

**EVOLUCIÓN TECTONO - SEDIMENTARIA DEL SINCLINAL DE NUEVO
MUNDO, CUENCA SEDIMENTARIA VALLE MEDIO DEL MAGDALENA
COLOMBIA, DURANTE EL OLIGOCENO - MIOCENO**

VICTOR MANUEL CABALLERO ORTIZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
MAESTRIA EN GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2010**

**EVOLUCIÓN TECTONO - SEDIMENTARIA DEL SINCLINAL DE NUEVO
MUNDO, CUENCA SEDIMENTARIA VALLE MEDIO DEL MAGDALENA
COLOMBIA, DURANTE EL OLIGOCENO - MIOCENO**

VICTOR MANUEL CABALLERO ORTIZ

**Tesis de grado para optar el título de
Master en Geología**

**Director:
JORGE EDUARDO PINTO
M.Sc., Geología**

**Codirector:
ANDRES ROBERTO MORA BOHORQUEZ
PhD., Geología**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
MAESTRIA EN GEOLOGIA
BUCARAMANGA
2010**

DEDICATORIA

A mi esposa Dora, a mis hijos Laura y Juan

AGRADECIMIENTOS

Hay muchas personas valiosas que quiero agradecer: a mi director Dr. Andrés Mora por haberme enseñado como profesor y dado el estímulo inicial para emprender este proyecto y facilitar la interacción con muchos otros científicos de la tierra de los cuales he aprendido bastante, entre ellos el Dr. Mauricio Parra a quien debo agradecer por la crítica constructiva y su ayuda desinteresada en el planteamiento y desarrollo de las ideas en este trabajo, y al Dr. Brian Horton, Dr. Junsheng Nie quienes compartieron sus puntos de vista durante el trabajo de campo.

Debo agradecer también a mis profesores Eduardo Roselló, Mario García, Germán Bayona, Diego García, James Kellogs, Timothy Cross, Webster Mohriak, Carlos Rios, Germán Bayona, Carlos García, Ruth Zárate, Pedro García, Juan Dario Restrepo, Hugo Andrade, quienes en estos dos años en el ICP o a la UIS compartieron su conocimiento en los seminarios de la Maestría.

Quiero agradecer especialmente a Jorge Pinto, director de la Escuela de Geología de la UIS por brindarme la oportunidad de sentirme una vez más estudiante de la UIS y por su gran capacidad de gestión lo cual contribuyó a hacer realidad la Maestría; a los estudiantes Erich y Wilson por su valiosa ayuda durante el trabajo de campo, así como a los geólogos Pedro Parra, Ricardo Rivera, David Sanabria y William Aldana por compartir ideas durante el trabajo de campo y oficina.

Mis estudios de maestría pudieron realizarse gracias al soporte económico por parte del Instituto Colombiano del Petróleo en convenio con la Universidad Industrial de Santander cuyos directivos pusieron su confianza en nosotros (la primera promoción), para que iniciáramos con la Maestría en Geología en la UIS y se pudieran realizar estos trabajos de investigación, a todos ellos (Dr. Nestor Saavedra, Dr. Andrés Reyes y muchos otros), mis más sinceros agradecimientos y mi aprecio por su altruismo y sentido del deber al progreso de la sociedad.

También quiero agradecer a muchas otras personas del área administrativa en la Escuela de Geología, Shirley, Carolina y en general a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron en la realización de este trabajo.

CONTENIDO

INTRODUCCION	17
1. DEFINICION DEL PROBLEMA	19
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	20
1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.4 OBJETIVO PRINCIPAL	20
1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	20
2. MACO DE REFERENCIA	22
2.1 MARCO TEÓRICO CUENCAS DE ANTEPAIS	22
2.2 EVOLUCIÓN DE UNA CUENCA DE ANTEPAIS	23
2.3 INFLUENCIAS EN EL REGISTRO SEDIMENTARIO DE ANTEPAIS	23
2.4 PROVENIENCIA EN CUENCAS DE ANTEPAIS.....	27
2.5 MEDICIÓN DE PALEOCORRIENTES.....	28
2.6 FACIES SEDIMENTARIAS.....	29
2.7 CONCEPTO DE NIVEL BASE EN CUENCAS NO MARINAS.....	30
3. ANTECEDENTES.....	32
3.1 LOCALIZACION	32
3.2 CONFIGURACION GEOLOGICA.....	32
3.2.1 Provincias geológicas.....	32
3.2.2 Cronología del relleno sedimentario de la CVM	34
3.2.3 Configuración estructural del sinclinal de nuevo mundo	37
4. METODOLOGIA	39

4.1	CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y CORRELACIONES	39
4.2	ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE DE FACIES.....	39
4.3	PETROGRAFÍA DE CONGLOMERADOS CONTEO DE CLASTOS.....	41
4.4	MEDICIÓN DE PALEOCORRIENTES.....	41
4.5	MODELAMIENTO DE PROVENIENCIA.....	41
5.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	43
5.1	CARTOGRAFIA.....	43
5.2	RESUMEN DESCRIPCION DE LITOFACIES Y SISTEMA DE DEPOSITACION	43
5.3	DISTRIBUCION DE FACIES EN EL SINCLINAL DE NUEVO MUNDO ...	48
5.3.1	Formación la paz.....	48
5.3.2	Formación Esmeraldas	50
5.3.3	Formación Mugrosa	50
5.3.4	Formación Colorado.....	56
5.3.5	Formación Real	59
5.3.6	Fm Mesa	60
5.4	PETROGRAFIA DE CONGLOMERADOS.....	60
5.4.1	Petrografía de conglomerados	60
5.4.2	Conglomerados de la Fm La Paz	61
5.4.3	Formación Esmeraldas	61
5.4.4	Composición de conglomerados de la Fm Mugrosa	62
5.4.5	Composición de Clastos de la Fm Colorado	62
5.4.6	Composición de Clastos de la Fm Real	63

5.4.7	Distribución en el tiempo de la Composición de Clastos.....	64
5.5	RESUMEN PETROGRAFÍA DE ARENITAS	68
5.5.1	Formación Esmeraldas	68
5.5.2	Formación Mugrosa	69
5.5.3	Formación Colorado.....	69
5.5.4	Formación real	71
5.6	DISTRIBUCIÓN DE PALEOCORRIENTES.....	71
5.7	ESTRATIGRAFÍA DE ÁREAS FUENTE	73
5.8	MODELAMIENTO DE PROVENIENCIA.....	77
5.9	CORRELACIÓN ESTRATIGRAFICA.....	79
6.	ANALISIS DE RESULTADOS	83
6.1	DISTRIBUCIÓN DE FACIES	83
6.2	EVOLUCION TECTONO-SEDIMENTARIA	86
6.2.1	Paleoceno	86
6.2.2	Eoceno temprano y medio (formación La Paz)	86
6.2.3	Eoceno tardío (formación Esmeraldas)	87
6.2.4	Oligoceno a Mioceno medio	89
6.2.5	Final del Mioceno medio a Mioceno tardío.....	89
6.3	SECUENCIA DE DESCAPOTAMIENTO	91
7.	CONCLUSIONES	93
	BIBLIOGRAFIA.....	96

8.	ANEXO 1: ANALISIS DE LITOFACIES	102
8.1	DESCRIPCION E INTERPRETACIÓN DE LITOFACIES	102
8.1.1	Facies de Conglomerados en la Fm La Paz	102
8.1.2	Facies de arenitas en la Fm La Paz	102
8.1.3	Facies de conglomerados en la Fm Esmeraldas	104
8.1.4	Facies de arenitas en la Fm Esmeraldas	104
8.1.5	Facies de Lodolitas de la Formación Esmeraldas	107
8.2	DESCRIPCION E INTERPRETACIÓN DE LITOFACIES	108
8.2.1	Facies de Conglomerados de la Formación Mugrosa	108
8.2.2	Facies de Arenitas de la Fm Mugrosa.....	110
8.2.3	Facies de Lodolitas de la Formación Mugrosa.....	114
8.2.4	Paleosuelos de Mugrosa.....	115
8.2.5	Capas de Yeso en Mugrosa.....	116
8.2.6	Facies de Lodolitas y arenitas laminadas en Mugrosa.....	117
8.3	DESCRIPCION E INTERPRETACIÓN DE LITOFACIES	118
8.3.1	Facies de conglomerados de la Formación Colorado	118
8.3.2	Facies de Arenitas de la Fm Colorado	120
8.3.3	Facies de Lodolitas de la Formación Colorado	122
8.4	DESCRIPCION E INTERPRETACIÓN DE LITOFACIES	124
8.4.1	Facies de Conglomerados de la Formación Real.....	124
8.4.2	Facies de Arenitas de la Fm Real	126
8.4.3	Lodolitas de la Formación Real.....	127
9.	ANEXO 2: PETROGRAFIA DE ARENITAS.....	129

9.1	PETROGRAFÍA DE ARENITAS	129
9.2	FORMACIÓN ESMERALDAS	129
9.3	FORMACIÓN MUGROSA	136
9.4	FORMACIÓN COLORADO	145
9.5	FORMACIÓN REAL.....	154

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Formación de cuenca atrás de arco o de antepais.....	22
Figura 2. Geometría y depocentros en una cuenca de antepais.....	23
Figura 3. Paleocorrientes y su relación con el concepto de cuencas.....	26
Figura 4. Secuencia idealizada de exumación.....	27
Figura 5. Gráfica de un conjunto bimodal de datos de medidas de artesas	28
Figura 6. Sucesiones de facies verticales en una caída y subida del nivel base ...	30
Figura 7. Localización del Sinclinal de Nuevo Mundo.....	33
Figura 8. Provincias geológicas de basamento de Colombia	34
Figura 9. Estratigrafía generalizada de la Cordillera Oriental y del Valle Medio Magdalena	36
Figura 12. Contacto discordante entre las formaciones Esmeraldas y Mugrosa ...	51
Figura 13. Columnas estratigráficas medidas 5 y 7 del techo de la Fm Esmeraldas y de la Fm Mugrosa en el SNM.....	53
Figura 14. Columnas estratigráficas medidas 3, 4 y 1 del techo de la Fm Esmeraldas y de la Fm Mugrosa en el SNM.....	54
Figura 15. Columnas estratigráficas medidas 1-7-9 de la Fm Mugrosa, sección de correlación paralela al flanco oriental del SNM.....	55
Figura 16. Columnas estratigráficas medidas 2, 1 7 y 9 de la Fm Colorado, paralelas al flanco oriental del SNM.....	57
Figura 17. Columnas estratigráficas medidas 4 y 1 del techo de la Fm Colorado en el SNM	58
Figura 18. Columnas estratigráficas medidas 6, 4, 7 de la Formación Real en el SNM	60
Figura 19. Conglomerado basal de la Fm La Paz.....	61

1.

Figura 20. Conglomerados de la Fm Mugrosa.....	62
Figura 21. Composición de conglomerados de la Fm Colorado	63
Figura 22. Composición de conglomerados de la Fm Real	64
Figura 23. Variación en la composición de clastos Sección 1	65
Figura 24. Variación en la composición de clastos Sección 7.	66
Figura 25. Variación en la composición de clastos Sección 9.	67
Figura 26. Diagrama triangular de Folk para las arenitas	68
Figura 27. Variación en la composición en sección delgada de muestras de arenitas de la Fm Colorado.....	70
Figura 29. Columna estratigráfica generalizada de áreas fuente.....	74
Figura 30. Modelamiento de proveniencia.	79
Figura 32. Marco cronológico.....	84
Figura 33. Esquema de distribución de facies en rocas del Cenozoico en el Sinclinal de Nuevo Mundo	85
Figura 34. Evolución durante el Paleoceno – Oligoceno del SNM.....	88
Figura 35. Evolución durante el Mioceno – Plioceno del SNM.	90
Figura 36. Evolución Tectono - sedimentaria del SNM	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Columna estratigráfica medida por sección y totales medidos	40
Tabla 3. Sucesiones de facies e interpretación de ambientes para las unidades estudiadas en el Sinclinal de Nuevo Mundo	46
Tabla 4. Espesor y tamaño de clastos del conglomerado basal de la Formación La Paz en varios sitios del Sinclinal de Nuevo Mundo	49
Tabla 5. Litologías indicadoras de proveniencia y unidades potenciales en las cordilleras Central y Oriental	75
Tabla 6. Conteo de clastos utilizados para el modelamiento de proveniencia	77

RESUMEN

TITULO

EVOLUCIÓN TECTONO - SEDIMENTARIA DEL SINCLINAL DE NUEVO MUNDO, CUENCA SEDIMENTARIA VALLE MEDIO DEL MAGDALENA COLOMBIA, DURANTE EL OLIGOCENO – MIOCENO

AUTOR

VÍCTOR MANUEL CABALLERO ORTIZ**

PALABRAS CLAVE

ANALISIS DE CUENCAS, PALEOCORRIENTES, ANALISIS DE FACIES, MODELAMIENTO DE PROVENIENCIA, CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA, PETROGRAFIA DE CONGLOMERADOS

DESCRIPCION

La Cuenca intramontana del Valle Medio del Magdalena (CVM), tiene una historia compleja de evolución. En el comienzo fue una cuenca de antepais asociada al levantamiento de la Cordillera central desde el final del Cretácico hasta el Paleoceno. Posteriormente pasa a ser una cuenca de antepais asociada al borde W de la Cordillera Oriental a medida que ocurre su levantamiento desde al menos el Eoceno tardío. De esta forma la CVM contiene el registro sedimentario y la historia del levantamiento de ambas cordilleras.

A fin de determinar la temporalidad del levantamiento de la Cordillera Oriental y la deformación en esta parte de la cuenca, se llevó a cabo mediciones de paleocorrientes, petrografía de conglomerados y arenitas, análisis de facies y modelamiento de proveniencia de sedimentos en los afloramientos del Sinclinal de Nuevo Mundo ubicado al Este de la CVM.

Se identificó cambio en la dirección de paleocorrientes de E-NE a W_NW en la parte superior de la Formación Esmeraldas (Eoceno tardío), las cuales persisten en las unidades suprayacentes Mugrosa, Colorado y Real. De la misma manera, el estudio de proveniencia indica que hubo al menos dos fuentes de sedimento, una para las unidades La Paz y Esmeraldas, otra para las unidades Mugrosa y Colorado y ambas contribuyeron con sedimento para la Formación Real más superior en la secuencia. La distribución de facies muestra facies proximales hacia el S-SW en la Fm La Paz, W en la Fm Esmeraldas, E en la Fm Mugrosa y E-NE en las formaciones Colorado y Real. La anterior información derivada directamente de los afloramientos nos permite documentar el inicio de levantamiento de la Cordillera Oriental en esta parte de la CVM. Este es un hallazgo muy importante para definir la temporalidad de la deformación en la exploración de hidrocarburos en el piedemonte occidental de la Cordillera Oriental de Colombia.

*Tesis de Maestría

**Facultad de Ciencias Fisicoquímicas. Escuela de Geología. Director: M.Sc. Jorge Eduardo Pinto. Codirector: Ph.D. Andrés Roberto Mora Bohórquez

SUMMARY

TITLE:

EOCENE- MIOCENE TECTONO-SEDIMENTARY EVOLUTION OF THE NUEVO MUNDO SINCLINE, MIDDLE MAGDALENA VALLEY BASIN OF COLOMBIA*

AUTHOR:

VÍCTOR MANUEL CABALLERO ORTIZ**

KEYWORDS

BASIN ANALYSIS, PALEOCURRENT MEASUREMENTS, FACIES ANALYSIS, PROVENANCE MODELING, ORIENTAL CORDILLERA, COLOMBIA, CONGLOMERATE PETROGRAPHY

DESCRIPTION

The intramontane Middle Magdalena Valley Basin (MMV) has a multistoried evolution. At the beginning it was a foreland basin associated to the Central Cordillera uplift since the end of the Cretaceous to Paleocene. Now, it is a broken foreland basing associated to the Oriental Cordillera uplift since at least the late Eocene time. In this way, the MMV holds the sedimentary record and the geologic uplift story of both ranges.

