1, S2 y S3 durante el análisis de Pirolisis Rock-Eval. Modificado de Bernardo L. M., 2005.

El instrumento es calibrado con un shale de Eagleford que tiene un T_{\max} de 419°C y un pico S2 de 16.91mg/g. A este estándar se le realiza el procedimiento cada 10 muestras para revisar el estado de los instrumentos, así como para revisar los resultados que se obtienen (Walker, P., Baseline Resolution Lab, 2006).

6.3.2 Reflectancia de Vitrinita (R_o)

Para realizar esta práctica se siguieron los siguientes pasos. Primero se trituraron las muestras, se pasaron por los tamices 20-30 y así obtener una cantidad total de 10 muestras de roca triturada retenida en la malla 30 con 10g cada una. Lo anterior se realizó en el laboratorio de arcillas de la escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander

Como segundo paso se realizó la concentración de materia orgánica en los laboratorios Gems Ltda., en la ciudad de Bucaramanga. Allí se llevó a cabo el siguiente procedimiento general:

1. Triturado de la muestra
2. Acidificación con HF y HCl
3. Flotación con bromuro de zinc
4. Filtración

Con la muestra tamizada, y realizada la concentración de la materia orgánica se procedió a llenar las copas (moldes) con un tercio de la muestra y dos tercios de resina epóxica en una relación de 1:5. Después de 24 horas se desmoldaron y fueron pulidas utilizando la pulidora automática Wurtz. Ver figura 13.



Figura 13. Secciones listas para la lectura en el microscopio.

Después de pasar las muestras por el abrasivo y los paños, se continuó con la lectura en el microscopio de luz reflejada Zeiss Modelo Axiotron equipado con un fotómetro MPM400, se utilizaron objetivos de 20 y 50 aumentos y oculares de 10 aumentos. Primero se calibro con un estándar de zafiro para realizar posteriormente las lecturas de reflectancia sobre los macerales de vitrinita.

El manejo del fotómetro y el procesamiento de los datos de reflectancia se realizaron en el software PHOTAN. Este análisis de reflectancia de vitrinita se desarrollo en los laboratorios de Geología de la Universidad Industrial de Santander sede Guatiguará.

6.4 Modelamiento Geoquímico

Se realizó un modelado geoquímico en base a la estratigrafía y evolución tectónica de la cuenca del Valle Medio del Magdalena con el fin de encontrar valores calculados de R_o , así como comparar la información obtenida en los diferentes ensayos de laboratorio y complementar el estudio de la madurez termal de las formaciones cretáceas de la Serranía de San Lucas.

Para la realización del diagrama se calcula la porosidad, ya que las formaciones pierden espesor al disminuir la porosidad debido a efecto de sobre carga de los sedimentos más jóvenes. La compactación afecta directamente la historia termal de las secuencias estratigráficas, y a la vez depende del tipo de roca. La porosidad se calcula con la siguiente ecuación:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-cZ}; \text{ donde:}$$

Φ = porosidad medida para cada formación

Φ_0 = porosidad inicial calculada para cada formación

C = constante asumida de acuerdo al tipo de litología de cada formación

Z = profundidad de cada formación

Tabla 4. Porosidades y constantes para diferentes litologías. (Sclater and Christie, parameters for litologies in the North Sea basin, 1980).

Litología	porosidad superficial Φ_0	C (km^{-1})
shale	0,63	0,51
sandstone	0,49	0,27
chalk	0,7	0,71
shaly sandstone	0,56	0,39

El diagrama de Tiempo vs Temperatura se aplica también al modelado con los flujos de calor representativos y conductividades en base a las características litológicas y de subsidencia, pero su verdadera aplicación es para el cálculo de TTI (Time-Temperature Index).

Lopatin desarrolló un método para integrar el tiempo y la temperatura como factores de madurez térmica, y se correlaciona con las ventanas de generación de hidrocarburos y de preservación. Waples 1980, toma las ideas de Lopatin y postula la dependencia exponencial de la madurez con la temperatura es de 2 por cada incremento de 10 °C. (La velocidad de reacción química se duplica por cada incremento de 10 °C en la temperatura).

La conductividad térmica depende del tipo de litología, y se utiliza la siguiente fórmula:

$$\lambda = \lambda_m^{1-\Phi} \cdot \lambda_w^\Phi, \text{ donde:}$$

λ = conductividad térmica de la formación (w /m°K).

λ_m = conductividad de la matriz (es necesario tomar la litología predominante en la formación (w /m°K).

λ_w = conductividad térmica del agua

Φ = porosidad medida para cada formación.

Tabla 5. Conductividades térmicas de rocas sedimentarias. Brigaud and Vasseur, 1989.

Tipo de Roca	Conductividad Térmica (Wm ⁻¹ K ⁻¹)
shale	1,2-3,0
sandstone	1,5-4,2
limestone	2,0-3,4
dolomite	3,2-3,5

Para el cálculo de las temperaturas superficial y de fondo se utilizan la formula:

$$T_z = T_s + q \sum (x/\lambda), \text{ donde:}$$

T_z = temperatura de fondo ($^{\circ}\text{K}$)

T_s = temperatura de superficie ($^{\circ}\text{K}$)

q = flujo de calor (w/m^2)

x = espesor de la formación (m)

λ = conductividad térmica ($\text{w}/\text{m}^{\circ}\text{K}$)

Se calculan las conductividades y temperaturas en cada intervalo del Diagrama de soterramiento. Por ultimo para el cálculo del TTI, se calcula en base al diagrama de Temperatura vs Tiempo. Se divide la historia de temperatura en intervalos de 10°C . Ahora se estimar el tiempo de permanencia de la secuencia dentro de cada uno de los intervalos de temperatura y este a su vez se multiplica por un factor de temperatura que se dobla por cada intervalo sucesivo de temperatura, y por ultimo se adiciona la madurez para cada intervalo.

Tabla 6. Factores de temperatura para diferentes intervalos. Douglas W. Waples, 1982.

INTERVALO DE TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)	r^n
20-30	2^{-8}
30-40	2^{-7}
40-50	2^{-6}
50-60	2^{-5}
60-70	2^{-4}
70-80	2^{-3}
80-90	2^{-2}
90-100	2^{-1}
100-110	1
110-120	2^1
.....	2^m

Por ultimo el TTI se calcula por medio de la fórmula:

$$TTI = \sum (\Delta T_n) (r^n)$$

Y para calcular la reflectancia de vitrinita (Ro) se aplica la siguiente ecuación:

$$Ro \text{ max} = -0.10588 \log TTI + 0.20647 (\log TTI)^2 + 0.511$$

La interpretación de los resultados se tomo de la siguiente tabla:

Tabla 7. Interpretación de dato de TTI y Ro. Presentada por Welte 1980.

INTERPRETACIÓN	TTI	Ro
Inicio de la generación de Petróleo	15	0.65 %
Pico de generación de Petróleo	75	1.0 %
Final de la Generación de Petróleo	160	1.3 %
Límite Superior para el oil 40 ° API	500	1.75 %
Límite Superior Gas Condensado 30 ° API	1000	2.0 %
Límite Superior gas Húmedo	1500	2.2 %
Límite Superior metano	6500	4 - 5 %

El modelamiento geoquímico se realizo en un pseudopozo localizado en una zona de gran soterramiento indicado por el corte geológico de la Plancha 96, en donde se encuentran las diferentes formaciones a las que se hace referencia en el presente trabajo (figura 13). La columna generalizada del Valle Medio del Magdalena medio fue igualmente utilizada para el mismo. En esta se documentan las formaciones Umir, La Paz-Esmeralda, Mugrosa y Real las cuales hacen parte

de la secuencia estratigráfica de esta área.

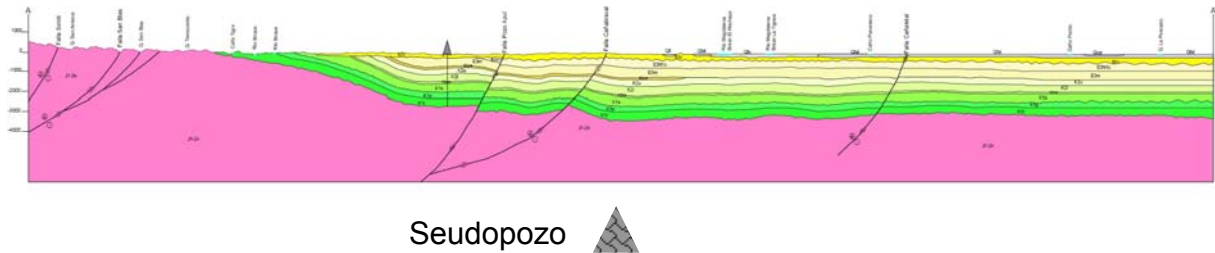


Figura 14. Corte generalizado de la plancha 96 de la Serranía de San Lucas. Ver corte completo anexo 3.

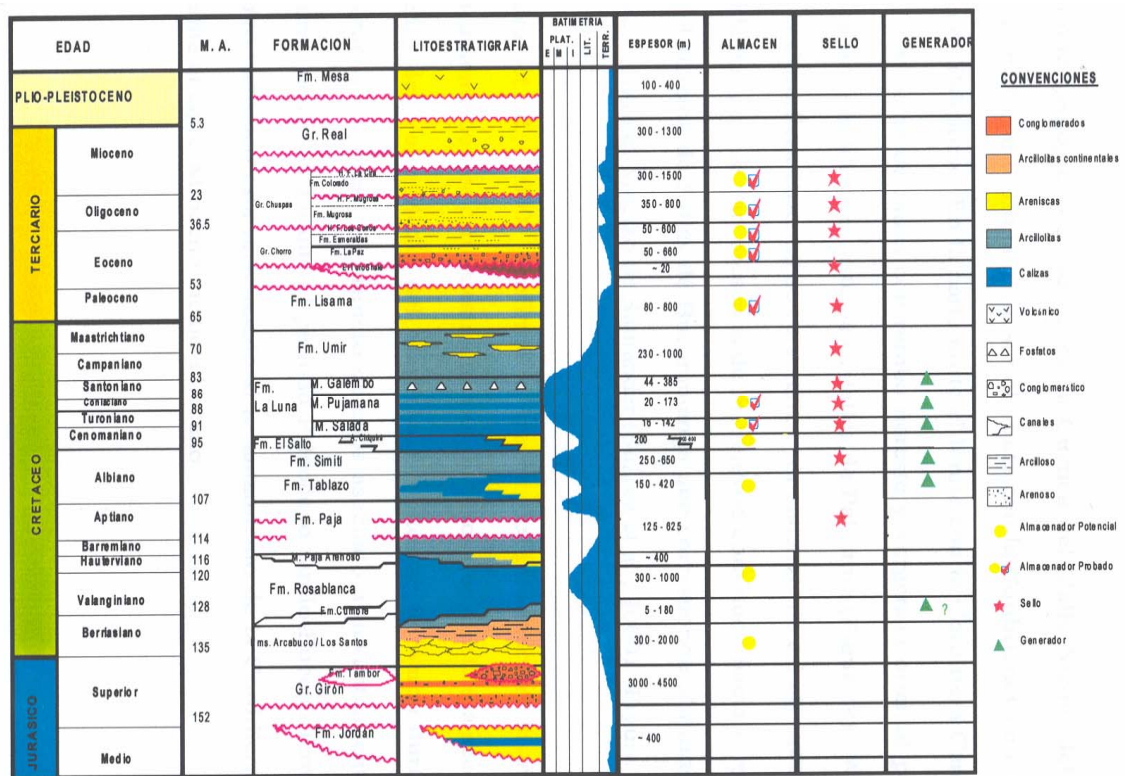


Figura 15. Columna generalizada de la cuenca del Valle Medio del Magdalena. Suárez et al., 2000.

Es necesario conocer la evolución tectónica de la cuenca para incluir espesores, discordancias, hiatos, etc. Esto con el fin de acercarnos cada vez mejor a un modelo de evolución y representarlo en los diagramas de subsidencia y Tiempo vs Temperatura. Así se reúnen los diferentes eventos tectónicos que dieron lugar a la formación de la cuenca del Valle Medio del Magdalena relacionados principalmente con la separación de sur y norte América y el levantamiento de la cordillera oriental durante la Orogenia Andina, Fabre, 1984.

Para la elaboración del diagrama de Subsidencia se tomo la evolución tectónica descrita por Otero M. I., 2001, en la cual se hace referencia a la separación tipo back arc Rifting y posterior subsidencia entre el Jurásico-Cretácico y formación de cuenca tipo Foreland para el Valle Medio del Magdalena. Tomando la evolución de la cuenca, espesores del corte geológico y porosidades se graficó los cambios de espesor con respecto al tiempo con un diagrama decompactado para esta área de la Serranía de San Lucas.

El Diagrama Tiempo versus Temperatura, se realizo en base al diagrama de subsidencia, utilizando un flujo de calor característico de cuencas tipo Foreland, y las conductividades de los diferentes tipos de roca. Se graficó la variación de temperatura con respecto al tiempo, después se dividió la historia termal cada 10°C, para medir los intervalos de Tiempo y con estos se calculó el TTI para la cuenca en cada intervalo de tiempo. Por ultimo se graficaron los diagramas de TTI en Tiempo para observar gráficamente la variación del TTI con respecto al tiempo.

7. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el presente proyecto se basan en la metodología planteada y utilizada sobre las muestra de roca sedimentarias correspondiente a las formaciones cretáceas de las planchas 85 y 96 de la Serranía de San Lucas.

Se realizo la petrografía de rocas sedimentarias calcáreas sobre 15 muestras, principalmente rocas con alto contenido fósil. En los análisis de Carbono Orgánico Total (TOC), Pirolisis Rock-Eval y Reflectancia de Vitrinita (Ro) se escogieron las muestras de campo con mayor contenido de materia orgánica, distribuidas geográfica y estratigráficamente dentro del Cretácico sedimentario de las planchas. Para la realización de TOC y Pirolisis Rock-Eval se analizaron 52 muestras en total, y para el análisis de Reflectancia de vitrinita se realizo sobre 10 muestras localizadas transversalmente en la franja sedimentaria cretácica.

7.1 Petrografía

A continuación se presenta una relación de las secciones delgadas descritas con su localización y unidad sedimentaria.



Tabla 8. Listado de secciones delgadas, con su código. Localización y formación.