With the aim to constrain the timing of uplift of the Oriental Cordillera in this part of the basin, it was carried out paleocurrent measurements, conglomerate and sandstone petrography, facies and provenance modeling of the sedimentary record outcropping in the Nuevo Mundo Sincline to the east of the MMV.

It was identified a change in paleocurrent direction from E – NE to W – NW in the upper part of the Esmeraldas Formation (late Eocene) which remains in the overlying Mugrosa, Colorado and Real formations. In the same way, the petrography study and provenance modeling indicate that there was at least two area sources of sediments, one for the La Paz and Esmeraldas units, other for Mugrosa, Colorado units and both contributed with sediment to the upper Real Formation. Facies distribution shows proximal facies to the S-SW in the La Paz Fm, W in Esmeraldas Fm, E in the Mugrosa Fm and E-NE in the Colorado and Real formations. The above direct information collected from the outcrops let us document the first Oriental Cordillera uplift in this part of the basin as late Eocene. This is a very important finding to the exploration of oil in the western foothills of the Oriental Cordillera of Colombia.

*Master Theses

**Faculty of physicochemical Sciences. Geology School. Directress: M.Sc. Jorge Eduardo Pinto
Codirectress: Ph.D. Andrés Roberto Mora Bohórquez

INTRODUCCION

En márgenes convergentes la carga tectónica que se genera por el cambio de espesor y levantamiento de un cinturón montañoso debido a movimientos horizontales en la litosfera, induce la flexura de la corteza y genera una depresión denominada cuenca de antepais (foreland basin), allí es donde se van a depositar los productos de la erosión de las rocas que se están levantando, este relleno sintectónico de cuenca de antepais, es la base para analizar la historia de deformación del cinturón plegado (Jordan, 1995; DeCelles y Giles, 1996). De los estudios del registro estratigráfico de cuencas de antepais, el análisis de proveniencia de sedimento junto al estudio de dirección de paleocorrientes y sus variaciones en el tiempo geológico y el análisis de la distribución de facies, son algunas de las herramientas más útiles para entender la temporalidad del levantamiento montañoso asociado al sistema sedimentario (DeCelles et al., 1983; Graham et al., 1986; DeCelles et al., 1991).

La Cuenca Sedimentaria del Valle Medio del Magdalena (CVM), ha sido asociada al levantamiento de la Cordillera Central (CC) desde finales del Cretácico hasta el Paleoceno (Cooper et al., 1995; Gomez et al., 2003); dicho levantamiento se dio como respuesta a la acreción de corteza oceánica en la Cordillera Occidental (McCourt et al., 1984); posteriormente, esta cuenca fue dividida en dos por el levantamiento de la Cordillera Oriental (COOr).

La COOr de Colombia es un cinturón orogénico bivergente levantado en el Mioceno medio (Van der Hammen, 1958; Cooper et al., 1999), por reactivación e inversión tectónica de fallas normales de antiguas cuencas sedimentarias del Jurásico superior y Cretácico inferior (Colletta et al., 1990; Cooper et al., 1995; Mora et al., 2006), inducida por la colisión del arco de Baudó-Panamá con el borde NW de Suramérica (Duque-Caro, 1990); el levantamiento de la COOr, dividió en dos la cuenca de antepais anteriormente asociada a la CC y su carga tectónica generó en su dos flancos sendas cuencas de antepais ahora asociadas a la COOr; de esta manera, la actual Cuenca Valle Medio del Magdalena contiene la historia del levantamiento de estas dos cadenas montañosas.

La evidencia de deformación asociada al inicio del levantamiento de la Cordillera Oriental (COOr), ha sido determinada por medio de indicadores directos de deformación en varios sectores de la COOr. que indican que dicha deformación inició en el Eoceno medio a tardío en el Sinclinal de Medina (Parra et al., 2009); Oligoceno tardío- Mioceno medio temprano en Norte del Valle Medio del Magdalena (Gómez et al., 2005b), Mioceno medio – Plioceno ultima fase de deformación compresiva al NW de Suramérica (Dengo y Covey, 1993), Mioceno medio durante la Fase Andina de levantamiento de la Cordillera Oriental (Van der

Hammen, 1958; Cooper et al., 1995). En el area del Anticlinorio de Villeta, datación con huellas de fisión en zircón dan una edad minima para el inicio de la exhumación de de ~25 Ma (Parra et al., 2009, Mora et al., 2010).

El Sinclinal de Nuevo Mundo (SNM) es una estructura de ~55 Km de largo por ~30 de ancho que cabecea hacia el Norte y hace parte de cinturón de cabalgamiento de la margen occidental de la CO_r (Figura 7 y 8); ubicado hacia el oriente de la CVM, presenta exposición en afloramientos de un registro estratigráfico Cenozoico de origen continental a transicional de más de 6340m preservados algunos como depósitos sintectónicos que contienen información importante acerca de la evolución de la CC y CO_r.

En este trabajo se hizo levantamiento de 7185 m de columna estratigráfica, la cartografía de aproximadamente 1000 Km² en el área del SNM, 45 estaciones de conteo de clastos para proveniencia de sedimento, 44 secciones delgadas para petrografía de arenitas, 52 estaciones de medición de paleocorrientes; lo anterior permitió determinar la distribución espacial de facies de las unidades Eoceno – Mioceno, realizar un modelamiento de proveniencia para estas unidades utilizando datos de petrografía de arenitas y conglomerados, localizar las áreas fuente de sedimento y determinar la evolución tectono-sedimentaria de las unidades que afloran en el SNM y su correlación con las unidades de la CVM

Con esta información se encontró un cambio en la proveniencia y ubicación de áreas fuente entre los depósitos de las Fm La Paz - Esmeraldas y los depósitos de la Fm Mugrosa y posteriores que concuerda con la distribución de facies analizadas, lo cual nos lleva a proponer el inicio del levantamiento de la Cordillera Oriental de Colombia desde el Eoceno tardío en esta parte de la Cuenca Sedimentaria del Valle Medio del Magdalena, de acuerdo a las edades asignadas a estas unidades, (Morales, 1958; Gómez et al., 2005b) (Figura 36). Este conocimiento es muy importante ya que nos da indicios acerca de la temporalidad de la deformación asociada con el levantamiento de la CO_r y se puede aplicar en estudios más detallados a la determinación de la evolución de los sistemas petrolíferos y de las estructuras favorables para la acumulación de hidrocarburos.

Este hallazgo puede ser mejorado con técnicas más avanzadas de datación termocronológica, de hecho, el equipo del ICP de ha determinado que el levantamiento pudo haber comenzado antes de este periodo, pero no ha quedado registrado en rocas del Sinclinal de Nuevo mundo, posiblemente debido a que la cordillera en levantamiento, no tenía topografía suficiente para generar una red de drenaje y depositar sedimentos durante el Eoceno temprano (Parra et al., 2010).

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Varios estudios regionales en la Cuenca Sedimentaria Valle Medio del Magdalena, en la Cordillera Oriental y en la Cuenca Sedimentaria de los Llanos Orientales en Colombia, han demostrado que el registro sedimentario fue depositado en ambiente de cuencas de antepais asociadas primero a la Cordillera Central entre el final del Cretácico y principios del Cenozoico, luego a la Cordillera Oriental entre Principios del Cenozoico hasta la actualidad (Dengo y Covey, 1993; Cooper et al., 1995; Gómez et al., 2003; Gómez et al., 2005b). La carga tectónica producida por el levantamiento por inversión de la Cordillera Oriental durante el Cenozoico, generó condiciones de acomodación en los frentes orogénicos de cabalgamiento en ambos flancos de la cordillera para que se depositaran gruesas secuencias de estratos sinorogénicos que hoy están aflorando en cuencas paralelas al sistema montañoso, como es el caso del Sinclinal de Medina y en este caso el Sinclinal de Nuevo Mundo (Gómez et al., 2003; Gómez et al., 2005a; Parra et al., 2009; Parra et al., 2010).

Por otro lado existen diversas propuestas sobre el momento en que la Cordillera Oriental comienza a levantarse, la temporalidad de los diversos eventos tectonosedimentarios presentes en el registro sedimentario asociado a los frentes de cabalgamiento y en general el establecimiento de los sistemas sedimentarios y petrolíferos, que tienen importantes implicaciones en la exploración de nuevas reservas de petróleo en Colombia (Cooper et al., 1995; Gómez, 2001; Restrepo-Pace et al., 2004; Gómez et al., 2005a).

Anteriores estudios utilizando sísmica y registros de pozos dejan ver que se presentan marcadas diferencias en espesor, litología, proveniencia de sedimento, patrón de distribución de facies entre las unidades que afloran en los dos flancos del SNM sobre el bloque colgante de la Falla La Salina y las unidades identificadas en subsuelo en el bloque yacente (Rubiano, 1995; ICP-Ecopetrol, 1996; Olaya, 2003).

El registro sedimentario del Cenozoico expuesto en el Sinclinal de Nuevo Mundo ofrece la oportunidad de estudiar la etapa inicial de levantamiento de la Cordillera Oriental de Colombia mediante el análisis del patrón de dispersión de los sedimentos, proveniencia de los sedimentos y distribución de facies a lo largo de las secciones expuestas en el sinclinal.

En el estudio que se presenta a continuación se ha trabajado con el equipo de investigación de geología estructural y estratigrafía de cuencas subandinas de

Ecopetrol - ICP, y se ha planteado la siguiente pregunta relacionada con la evolución tectono-sedimentaria del Sinclinal de Nuevo Mundo, la Cuenca Valle Medio del Magdalena y los altos de basamento adyacentes:

1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuál ha sido la evolución y relación tectono-sedimentaria de las unidades litoestratigráficas de superficie y de subsuelo del Oligoceno - Mioceno del área del Sinclinal de Nuevo Mundo - bloque colgante y bloque yacente de la Falla La Salina?

1.3 SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

1. ¿Cuál fue el área fuente del sedimento y cuales las sucesiones de facies de las unidades sedimentarias Oligoceno - Mioceno del Sinclinal de Nuevo Mundo tanto en el bloque colgante como en el bloque yacente de la Falla de La salina?
2. ¿Cuál es la correlación entre las unidades que afloran en los dos flancos del SNM sobre el bloque colgante de la Falla La Salina y las unidades identificadas en subsuelo en el bloque yacente?
3. ¿Cuándo empiezan a reflejar influencia tectónica las unidades sedimentarias Oligoceno - Mioceno en el sector oriental de la Cuenca Valle Medio del Magdalena?
4. ¿Cuándo empieza a levantarse la Cordillera Oriental de Colombia en esta parte de la cuenca?

1.4 OBJETIVO PRINCIPAL

Determinar la evolución tectono-sedimentaria del Oligoceno - Mioceno del área del Sinclinal de Nuevo Mundo, bloque colgante y bloque yacente de la Falla La Salina.

1.5 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar el patrón de distribución de facies, ambientes, direcciones y proveniencia de sedimento de las unidades sedimentarias del Oligoceno y Mioceno de la CVM.
2. Realizar una correlación de unidades sedimentarias entre el bloque colgante y bloque yacente de la Falla de La Salina con el fin de determinar continuidad en el subsuelo de las unidades que afloran en superficie.

3. Establecer un modelo de evolución tectono-sedimentaria del flanco Este de la CVM, en el Sinclinal de Nuevo Mundo, bloque colgante y bloque yacente de la Falla la Salina.
4. Determinar cuando comienza el levantamiento de la Cordillera Oriental de Colombia en esta parte de la cuenca.

2. MACO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO CUENCAS DE ANTEPAIS

Según DeCelles (1996), una cuenca de antepais es una depresión elongada de acomodación potencial de sedimento que se forma sobre la corteza continental entre un cinturón orogénico compresional y el cratón adyacente, principalmente en respuesta a los procesos geodinámicos relacionados a la subducción y los cinturones de cabalgamiento resultantes. (Figura 1).

En las cuencas de antepais la tectónica de placas produce movimientos horizontales en la litosfera los cuales inducen movimientos verticales generando cambios en el espesor de la corteza, cambio en el carácter térmico de la corteza y ajustes isostáticos. Esos movimientos verticales dan origen a la formación de cuencas sedimentarias, el levantamiento de áreas fuente de sedimento y la reorganización de las vías de dispersión de sedimento (Jordan, 1995).

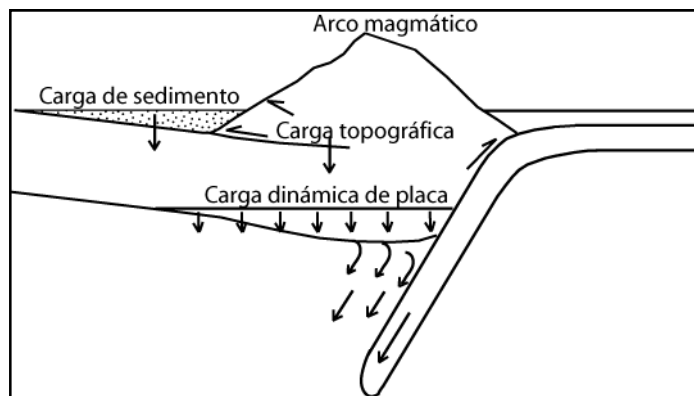


Figura 1. Formación de cuenca atrás de arco o de antepais. "foreland Basin" (Tomado de, DeCelles y Giles, 1996a).

Adyacente a estas cuencas sedimentarias, se produce un cambio en el espesor de la corteza en el cinturón montañoso que se genera por las escamas de cabalgamiento resultantes de la deformación producida por esfuerzos tectónicos horizontales; la carga que produce la topografía así formada genera ajuste isostático en forma de depresión o flexura de la corteza adyacente al cinturón montañoso esta flexura es la cuenca de antepais.

2.2 EVOLUCIÓN TECTONO-SEDIMENTARIA DE UNA CUENCA DE ANTEPAIS

Las cuencas de antepais, su relleno sedimentario y el cinturón orogénico están genéticamente ligados y juntos constituyen el registro geológico de una orogenia. (Jordan et al., 1988).

Simultáneamente al levantamiento del cinturón montañoso, se genera erosión y relleno sedimentario de la depresión formada; debido a esto, el registro estratigráfico es la base para analizar la historia de deformación del cinturón; es decir, el movimiento de las fallas se puede, en principio, deducir del registro sedimentario y mucho mejor si se cuenta con dataciones más directas de los estratos (Figura 2).

De acuerdo con Jordan et al. (1988), el registro estratigráfico de una Cuenca De antepais refleja controles independientes en su desarrollo, unos más importantes que otros: el patrón de subsidencia regional impuesto por la flexura de la placa litosférica sobre el área en donde se ubica la cuenca, la litología del cinturón de cabalgamiento, el clima y los cambios de nivel base.

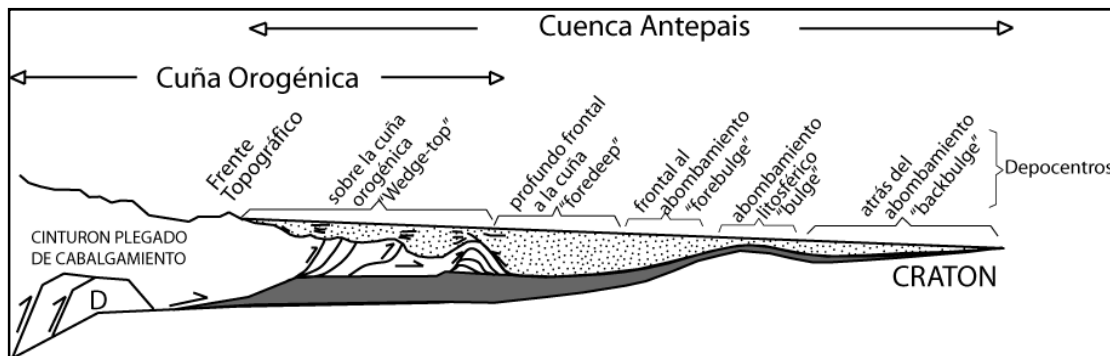


Figura 2. Geometría y depocentros en una cuenca de antepais. Relación genética entre el cinturón de cabalgamiento y el registro sedimentario en una cuenca de antepais, a medida que se propaga el cinturón de cabalgamiento hacia el cratón, el sedimento que se va depositando en el "foredeep" puede incorporarse al "wedge-top" o viceversa. (Modificado de DeCelles y Giles, 1996a).

2.3 INFLUENCIAS EN EL REGISTRO SEDIMENTARIO DE ANTEPAIS

La depositación a largo plazo en una cuenca de antepais requiere de subsidencia tectónica; sin embargo los controles superficiales imparten una fuerte influencia en la estratigrafía del depósito haciendo que la señal puramente tectónica disminuya;

estos controles superficiales son: la litología del cinturón de cabalgamiento, el clima, tipo de drenaje, los cambios de nivel base y el tiempo geológico. La litología, el clima y tiempo geológico influyen directamente el suministro de sedimento a la cuenca, al igual que el levantamiento tectónico. La litología del área fuente y el clima controlan el tamaño de grano, el cual en combinación con cambios del nivel base, tiempo geológico y clima, controlan los ambientes de depósito y el patrón de distribución de facies vertical y horizontal, (Busby et al., 1998).

El suministro y la eficiencia de transporte de sedimento que entra a la cuenca de antepais controla que una cuenca sea sobrellenada (overfilled): gruesas acumulaciones de sedimento que preserva bedforms y estructuras sedimentarias con pocas estructuras erosionales, o no rellena (underfilled): acumulaciones no gruesas poca preservación de estructuras, sedimento retrabajado, erosión (Figura 3); si el suministro de sedimento es mayor a la subsidencia será lo primero, pero si la subsidencia es mayor entonces predomina la segunda situación. En los dos casos se producen asociaciones de facies, arquitectura de cuenca y tasas de acumulación diferentes (Jordan et al., 1988).

El clima y la litología influyen el tipo y tamaño de grano de sedimento que entra a la cuenca de antepais, porque tiene control sobre el tipo de vegetación que se desarrollará en el área aportante y el tipo de meteorización que predominará; si se compara la supervivencia durante el transporte y depositación de litología de calizas en dos cuencas de antepais desarrollándose una en clima húmedo y otra en clima árido, en el primer caso predominará el sedimento fino y materiales en disolución, mientras que en el segundo predominarán los estratos de conglomerados con clastos de caliza o areniscas líticas; sin embargo el favorecimiento a la supervivencia de clastos también está relacionado con la distancia al área fuente y la velocidad de orogénesis, siendo mejor preservadas las litologías preexistentes en facies proximales al cinturón de cabalgamiento y velocidades de orogénesis altas.

El movimiento de cabalgamiento puede exponer nuevas litologías y cambiar la pendiente, el área expuesta a erosión y el patrón de drenaje que lleva sedimento a la cuenca generando a su vez cambios en el caudal de las corrientes y velocidad de suministro de sedimento a la cuenca.

Estas variaciones en suministro pueden generar ciclos cuyo desarrollo tiene que ver con cambios en nivel base, especialmente en cuencas dominadas por depositación aluvial. Sin embargo si la cuenca es parcialmente marina, la distribución de facies se relaciona directamente al balance entre cambios eustáticos del nivel del mar, suministro de sedimento, transporte de sedimento y subsidencia (Jordan et al., 1988).

La progradación a largo plazo en una cuenca de antepais hace que grandes regiones de la cuenca sean incorporadas en el sistema de cabalgamiento y se genera una migración progresiva del cinturón de plegamiento y cabalgamiento hacia el cratón; las cuencas de antepais generalmente están rellenas de sedimento continental o no marino y esta progradación en el tiempo coloca sedimento de grano grueso sobre facies finas aluviales.

Otra variable clave que controla la distribución de facies a lo largo de una cuenca de antepais es el tipo de geometría de suministro de sedimento a la cuenca; este suministro lo pueden hacer muchas corrientes menores que drenan el cinturón de cabalgamiento y entregan el sedimento a la cuenca a lo largo de su rumbo; o pueden hacerlo a través de algunas corrientes grandes con valles antecedentes, que provienen del sistema montañoso y alimentan la cuenca en puntos específicos; en este último caso el suministro de sedimento varía considerablemente a lo largo del rumbo de la estructura, debido a la capacidad de carga de los ríos mayores que pueden configurar un gran delta o abanico aluvial, esta capacidad difiere bastante de la capacidad de drenajes pequeños que generan una bajada de abanicos coalescentes; sin embargo en una cuenca underfilled también hay corrientes que transportan y retrabajan sedimento en dirección axial de la estructura o desde el forebulge hacia el eje de la cuenca (Burbank y Raynolds, 1988; Jordan et al., 1988).

La distribución de facies en una cuenca depende de si la cuenca está no rellena "underfilled" o sobrellena "overfilled" y si tiene influencia marina o no marina. En una cuenca del primer tipo (underfilled), las facies distales iniciales son cubiertas progresivamente por facies axiales de la cuenca y posteriormente por facies proximales, la proveniencia y las direcciones de paleocorriente reflejan la transición en suministro de sedimento del forebulge, a transporte axial, a proveniencia del cinturón. En una cuenca del segundo tipo tanto las facies o depósitos distales como proximales muestran proveniencia y paleoflujo del cinturón orogénico (Jordan et al., 1988).

En una cuenca underfilled: no rellena, hay una variación vertical granodecreciente de arenas fluviales distales a facies lacustres o granocreciente, a depósitos gravosos aluviales de ríos axiales de gran caudal, antes de cambiar hacia facies de abanico aluvial del cinturón todavía más gruesas. Las paleocorrientes y petrología han mostrado una transición en el suministro desde el forebulge, posteriormente transporte axial y finalmente proveniencia del cinturón de cabalgamiento.

La geometría estructural, la velocidad de cabalgamiento, la litología del cinturón y el clima probablemente controlan la posición de los ríos principales y si estas posiciones permanecen fijas o varían a través del tiempo. Si la red de drenaje del sistema se reorganiza, entonces ocurren grandes cambios en los puntos de suministro de sedimento que puede generar a largo plazo patrones estratigráficos

complejos en la cuenca los cuales podrían confundirse con el resultado de episodios de actividad tectónica o cambio en el nivel base (Burbank y Reynolds, 1988).

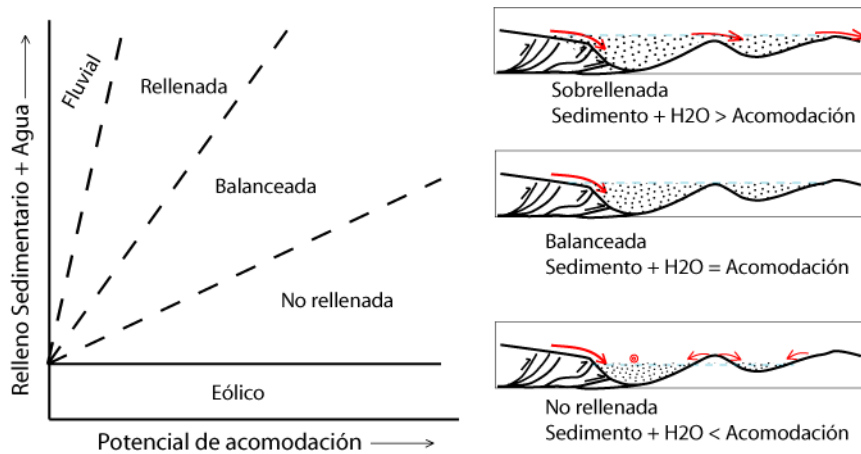


Figura 3. Paleocorrientes y su relación con el concepto de cuencas. Overfilled, Balanced Filled y Underfilled. (tomado de Carroll y Bohacs, 1999).

Si existen ríos lo suficientemente grandes para cortar el sistema montañoso puede haber una contribución de rocas metamórficas e ígneas del interior del cinturón orogénico, En otras ocasiones los depósitos también contienen granos reciclados de rocas sedimentarias más antiguas que conforman el cinturón de cabalgamiento.

La naturaleza del sistema de drenaje se refleja en el registro sedimentario en la cuenca de antepais en la composición de las areniscas; la composición promedio de areniscas en estas cuencas cae en el campo de "orógeno reciclado", (Dickinson, 1985), son ricas en cuarzo, tiene muy poco feldespato y contiene abundantes fragmentos líticos generalmente sedimentarios o metasedimentarios, que reflejan la proveniencia del cinturón de cabalgamiento.

Cuando ocurre subsidencia marcada y suministro constante de sedimento a una cuenca de antepais se genera registro estratigráfico muy completo; incluso en cuencas donde el relleno no es marino; por tanto un depósito de gran espesor de sedimento corresponderá a una alta tasa de subsidencia y/o suministro de sedimento.

2.4 PROVENIENCIA EN CUENCAS DE ANTEPAIS

En un relleno sedimentario sintectónico, la historia de erosión de las rocas más resistentes del orógeno que se levanta queda representada en el registro sedimentario de la cuenca asociada. La metodología busca correlacionar la composición del sedimento de este registro con la del área fuente.

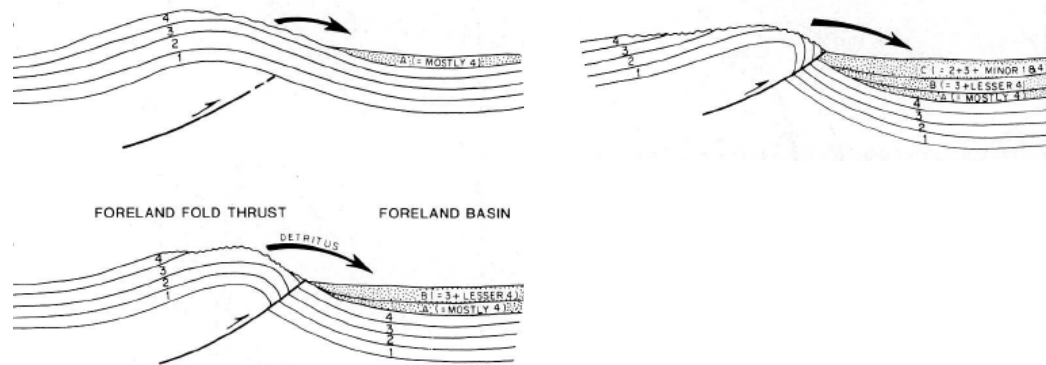


Figura 4. Secuencia idealizada de exhumación. Exhumación debida al levantamiento por falla de cabalgamiento y acumulación simultánea en la cuenca de antepaís. (Tomado de Graham et al., 1986)

La composición de los sedimentos que se acumulan en una cuenca de antepaís refleja la composición del área fuente de donde proviene; el área fuente puede ser el cinturón de cabalgamiento el escudo o cratón u otro sector de las márgenes o dentro de la cuenca (Ej: un paleoalto). La depositación de clastos de composición particular nos da la evidencia directa que rocas de esa litología estuvieron expuestas a meteorización y erosión en algún lugar del área fuente. Para correlacionar los sedimentos de la cuenca con el área fuente se debe conocer la litología del área fuente potencial del sedimento (Graham et al., 1986).

Si el sedimento proviene del cinturón de cabalgamiento asociado a la cuenca foreland y la litología de ese cinturón es conocida y si además se han identificado la unidad estratigráfica en la cuenca, donde aparecen los primeros clastos de esa litología, entonces se puede deducir que la actividad tectónica del cinturón plegado tuvo que haber ocurrido un tiempo antes de que se depositaran los clastos de esa litología para formar la unidad estratigráfica (Jordan et al., 1988); este tiempo entre el momento que una litología particular en el área fuente comienza a erosionarse y cuando se deposita, es llamado "lag time" y corresponde al periodo de tiempo en que el área fuente por meteorización y erosión produjo el sedimento, luego el transporte (e incluso depositación temporal), en el medio fluvial, además de algún

tiempo en que dichos depósitos pudieran haber sido reciclados dentro de la cuenca hasta que finalmente fueron depositados.

Solo la aparición de los primeros clastos de litología particular (ej Caliza), en una unidad estratigráfica de la cuenca foreland es valiosa para analizar la evolución de la cuenca (Jones et al., 2004). La ocurrencia posterior de clastos de igual composición puede ser debido a la continuada erosión de la misma litología en el cinturón, nueva actividad tectónica que expone otra vez la misma litología, y/o retrabajamiento de la unidad depositada previamente lo cual es normal en el sector de la cuenca foreland adyacente al orógeno.

Durante una orogenia, la erosión de la cadena montañosa a medida que se levanta junto con el transporte y depositación en la cuenca adyacente genera depósitos de abanicos aluviales cuya composición de conglomerados refleja la composición del área fuente de manera invertida, ya que las unidades más jóvenes levantadas se erosionaron primero y ahora se encuentran como depósitos debajo, por tanto se presenta una distribución de clastos invertida verticalmente, "normal unroofing sequence", (Colombo, 1994).

2.5 MEDICIÓN DE PALEOCORRIENTES

La metodología propuesta por DeCelles y Langford (1983), consiste en medir la orientación y buzamiento de los flancos derecho e izquierdo de una artesa de estratificación cruzada en artesa que ha sido cortado por la superficie del afloramiento en un ángulo oblicuo, es decir no perpendicular al paleoflujo; se pueden hacer entre 15 y 30 mediciones de acuerdo a las condiciones del afloramiento, y posteriormente se representan los polos de estos planos en una red estereográfica (wulff Net), y se distinguen en una distribución bimodal los dos grupos derecho e izquierdo, según se hayan medido los flancos derechos o izquierdos de una artesa. Una vez identificados los grupos de polos (Figura5).

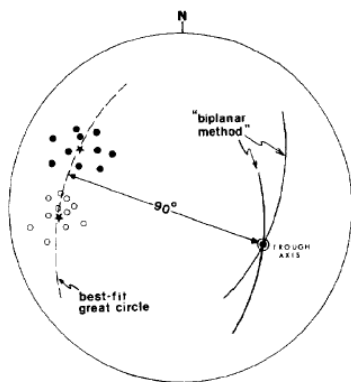


Figura 5. Gráfica de un conjunto bimodal de datos de medidas de artesas. Los limbos izquierdo (círculo negros), derecho (círculos blancos) de una artesa, como polos en una red estereográfica de Schdmit. Una vez se hallen los dos círculos mayores que promedia estos dos grupos de datos, se intersectan y la línea generada da la dirección del eje de la artesa. (tomado de DeCelles et al., 1983).