PLANCHA	MUESTRA	COORDENADAS		UNIDAD
		X	Y	
85	IQ85081001	1 399 303	1 020 513	<i>La Luna</i>
	IQ85091001	1 394820	1 021 031	<i>La Luna</i>
	JC85160004	1 369 334	1 010 141	<i>Rosablanca</i>
	IQ85093001	1 394 775	1 021 099	<i>La Luna</i>
	JC85124002	1 391 995	1 020 868	<i>La Luna</i>
	JC85206002	1 373 837	1 019 106	<i>La Luna</i>
	RD85002002	1 398 143	1 017 897	<i>Simití</i>
	VC85019001	1 378 423	1 013 188	<i>Rosablanca</i>
	VC85019003	1 378 423	1 013 188	<i>Rosablanca</i>
96	DI96033001	1 332 843	1 006 053	<i>Rosablanca</i>
	EC96008001	1 338 304	1 003 417	<i>Rosablanca-Paja</i>
	HC96001002	1 342 457	1 005 097	<i>Rosablanca</i>
	HC96043001	1 350 850	1 010 930	<i>Simití</i>
	LM96033002	1 344 407	1 005 692	<i>Rosablanca</i>
	LM96040001	1 341 090	1 004 780	<i>Rosablanca</i>

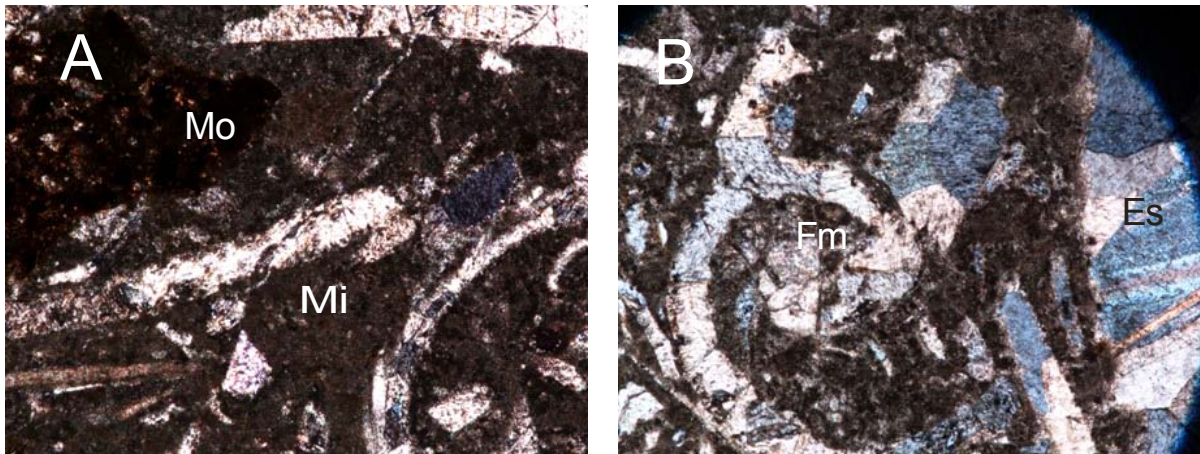
7.1.1 Plancha 85

Lamina IQ85081001

Roca granosoportada compuesta por bioclastos de conchillas, restos fósiles, Foraminíferos y equinodermos. Mal seleccionada, subredondeada, subangular. No presenta estructuras definidas. La matriz esta compuesta de micrita, cementada de microesparita-Esparita sin distribución alguna. Se clasifica de la siguiente forma:

- Folk (1962): Biomicrudita
- Dunham (1962): Wackstone calcáreo de fósiles
- Gama textural de Folk (1962): Biomicrudita Rala

Se produce en poca proporción micritización con la pérdida de algunos bordes en los fósiles. También hay cementación con la formación de grandes cristales de calcita.



Microfotografía 1. IQ85081001. 50X. A. NX. B. NX. Se observa una acumulación de material orgánico (Mo) dentro de la matriz de micrita (Mi), también encontramos restos de conchas cementadas. En la lamina B tenemos un foraminífero (Fm) junto a cementaciones de esparita (Es) anhedral y subhedral.

Lamina IQ85091001

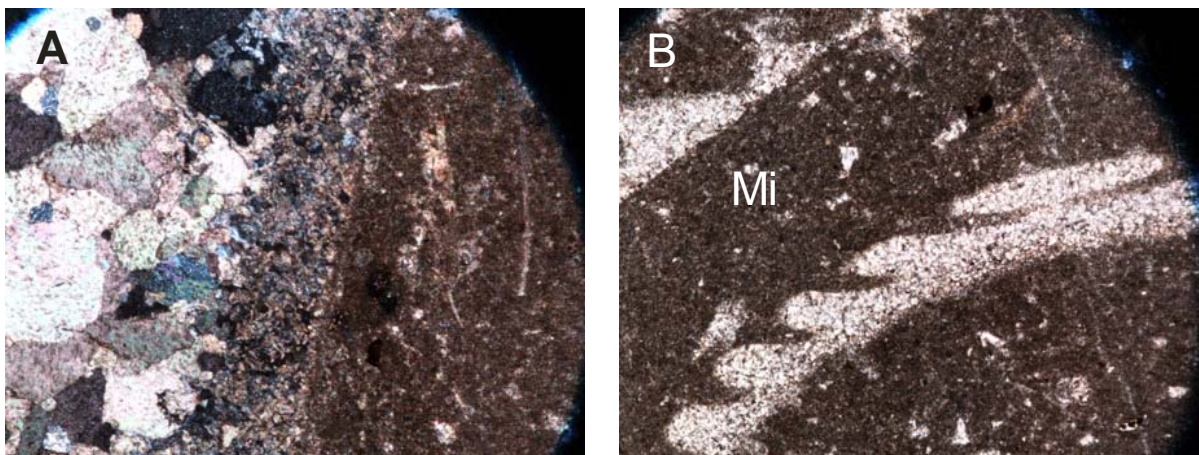
Roca lodosoportada compuesta por una armazón de bioclastos, foraminíferos, conchillas desarticuladas y algunas completas. Con una matriz de micrita. Se presenta un fósil de 8mm aproximadamente cristalizado en espar anhedral. Mal seleccionada, redondeada y subredondeada. Se clasifica así:

Folk (1962): Biomicrudita

Dunham (1962): Wackstone calcáreo

Gama textural de Folk (1962): Biomicrudita empaquetada

Se produce recristalización que se evidencia en la formación de microesparita a partir de micrita. Además se presenta cementación mostrando texturas en mosaico.



Microfotografía 2. IQ85091001.50X. A. NX. B. N//. Textura en mosaico por la cementación junto a la micrita, en la foto B tenemos el corte de una conchilla dentro de la matriz de micrita (Mi).

Lamina JC85160004

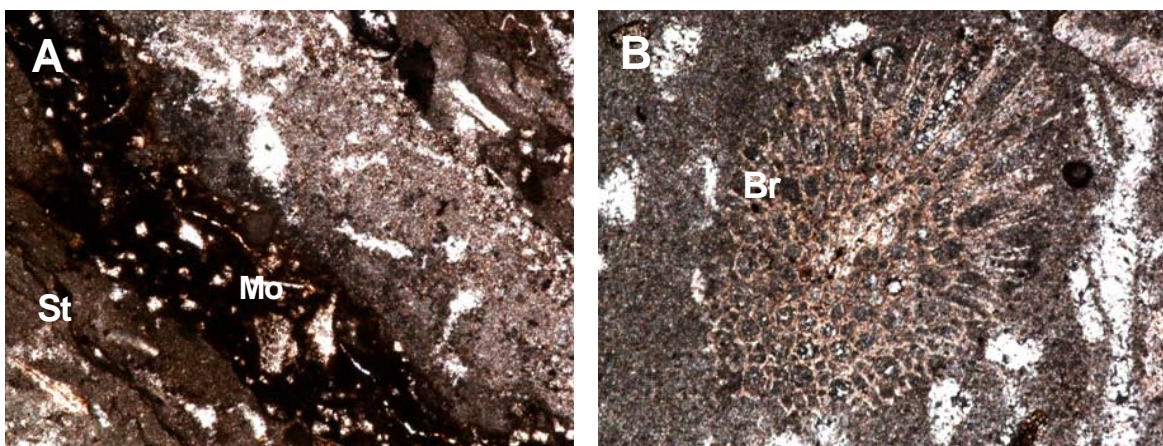
Roca Lodosoportada compuesta por una armazón de bioclastos. Se identifican las colonias de briozoarios, restos de fósiles y conchillas. Su matriz esta compuesta por Micrita diseminada en la matriz sin una distribución marcada junto a Esparita anhedral y subhedral también sin distribución alguna. Mal calibrada, subredondeada. Presenta suturas que tienden a crear una orientación o lineamiento local sobre las partículas que constituyen la roca. Su clasificación es la siguiente:

Folk (1962): Biomicrudita

Dunham (1962): Wackstones calcáreo

Gama textural de Folk (1962): Biomicrudita empaquetada

Se produce micritización que se evidencia con la pérdida de la forma de algunos fósiles, debido envueltas micriticas que van destruyendo la estructura interna.



Microfotografía 3. IQ85160004. 50X. A. N//. B. N//. Se observan sutura (St) local con la tendencia a formar un lineamiento con la acumulación mayor de materia orgánica (Mo). En la lamina B tenemos una colonia de Briozoarios (Br) en la matriz.

Lamina IQ85093001

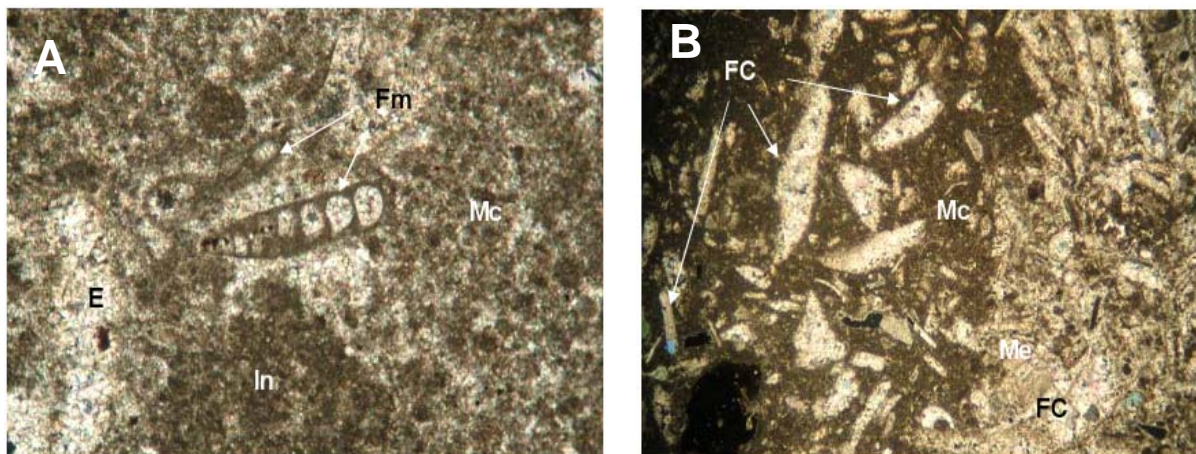
Roca Granosoportada, bioclástica, compuesta por fragmentos de fósiles de conchas, foraminíferos, en Lodo calcáreo, esparita y microesparita. En la parte central de la sección delgada predominan pellets y a los lados los fragmentos de conchas. Fragmentos de valvas con calcita prismática (braquiópodos?), algunas pocas contienen calcita fibrosa (lamelibranquios). Predomina el contenido de micrita localmente se observa microesparita y esparita. La distribución de los

aloquímicos es irregular. Se clasifica de la siguiente forma:

Folk (1962): Biomicrita

Dunham (1962): packstone

Gama textural de Folk (1962): Biomicrita empaquetada



Microfotografía 4. IQ85093001. 50X. A. N//. B. NX. Biomicrita constituida por fragmentos de conchas (FC) en Una matriz de lodo calcáreo micritico (Mc), parcialmente reemplazado por microesparita (Me). En la foto B, foraminíferos (Fm) en micrita (Mc), intraclástos de micrita (In), en cemento esparita.

Lamina JC85124002

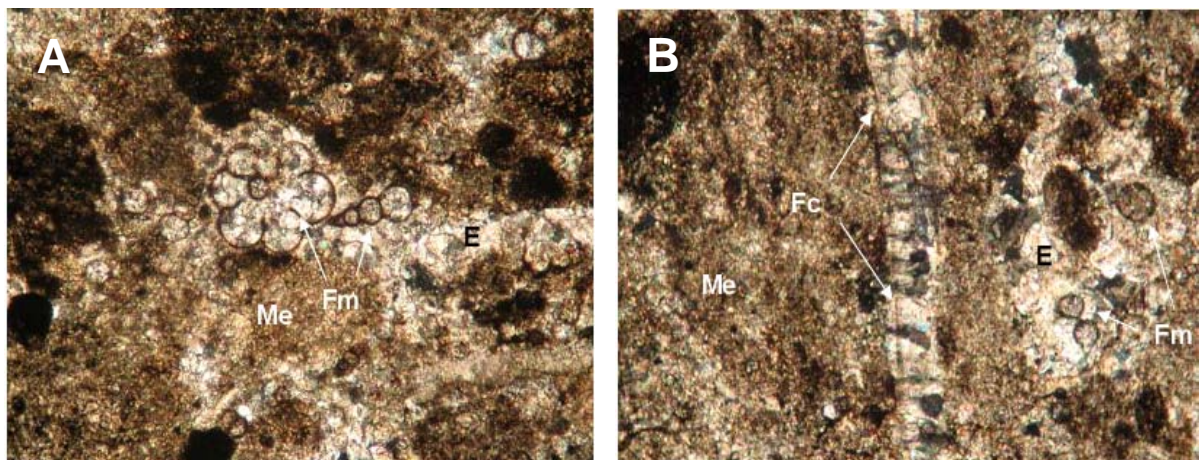
Roca lodosoportada con laminación delgada calcárea. Contiene láminas de 0,2mm donde predomina la esparita; otras, foraminífero como globigerinas, Lamelibranquios, intraclástos o delgadas valvas hasta de 7mm con orientación paralela a la Laminación. Los intraclástos de micrita son de color más oscuro y de forma redonda, ovalada o irregular, Venas de calcita de espesor variable entre 4,5 y 5mm de espesor y que atraviesa la roca perpendicularmente a la laminación, Materia oscura carbonosa?, Vena de óxidos de hierro. Lodo calcáreo

de color oscuro, se encuentra reemplazado por microesparita. Distribuidos en láminas finas, algunas de 0.2mm de espesor. Se clasifica de la siguiente forma:

Folk (1962): Biomicosparita

Dunham (1962): Wackestone

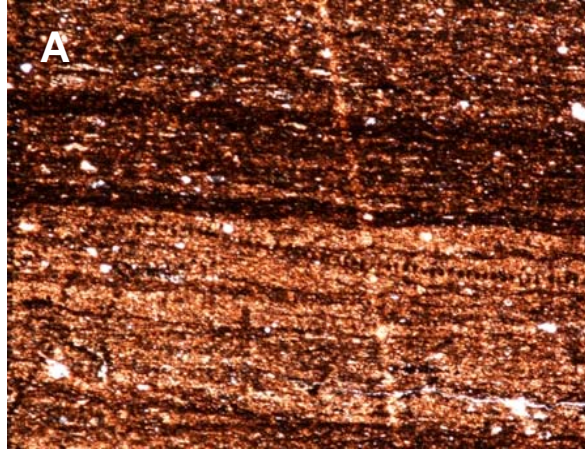
Gama textural de Folk (1962): Biomicosparita



Microfotografía 5. JC85124002. 50X. AX. BX. Foraminíferos (Fm) calcáreos en microesparita (Me) esparita (E). En la fotografía B fragmento de concha (Fc) con calcita prismática en micrita (Mc), se observa parcial reemplazamiento por esparita (E).