Posteriormente con estos dos grupos de datos se define el plano en el estereonet que más se aproxime al promedio de cada grupo de datos, posteriormente por el método de intersección de planos (Biplanar Method), se halla la intersección de los dos planos promedios y el plano resultante da la orientación del eje de la artesa. O alternativamente el plano del gran círculo que pasa a través de los dos grupos promedios de dirección y buzamiento de limbos de la artesa, es el que da la dirección de paleocorriente promedio.

Finalmente si los estratos se encuentran inclinados, se procede a rotar el eje de la artesa a la horizontal para hallar la dirección de paleocorriente, de este modo, cada dato de paleocorriente ha sido derivado de un buen número de mediciones de los limbos de las artesas.

2.6 FACIES SEDIMENTARIAS

El término facies se refiere a unidades estratigráficas (cuerpos rocosos), distinguidas por características litológicas (textura, composición), estructurales (estructuras sedimentarias), y orgánicas (contenido fósil), detectables en el campo, (De Raaf et al., 1965 en Blatt et al., 1980). Una facies sedimentaria es una propiedad de una unidad de roca que, debido a la depositación del sedimento en un ambiente particular, hereda un conjunto de propiedades físicas (estructuras), químicas (composición) y biológicas (contenido fósil); características heredadas de ese ambiente.

Las facies pueden ser de varios tipos como litofacies que son distinguidas por características físicas como color, litología textura y estructuras sedimentarias. Biofacies son definidas con base en características paleontológicas. Lo que hay que tener en cuenta es que de forma general y simple es que los ambientes de depositación generan facies sedimentarias y que las propiedades características de las facies sedimentarias son a su vez el reflejo de las condiciones ambientales de depositación.

De acuerdo con Boggs (1987), el objetivo último de los estudios de las facies es el de realizar la interpretación de los ambientes de depositación de las rocas a partir de ellas.

Para depósitos aluviales en todo el mundo se han publicado clasificaciones de facies como la presentada por Miall (1996), en la cual se discriminan las litofacies por categorías principales de tamaño de grano dominante: G: gravas, S: arenas, F: granos más finos (lodos), la siguiente letra en minúscula hace referencia a la textura o estructura sedimentaria característica Ej: Gp. En este trabajo se utilizará la nomenclatura de Miall (1996), para depósitos aluviales adaptándola a las condiciones de los depósitos de las formaciones estudiadas.

2.7 CONCEPTO DE NIVEL BASE EN CUENCAS DE ANTEPAIS NO MARINAS

En términos de estratigrafía de secuencia genéticas (sedimento acumulado en un ciclo de nivel base), es importante familiarizarse, en primera instancia, con el concepto de nivel base. El nivel base es una superficie imaginaria por debajo de la cual ocurre sedimentación y por encima erosión; las variaciones verticales de nivel base se asocian y relacionan con las variaciones del nivel del mar, la tectónica y la subsidencia. Este nivel base tiene una equivalencia directa con la relación espacio de acomodación - suministro de sedimentos (A/S)

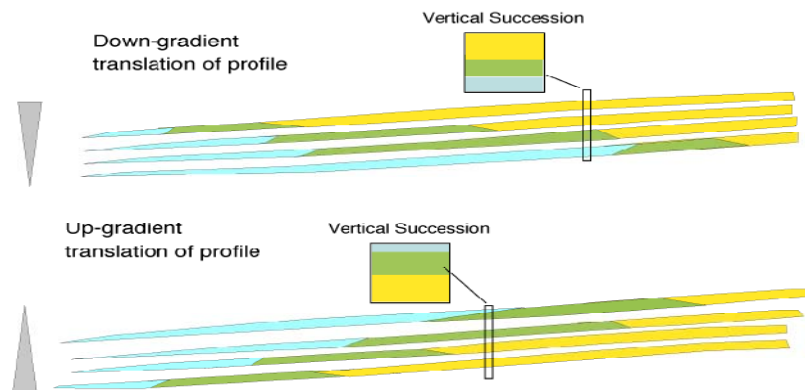


Figura 6. Sucesiones de facies verticales en una caída y subida del nivel base. (Cross, 1998).

El reconocimiento de ciclos representados en la columna estratigráfica por las facies, asociaciones de facies y sucesiones de facies, que registran una serie de cambios y movimiento del nivel base, conforman el marco temporal para correlacionar estratos de diferentes litologías y orígenes. Un ciclo de nivel base que corresponde inicialmente a un incremento y finalmente a una disminución de A/S (acomodación: Sediment Supply ratio), se registra en la columna por una combinación de rocas y superficies estratigráficas de discontinuidad en las diferentes partes de una cuenca sedimentaria (Ramón y Cross, 1997).

Los ciclos estratigráficos observados en una secuencia sedimentaria son el resultado de los cambios de nivel base hacia una máxima o mínima relación A/S. A medida que el nivel base sube aumenta la acomodación y se genera nuevo espacio hacia el continente (uphill), esto incrementa la capacidad total de almacenamiento de sedimento dentro de la cuenca, especialmente hacia la

margen de la cuenca adentro del continente donde antes predominaba el bypass o erosión.

En la medida en que el nivel base cae, el espacio de acomodación se reduce en la cuenca y especialmente en la márgen de esta hacia el continente por lo que la capacidad de almacenamiento de sedimento migra hacia el océano (downhill); por tanto, durante los ciclos de cambio de nivel base, los lugares de acumulación de sedimento o viceversa, los límites geográficos de erosión o bypass, se mueven uphill y downhill; este proceso conlleva a que volúmenes diferentes de sedimento, se acumulen en diferentes ambientes y en diferentes posiciones geográficas en la cuenca durante los ciclos de nivel base. El anterior concepto se denomina división o distribución de volumen de sedimento, "Sediment Volume Partitioning" (Cross, 1998) (Figura 6).

La distribución de volumen de sedimento, cambia la simetría de los ciclos estratigráficos, tanto geográfica como estratigráficamente. La simetría de los ciclos se refiere a la proporción de tiempo preservado en la roca como caída de nivel base o subida del nivel base. Un ciclo estratigráfico en una localidad geográfica y posición estratigráfica particular puede ser simétrico o asimétrico. Un ciclo estratigráfico simétrico contiene aproximadamente igual espesor de sedimento acumulado entre una subida y una bajada del nivel base.

De esta forma cuando el nivel base sube se amplía el espacio de acomodación, por lo tanto depositación de los sedimentos se mueve hacia zonas donde anteriormente había erosión (uphill). Inversamente cuando el nivel base cae, el espacio de acomodación disminuye, dando como resultado que la depositación ocurra en sitios más internos dentro de la cuenca (downhill). De esta manera los sitios de acumulación de sedimentos se mueven hacia el exterior o interior de la cuenca. Se puede decir que los sedimentos se acumulan durante un ciclo de nivel base o durante un incremento o disminución de la relación A/S.

3. ANTECEDENTES

3.1 LOCALIZACION

El Sinclinal de Nuevo Mundo (SNM), es una estructura de forma elongada e inmersión hacia el norte asociado al cabalgamiento de la falla La Salina, se localiza en el sector nororiente de la Cuenca Valle Medio Magdalena (CVM), entre las coordenadas con origen Bogotá (E:1056000 a E:1085000 y N:1255000 a N:1320000).

La forma de esta estructura es elíptica y tiene unos 55 Km de largo por 25 Km de ancho (Figura 7). Geológicamente el SNM hace parte de la cuenca Valle Medio del Magdalena, y esta a su vez se ubica entre la Cordillera Central, y la Cordillera Oriental de Colombia, (Figura 8).

3.2 CONFIGURACION GEOLOGICA

3.2.1 Provincias geológicas

Las rocas del basamento más antiguas en Colombia se clasifican de manera general en tres provincias geológicas diferentes: Oriental, Central y Occidental (Forero, 1990). La Provincia Central está delimitada por la Sutura del Borde Llanero al E y por la Sutura de Romeral al W, e incluye el basamento de las cordilleras Oriental y Central, parte SE del basamento de la Sierra Nevada de Santa Marta, basamento de la Serranía de Perijá y los Andes de Mérida (Figura 8).

Correspondiente al concepto de terrenos geológicos, la Provincia Central es un terreno generado durante el Proterozoico y acrecionado a un bloque de terreno autóctono, el oriental, correspondiente al Escudo de la Guayana, a comienzos del Paleozoico (Touissaint, 1999) y representa el Cinturón Orogénico Caledoniano en Suramérica, resultado de la colisión entre Norteamérica y Gondwana entre el silúrico tardío – Devónico temprano (Forero, 1990).

La Provincia central está compuesta de rocas metamórficas de alto grado como granulitas y neises del Precámbrico; rocas metamórficas del Paleozoico temprano como filitas, esquistos, cuarcitas y migmatitas y rocas plutónicas del Paleozoico y Mesozoico (Forero, 1990). Rocas sedimentarias marinas del Paleozoico superior recubren discordantemente las rocas metamórficas del Paleozoico inferior. Este terreno se acrecionó al bloque autóctono y fue afectado por un cinturón magmático

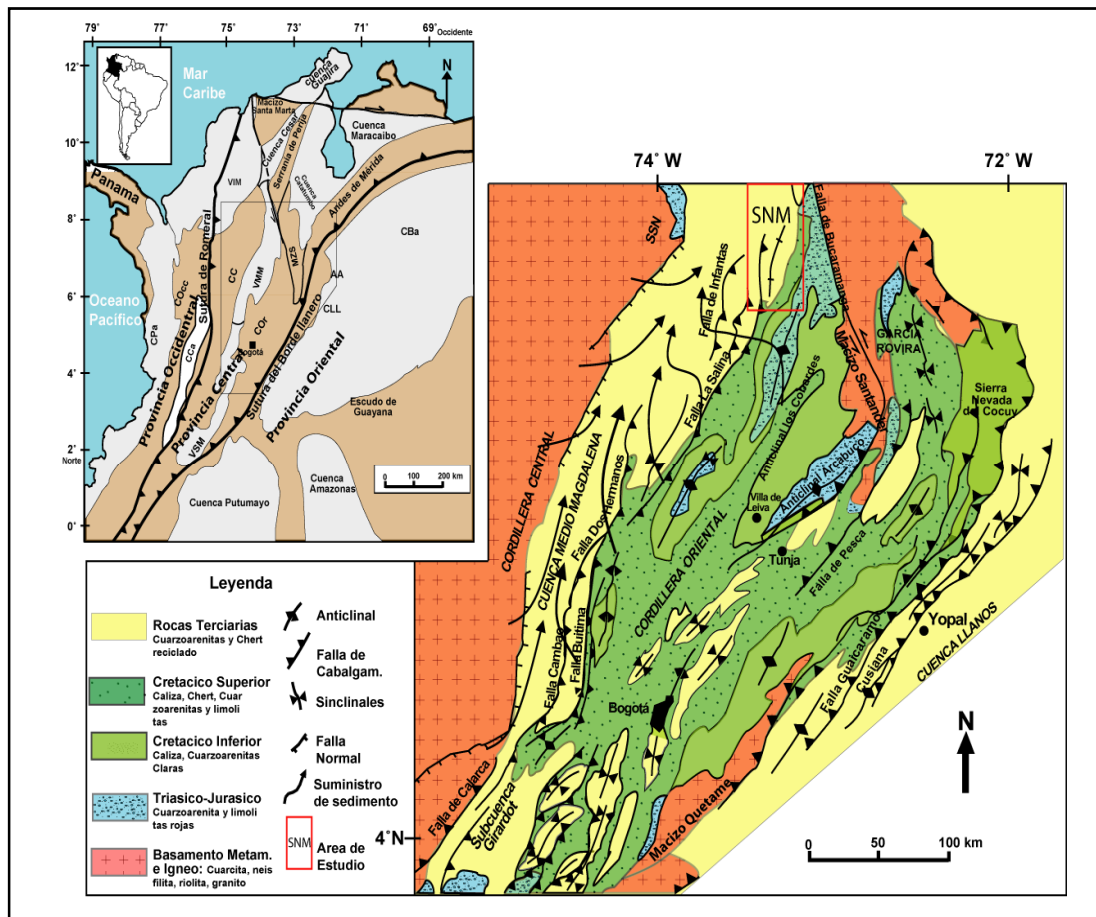


Figura 8. Provincias geológicas de basamento de Colombia. También distribución de áreas de suministro de sedimento durante el Cenozoico tanto desde la Cordillera Central, como desde la Cordillera Oriental, para las rocas del Cenozoico de la Cuenca Valle Medio. Área de estudio, el Sinclinal de Nuevo Mundo (SNM). (de Cooper et al., 1995; Gómez et al., 2003; Gómez et al., 2005b).

3.2.2 Cronología del relleno sedimentario de la CVM

Entre el Triásico tardío y Jurásico medio las formaciones Jordán y Girón de la Cordillera Oriental (Navas, 1963), y Norean, Saldaña y Payandé, de la Cordillera Central (Butler y Schamel, 1988; Clavijo et al., 2008) fueron acumuladas durante un evento de rifting (Sarmiento, 2001), volcanismo explosivo y depositación asociada a rifts elongados localizados en las actuales Cordillera Oriental, Cordillera Central y la Cuenca Valle Medio del Magdalena.

Las anteriores unidades están compuestas de sedimentos aluviales: arenitas, conglomerados cuarzosos, limolitas y arenitas rojas; y materiales piroclásticos y efusivos como tobas y riolitas. En la Cordillera Central, estas unidades fueron intruídas por cuerpos granitoides de magmatismo calcoalcalino durante el Jurásico Medio. Las fallas normales de estas cuencas distensionales se invertirán posteriormente en el Cenozoico por deformación compresiva con el levantamiento de la Cordillera Oriental (Cooper et al., 1995; Mora et al., 2006).

En el Cretácico temprano, una rápida subsidencia asociada al rifting condujo a la depositación de potentes secuencias de rocas sedimentarias marinas, principalmente lodolitas, calizas y arenitas. La subsidencia postrift facilitó la acumulación de calizas en el Cretácico temprano y cuarzoarenitas, shales, calizas, rocas de chert y algunas fosforitas en el Cretácico tardío.

Esta depositación ocurrió en cuencas cretácicas interiores como la Cuenca de Bogotá, la cual se extendió hacia el sur por lo que hoy es la Cordillera Oriental y la CVM. Hacia el norte, la cuenca cretácea se dividió en dos: una oriental llamada Cuenca del Cocuy y otra rama hacia el occidente llamada Cuenca del Tablazo, separadas por el paleoalto del basamento de los Macizos de Floresta y Santander, y limitadas por fallas que hoy están invertidas (Morales, 1958; Fabre, 1983; Etayo-Serna y Laverde, 1985; Sarmiento-Rojas, 2001; Mora et al., 2006). Entre otras, las unidades representativas de este evento tanto en la Cordillera Central como en la Cordillera Oriental son las formaciones Tambor - Rionegro, Rosablanca – Tibú Mercedes, Paja, Tablazo - Aguardiente, Simití – Brisas, Salto, La Luna – Cogollo, Capacho y Umir (Figura 9 y 29).

Durante el Cretácico Tardío a Paleoceno, un evento de deformación compresiva asociada a acreción oblicua de corteza oceánica de la actual COcc, propagó la deformación hacia el norte y produjo acortamiento y levantamiento de la Cordillera Central (Cooper et al., 1995; Gómez et al., 2005b). En el área del SNM, La Formación Lisama del Paleoceno, contiene sedimento producto del inicio del levantamiento y registra el cambio de ambiente marino a continental (Gómez et al., 2005b).

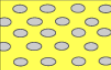
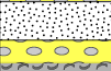
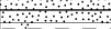
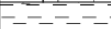
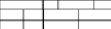
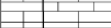
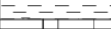
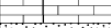
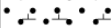
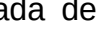
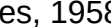
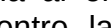
Serie	Nomenclatura estandar		Espesor (m)	Litología	Descripción litológica generalizada
Pleistoceno					
Plioceno	Grupo Mesa		150 - 575		Gravas y cantos de grava. Conglomerado y arenita bien estratificado. Abundante material piroclástico
Mioceno (?)	Grupo Real		400 - 3600		Arenita, arcillolita arenosa y conglomerado de rocas ígneas y metamórficas Muy conglomerática hacia la base
Oligoceno (?)	Grupo Chuspas	Formación Colorado	575 - 3200		Horizonte fosilífero de La Cira
		Formación Mugrosa			Shale rojo alternando con arenita conglomerática gruesa
Eoceno (?)	Grupo Chorro	Formación Esmeraldas	1225 - 2300		Horizonte fosilífero de Mugrosa (local).
					Shale con delgados estratos de arenita de grano fino
		Formación La Paz			Horizonte fosilífero de Los Corros (local).
Paleoceno	Formación Lisama		950-1225		Arenitas con interestratificaciones de limolita y shale
Maastrichtiano					Mantos de carbón ocasionales
Campaniano					Arenitas con interestratificaciones de limolita y shale
Santoniano					Local localmente shale alterado duro (Toro Fm).
Coniaciano					Shale, limolita y arenita interestratificados. mantos de carbón
Turoniano					Limolita marrón rojiza
Cenomaniano					Shale, gris, blanco, fisil
Albiano					Estratos esporádicos de hierro concrecionario
Aptiano					Mantos de carbón
Barremiano					Predomina el shale calcáreo con estratos de chert y caliza
Hauteriviano					Interestratificado con concreciones
Valanginiano ?					Shale calcáreo negro finamente laminado de dureza Media
Jurásico					Shale negro duro calcáreo, estratos de caliza, concreciones de pirita
Triásico					Caliza dura arcillosa
Permico					Shale negro finamente laminado
Carbonífero					Caliza y marga, bastante fosilífera
Devónico					Shale negro blando finamente laminado
Predevonico a Precámbrico					Caliza masiva y marga bastante fosilífera
					Limolita gris oscura, arenita y conglomerado, limolita gris al tope
					Con foraminíferos
					Limolita marrón y rojas, shale y arenita con volcánicos
					Arenita arcosa, limolita y toba
					Granito y cuarzomonz. rosada- granod y cuarzomznita gris
					Arenita y limolita calcárea
					Caliza conglomerática
					Caliza y Shale
					Rocas metasedimentarias, Filita
					Neiss cuarzofeldespático
					Neiss y Migmatita

Figura 9. Estratigrafía generalizada de la Cordillera Oriental y del Valle Medio Magdalena. (Modificada de Morales, 1958; Ward et al., 1973).

El anterior evento compresivo estableció un estilo estructural predominantemente de cabalgamientos con vergencia al oriente y condujo a la formación de una extensa cuenca de antepaís entre la Cordillera Central y el Escudo de la Guayana. En el Eoceno medio – Oligoceno temprano las unidades sedimentarias se depositan bajo nuevas condiciones, en una cuenca de antepaís de ambiente predominantemente continental. Como resultado de estos eventos de levantamiento y erosión se identifica la Formación La Paz del Eoceno Medio y la Formación Esmeraldas del Eoceno tardío – Oligoceno temprano (Morales, 1958; Gómez et al., 2005b).

Los estudios anteriores ubican el levantamiento de la Cordillera Oriental en el Oligoceno tardío – Mioceno medio temprano (Gómez, 2001; Gómez et al., 2003; Gómez et al., 2005b), dicho levantamiento se ha producido por inversión de antiguas fallas normales del Rift Cretácico (Dengo y Covey, 1993; Cooper et al., 1995; Sarmiento-Rojas, 2001), algunas de las cuales en el flanco oriental de la Cordillera Oriental han sido muy bien documentadas (Mora et al., 2006). Sin embargo, datos termocronológicos (Parra et al., 2010), muestran que el área del Anticlinal de los Cobardes, en el flanco occidental de la Cordillera Oriental (Figura 10), comenzó a ser exhumada en el Paleoceno (~ hace 60 Ma).

Esta inversión y levantamiento temprano de la Cordillera Oriental, generó depósitos sintectónicos de facies aluviales que van desde ríos meándricos hasta abanicos aluviales como las Formaciones Mugrosa (Oligoceno temprano a tardío), y Colorado (Oligoceno tardío a Mioceno temprano). Esta cuenca intermontana (CVM), finalmente es rellenada por depósitos continentales, a medida que la Cordillera Oriental se levanta y exhuma con la depositación de la Formación Real entre Mioceno medio a superior y Formación Mesa de edad Plioceno.

3.2.3 Configuración estructural del sinclinal de nuevo mundo

El Sinclinal de Nuevo Mundo, ubicado en el margen oriental del sector norte de la Cuenca Sedimentaria del Valle Medio del Magdalena, es una estructura amplia con inmersión hacia el Norte y hace parte de cinturón de cabalgamiento de la margen occidental de la Cordillera Oriental junto con el Anticlinal de Lisama y Anticlinal de Provincia; estos pliegues están asociados con el movimiento de cabalgamiento del sistema de Falla La salina el cual presenta una rampa a través del rocas del Cretácico y un footwall flat en rocas del Cretácico superior el cual se divide en dos rampas a través de rocas del Paleógeno (Gómez et al., 2005b).

Según estudios de interpretación sísmica el Anticlinal de Lisama corresponde al bloque colgante de un pliegue por propagación de falla asociado con la rampa de cabalgamiento más occidental de La Salina y el SNM corresponde al bloque colgante del movimiento de la rampa oriental del sistema de falla La Salina que superpone un plano ("flat"), en el bloque colgante con una rampa en el bloque yacente y corresponde a la rampa más joven del sistema, ya que cruza estratos del Grupo Real y no es plegado por el subyacente Anticlinal de Lisama (Gómez et al., 2005b).

Según Gómez et al. (2005), el flanco oriental del SNM hace parte del limbo frontal del Anticlinal de Los Cobardes, plegamiento que es contemporáneo con la depositación de la Formación Mugrosa superior y Colorado.

Sobre el flanco oriental y occidental del SNM afloran rocas del Cenozoico identificadas como Fm Lisama (Paleoceno) la cual está en contacto discordante con el Grupo Chorro: Fm. La Paz y Fm Esmeraldas (Eoceno Medio a Eoceno tardío), sobreyaciendo las anteriores se encuentra el Grupo Chuspas: formaciones Mugrosa y Colorado (Oligoceno – Mioceno temprano) y Grupo Real (Mioceno medio a Plioceno) y Mesa (Plioceno), (Morales, 1958; Córdoba et al., 2005; Gómez et al., 2005b), (Figura 11).

En el bloque yacente del cabalgamiento de la Falla de La Salina se han identificado, además, unidades estratigráficas del Mesozoico (Girón, Tambor, Rosablanca, Paja, Tablazo, Simiti, La Luna, Umir) deformadas y erosionadas y en contacto discordante angular con unidades suprayacentes del paleógeno (hacia el este) y del Neógeno (más hacia el occidente), existentes en el SNM. Hacia el flanco oriental del SNM dicha discordancia es menos notoria y solo ha sido determinada por un hiato desde el Eoceno temprano hasta el Eoceno Medio revelado por las edades de las unidades Lisama y La Paz (Morales, 1958; Gómez et al., 2005b), (Figuras 9 y 31).

4. METODOLOGIA

4.1 CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y CORRELACIONES

La cartografía se realizó mediante recorridos de campo a lo largo de transectas y estaciones de control a través de toda la zona. Se realizó la cartografía a escala 1:25000 de 1000 Km² correspondientes al Sinclinal de Nuevo Mundo. Se levantó información en 580 estaciones de trabajo de las cuales 300 fueron mediciones de rumbo y buzamiento de las capas, en la mayoría se realizaron descripciones de afloramiento (Figura 10).

En cada estación se tomaron datos estructurales donde estuvieran disponibles, ubicación mediante GPS, coordenadas E, N, con origen Bogotá, observaciones geológicas, control en el mapa, toma de muestra si era importante, información geográfica si fuese necesario, tipos de contactos, litología general.

4.2 ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE DE FACIES

Para determinar la distribución espaciotemporal de facies, identificar variaciones laterales en espesor, continuidad lateral de las unidades litoestratigráficas y distribución lateral de facies; se hizo levantamiento de nueve secciones estratigráficas a escala 1:200 mediante baston de Jacob. (Figura 11 y Tabla 1).

Fueron levantadas columnas estratigráficas en los siguientes sitios: Sección Marta, poblado de Marta cerca al Río Sogamoso entre el sitio conocido como la Ye y la Quebrada La Arenosa. Sección Vía Antigua Marta, en el mismo sector de la anterior por la vía antigua Marta – Sabana. Sección Vía Barranca, sobre la vía que conduce de Bucaramanga a Barranca a la altura de la Fortuna flanco occidental del SNM. Sección Payoa Riosucio, sobre la vía que de la Troncal del Magdalena a la altura del puente de la Quebrada Payoa va hacia el Río Sucio.

Sección Monas, sobre el campo Provincia en el sector del Anticlinal de Monas. Sección La Salina, en el campo provincia a lo largo de las vías de acceso a los pozos de La Salina. Sección Uribe – Sabana de Torres, sobre la vía que del poblado de Uribe va hacia la ciudad de Sabana de Torres. Sección Santa Clara, por la vía que de la Hacienda Santa Clara se dirige hacia el poblado de Uribe. Sección Caño Prado, al norte entre la Hacienda Santa Clara y el Caño (Figura 11).

Para identificar los ciclos de cambio de nivel base a fin de correlacionar mejor las columnas levantadas en campo se utilizó el enfoque de análisis de Estratigrafía de Secuencias Genéticas el cual se fundamenta en los conceptos de ciclos estratigráficos que registran la respuesta sedimentaria a ciclos de nivel base de

incremento y decrecimiento de la relación acomodación/suministro de sedimento (Cross y Lessenger, 1997; Ramón y Cross, 1997).

En las columnas estratigráficas levantadas fueron analizadas las asociaciones de facies y sucesiones verticales de facies con las cuales se puede visualizar, mediante secciones de correlación, la distribución lateral de facies entre el flanco oriental y occidental del SNM, para lograrlo fueron realizados varios perfiles S – E y S – N para cada unidad entre los sitios mencionados donde se levantaron las columnas (Figuras 13 a 18).

Tabla 1. Columna estratigráfica medida por sección y totales medidos. En negrita se tiene el espesor total de la formación en los casos que se midió completa (Ubicación de secciones en figura 11).

Sección	Lizama	Paz/Esmeraldas	Mugrosa	Colorado	Real
M: Medido D: Descrito	M/D	M/D	M/D	M/D	M/D
1. Marta		200/150	1327/230	1380/665	50/50
2. Vía Ant Mart				550/330	
3. Vía Barranc	780/510	85/70			
4. Payoa	480/20	580/270	665/520	1340/430	620/330
5. Las Monas*		<u>110/40</u>	<u>670/500</u>	<u>90/10</u>	
6. La Salina		25/25	295/150		910/892
7. Uribe*			<u>250/95</u>	1450/1090	1220/520
8. Santa Clara*			<u>940/730</u>		
9. Charco Polo		50/25	1200/740	1455/380	80/80
Total m.	1260/530	1050/580	5347/2965	5323/2660	2830/1822
Total Columna medida	530	580	2965	2660	1822

Las columnas subrayadas fueron levantadas para el ICP durante el proyecto de adquisición y consolidación de información para el VMM (Mora et al., 2009, Gems Ltda).

Se realizó también una sección de correlación entre el bloque colgante y bloque yacente de la Falla de La Salina fue realizado utilizando información de registros de los pozos Riosucio-1, Corazón-8, Cayumba-1, El Dorado-1, Matacuyá-1 y La Coquera-1, estos datos fueron tomados del estudio de Sierra y Arévalo (2008) para el sector central de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena (Figura 31).

4.3 PETROGRAFÍA DE CONGLOMERADOS CONTEO DE CLASTOS

Sobre el afloramiento de conglomerados se seleccionó un área de 1m por 1m y se distribuyó una red de puntos cada 10 cm para completar un conteo de cien clastos por cada estación, las categorías para el conteo dependen del contenido de clastos en el afloramiento, así por ejemplo, en este trabajo se hicieron conteos de las siguientes categorías: chert, cuarzo de veta, arenitas y limolitas amarillas, limolitas y arenitas rojas, clastos de caliza, clastos ígneos y clastos metamórficos.

En este trabajo se realizaron 45 estaciones de conteo de clastos para las unidades que presentan conglomerados en el área del SNM así: Fm La Paz: 5, Fm Esmeraldas: No presenta conglomerados, Fm Mugrosa: 7, Fm Colorado: 23 y Fm Real: 10.

Se calcularon los porcentajes de cada una de estas categorías y se graficaron según la distribución de estaciones en cada columna estratigráfica (23, 24 y 25). Estos conteos de clastos se utilizaron para realizar un modelamiento de proveniencia litológica, siguiendo la metodología propuesta por Graham et al., (1986).

La ubicación de los sitios de conteos de clastos, secciones delgadas, levantamiento de secciones, medición de paleocorrientes se pueden observar en la figura 11 y en las columnas estratigráficas levantadas.

4.4 MEDICIÓN DE PALEOCORRIENTES

En este trabajo, siguiendo el método para medición de flancos de artesas de estratificación cruzada en artesa (DeCelles et al., 1983), se realizaron 52 mediciones de paleocorrientes en el área del SNM así: Fm La Paz: 8, Esmeraldas: 8, Mugrosa: 12, Colorado: 7 y Real: 11. Se complementó con 30 mediciones más realizadas en conjunto con el geólogo Chris Moreno, estudiante de maestría en geología de la Universidad de Austin Texas para las formaciones Esmeraldas y La Paz. En este trabajo se incluye también algunas pocas mediciones en marcas de ondulitas, varias de imbricación de clastos pero la mayoría son mediciones de paleocorrientes en estratificación cruzada en artesa.

4.5 MODELAMIENTO DE PROVENIENCIA

Para hacer el modelamiento de proveniencia se tiene que llevar a cabo el siguiente procedimiento: a. estimar el espesor de las litologías productoras de gravas en el o las áreas fuente de sedimento (Figura 8 y Figura 29); b. identificar las unidades litológicas del área fuente representadas por los clastos indicadores

de procedencia presentes en el afloramiento; c. definir la ventana de procedencia dentro del área fuente, para cada conteo de clastos, de acuerdo a los clastos indicadores de procedencia; d. en cada ventana, mediante el espesor identificado, calcular la contribución normalizada de cada unidad litológica fuente y graficar una curva acumulativa; e. realizar el conteo de clastos, graficarlo en curva acumulativa y f. finalmente comparar las poblaciones contadas con las poblaciones hipotéticas utilizando las curvas acumulativas para observarlo gráficamente si coincide o no y finalmente realizar el análisis de resultados (Graham et al., 1986).

5. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5.1 CARTOGRAFIA

Se identificaron niveles horizontes de correlación local como el conglomerado basal de la Fm La Paz el cual es continuo a través del SNM, el horizonte fosilífero de Los Corros hacia el tope de la Fm Esmeraldas que solo se presenta hacia el flanco E del SNM, dos niveles de yeso dentro de la Fm Mugrosa que pudieron encontrarse en ambos flancos en la sección Uribe – Monas, al igual que un nivel de arcillas lacustres, un nivel de paleosuelo calcáreo en la Fm Colorado que puede correlacionarse en ambos flancos del SNM y un nivel seguido por sensores remotos dentro de la Formación Real denominado horizonte Payoa (Figura 10 y 11).

5.2 RESUMEN DESCRIPCION DE LITOFACIES Y SISTEMA DE DEPOSITACION

Durante el levantamiento de columnas estratigráficas y con base en la descripción textural, composicional, estructuras sedimentarias, contenido orgánico, fueron identificadas 16 litofacies y 10 asociaciones de facies básicas básicas (Tabla 3), para las unidades Esmeraldas, Mugrosa, Colorado y Real analizadas en este estudio (Ver Anexo 1. Para el estudio detallado de facies).

Las asociaciones de facies se presentan unas sobre otras conformando sucesiones de facies, las cuales fueron definidas para cada una de las unidades estratigráficas estudiadas y fueron la base para la interpretación de los sistemas de depositación (Tabla 4).

La secuencia de rocas estudiada presenta una variación espacial y temporal en la distribución de facies. En la dimensión temporal las asociaciones y sucesiones de litofacies indican que la Fm Esmeraldas representa ambientes estuarinos con influencia fluvial. Encima las litofacies de Mugrosa indican ambiente fluvial de tipo meandriforme. Las litofacies de la Fm Colorado indica ambientes aluviales de canales distributarios, ríos trenzados y subiendo estratigráficamente, facies proximales de abanico aluvial. Finalmente la Fm Real inferior viene de facies medias de abanico aluvial en la base hacia facies distales fluviales trenzadas hacia el techo (Tabla 3).

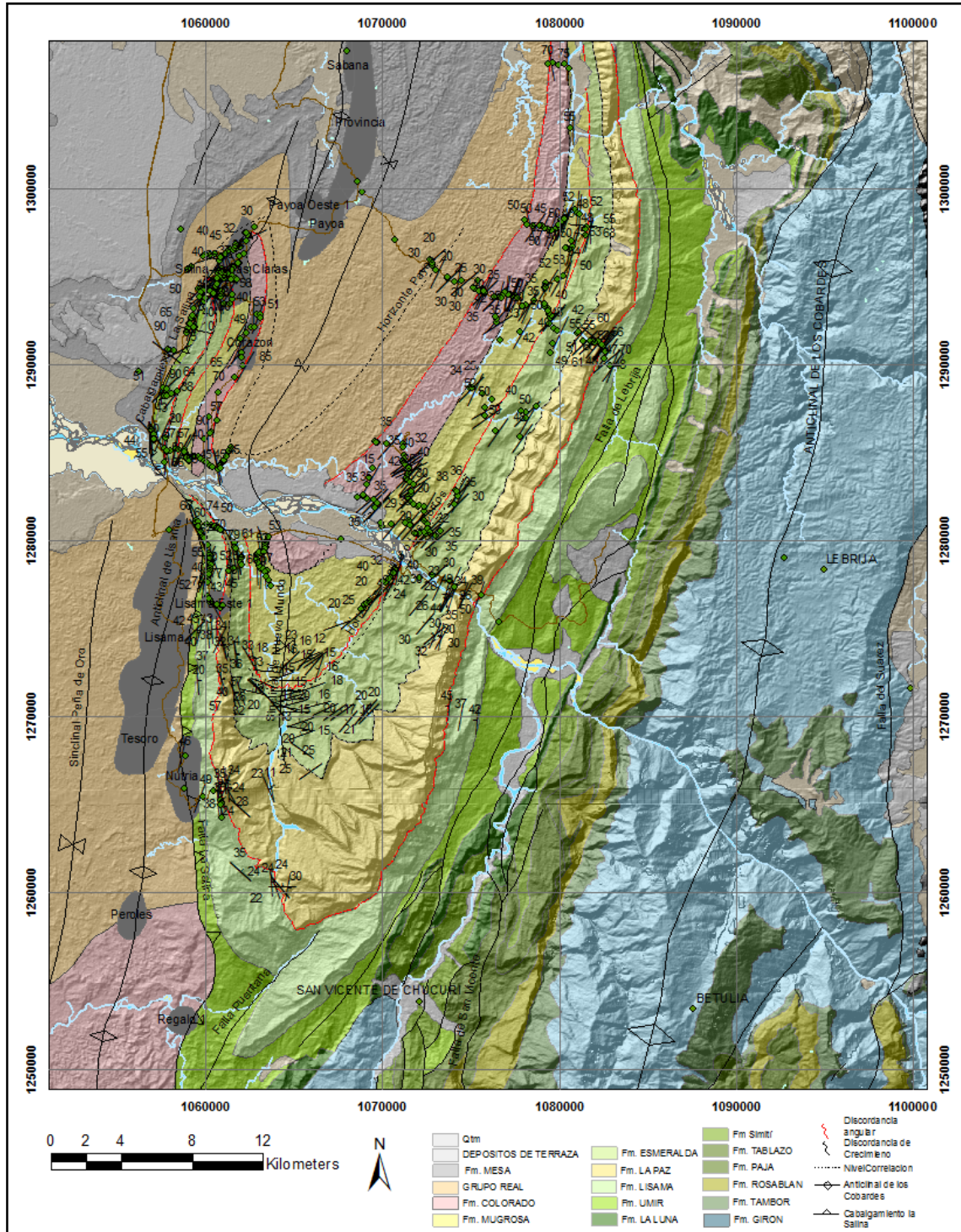


Figura 10. Ubicación de estaciones de trabajo. Se realizaron aproximadamente 580 estaciones durante la cartografía geológica de las cuales ~300 mediciones de datos estructurales. Principales estructuras asociadas como el Anticlinical de Los Cobardes, Sinclinal de Nuevo Mundo. Falla de cabalgamiento La Salina entre otras.

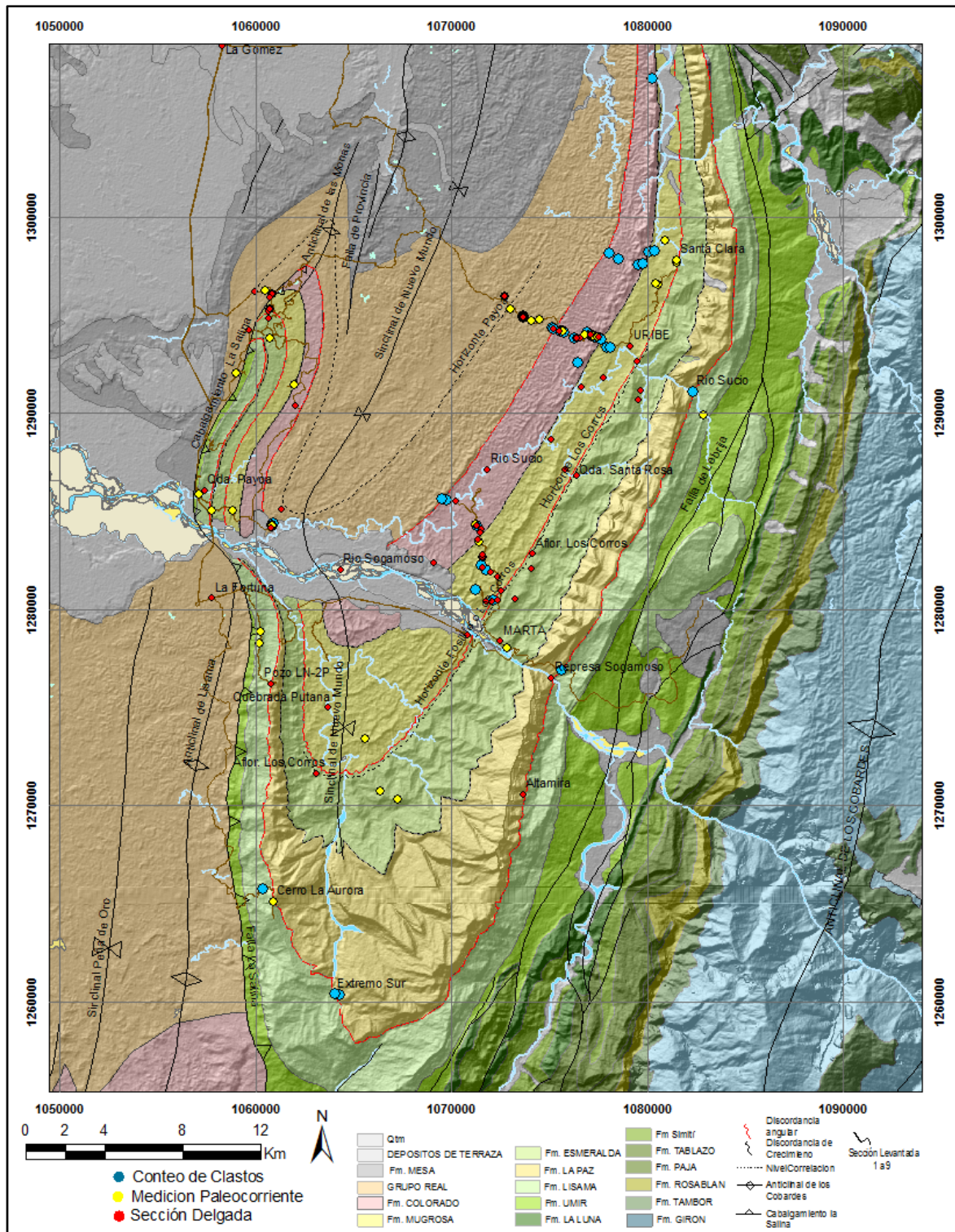


Figura 11. Mapa geológico del Sinclinal de Nuevo Mundo. A la izquierda la Cuenca Valle Medio Magdalena (CVM) y a la derecha parte de la Mesa de Lebrija (ML). Se ubican las secciones estratigráficas levantadas (1 a 9), contactos, estructuras, conteo de clastos y medición de paleocorrientes.

Tabla 2. Identificación y descripción de litofacies y asociaciones de facies en el Sinclinal de Nuevo Mundo. (nomenclatura modificada de Miall, 1996).

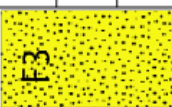
Descripción de litofacies	Asociación	Interpretación
Gm: conglomerado matrizsoportado masivo, clastos redondeados, matriz arenolodosa Gh: conglomerado con estratificación horizontal cruda vista como líneas de clastos redondeados. Base no erosiva. Matriz arenolodosa. Gm: conglomerado clastosoportado con intricación de clastos. Base erosiva o no erosiva. Clastos bien redondeados, poca matriz de arena. Gt: conglomerado con estratificación cruzada en artesa. Clastos bien redondeados, base erosiva irregular, lentes de arenas St, gradación normal. Sm: arenitas gruesas granulosas masivas con gradación normal a arenitas finas lobosas, base erosiva e intracastos con base de gravas muy finas, estratos subtabulares. St: arenitas media a gruesa granulosas, estratificación en artesa, gradación compuesta en forasets. Base erosiva. Base de grava (gravel lag). Gradación normal a arenita fina. Sp: arenitas medias con estratificación cruzada plana, en estratos tabulares o acunados hasta de 50 cm. Base no erosiva. Sh: arena fina a media heterolítica en Esmeralda, gruesa granulosa en Mugrosa, con estratificación horizontal y/o de bajo ángulo. En algunos sitios muestra además gradación normal hacia arenas finas y aún arenitas lobosas. Sr: arenitas finas a medias con ondulitas 'riples' en Esmeraldas con lodo y materia orgánica en mugrosa asimétricos, bioturbados. En estratos tabulares a subtabulares. Sw: arenitas finas a muy finas con laminación flaser, ondulitas o entricular en estratos tabulares a subtabulares. Fm: Linos y arenitas morreados masivos, varicoloreados en Mugrosa y con materia orgánica en Esmeraldas, lodolitas arenosas masivas, varicoloreadas Marrón roizas en Colratic. Arenitas finas lecosas varicoloreadas en Reel. Fr: lodolitas con ondulitas (riples), varicoloreadas, con rizolitos o huellas de raíces en Mugrosa, Colorado y Reel. St: arenita finas limosas. Laminación horizontal en estratos de 5 a 40 cm planos tabulares. Fl: lodolitas con laminación horizontal. Fc: Lodolita carbonosa. Alto contenido de materia orgánica vegetal, conchas. Fragmentos de madera Guttiferaxon Compacatum de Schriede, (1947). F: Arcillolitas, arenitas muy finas lodolitas varicoloreadas con nódulos, costas de carbonatos, rizolitos, capes de yeso. Estructuras prismáticas.	F1  F3  F4  F5  F6  F7  F8  F9 	Flujo pseudoplástico no confinado (Stow, 2005). Flujo pseudoplástico confinado o no confinado. Régimen de flujo alto. Flujo laminar (Sheetflow), de régimen de flujo alto (Stow, 2005; Miall, 1996). Flujo turbulento confinado o no confinado. Flujo pseudoplástico confinado (Miall, 1995). Flujo turbulento en fondo de canal. Migración de dunas sobre barras de canal. Migración de barras puntuales (Leader, 1989). Decremento gradual en velocidad mientras crece. Sedimentación rápida (Reineck and Singh, 1986). Destrucción de estructuras por bioturbación. Migración de dunas de cresta sinuosa, régimen de flujo bajo sobre barras de canal o barras longitudinales. Barras puntuales (Batt et al., 1980). Migración de dunas de cresta recta (sand waves). Régimen de flujo bajo. Agua profunda mínimo doble del estrato (Harms, 1975). Migración de barras de canales (Reineck and Singh, 1986). Deposición en régimen de flujo alto sobre lecho plano. Flujos energéticos de alta energía (sheetflow). Régimen de flujo alto. Depósitos de corrientes superficiales efímeras. (Harms, 1975; Elati et al., 1980; Reineck and Singh, 1986). Régimen de flujo bajo. Asociadas a migración con otras formas de lecho. Asimetrías indican flujo unidireccional (Harms, 1975; Reineck and Singh, 1986). Migración de ripples en régimen de flujo bajo. Combinación de regímenes de flujo bajo: quietud (Reineck and Singh, 1986; Batt et al., 1980). Deposición por acreción vertical de agua quieta al final de eventos de mayor velocidad. Eolubación alta por actividad orgánica de crecimiento de vegetación e insectos, y animales terrestres (Blatt, et al., 1980; Bridge,). Acreción vertical en agua quieta. Bioturbación por crecimiento de vegetación. Cambio de color por variaciones en contenido de oxígeno disueltos (Miall, 1996; Catureanu, 2006). Deposición por acreción vertical o lecho plano en régimen de flujo bajo (Harms, 1975; Catureanu, 2006). Acreción vertical en agua quieta. Lecho plano en régimen de flujo bajo (Blatt et al., 1980). Acreción vertical en agua quieta. Lecho plano en régimen de flujo bajo (Blatt et al., 1980). Costas y nódulos de CaCO3. Niveles evolucionados del suelo en planicie de inundación, locos de planicie de inundación que han sido sometidos a procesos pedogenéticos (Catureanu, 2006).

Tabla 3. Sucesiones de facies e interpretación de ambientes para las unidades estudiadas en el Sinclinal de Nuevo Mundo.