Lamina JC85206002

Roca oscura con un gran contenido de materia orgánica. Con laminación plano paralela con láminas de 5mm de espesor en promedio, presenta acumulaciones de materia orgánica, en unas láminas más que en otras. Laminación plano paralela de aproximadamente 2mm de espesor.



Microfotografía 6. JC85206002. 50X. A. N//. En la fotografía A se aprecia la laminación que se identificó en la sección delgada.

Lamina RD85002002

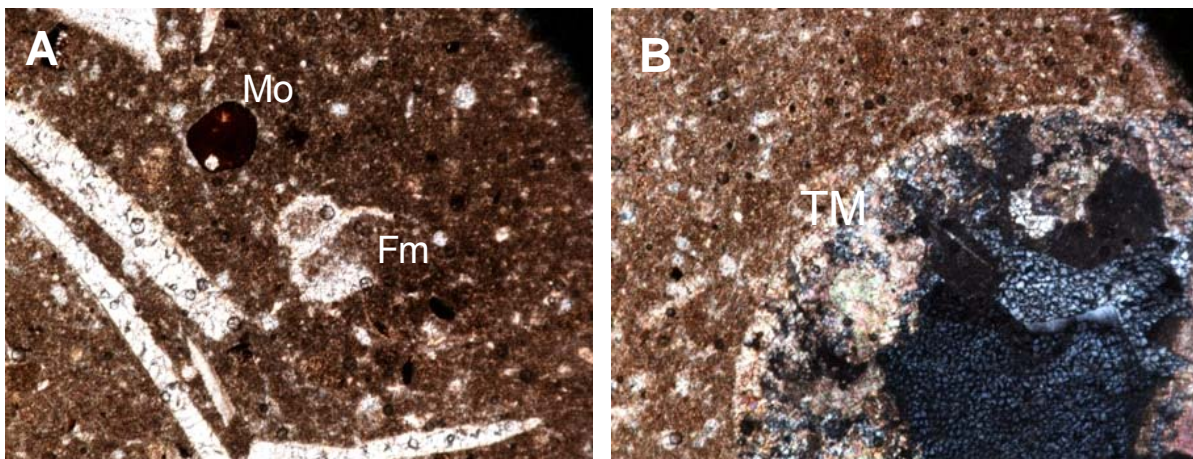
Roca Lodosoportada compuesta por una armazón de fósiles completos y desarticulados, como conchillas, foraminíferos restos de huesos fosfatados y elongados. Mala selección, subredondeados y redondeados. También presenta una vena de calcita de 60-70 micras de ancha que atraviesa la lamina, se puede determinar que es de un evento posterior ya que atraviesa fósiles cristalizando sobre ellos. Mal seleccionado, redondeado y subredondeados. La matriz está compuesta por Micrita (con microesparita), sin distribución alguna junto a espar, anhedral, irregular. Se clasifica de la siguiente forma:

Folk (1962): Biomicrudita

Dunham (1962): Wackstone calcáreo de fósiles

Gama textural de Folk (1962): Biomicrudita Rala

Se presenta cementación con la recristalización de espar en textura de mosaico dentro de un fósil grande y redondo. Además se presenta micritización en los bordes de algunos fósiles.



Microfotografía 7. RD85002002. 50X. A. N//. B. NX. En la lámina se aprecia materia orgánica (Mo) redondeada, cerca de un fósil de foraminífero (Fm), y restos de otros fósiles. En la lámina B se aprecia un fósil recristalizado con textura en mosaico (TM).

Lamina VC85019001

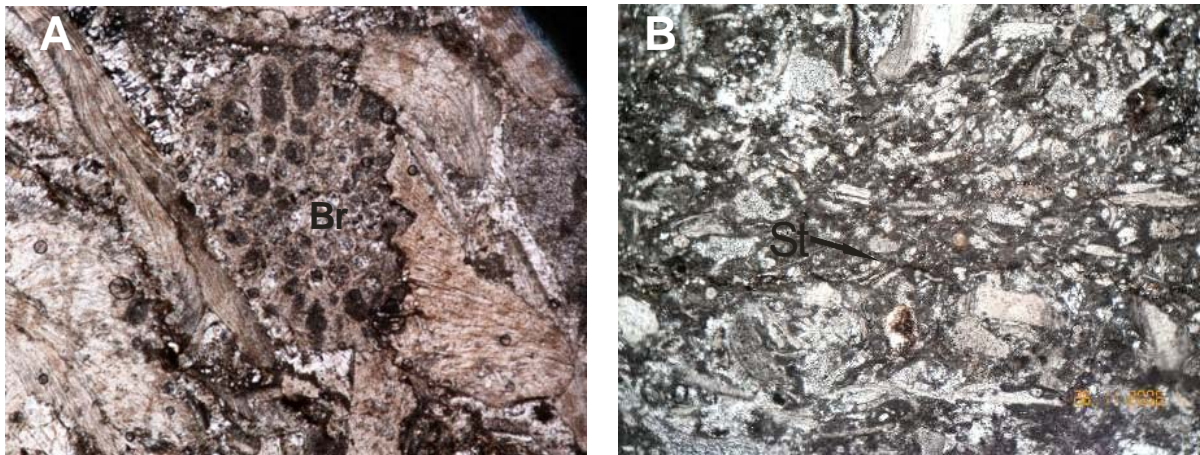
Roca granosoportada constituida por Conchillas, restos de huesos fosfatados, colonia de briozoarios y equinodermos. Mal seleccionados y redondeados. Los fósiles tienden a concentrarse un lado de la lámina y también presenta un estilolito o sutura de presión que atraviesa la lamina y tiende a crearse una orientación (local) de los fósiles con la misma dirección del estilolito. Su matriz esta compuesta por Micrita distribuida irregularmente en la matriz junto a esparita anhedral, subredondeada. Se clasifica de la siguiente forma:

Folk (1962): Biomicrita

Dunham (1962): Packstone Calcáreo de Fósiles

Gama textural de Folk (1962): Biomicrita empaquetada

Presenta micritización que se evidencia en la pérdida de la forma de los fósiles más grandes, además se produce una cementación de espar dentro de los fósiles.



Microfotografía 8. VC85019001. 50X. A. N//. B. N//. Colonia de briozoarios (Bz) en el centro de la fotografía en contacto suturado con otro fósil de textura fibrosa. En la lamina B, encontramos el estilolito (Et) y una orientación local de los fósiles que están mas cerca.

Lamina VC85019003

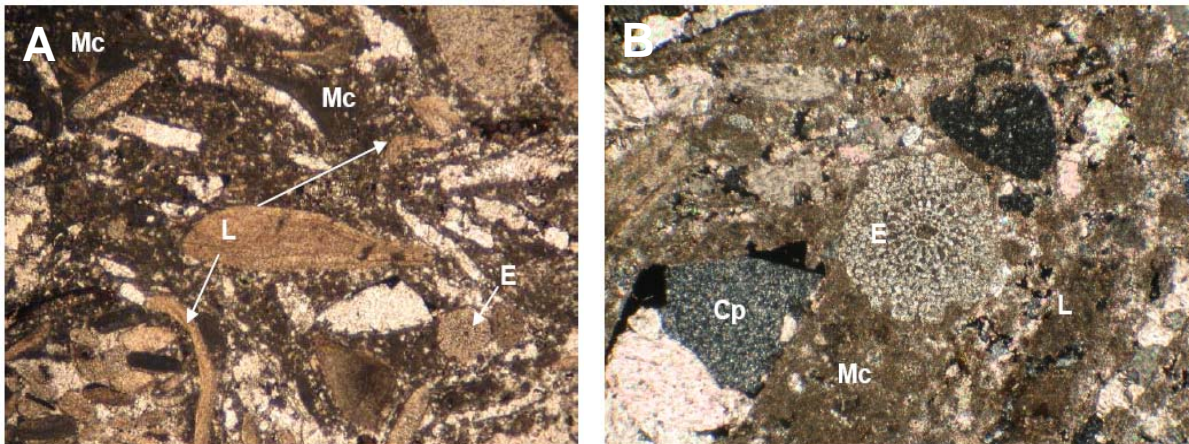
Roca granosoportada Bioclástica, constituida por fragmentos de valvas (calcita fibrosa), Valvas (con calcita prismática), plaquetas y espiculas de equinodermos, briozoos y otros

Fósiles, en micrita, microesparita y esparita distribuidas en la lámina de forma irregular. Subredondeados y mal calibrado. Se clasifica de la siguiente forma:

Folk (1962): Biomicrita

Dunham (1962): Packstone calcáreo

Gama textural de Folk (1962):



Microfotografía 9. VC85019003. 50X. A.N//. B. NX. Biomicrita con fragmentos de conchas de lamelibranchios (L), espícula de equinodermo (E), en micrita (Mc). En la lamina B. Otro detalle de la biomicrita. Espícula de equinodermos (E) y fragmento de fósil con calcita policristalina (Cp) en lodo calcáreo (Mc). Sección delgada No. VC 85019003. Nícoles cruzados.

7.1.2. Plancha 96

Lamina DI96033001

Roca compuesta principalmente por lodo calcáreo, junto con ooides perfectamente concéntricos de hasta 7mm de diámetro. También se presentan restos fósiles de huesos fosfatados, conchillas, gasterópodos, foraminíferos. Mal seleccionado, redondeado y subredondeado. Las partículas alrededor de los ooides tienden a tomar la orientación de la curva de los mas grandes formándose orientaciones locales en la lamina. Algunos ooides en su interior tienen espar o

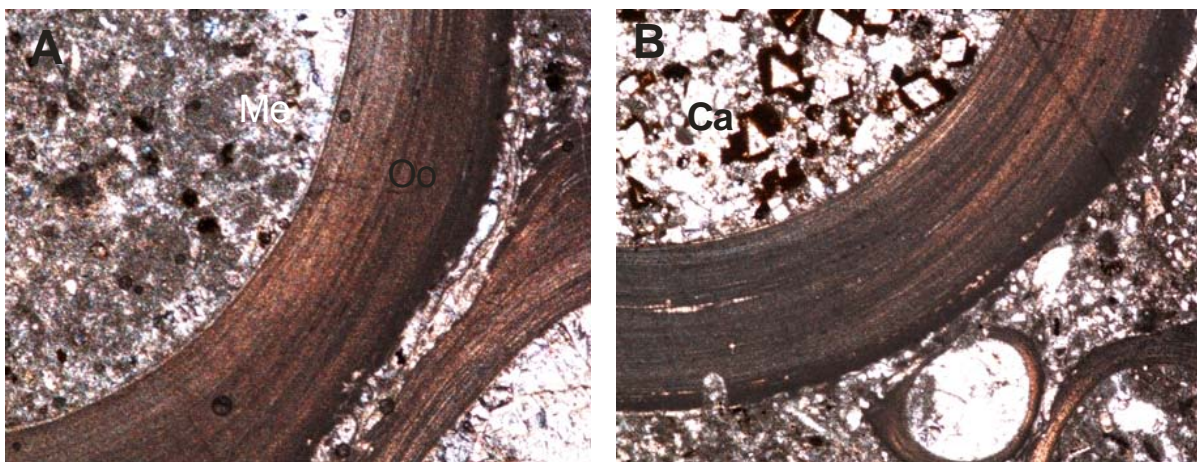
micrita y uno solo en la lamina tiene en su interior cristales perfectos de calcita euahedral, bordeados por oxido?, La esparita se encuentra diseminada junto a la micrita dentro y fuera de los ooides en cristales euahedrales. Se clasifica de la siguiente forma:

Folk (1962): Biomicrudita

Dunham (1962): Wackstone calcáreo de oolitos

Gama textural de Folk (1962): Biomicrudita pobremente lavada

Se produce compactación ya que los ooides grandes están aplastando y destruyendo los mas pequeño que están cerca. La recristalización dentro y fuera de los fósiles también se puede identificar.



Microfotografía 10. D196033001. 50X. A. N//, B. N//. Ooides (Oo), contacto suturado, el más grande contiene micrita (Mi) principalmente con microesparita (Me). El más pequeño contiene principalmente esparita. En la lamina B tenemos el ooide mas grande el cual esta relleno de cristales euahedrales de calcita (Ca).