	Sucesiones de Facies e interpretación	Ambiente sedimentario
Formación Real	F1: Flujos de escombros o flujos pseudoplásticos confinados o turbulentos de muy alta energía. Amalgamación de barras de gravas en canales formados en facies medias de abanico aluvial (Nilsen, 1988).	Sistema aluvial y fluvial. Facies proximales y medias de abanico aluvial, ríos entrelazados y depósitos de planicie fluvial inestable en clima árido. Secuencia granocreciente y estratocreciente. Hacia el E facies proximales y medias de abanico aluvial hacia el W facies fluviales de río trenzado y planicie aluvial.
	F1+F2+F3: depósito de tracción de barras de gravas o gravas y arenas en canales trenzados o en facies medias de abanico aluvial (Harms et al., 1975).	
	F3+F7: Migración de dunas de cresta recta en planicies de arena (sand flats) cubiertos por lodos de planicie inundación (Reineck y Wunderlich, 1968).	
	F2+F3+F4: depósitos de barras longitudinales de gravas y arenas en corrientes trenzadas (Miall, 1996).	
	F3+F5: depósitos de barras de arena de canal y de erosión y relleno unos sobre otros en apilamiento de arenas de ríos trenzados o canales distributarios en complejos de desborde de canal (creavase splay), o canales de desborde (crevase channel), en ríos meandriformes (Blatt et al., 1980).	
	F4: depósitos de arenas durante avenidas torrenciales por inundación de la planicie en ríos trenzados o en ríos meandriformes (Blatt et al., 1980), también en facies distales de abanico (Nilsen, 1988).	
	F7: Planicie de inundación donde puede establecerse la vegetación. Moteado indica cambios en el nivel freático (Reineck y Singh, 1980).	
Formación Colorado	F5+F8: depósitos en pequeños lagos o lagunas o áreas inundadas dentro de planicie de inundación en ríos meandriformes (Reineck y Singh, 1980).	Sistema de abanico aluvial a sistema fluvial: canales distributarios, canales trenzados y depósitos de planicie aluvial en clima árido. Secuencia grano creciente y estratocreciente. Facies proximales de abanico al E y facies distales de abanico y fluviales hacia el W.
	F1: Flujo de escombros. Ambiente de facies medias de abanico aluvial (Nilsen, 1988).	
	F1+F2: depósito de tracción de barras de gravas, o gravas de canal en Ambiente fluvial trenzado o en facies medias de abanico aluvial (Nilsen, 1988).	
	F2+F3+F4: depósito de barras de gravas y arenas o lechos de gravas y arenas en ríos trenzados (Miall, 1996)..	
	F3+F5+F7: depósitos de barras de arena en canales menores o de inundación en ríos trenzados. Facies medias de abanico aluvial, canales distributarios. Relleno en canales "channel fill" (Bridge, 2003b).	
	F5+F8: depósitos en pequeños lagos o lagunas, canales abandonadas o áreas deprimidas dentro del sistema trenzado (Reineck y Singh, 1980).	
Formación Muguosa	F7+F10: Paleosuelos de calcretas en bancos "Bank" o terrazas estables con baja frecuencia de inundación (Catuneanu, 2006).	Sistema fluvial meandriforme y complejos de desborde asociados a una amplia planicie aluvial. Facies fluviales de canal y desborde de canal hacia el S y E, Facies de planicie de inundación hacia el N y W. Secuencia granocreciente de facies fluviales a abanico al tope.
	F1+F2: depósito de tracción de fondo de canal, gravel lag. Ambiente fluvial en canales principales (Cant, 1988).	
	F2+F3+F5+F7: depósito de barra puntual completa, desde el depósito de canal hasta el depósito de planicie de inundación (Blatt et al., 1980).	
	F3+F5: depósitos de desborde de canal, lateralmente pasa a F7. (Reineck y Singh, 1980). F5+F3: depósitos de complejo de desborde de canales principales (Crevasse splay complex).	
	F7+F5+F10: depósito de planicie de inundación. Cuando se desarrolla P es una planicie estable, no tan frecuentemente inundada (Catuneanu, 2006).	
	F7+F10: Arcillolitas o lodolitas con capas de yeso concordantes: depósito bajo condiciones de extrema aridez en playa de lagos efímeros bajo alta evaporación (Stow y Dorrik, 2005).	
Formación Muguosa	F8: depósitos en pequeños lagos o lagunas o áreas inundadas casi permanentemente (Reineck y Singh, 1986).	

	Sucesiones de Facies e interpretación	Ambiente sedimentario
Formación Esmeraldas	F3+F4: depósitos de canal aluvial - estuarino. Ambiente fluvial, ríos meándricos. Canales o canales en planicies intermareales.. Sp: Bidireccional canal mareal. (Reineck y Singh, 1980; Leeder, 1999)	Ambiente transicional fluvial a estuarino de baja intensidad, valle aluvial inundado por el océano Drowned river valley (Reineck y Singh, 1980). Hacia el flanco W más fluvial y lagunar, hacia el E más estuarino e influencia mareal.
	F8+F9: depósitos en agua quieta de pantano o laguna de estuario donde se conserva la materia orgánica en condiciones reductoras. (Blatt et al., 1980)	
	F7: depósitos de planicie de inundación expuesta a desarrollo de suelos y vegetación con variaciones del nivel freático que produce moteado. (Miall, 1996; Catuneanu, 2006)	
	F5+F6: depósitos de planicie intermareal, en ambiente estuarino. (Friedman y Sanders, 1978; Reineck y Singh, 1980)	
	Conchas de bivalvos y gastrópodos en el horizonte Los Corros . Abundante materia organica vegetal de madera fósil y hojas (Mirioni, 1965). Buena continuidad lateral de los cuerpos arenosos de manera que se pueden seguir hasta por 7 a 8 Km. Los cuerpos de arena presentan una geometría principalmente acuñada pero formando cuerpos tabulares. Presencia de estromatolitos algales los cuales indican ambiente de plataforma o ambiente estuarino (Blatt et al., 1980; Stow y Dorrik, 2005)	
Formación La Paz	F2-F3-F7: depósito de barras de canal en sistemas aluviales trenzados a meandriformes, desde el depósito de grava de canal hasta el depósito de planicie de inundación con desarrollo de suelos (Blatt et al., 1980).	Sistema fluvial trenzado a meandriforme
	F7-F8-F9: Pantanos en planicie de inundación aluvial, con esporádicas entradas de arenas de canales de desborde y erosión localizada de anteriores depósitos. F3-F7-F4-F5: sistemas fluviales de ríos trenzados a meandriformes con planicies de inundación muy escasas, abunda la amalgamación de facies arenosas indicando poco espacio de acomodación y lavado de arenas con poca representación de depósitos lodosos de planicie (Blatt et al., 1980)..	Rios trenzados a meandriformes con facies proximales hacia el S-SW con facies medias aluviales y facies distales hacia el N-NE

5.3 DISTRIBUCION DE FACIES EN EL SINCLINAL DE NUEVO MUNDO

5.3.1 Formación la paz

A la base de la Formación La Paz se pudo seguir por todo el SNM a través de un nivel basal de conglomerados, el cual varía de espesor y textura pero es constante y marca la discordancia del Eoceno en el SNM (Tabla 4). Se trata de conglomerado de clastos bien redondeados principalmente de cuarcita y chert y en mínima proporción arenitas cuarzosas, el cual reposa en discordancia erosiva sobre niveles de arcillolitas varicoloreadas de la Formación Lisama (figuras 11 y 14).

Encima del Conglomerado Basal, existe un nivel de lodolitas denominado el “Toro Shale”, identificado hacia el flanco W del SNM en las secciones de la Via Barrancabermeja y Sección Payoa, es un nivel de limolitas silíceas gris claro con

fantasmas de raíces y moteado morado oscuro, de extensión local descrito por Morales et al., (19589, corresponde a lodolitas de planicie de inundación que fue alterada por procesos pedogenéticos y corresponde a la continuación de la Formación La Paz hacia el sector NW del SNM (Figuras 11 y 14).

Sobre el flanco E del SNM se midieron 1090 m de la Fm La Paz (Mora et al., 2009), hacia el extremo sur del SNM se presenta el mayor espesor de aproximadamente 1500 m, de acuerdo a la cartografía realizada; hacia el flanco W se calculan en el mapa unos 400 m en el sector del Pozo LSN2P y sigue disminuyendo gradualmente hacia el NW de tal forma que sobre la vía Bucaramanga - Barranca la Formación La Paz se reduce únicamente al nivel basal de conglomerado de cuarzo de 1.5m, el Toro Shale y un nivel delgado de arenitas gruesas que en total miden unos 85 m (Figuras 11y 14). A partir de aquí, el Nivel de “Toro Shale” se puede seguir por fotogeología hacia el norte porque forma una cresta sobresaliente en el terreno y en la carretera que va de la quebrada Payoa hacia Riosucio (Sección 4: Payoa), se pudo encontrar afloramientos de este y de las demás unidades (Figuras 11 y 14).

Tabla 4. Espesor y tamaño de clastos del conglomerado basal de la Formación La Paz en varios sitios del Sinclinal de Nuevo Mundo.

Flanco	Sitio	Este	Norte	Unidad	Espesor
Flanco Occidental	Via Barranca Campo Lisama	1060782	1280631	Congl. Basal	1,5
	Arriba Pozo LSNorte2p	1060839	1276161	Congl. Basal	4,5
	Cerro la Aurora	1060845	1266208	Congl. Basal	24
	Sur Cerro la Aurora	1060913	1265111	Congl. Basal	15,3
Flanco Oriental	Extremo Sur	1064058	1260401	Congl. Basal	14
	Altamira	1073679	1270568	Congl. Basal	10
	Represa Sogamoso	1075558	1276886	Congl. Basal	8
	Via Uribe - Puente Rojo	1082347	1291116	Congl. Basal	4

Se puede ver que los mayores espesores hacia el sur, tanto en espesor como en textura de clastos en los conglomerados, igualmente las direcciones de paleocorriente medidas (Figura 28), para esta unidad, indican dispersión de sedimento desde una fuente hacia el S – SW con facies proximales aluviales de ríos trenzados con conglomerados a la base de la unidad (asociaciones de facies F2-F7-F3), en el sector sur del SNM y facies finas fluviales y distales de limolitas como el Toro Shale, y arenitas medias a finas (Facies F3-F7-F4-F5), hacia el norte (Figura 32).

5.3.2 Formación Esmeraldas

La Fm Esmeraldas consiste de una sucesión predominantemente acillosa-limosa arenosa. Consiste de una intercalación de paquetes de capas de arenitas gris a gris verdoso de grano fino a medio con alto contenido de líticos y mica con gruesos niveles de arcillolitas grises hacia el flanco W y principalmente shales grises oscuros con abundante materia orgánica hacia el flanco E. Se intercalan localmente algunos paquetes de arenitas de grano medio a grueso en capas gruesas hasta 8 m de espesor en el flanco E; en general los niveles arenosos presentan buena continuidad lateral.

Mediante sensores remotos y cartografía se pudo establecer que esta unidad se adelgaza hacia el W pasando de 1255 m en el sector del río Sogamoso, a 780 m en el área del Pozo LSN-2P, y más al N pasa a 570 m en la sección 4 medida en el sector de la quebrada Payoa (Figura 11). Hacia el flanco W el intervalo correspondiente presenta facies fluviales y lacustres (facies F3, F8, F5). Hacia el flanco E el intervalo correspondiente a esta unidad presenta facies de ambiente estuarino con influencia aluvial con facies F9-F6-F5-F3, (Tabla 2 y 3, Figuras 13 a 15 y Anexo 1 – Figuras 1 a 3).

El nivel fosilífero de Los Corros fue identificado solo en el flanco E del SNM, se trata de un nivel con fósiles de tamaño centimétrico de gastrópodos y Bivalvos que en afloramientos en la estación p-179 y p-361 (Figura 11), corresponde a dos estratos de arenitas verde oliva de 30 a 60 cm de espesor con conchas de gastrópodos y por lo menos dos niveles de shale negro con conchas de bivalvos y gastrópodos; hacia el norte del flanco E se identificó el nivel pero los fósiles son milimétricos. Este nivel se ubica unos 50 a 100 m por debajo del techo de la unidad (Figuras 13-15, Anexo 1 – Figura 3).

Esta unidad marca un cambio en las condiciones ambientales de depositación de ambiente fluvial con influencia estuarina y mareal a condiciones netamente fluviales de la Fm Mugrosa (Tabla 3, Figura 32).

5.3.3 Formación Mugrosa

La Formación Mugrosa es una unidad predominantemente lodosa, compuesta de lodolitas varicoloreadas marrón rojizo, gris, amarillento, rojo, amarillo rojizo, en niveles métricos a decamétricos, con estratos de arenitas granulosas blancas limpias, en general no cementadas, con gradación normal y base conglomerática, en niveles métricos o centimétricos, la mayor parte están aisladas dentro de las lodolitas y con moderada continuidad lateral. No se identificó en el SNM el nivel fosilífero de Mugrosa reportado hacia el techo de esta unidad en la CVM.

El contacto entre la Fm Mugrosa y la Fm Esmeraldas es discordante, dicha discordancia es más notoria hacia el flanco occidental del Sinclinal de Nuevo Mundo en donde los estratos de Fm Esmeraldas tienen una aptitud de 80/32 y sobre esta los estratos de Mugrosa tienen una aptitud de 21/17 (Figura 12).

Hacia el flanco E esta discordancia es menos notoria, el contacto entre las dos unidades es erosivo con un cambio textural, facial y composicional (Ver Anexo 1: Análisis de facies y Anexo 2: Petrografía de arenitas) y la actitud de las capas en esta transición varía en rumbo unos 5 a 10 grados y en buzamiento entre 4 a 5 grados (Figura 15 y 16). Dentro de la misma Formación Mugrosa, se presenta una variación en el buzamiento de las capas de mayor ángulo en la base hacia un menor ángulo de buzamiento en el techo de la unidad (Figuras 14 y 15).

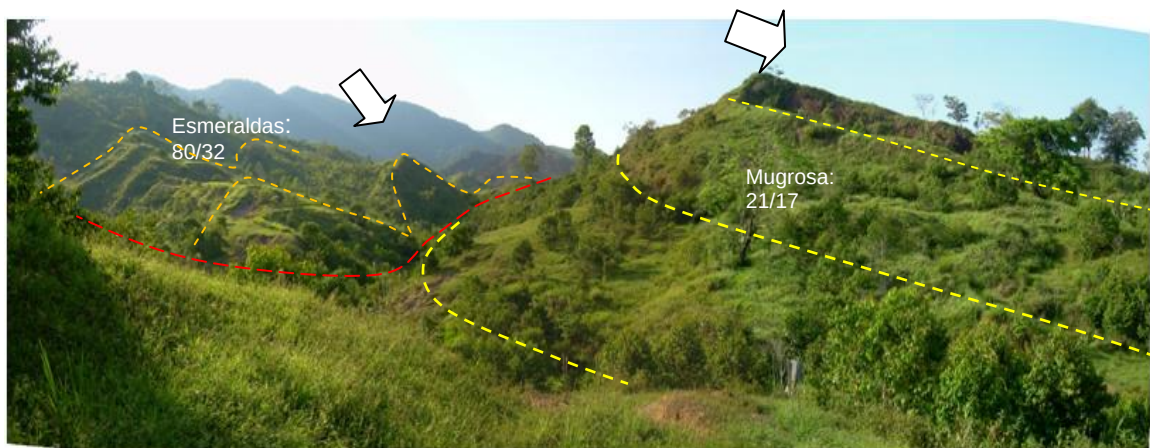


Figura 12. Contacto discordante entre las formaciones Esmeraldas y Mugrosa. Se observa sobre el flanco occidental del Sinclinal de Nuevo Mundo hacia el sector sur. Foto tomada en dirección hacia el N (quebrada Putana, N:1273371, E:1062506).