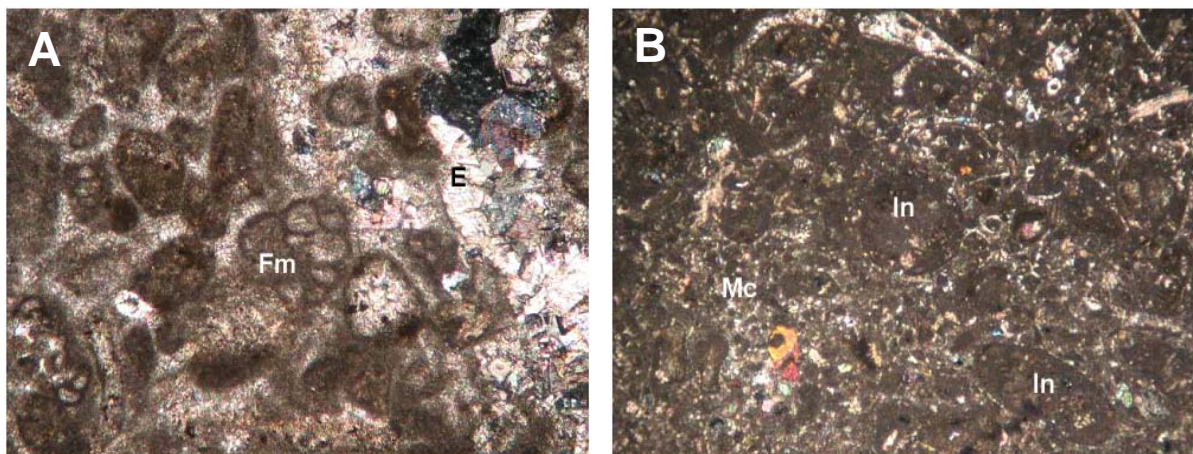
Lamina EC96008001

Roca bioclástica, constituida por fragmentos de fósiles, oolitos, pellets foraminíferos, plaquetas, espículas de equinodermos calcáreos e intraclastos, en lodo calcáreo (micrita), Parcialmente reemplazado por esparita. Las valvas predominantes son las constituidas por calcita prismática. Redondeados y subredondeados. Mal seleccionado. Se clasifica de la siguiente forma:

Folk (1962): Biomicrita

Dunham (1962): Packstone

Gama textural de Folk (1962): Biomicrita pobremente lavada



Microfotografía 11. EC 96008001. A. NX, B. NX. Biomicrita com foraminíferos (Fm), esparita(E) Sección Delgada. Intraclastos de micrítica bien redondeada (In) en lodo calcáreo (Mc). Sección delgada. Longitud de lá fotografía 6mm

Lamina HC96001002

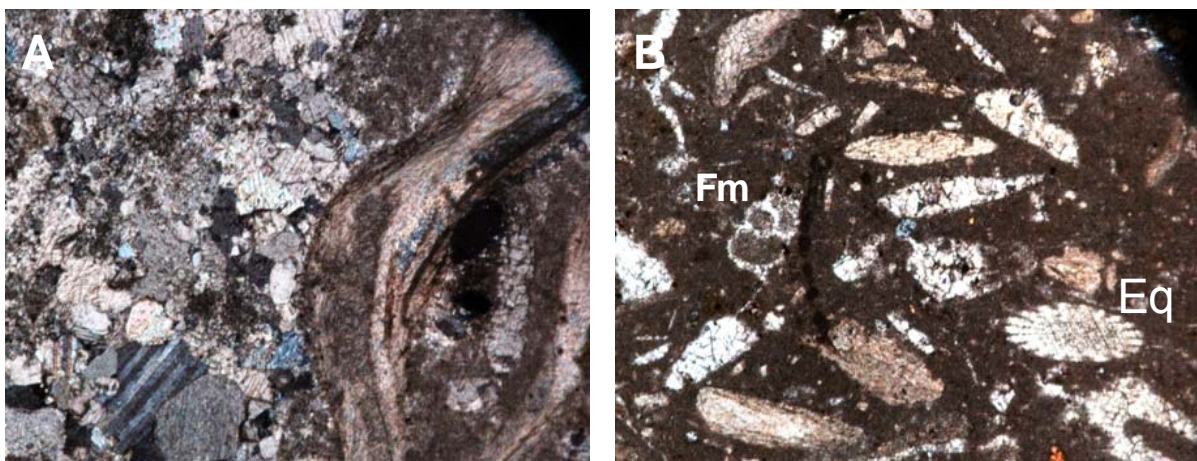
Roca granosoportada compuesta por bioclastos, micrita y esparita. Hay colonias de briozoarios, foraminíferos, conchillas articuladas y desarticuladas. Mal seleccionada, redondeado y suredondado. No presenta estructuras ni lineamientos. Presenta una pequeña porción de intraclastos, redondeado de 2mm aproximadamente. La matriz esta compuesta de micrita homogénea sin distribución alguna, y cementada por esparita, anhedral y subhedral. Con texturas en mosaico. Su clasificación es la siguiente:

Folk (1962): Biomicrarenita

Dunham (1962): Packstone calcáreo

Gama textural de Folk (1962): Biomicrarenita empaquetada

Se produce una perdida de forma de los fósiles por la micritización sobre los bordes. Se presenta cementación que se evidencia con texturas en mosaico en forma aislada alargada de 8mm de longitud.



Microfotografía 12. HC96001002. 50X. A. NX, B. NX. Cemento en mosaico junto a un resto fósil fibroso y fosfatado. En la lamina B tenemos una vista de

la micrita con fósiles de foraminíferos (Fm) y equinodermos (Eq) en contacto flotante.

Lamina HC96043001

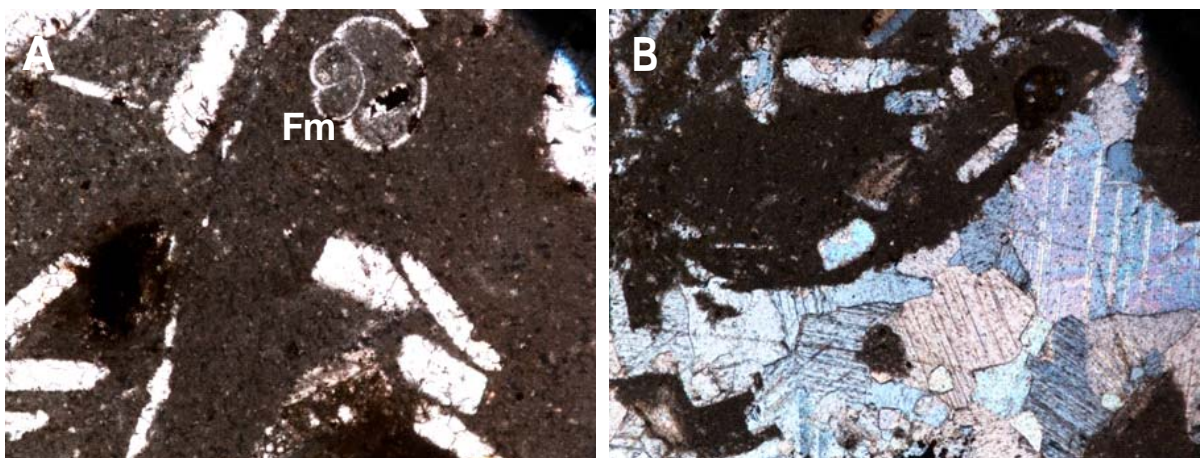
Roca lodosoportada, compuesta por bioclastos como Restos de huesos, foraminíferos, conchillas de bivalvo, placas de equinodermos. Acompañados de micrita, distribuida por toda la matriz, en el centro se identifica una mayor concentración de esta, y esparita con formas irregulares con cristales anhedrales. Mal seleccionado, subredondeado y subangular. No presenta estructuras ni laminación alguna. Se clasifica de la siguiente forma:

Folk (1962): Bioesparudita.

Dunham (1962): Wackstones Calcáreo.

Gama textural de Folk (1962): Bioesparudita rala.

Se esta produciendo una pequeña cementación con texturas en mosaico y grandes cristales de calcita.



Microfotografía 13. HCE96043. 50X. A. N//. B. NX. Encontramos en la primera lámina una muestra de foraminífero (Fm) relleno de micrita así como una acumulación de materia orgánica. En la lamina B tenemos la textura en mosaico con los colores de interferencia y macla característicos de la calcita en una matriz de micrita.

Lamina LM96033002

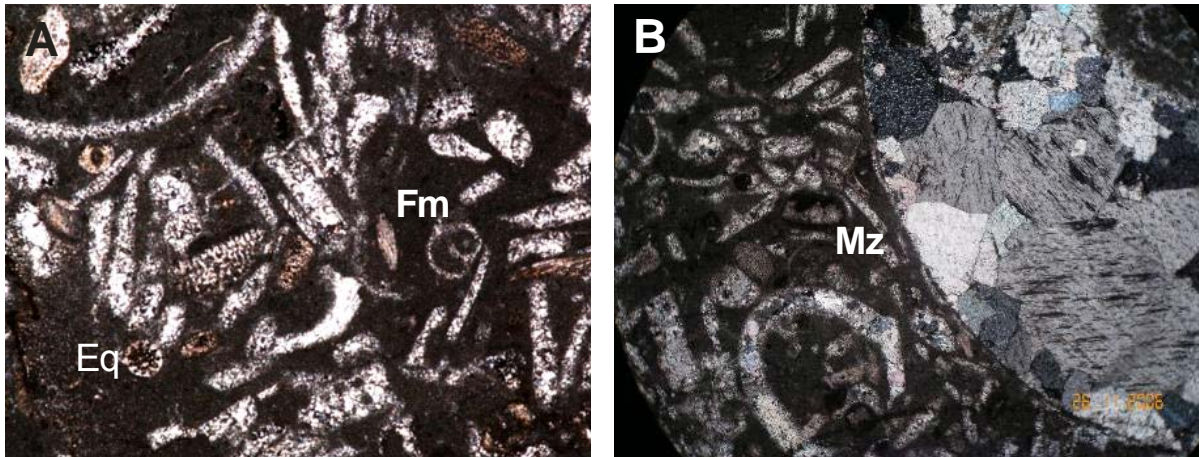
Roca calcárea granosoportada compuesta por un armazón de bioclastos principalmente conchillas de bivalvos, también por foraminíferos y equinodermos, la matriz es de micrita distribuida uniformemente por la matriz y una pequeña porción de espar sin distribución en la matriz. Mal seleccionada y no presenta laminaciones u orientaciones. Se clasifica así:

Folk (1962): Biomicrita

Dunham (1962): Wackstone calcáreo de fósiles

Gama textural de Folk (1962): Biomicrita Rala

La lámina presenta unas zonas de mayor concentración de los diferentes componentes, es decir la micrita se concentra en una zona más que otra igual que el espar. Además presenta micritización en los bordes de algunos fósiles, se observa por al perdida parcial de la forma.



Microfotografía 14. LM96033002. 50X. A. N//. B. NX. Matriz micritica con alto contenido fósil, foraminífero (Fm), equinodermo (Eq) y restos de conchillas. En la lamina B tenemos la misma matriz (Mz) de la primera fotografía, junto a un fósil recristalizado con calcita anhedral

Lamina LM96040001

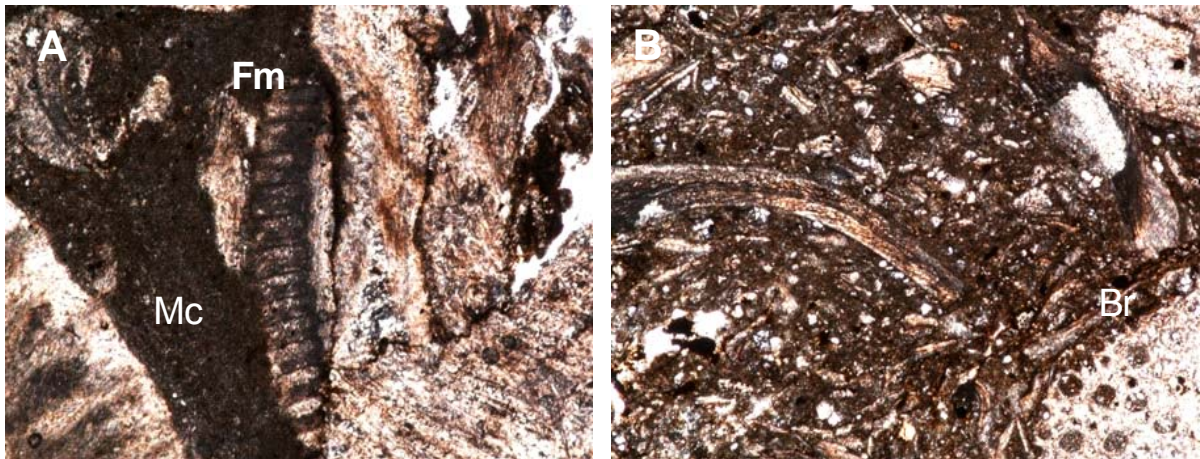
Roca granosoportada compuesta por restos fósiles en su mayoría restos fosfatados y con textura fibrosa, algunos completos otros desarticulados, pero en su mayoría restos fosfatados. Mala selección, redondeado y subredondeado. Su contenido de micrita y espar distribuidos irregularmente por su matriz. Se presenta una concentración de fósiles mas pequeños en el centro de la lámina produciéndose suturas pequeñas irregulares. Se clasifica de la siguiente forma:

Folk (1962): Biomicrudita

Dunham (1962): Packstone Calcáreo

Gama textural de Folk (1962): Biomicrita empaquetada

Se presenta micritización debido a que en algunos bordes de los fósiles se esta produciendo un lavado y por lo tanto perdida de la forma aunque en una porción pequeña.



Microfotografía 15. LM96040000. 50X. A. N//. B. N//. Fósiles de textura fibrosa dentro de la matriz micritica (Mc), en el centro un fósil de foraminífero? (Fm). En la lamina B encontramos una mayor concentración de fósiles de diferentes tamaños la cual se localiza en el centro de la lamina, también una colonia de briozoarios (Br).

7.2 Geoquímica orgánica

Se correlacionaron los resultados de TOC y Pirolisis Rock-Eval y Reflectancia de Vitrinita en la Tabla 9 y la localización de las muestras utilizadas para estos se presenta en la figura 16.

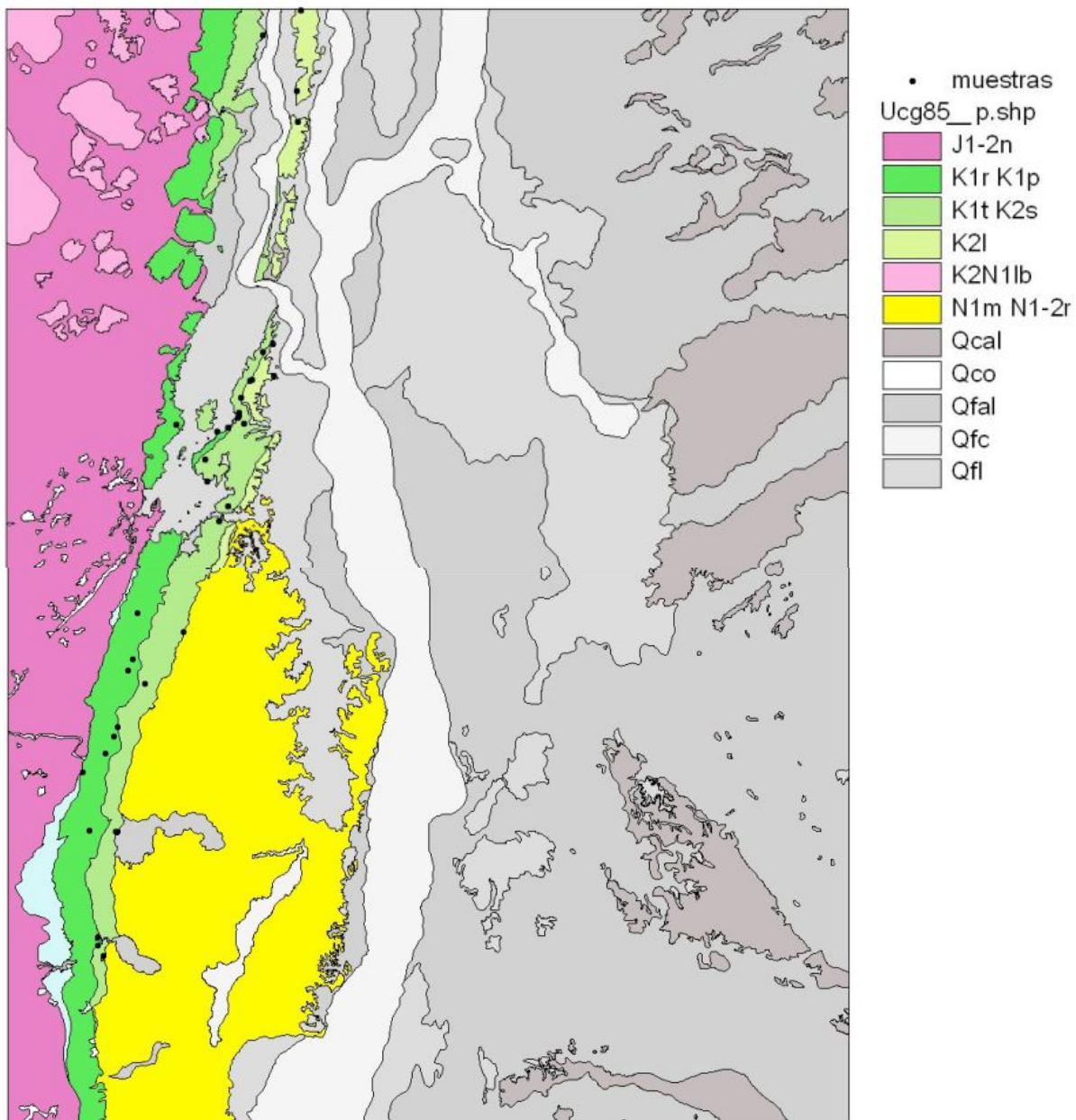


Figura 16. Mapa de localización de las muestras seleccionadas para análisis de TOC, Pirolisis Rock-Eval y Ro.

Tabla 9. Correlacionaron de los resultados de TOC y Pirolisis Rock-Eval. Baseline Resolution Inc., Texas 2006.

FORMACION	NOMBRE MUESTRA	COORDENADAS		TOC	S1	S2	S3	Tmax	HI	OI	S1/TOC	PI
		X	Y	Wt. %	mg/g	mg/g	mg/g					
LA LUNA	GJ85095-1	1 364 599	1 015 873	2,62	1,03	5,65	0,44	434	216	17	39	0,15
	GJ85106-1	1 366 356	1 014 385	11,96	0,99	9,32	0,96	440	78	8	8	0,10
	IQ85087-1	1 399 955	1 021 021	1,90	0,56	3,76	0,59	440	198	31	29	0,13
	IQ85089-1	1 394 182	1 020 793	2,11	0,41	4,41	0,63	439	209	30	20	0,09
	IQ85095-1	1 372 273	1 016 780	3,37	1,36	4,69	0,34	432	139	10	40	0,22
	IQ85102-2	1 370 496	1 016 992	2,18	0,99	4,93	0,58	433	226	27	45	0,17
	JC85190-1	1 370 890	1 016 586	1,86	0,48	2,64	0,74	436	142	40	26	0,15
	JC85192-1	1 371 048	1 016 653	4,04	0,06	0,44	2,50	448	11	62	1	0,12
	JC85193-1	1 371 211	1 016 658	6,44	1,06	27,88	1,54	427	433	24	16	0,04
	JC85199-1	1 373 594	1 017 581	2,43	1,07	6,30	0,74	437	259	30	44	0,15
	JC85206-1	1 373 837	1 019 106	4,11	2,03	13,72	0,58	437	334	14	49	0,13
	JC85124-2	1 391 995	1 020 868	0,77	0,08	1,12	0,26	434	145	34	11	0,07
	JC85190-2	1 370 890	1 016 586	1,93	1,06	3,59	0,60	432	186	31	55	0,23
	JC85198-2	1 373 479	1 017 450	1,37	0,11	0,86	0,74	430	63	54	8	0,11
	JC85206-2	1 373 837	1 019 106	4,95	3,84	18,48	1,31	424	373	26	77	0,17
	LP85066-1	1 376 138	1 019 086	1,74	0,65	4,79	0,56	435	275	32	37	0,12
	LP85067-1	1 375 554	1 018 327	2,32	0,53	3,28	0,43	437	141	19	23	0,14
	RD85012-2	1 363 530	1 015 210	6,75	2,57	23,84	0,69	432	353	10	38	0,10
	RF85064-1	1 367 921	1 014 233	5,98	3,34	17,01	1,18	437	284	20	56	0,16
	RF85064-3	1 367 921	1 014 233	4,24	1,26	12,04	1,03	436	284	24	30	0,09
EL SALTO	JC85183-1	1 369 865	1 015 089	0,60	0,29	1,30	0,31	440	217	52	48	0,18
	JC85187-1	1 370 142	1 015 841	11,77	33,18	60,07	5,70	427	511	48	282	0,36
SIMITI	AA96049-1	1 340 886	1 007 725	4,59	1,06	3,20	0,72	438	70	16	23	0,25
	AA96068-2	1 359 900	1 014 264	17,35	5,43	62,46	0,97	434	360	6	31	0,08
	EG96005-1	1 340 850	1 007 750	5,80	2,10	8,77	0,61	441	151	11	36	0,19
	EG96006-1	1 340 902	1 007 850	0,98	0,43	1,18	0,36	450	120	37	44	0,27
	EG96006-2	1 340 902	1 007 850	3,78	0,17	0,87	2,20	451	23	58	5	0,17
	HC96016-2	1 355 147	1 012 549	2,07	0,34	0,16	0,95	444	8	46	17	0,68
	JP85001-2	1 398 162	1 018 355	0,97	0,22	0,85	0,40	440	88	41	23	0,20
	RD85001-1	1 398 132	1 018 355	1,10	0,33	0,73	0,64	438	66	58	30	0,31
PAJA	AA96044-1	1 332 007	1 006 827	9,47	0,18	0,84	4,77	464	9	50	2	0,17
	AA96045-1	1 332 765	1 006 448	2,61	0,84	1,62	0,42	471	62	16	32	0,34

	DP96032-1	1 351 490	1 009 770	12,00	0,82	9,02	3,55	433	75	30	7	0,08
	IQ85155-1	1 370 404	1 012 178	1,14	0,16	0,61	0,54	445	54	47	14	0,21
Rosablanca	AA96035-1	1 353 209	1 008 902	2,91	0,48	1,20	1,13	471	41	39	17	0,29
	AA96046-1	1 333 389	1 006 389	1,12	0,22	0,22	1,07	468	20	96	20	0,51
	AA96035-2	1 353 209	1 008 902	1,92	0,45	0,79	0,45	461	41	23	23	0,36
	AA96011-3	1 341 021	1 006 082	6,03	0,03	0,32	3,71	513	5	62	1	0,09
	HC96042-1	1 008 359	1 009 256	1,81	1,15	1,07	0,35	456	59	19	63	0,52
	HC96042-2	1 008 359	1 009 256	1,80	0,29	0,65	0,84	449	36	47	16	0,31
	LM96028-1	1 346 512	1 006 939	3,07	0,08	0,37	1,54	506	12	50	3	0,18
	LM96032-1	1 345 129	1 005 319	0,56	0,28	0,19	0,37	453	34	66	49	0,59
	LM96039-1	1 340 952	1 005 824	8,58	5,45	5,72	1,19	477	67	14	64	0,49
	LM96045-1	1 348 392	1 007 806	2,76	1,08	2,10	0,37	456	76	13	39	0,34
	LM96061-1	1 347 720	1 007 542	6,19	1,28	3,67	0,81	460	59	13	21	0,26
	LM96067-1	1 352 398	1 008 577	4,28	1,42	2,84	0,35	467	66	8	33	0,33
	LM96068-1	1 356 518	1 009 272	0,96	0,58	0,54	0,26	458	56	27	60	0,52
	LM96028-2	1 346 512	1 006 939	2,37	0,42	0,95	0,89	471	40	38	18	0,31
	LM96061-2	1 347 720	1 007 542	0,67	0,26	0,32	0,19	461	48	28	38	0,44
	LM96068-2	1 356 518	1 009 272	2,07	0,33	0,79	0,55	453	38	27	16	0,30
	LM96039-3	1 340 952	1 005 824	10,29	1,16	5,76	1,46	492	56	14	11	0,17
MC96018-1	1 346 530	1 006 877	2,38	1,08	1,33	0,41	470	56	17	45	0,45	

Tabla 10. Resultados de Reflectancia de vitrinita (Ro).

Formación	Estación	Coordenadas		Ro promedio	Promedio total
		X	Y		
La Luna	JC85198-2	1 373 479	1 017 450	0,47	0,48
	IQ85095-1	1 372 273	1 016 780	0,46	
	IQ85087-1	1 399 955	1 021 021	0,59	
	JC85199001	1 373 594	1 017 581	0,40	
El Salto	JC85183001	1 369 865	1 015 089	0,57	0,57
Simití	JP85001002	1 398 162	1 018 355	0,57	0,70
	DI96014001	1 346 775	1 008 456	0,83	
Paja	IQ85155001	1 370 404	1 012 178	0,45	0,45
Rosablanca	LM96028001	1 346 512	1 006 939	0,44	0,44

En la interpretación de datos siguiente se nombran las unidades de acuerdo a su posición estratigráfica, comenzando con la formación La Luna que es el tope de la secuencia estratigráfica, y terminando con la formación Rosablanca en la base.

7.2.1 Formación aL Luna

Resultados obtenidos:

Tabla 11. Resultados de los análisis de la Formación La Luna. TOC: Carbono orgánico total; HI: Índice de hidrogeno; Tmax: Temperatura máxima; PI: Índice de producción; Ro: Reflectancia de vitrinita; OI: Índice de oxígeno; PY: Potencial de producción; GI: Índice de generación.

	OBJETIVO DE ANÁLISIS	PARAMETROS	RESULTADOS
RESULTADOS ANALISIS FORMACION LA LUNA	Contenido y tipo de materia orgánica	TOC valor promedio: 3.65	De Muy buena-Excelente
	Tipo de Kerógeno	HI, OI, S2/S3 Valor HI:218	Tipo II y mezcla entre II y III
	Madurez Termal	Tmax, PI, Ro Valor promedio de Tmax: 435 y de Ro:0.48	Inmaduro a madurez temprana
	Potencial generador y productor	OI, PY, GI Valor promedio OI: 27	De muy bueno a excelente

El tipo de Kerógeno se determina con el diagrama de Van Krevelen así:

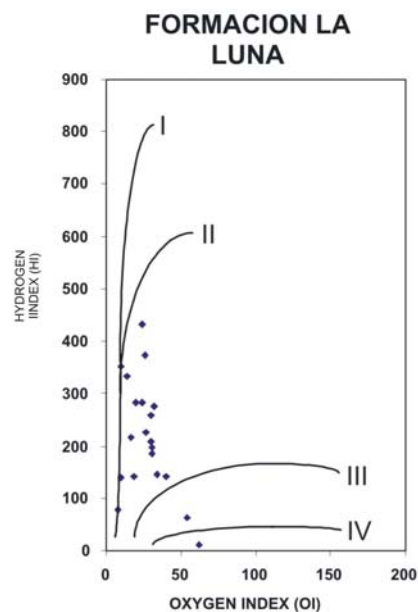


Figura 17. Diagrama de Van Krevelen para la Formación La Luna, con los datos de índice de hidrógeno vs índice de oxígeno para la clasificación de Kerógeno.

Esta formación presenta características representativas de una buena roca generadora de hidrocarburos. Su contenido de materia orgánica es muy bueno, con kerógeno de tipo II y mezcla de II y III principalmente, lo que indica aporte de materia orgánica de origen marino como algas y bacterias, así como un aporte de plantas superiores. Esta formación a pesar de tener un muy buen potencial generador y productor, alcanza solo una madurez temprana muy baja, en general inmadura. No alcanza a llegar a la ventana de generación de hidrocarburos.

7.2.2 Formación El Salto

Resultados obtenidos:

Tabla 12. Resultados de los análisis para la Formación El Salto. TOC: Carbono orgánico total; HI: Índice de hidrogeno; Tmax: Temperatura máxima; PI: Índice de producción; Ro: Reflectancia de vitrinita; OI: Índice de oxigeno; PY: Potencial de producción; GI: Índice de generación

	OBJETIVO DE ANALISIS	PARAMETROS	RESULTADOS
RESULTADOS ANALISIS FORMACION EL SALTO	Contenido y tipo de materia orgánica	TOC, valor promedio: 6.18	Regular
	Tipo de Kerógeno	HI, OI, S2/S3, promedio HI: 364	Tipo III
	Madurez Termal	Tmax, PI, Ro, promedio Tmax: 434 Ro:0.57	Inmaduro a madurez temprana
	Potencial generador y productor	OI, PY, GI, promedio de OI: 50	Bajo índice generador.
	Indicador de migración de hidrocarburos	↑S1, ↓Tmax, ↑S1/TOC, ↑HI	Migración de hidrocarburos

El tipo de Kerógeno se determina con el diagrama de Van Krevelen así:

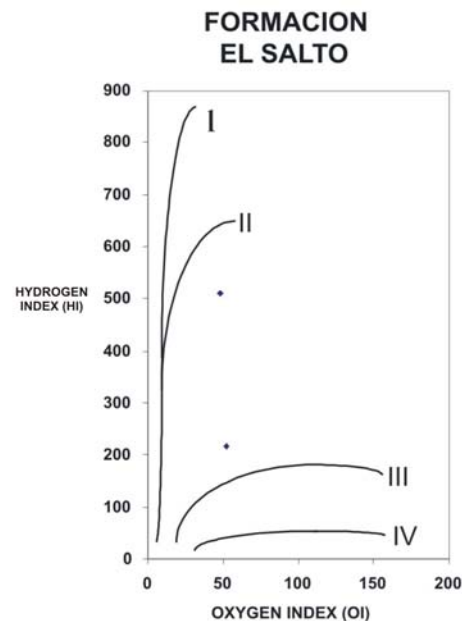


Figura 18. Diagrama de Van Krevelen para la Formación El Salto, con los datos de índice de hidrogeno vs índice de oxigeno para la clasificación de Kerógeno.

La Formación El Salto presenta un regular aporte de materia orgánica, que se suma a una madurez termal temprana generalmente. El tipo de Kerógeno es de tipo III lo que indica un aporte de materia orgánica de plantas superiores principalmente. Además presenta migración de hidrocarburos con un tipo de Kerógeno II caracterizado por un alto S1, S1/TOC, HI, y bajo Tmax.

7.2.3 Formación Simití

Resultados obtenidos:

Tabla 13. Resultados de los análisis para la Formación Simití TOC: Carbono orgánico total; HI: Índice de hidrogeno; Tmax: Temperatura máxima; PI: Índice de

producción; Ro: Reflectancia de vitrinita; OI: Índice de oxígeno; PY: Potencial de producción; GI: Índice de generación

	OBJETIVO DE ANALISIS	PARAMETROS	RESULTADOS
RESULTADOS ANALISIS	Contenido y tipo de materia orgánica	TOC, valor promedio: 4058	Muy bueno
	Tipo de Kerógeno	HI, OI, S2/S3, promedio HI:111	Tipo III y VI (menor cantidad)
	Madurez Termal	Tmax, PI, Ro, promedio Tmax: 442 Ro: 0.70	Madurez tardía
	Potencial generador y productor	OI, PY, GI, promedio de OI:34	Buen generador de gas y aceite.

El tipo de Kerógeno se determina con el diagrama de Van Krevelen así:

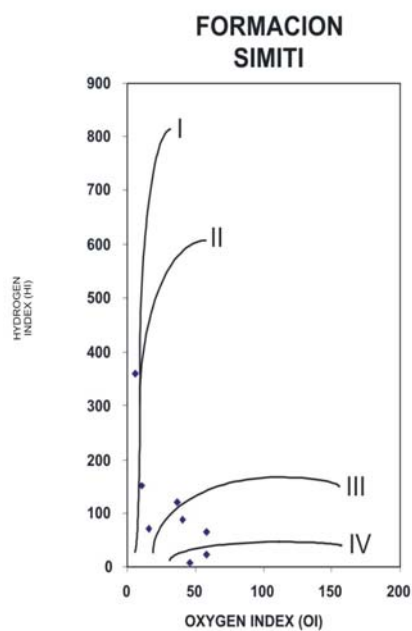


Figura 19. Diagrama de Van Krevelen para la Formación Simití, con los datos de índice de hidrogeno vs índice de oxígeno para la clasificación de Kerógeno.

La formación Simití presenta un muy buen aporte de materia orgánica con Kerógeno de tipo III principalmente lo que indica un aporte de materia orgánica de plantas superiores en general. Esta formación alcanzo un pico de madurez ideal para la generación de hidrocarburos líquidos alcanzando temperatura hasta para la generación de gas. También presenta migración de hidrocarburos.

7.2.4 Formación Paja

Resultados obtenidos:

Tabla 14. Resultados de los análisis para la Formación Paja. TOC: Carbono orgánico total; HI: Índice de hidrogeno; Tmax: Temperatura máxima; PI: Índice de producción; Ro: Reflectancia de vitrinita; OI: Índice de oxígeno; PY: Potencial de producción; GI: Índice de generación

	OBJETIVO DE ANALISIS	PARAMETROS	RESULTADOS
RESULTADOS ANALISIS FORMACION PAJA	Contenido y tipo de materia orgánica	TOC, valor promedio: 6.30	Muy buena
	Tipo de Kerógeno	HI, OI, S2/S3, promedio HI:50	Tipo III
	Madurez Termal	Tmax, PI, Ro, promedio Tmax:453 Ro: 0.45	Inmaduro a maduro
	Potencial generador y productor	S2, OI, PY, GI, promedio de OI:36	Buen generador de gas y aceite en promedio.

El tipo de Kerógeno se determina con el diagrama de Van Krevelen así:

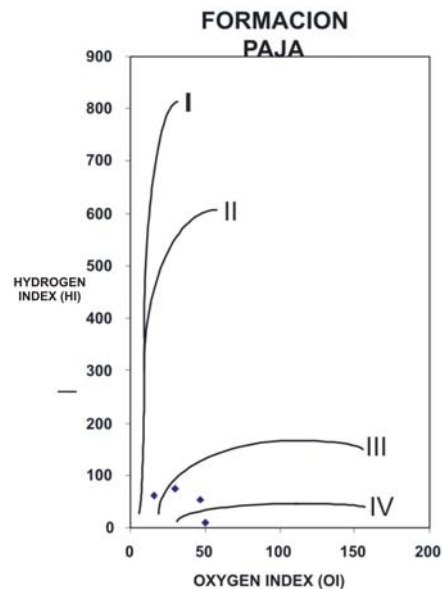


Figura 20. Diagrama de Van Krevelen para la Formación Paja, con los datos de índice de hidrogeno vs índice de oxigeno para la clasificación de Kerógeno.

La Formación Paja presenta un aporte de materia orgánica muy buena, con Kerógeno de tipo III, lo que indica un aporte de materia orgánica de plantas superiores principalmente. Esta formación alcanza madurez (de pico de madurez a madurez tardía) ideal para la generación de hidrocarburos líquidos.

7.2.5 Formación Rosablanca

Resultados obtenidos:

Tabla 15. Resultados de los análisis para la formación Rosablanca. TOC: Carbono orgánico total; HI: Índice de hidrogeno; Tmax: Temperatura máxima; PI: Índice de producción; Ro: Reflectancia de vitrinita; OI: Índice de oxigeno; PY: Potencial de producción; GI: Índice de generación

	OBJETIVO DE ANALISIS	PARAMETROS	RESULTADOS
RESULTADOS ANALISIS	Contenido y tipo de materia orgánica	TOC, valor promedio 3.32	Muy buena.
	Tipo de Kerógeno	HI, OI, S2/S3, promedio HI: 45	Tipo III y IV.
	Madurez Termal	Tmax, PI, Ro promedio Tmax: 469 Ro:0.44	De madurez temprana a sobremaduro.
	Potencial generador y productor	OI, PY, GI, promedio OI: 33	Regular que llega a la generación de gas.

El tipo de Kerógeno se determina con el diagrama de Van Krevelen así:

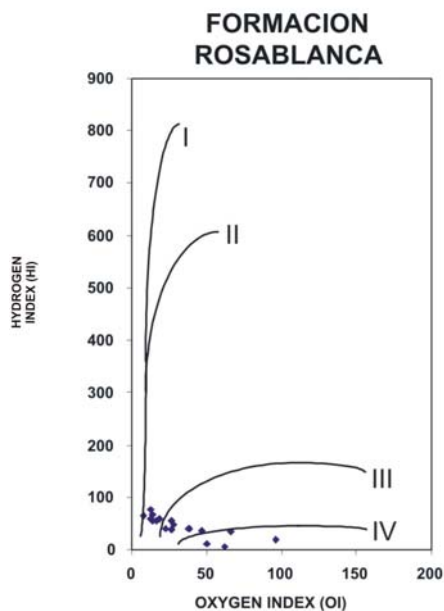


Figura 21. Diagrama de Van Krevelen para la Formación Rosablanca, con los

datos de índice de hidrogeno vs índice de oxigeno para la clasificación de Kerógeno.

La Formación Rosablanca presenta un aporte de materia orgánica muy buena con Kerógeno de tipo III y IV, es decir con aporte de material terrestre y detritos oxidados. La madurez termal que alcanzo representa una roca sobremadura con un bajo potencial para la generación de hidrocarburos, podría generarse gas únicamente.

7.3 Modelamiento Geoquímico

Para el modelado geoquímico incluimos las formaciones del corte geológico del área de estudio. Los resultados obtenidos son los siguientes:



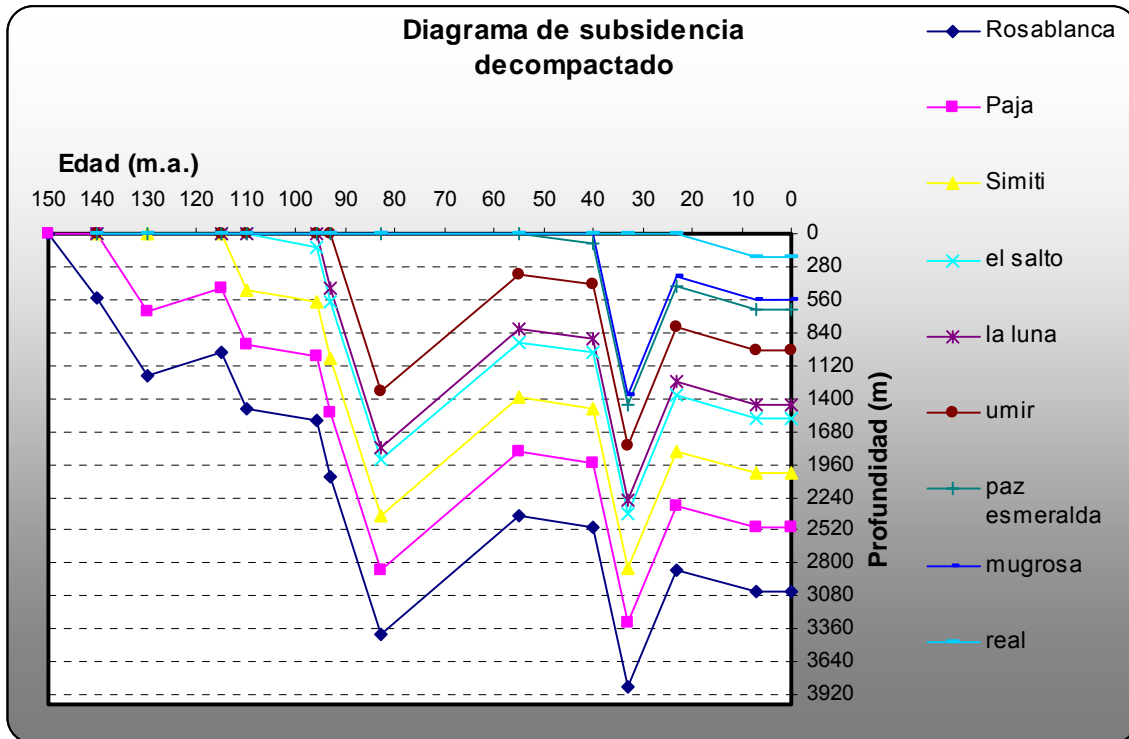


Figura 22. Diagrama de Subsidencia decompactado para las formaciones Rosablanca, Paja, Simití, El Salto, La Luna, Umir, Paz-Esmeraldas, Mugrosa y Real. Ver tabla de datos en el ANEXO 4.

En el diagrama podemos observar las variaciones de profundidades y espesores de las formaciones según la edad y su historia de evolución, la cual varía al presentarse discordancias durante la historia tectónica de la cuenca.

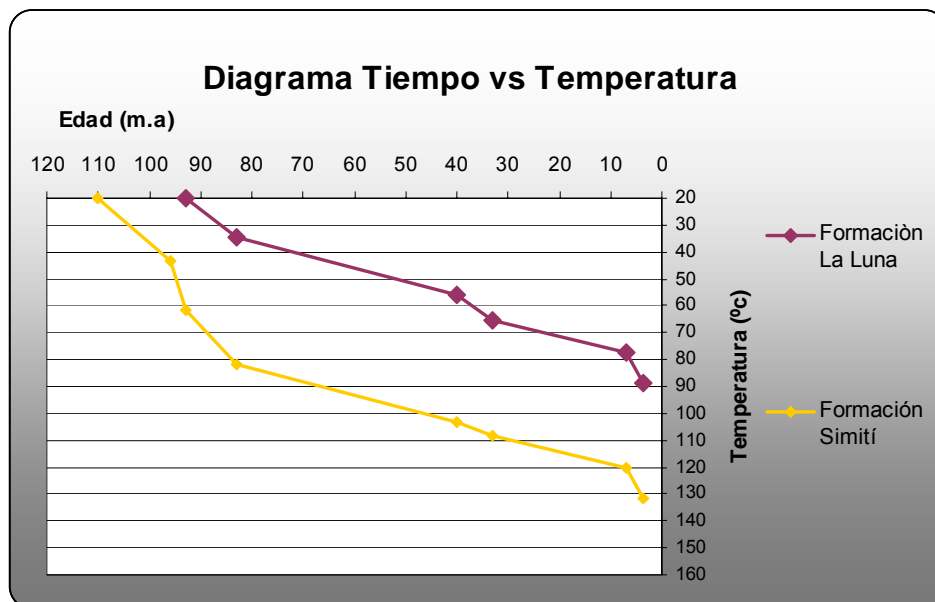


Figura 23. Diagrama Tiempo vs Temperatura para las formaciones La Luna y Simití. Ver tabla de datos en el ANEXO 5.

Se dividió la historia de temperatura en intervalos de 10 °C para estimar el tiempo de permanencia de la secuencia dentro de cada uno de los intervalos de temperatura. Como se observa la historia termal para las dos formaciones difieren en cuanto a la temperatura durante la edad de su evolución geocronológica.

Como resultado de aplicar el diagrama de Tiempo vs Temperatura se obtuvieron los datos de TTI para las formaciones La Luna y Simití, ya que son las que mostraron mejores resultados de TOC, Pirolisis Rock-Eval y reflectancia de Vitrinita en la caracterización de rocas generadoras de petróleo.

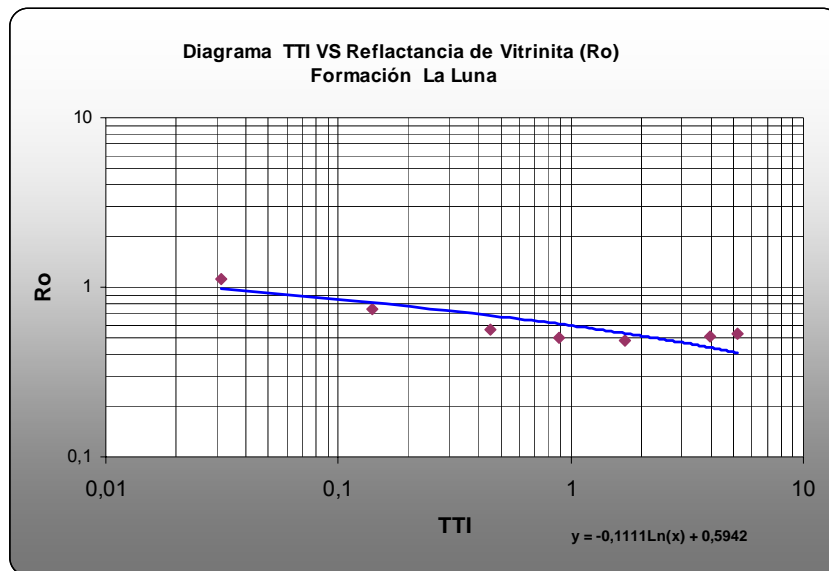


Figura 24. Diagrama TTI vs Reflectancia de Vitrinita (Ro) para la Formación La Luna. Ver tabla de datos en el ANEXO 6.

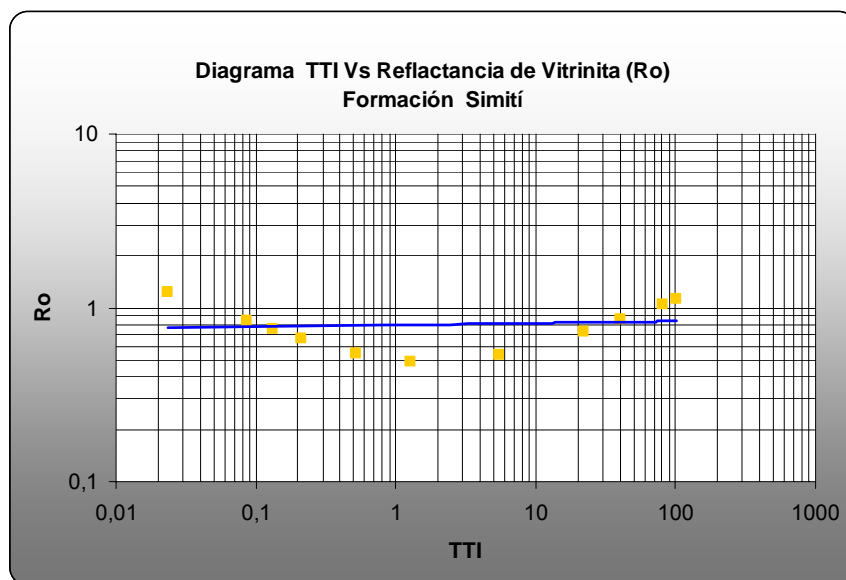


Figura 25. Diagrama TTI vs Reflectancia de Vitrinita (Ro) para la Formación Simití. Ver tabla de datos en el ANEXO 6.

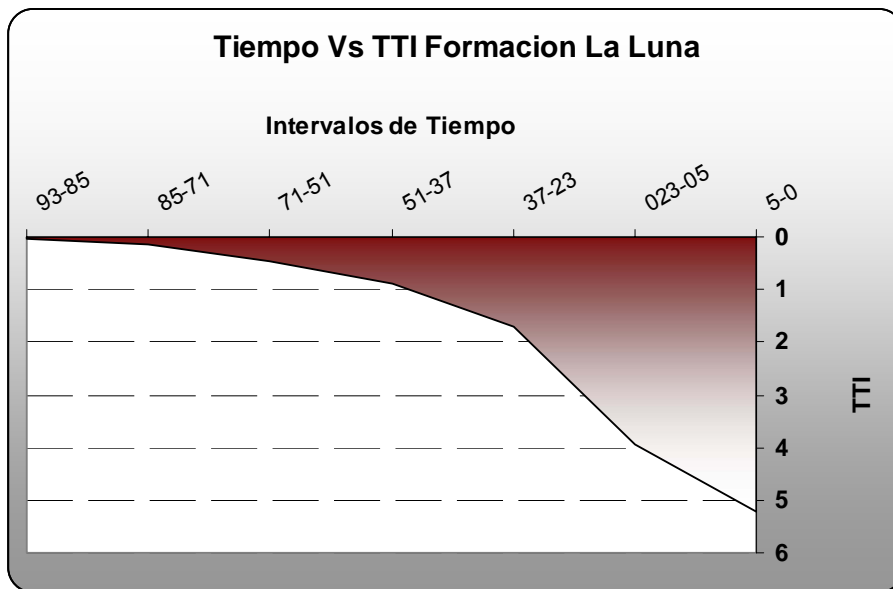


Figura 26. Diagrama Tiempo contra TTI para la Formación La Luna.

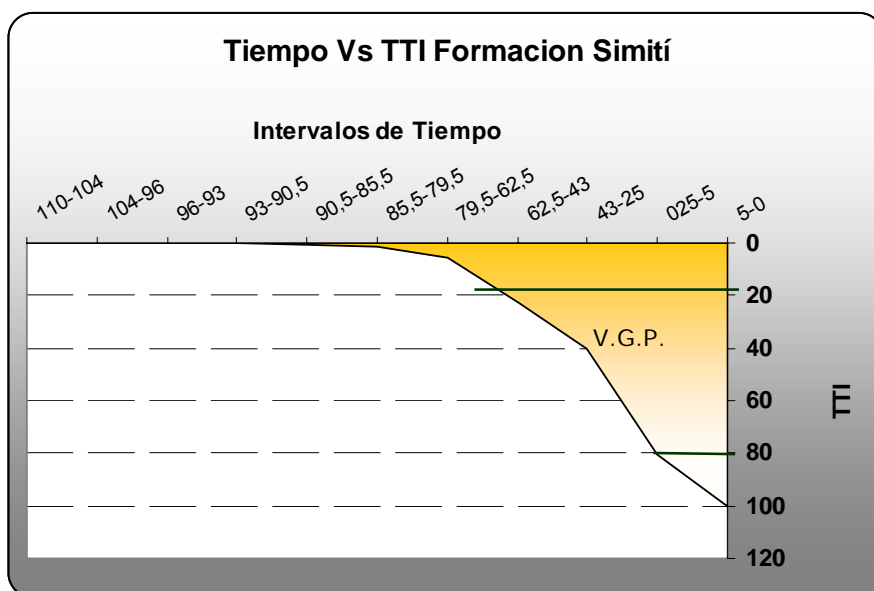


Figura 27. Diagrama Tiempo contra TTI para la formación Simití. Ventana de generación del petróleo (V.G.P.)

8. CONCLUSIONES

Según el TOC la cantidad de materia orgánica se mantiene de buena a excelente pasando por regular en la Formación El Salto.

El Tmax disminuye de base a tope mostrando una madurez termal mayor en la Formación Rosablanca y menor en la Formación La Luna.

La reflectancia de vitrinita de los análisis de laboratorio muestra un valor que aumenta desde la Formación Rosablanca hasta la Formación Simití, después desde esta disminuye hasta la formación La Luna. Lo que podría ser indicador de un retrabajamiento producto de la erosión de la unidad anterior y sedimentación posterior sobre una cuenca fría?, que coincide con la falta de espesor aflorante de la Unidad Tablazo.

Las planchas 85 y 96, presentan una variación significativa hacia el norte donde aflora gran parte de la Formación La Luna en la Plancha 85, la cual, se comporta como una roca de buena madurez termal y con gran potencial generador. En la Plancha 96 encontramos la Formación Rosablanca que pasa a ser una roca sobremadura y con bajo potencial generador de hidrocarburos. La Formación Simití representa en la Plancha 96 un buen ejemplo de roca generadora ya que su contenido de materia orgánica es bueno y alcanza una madurez termal apropiada; esta formación varía hacia el norte en la Plancha 85, con una disminución en su potencial generador y bajo TOC.

De las cinco formaciones aflorantes en el flanco este de la Serranía de San Lucas, la Formación La Luna en el punto de modelado muestra que no alcanzó la madurez

necesaria para la generación de hidrocarburos, lo que indica que podría estar la ventana a un punto mas profundo de la cuenca. La Formación Simití en el punto de modelado se caracteriza por alcanzar al madurez necesaria para la generación de hidrocarburos. En resumen, la Formación La Luna, seguida de la Formación Simití se caracterizan por tener las mejores características de rocas generadoras. Estos resultados son similares a los reportados por García y Carvajal, 2006 (IX Simposio Bolivariano de exploración en cuencas sub-andinas, Cartagena 2006).

Según el modelamiento geoquímico la Formación La Luna se ve afectada por dos periodos posteriores de aporte y erosión de sedimento, lo cual representa cambios en la subsidencia de la cuenca e historia termal, alcanzando profundidades hasta de 1,8Km y temperaturas hasta de 90 °C aproximadamente, pero, según el TTI y Ro calculado no alcanza la ventana de generación de hidrocarburo.

La Formación Simití fue igualmente afectada por estos dos periodos de aporte/erosión, además del contacto discordante en su base por la erosión de la Formación Tablazo. Alcanza profundidades hasta de 2.9Km y temperaturas hasta de 131°C aproximadamente. Según el TTI y Ro calculado la Formación Simití alcanza la ventana de generación de hidrocarburos a los 25 millones de años aproximadamente.

Esto hace referencia a la madurez alcanzada por La Luna y Simití según los análisis de Tmax, donde la primera alcanza solo una madurez temprana mientras que la segunda alcanza el pico de madurez termal. La reflectancia de Vitrinita calculada con el método de Lopatin valida las Reflectancia medidas sobre las muestras de las formaciones La Luna y Simití, donde La Luna es inmadura con promedio de Ro= 0.5; mientras la Formación Simití alcanza el pico de generación con promedio de Ro=1.

REFERENCIAS CITADAS

ALLEN AND ALLEN. Basin Analysis Principles and Applications. Blackwell Sciences LTD. P. 451. 1990.

BARRERO, D., et al., (1969). Actividad Ígnea y Tectónica en la Cordillera Central durante el Meso-Cenozoico. Boletín Geológico. Vol. 17 N°. 1-3. pp 145-173. Bogotá.

BOGOTÁ, J. Y ALUJA, J., (1981). Geología de la Serranía de San Lucas. Geología Norandina, v. 4. Bogotá.

B.P. TISSOT, D.H. WELTE. Petroleum formation and occurrence. Second revised and enlarged. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg 1984.

DE LA ESPRIELLA, R. (1960). Investigaciones Mineras de la Región del Bajo Magdalena, Hierro en Barranco de Loba, Bolívar., Yeso en el Banco, Magdalena y Oro en San Martín de Loba, Bolívar. Min. Minas. Informe 1365. 17 p. Bogotá.

DOUGLAS W. WAPLES. Time and Temperature in Petroleum Formation: Application of Lopatin's Method to Petroleum Exploration. AAPG. Bull. 64. 1982.

ETAYO, F. *et al.* (1983). (Publicado en 1986). Mapa de terrenos geológicos de Colombia. Pub. Geol. Especial INGEOMINAS No. 14-1:1-235. Bogotá.

INGEOMINAS-UIS. Cartografía geológica de la 9.600 km² de la Serranía de San



Lucas: planchas 55 (El Banco), 64 (Barranco de Loba), 85 (Simití) Y 96 (Bocas del Rosario): aporte al conocimiento de su evolución geológica. Diciembre 2006.

J. ESPITALIÉ. Termal Modeling in Sedimentary Basin. Institut Fracais Du Petrole. Fracia 1986.

LESLIE B. MAGOON AND WALLACE G. DOW. The Petroleum System from Source To Trap. AAPG memoir 60. Tulsa, Oklahoma, 1997.

JOHN B. CURTIS AND GUNTER FAURE. Accumulation of organic matter in the rome trough of the appalachian basin and its subsequent thermal history. AAPG bulletin Vol.81/3 marzo 1997. pp 424-437.

M. L. BORDENAVE. Applied Petroleum geochemistry. Exploration division, TOTAL. 1993. Paris

ORTIZ H. Nuevas Consideraciones acerca del Estado de Madurez de la formación La Luna en el Valle Medio del Magdalena Colombia. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2004.

OTERO M. I.. Modelamiento y Evolución del Cierre Sur del Sinclinal del Nuevo Mundo y Su utilidad en el Procesamiento Sísmico. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 2001.

ROYERO, J. M. Y CLAVIJO, J. (2002). Mapa Geológico del Departamento de Bolívar, Escala 1:400.000. Ingeominas. Memoria explicativa, pp. 1-99. Bucaramanga.

TOUSSAINT, J. Y RESTREPO, J. (1982). Metamorfismos Superpuestos en la



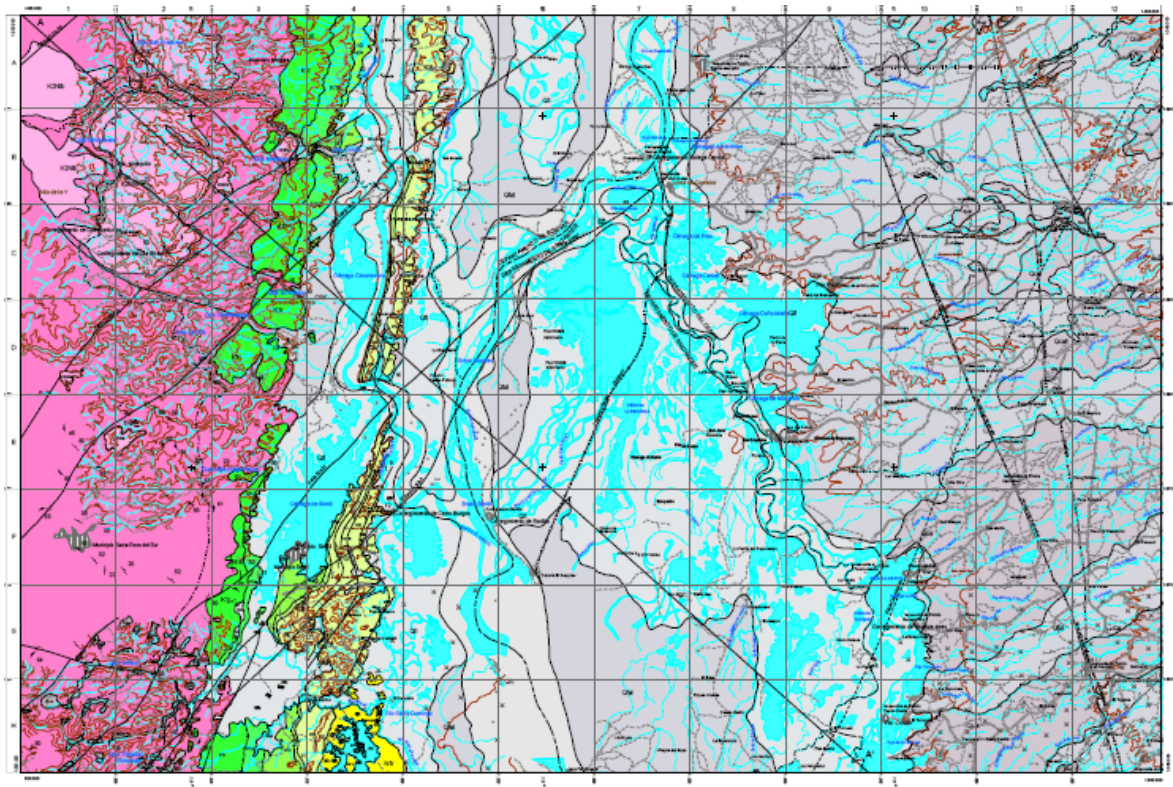
Cordillera Central de Colombia. Quinto Congreso Latinoamericano de Geología.
Memoria, pp 505-512. Argentina.



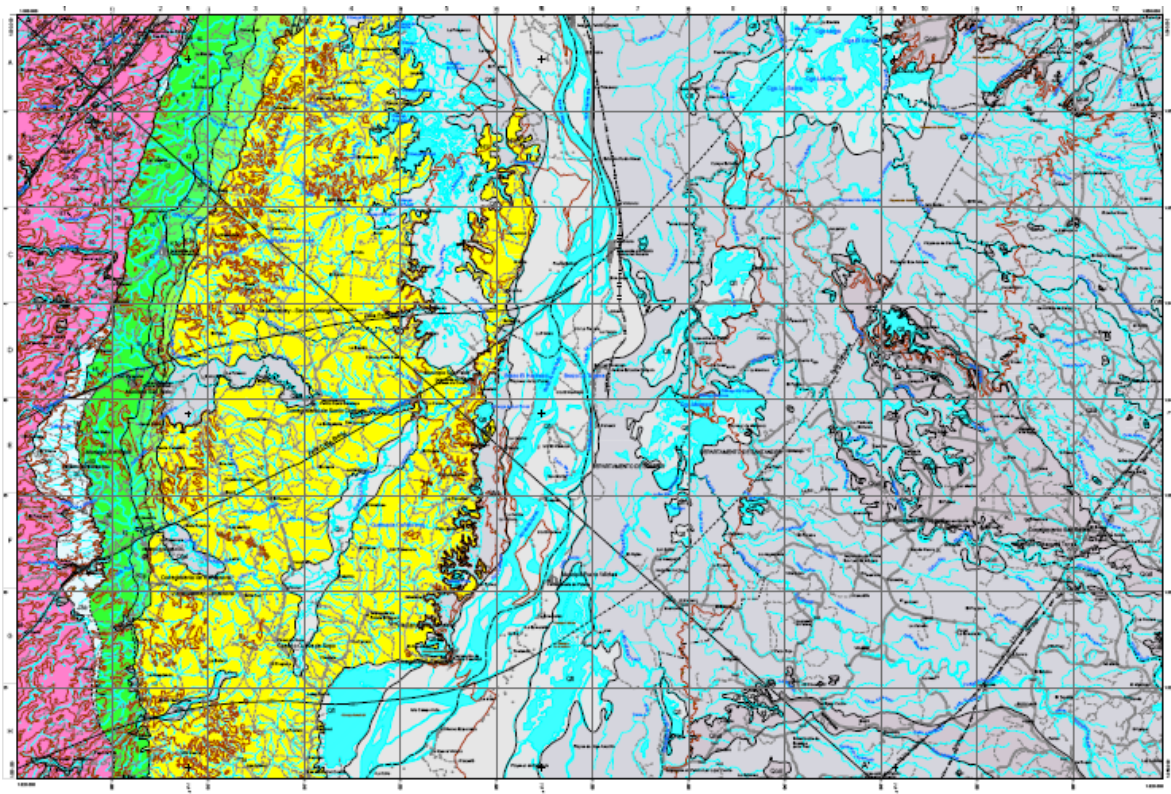
ANEXOS

Anexo 1. Mapas geológicos actualizados, planchas 85 y 96. Ver mejorada en archivo PDF, carpeta anexos.

PLANCHA 85



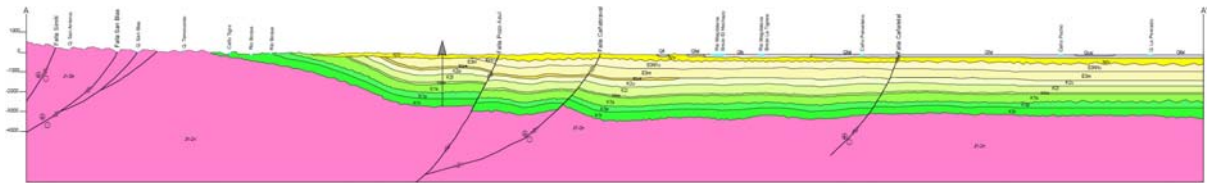
PLANCHA 96



Anexo 2. Columna Estratigráfica generalizada de las planchas 85 y 96, Serranía de san Lucas. Ver mejorada en archivo Corel Dra. 12.0, carpeta anexos.

Edad	Unidad	Epesor	Litología	Estructuras	Descripción
MIOCENO MEDIO - PLEISTOCENO	Grupo Real	800 Mt			Hacia el tope areniscas tobáceas deleznales, color violeta, gris amarillento, de grano fino a grueso, intercaladas con capas gruesas de gravas.
CRETACICO SUPERIOR I	F La Luna	460 Mt			En parte inferior una lodolita fisil gris oscura, con concreciones micriticas
	Kes	50 Mt			En la parte inferior calizas Wackstones y
	F Similiti	460 Mt			Lodolitas gris oscuras fisiles, hacia la parte media alternancias de areniscas
	F Paja	180 Mt			Alternancia de lodolitas calcáreas gris oscuras, en capas gruesas y muy
CRETACICO INFERIOR	F Rosablanca	360 Mt			Hacia la base calizas masivas fosilíferas con bioclastos compactas de color gris tipo Wackstone, en la parte media y
	J3a	300 Mt			Capas gruesas de conglomerados clasto soportado con intercalaciones de capas muy delgadas de cuarzo arenitas y areniscas líticas de grano fino. Areniscas
JURASICO INFERIOR. MEDIO	Formacion Norean	1080 Mt			Secuencia seudoestratificada en capas medias a gruesas planas a ligeramente onduladas paralelas de lavas rioliticas principalmente, riocaticas y daciticas y

Anexo 3. Corte generalizado de la plancha 96. Ver mejorada en archivo JPG, carpeta anexos.



Anexo 4. Tablas de datos del diagrama de subsidencia.

FORMACION	LITOLOGIA	Tn	ϕ_0	c	z	ϕ_n
REAL	areniz+lodo	175	0,45	0,0007	175	0,39811766
dis. colorado						
MUGROSA	arenisca	345	0,4	0,0003	520	0,34222368
LA PAZ	arenisca	80	0,4	0,0003	600	0,33410808
dis. lizama						
UMIR	lodolita	275	0,5	0,0007	875	0,27099709
LA LUNA	lodolita calcar	375	0,5	0,0005	1250	0,26763071
EL SALTO	lodolita calcar	75	0,5	0,0006	1325	0,22579062
SIMITI	lodolita calcar	350	0,5	0,0005	1675	0,21639557
dis. Tablazo						
PAJA	lodolita calcar	325	0,5	0,0005	2000	0,18393972
ROSABLANC	caliza	375	0,5	0,0006	2375	0,12025423
		700				

To	Edad	$\phi n1$	Tn1	$\phi n2$	Tn2	$\phi n3$
191,508018	7	0,39811766	191,508018			
0	23	0	0	0		
378,221386	33	0,35132599	349,841105	0,37982649	365,918293	
88,7855887	40	0,34299455	81,0820564	0,37081918	84,6677953	0,39051428
0	55	0	0	0	0	0
400,951598	83	0,28811454	281,612436	0,34562629	306,362856	0,38998493
549,276964	93	0,27959947	381,230259	0,31841581	402,94139	0,34709833
116,131407	96	0,23796131	76,197842	0,27813541	80,438499	0,30846491
548,523098	110	0,22607303	354,376524	0,25745839	369,355122	0,28064993
0	115	0	0	0	0	0
530,439182	130	0,19216571	328,309402	0,21884377	339,521828	0,23855696
659,809326	140	0,12673624	377,783528	0,14813264	387,272337	0,16428588
1190,24851			2421,94117		2336,47812	

Tn3	$\phi n4$	Tn4	$\phi n5$	Tn5	$\phi n6$	Tn6
87,4037764						
0	0					
328,640732	0,41244716	341,204714				
420,642943	0,38697423	448,00479	0,41451456	469,078243		
83,9663882	0,35146428	89,5335482	0,38168975	93,9103038	0,47799874	111,236712
381,262977	0,312892	399,153482	0,36810127	434,027696	0,40428016	460,386795
0	0	0	0	0	0	0
348,311792	0,26596324	361,316496	0,312892	385,99404	0,34364464	404,079264
394,757796	0,187187	405,880149	0,22749041	427,055753	0,25457821	442,574483
2044,98641		2045,09318		1810,06604		1418,27725

$\phi n7$	Tn7	$\phi n8$	Tn8	$\phi n9$	Tn9
0,41972851	472,643502				
0	0	0			
0,35677599	412,328498	0,42500805	461,257916		
0,2662959	449,64266	0,32852341	491,312233	0,39925811	549,162075
	1334,61466		952,570149		549,162075

Edad	Rosablanca	Paja	Simiti	el salto	la luna	umir
150	0	0				
140	549,162075	0	0	0	0	0
130	1210,41999	661,257916		0		
115	1010,41999	461,257916		0	0	0
110	1483,06349	933,901418	472,643502	0	0	0
96	1594,3002	1045,13813	583,880214	111,236712	0	0
93	2063,37845	1514,21637	1052,95846	580,314955	469,078243	0
83	3404,58316	2855,42109	2394,16317	1921,51967	1810,28296	1341,20471
55	2404,58316	1855,42109	1394,16317	921,519669	810,282957	341,204714
40	2491,98694	1942,82486	1481,56695	1008,92345	897,686734	428,60849
33	3857,90523	3308,74316	2847,48524	2374,84174	2263,60503	1794,52678
23	2857,90523	2308,74316	1847,48524	1374,84174	1263,60503	794,526784
7	3049,41325	2500,25117	2038,99326	1566,34976	1455,11305	986,034802
0	3049,41325	2500,25117	2038,99326	1566,34976	1455,11305	986,034802

paz esmerald	mugrosa	real
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
0	0	0
87,4037764	0	0
1453,32207	1365,91829	0
453,32207	365,918293	0
644,830088	557,426311	191,508018
644,830088	557,426311	191,508018

Anexo 5. Tablas de datos del diagrama Tiempo-Temperatura.

formacion	tiempo	q (W*K/m)	T superficie (°C)	λ matriz	λ fluido(w)	x
SIMITI	96	0,05	293,15	1,5	0,6	472,643502
EL SALTO	93	0,05	289,15	1,5	0,6	460,386795
LA LUNA	83	0,05	289,15	1,5	0,6	434,027696
UMIR	40	0,05	293,15	1,5	0,6	399,153482
LA PAZ	33	0,045	293,15	1,8	0,6	381,262977
MUGROSA	7	0,045	293,15	1,8	0,6	369,355122
REAL	3,5	0,045	293,15	1,8	0,6	354,376524

Φ_n	λ roca	x/λ	$\Sigma(x/\lambda)$
0,41972851	1,0210911	462,880834	462,880834
0,40428016	1,03564762	444,540004	907,420839
0,36810127	1,07055513	405,423024	1312,84386
0,312892	1,12610532	354,454839	1667,2987
0,28064993	1,3224171	288,307658	1955,60636
0,25745839	1,35654323	272,276707	2227,88307
0,22607303	1,40413303	252,381018	2480,26408

formacion	tiempo	q (W*K/m)	T superficie (°C)	λ matriz	λ fluido(w)	x
LA LUNA	83	0,05	289,15	1,5	0,6	434,027696
UMIR	40	0,05	293,15	1,5	0,6	399,153482
LA PAZ	33	0,045	293,15	1,8	0,6	381,262977
MUGROSA	7	0,045	293,15	1,8	0,6	369,355122
REAL	3,5	0,045	293,15	1,8	0,6	354,376524

Φn	λ roca	x/λ	$\Sigma(x/\lambda)$
0,36810127	1,07055513	405,423024	405,423024
0,312892	1,12610532	354,454839	759,877863
0,28064993	1,3224171	288,307658	1048,18552
0,25745839	1,35654323	272,276707	1320,46223
0,22607303	1,40413303	252,381018	1572,84325

formacion simiti			formacion la luna		
tiempo	temperatura	temperatura °	tiempo	temperatura	temperatura °c
110	293,15	20	120		
96	316,294042	43,1440417	96		
93	334,521042	61,3710419	93	293,15	20
83	354,792193	81,6421931	83	309,421151	34,2711512
40	376,514935	103,364935	40	331,143893	55,9938932
33	381,152286	108,002286	33	340,318348	65,1683484
7	393,404738	120,254738	7	352,5708	77,4208002
3,5	404,761884	131,611884	3,5	363,927946	88,777946

Anexo 6. Tablas de datos del cálculo del TTI y Ro.

Formación	Intervalo de T	ΔT (Ma)	rn	Intervalo TTI	TTI Total	Ro
LA LUNA	20-30	8	0,00390625	0,03125	0,03125	1,1282182
	30-40	14	0,0078125	0,109375	0,140625	0,74115854
	40-50	20	0,015625	0,3125	0,453125	0,56190151
	50-60	14	0,03125	0,4375	0,890625	0,5069488
	60-70	13	0,0625	0,8125	1,703125	0,48765659
	70-80	18	0,125	2,25	3,953125	0,51146905
	80-90	5	0,25	1,25	5,203125	0,53118817

intervalos de Tiempo	
93-85	
85-71	
71-51	
51-37	
37-23	
023-05	
5-0	

Formación	Intervalo de T	ΔT (Ma)	rn	Intervalo TTI	TTI Total	Ro max
SIMITÍ	20-30	6	0,00390625	0,0234375	0,0234375	1,22
	30-40	8	0,0078125	0,0625	0,0859375	0,85
	40-50	3	0,015625	0,046875	0,1328125	0,75
	50-60	2,5	0,03125	0,078125	0,2109375	0,67
	60-70	5	0,0625	0,3125	0,5234375	0,55
	70-80	6	0,125	0,75	1,2734375	0,49
	80-90	17	0,25	4,25	5,5234375	0,54
	80-90	28	0,25	7	12,5234375	0,63
	90-100	19,5	0,5	9,75	22,2734375	0,73
	100-110	18	1	18	40,2734375	0,86
	110-120	20	2	40	80,2734375	1,05
	120-130	5	4	20	100,273438	1,12

Intervalo de T	Intervalos de Ro
110-104	1,22
104-96	0,93
96-93	1,01
93-90,5	0,87
90,5-85,5	0,61
85,5-79,5	0,52
79,5-62,5	0,52
	0,56
62,5-43	0,60
43-25	0,69
025-5	0,86
5-0	0,71

Nombre de archivo: COMPLETO
Directorio: C:\Documents and Settings\Jorge Eduardo Pinto\Escritorio\JENNY
G
Plantilla: C:\Documents and Settings\Jorge Eduardo Pinto\Datos de
programa\Microsoft\Plantillas\Normal.dot
Título: ESTUDIO PETROGRAFICO Y GEOQUIMICA ORGANICA DE LAS
ROCAS CRETACIAS DE LAS PLANCHAS IGAC 85 Y 96 DE LA SERRANIA DE SAN
LUCAS
Asunto:
Autor: danrik
Palabras clave:
Comentarios:
Fecha de creación: 05/03/2007 15:37:00
Cambio número: 10
Guardado el: 05/03/2007 16:39:00
Guardado por: uis
Tiempo de edición: 49 minutos
Impreso el: 05/03/2007 16:40:00
Última impresión completa
Número de páginas: 110
Número de palabras: 16 386 (aprox.)
Número de caracteres: 90 129 (aprox.)