En el flanco E del SNM, esta unidad alcanza un espesor de 1330m, es un grupo de 3 ciclos principalmente granocrecientes (coarsening upward) que viene de lodolitas shale negros y arenitas estuarinas de Fm Esmeraldas (asociaciones de facies F9-F6-F3, Tabla 3) a lodolitas de planicie fluvial y arenitas de complejo de desborde en sistemas meándricos a la base de mugrosa (F7-F3) y hacia el techo arenitas de canal fluvial meándrico y de desborde de canal con intercalaciones de lodolitas arenosas de planicie y algunos estratos de conglomerados de guijas finas (F3-F5-F7-F2) (Tabla 2).

La litología equivalente en el flanco W del SNM entre 14 a 17 Km al W, tiene un espesor de solo 672 m y viene de facies de arcillolitas y arenitas lacustres a

fluviales de la Fm Esmeraldas (F8-F3), pasando a lodolitas varicoloreadas de planicie fluvial, arcillolitas lacustres, arenitas de complejo de desborde, arenitas de barra puntual fluvial meándrico y paleosuelos (F7-F8-F3 y F10), (Figura 32).

De sur a norte la Formación Mugrosa presenta un cambio de facies, de facies fluviales de arenitas de barra puntual y desborde con lodolitas de planicie fluviales meandriformes en las secciones 4 y 1 (F3-F5-F7), hacia facies predominantemente finas de planicie fluvial con arenitas aisladas de canales de desborde en las secciones 5, 7 y 9 (F7-F5-F3) (Figura 13, 14, 15 y 32).

La Fm Mugrosa se adelgaza hacia el norte de tal manera que en la sección 1 y hacia el sur, el espesor es >1330 m y hacia el norte en las secciones 7 y 9 el espesor es de 1200 m y disminuye aún más al norte. Seguramente esta disminución de espesor tiene que ver con erosión ya que se observa una discordancia erosiva hacia el techo de Mugrosa en su contacto con la Formación Colorado. En general las facies de paleosuelos en Mugrosa aumentan hacia el W y hacia techo de la unidad.

Teniendo en cuenta La distribución facial y la dirección de las paleocorrientes la fuente de sedimento para Mugrosa estuvo localizada hacia el E – SE de la actual posición del SNM.

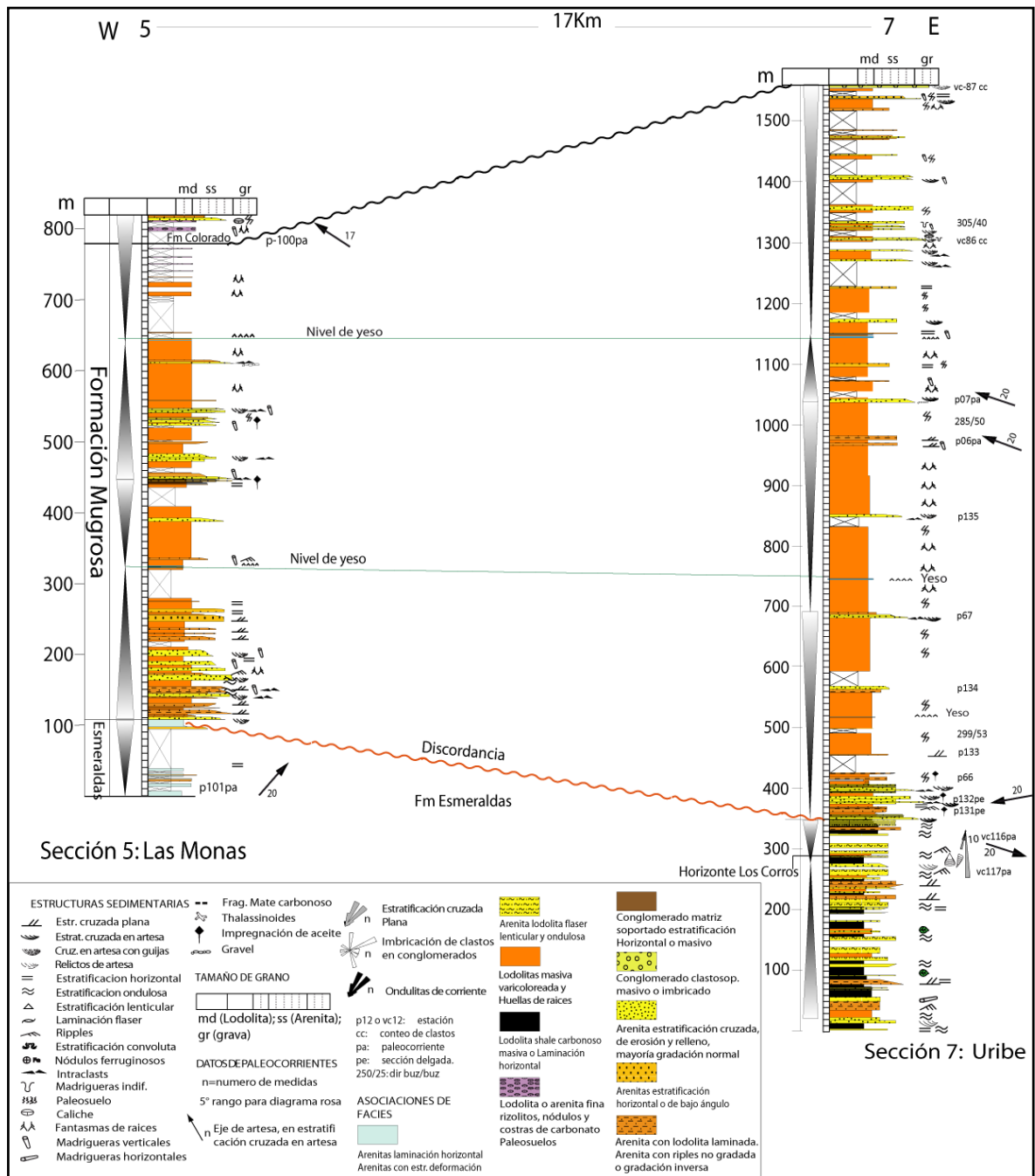


Figura 13. Columnas estratigráficas medidas 5 y 7 del techo de la Fm Esmeraldas y de la Fm Mugrosa en el SNM. (localización en la Figura 11), incluye correlación litoestratigráfica, asociaciones de facies interpretadas, medición de paleocorrientes, ubicación de secciones delgadas y conteo de clastos. La correlación litoestratigráfica deja ver una cuña clástica con adelgazamiento hacia el W y fuente de sedimento del E para la Fm Mugrosa y W para la Fm Esmeraldas.

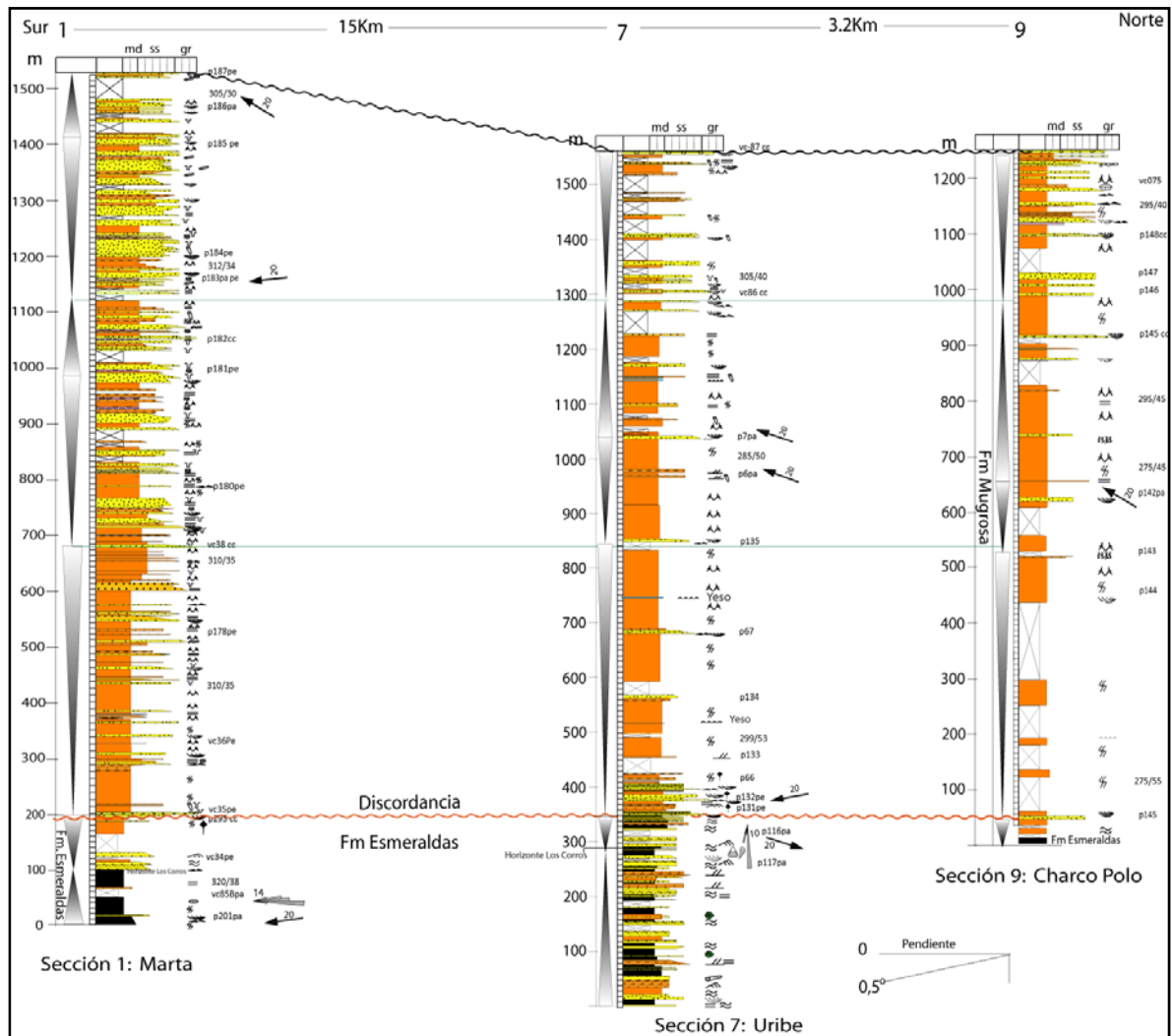


Figura 15. Columnas estratigráficas medidas 1-7-9 de la Fm Mugrosa, sección de correlación paralela al flanco oriental del SNM. (localización en la Figura 11). Incluye asociaciones de facies, medición de paleocorrientes, ubicación de secciones delgadas y conteo de clastos. Se ve un ligero cambio de espesor de la Formación Mugrosa, de sur a norte sobre el flanco E del SNM, fuente de sedimento del W y E para la Fm Esmeraldas y E para la Fm Mugrosa. (Convenciones en Figura 13).

5.3.4 Formación Colorado

Consiste de arenitas marrón rojizas conglomeráticas y conglomerados marrón rojizos, lodolitas marrón rojizas y paleosuelos con abundante costras y nódulos calcáreos. La unidad se adelgaza hacia el W. El contacto inferior es una discordancia erosiva y se ubica en la base de la primera capa de conglomerados sobre lodolitas y arenitas de Mugrosa en la sección de Uribe a Sabana; en la sección Marta el contacto se reconoce por un nivel arenitas marrones granulosas con cemento calcáreo y nódulos de Mn y encima un nivel de paleosuelo con costras calcáreas de la Fm Colorado sobre arenitas y lodolitas moteadas de Mugrosa.

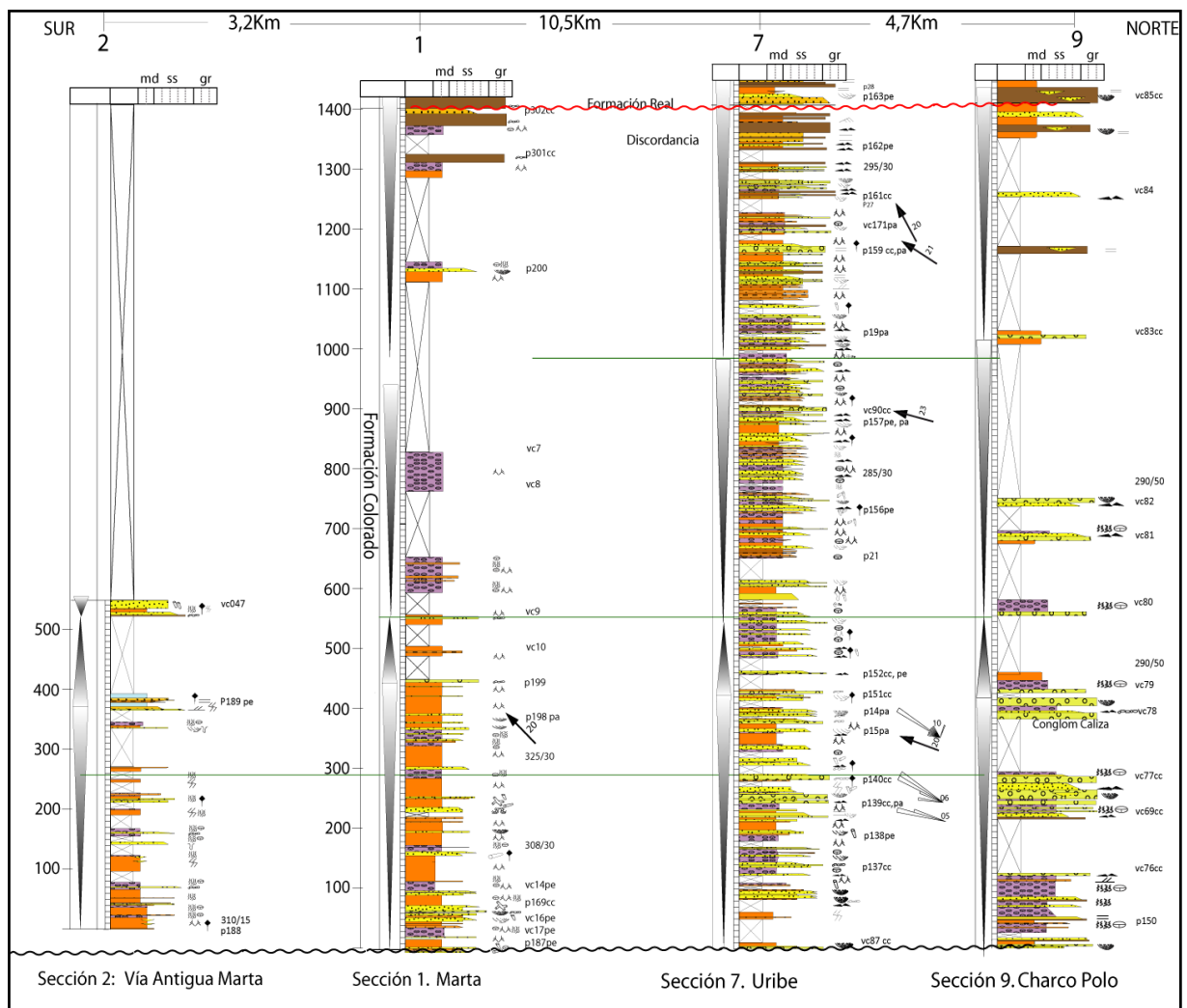
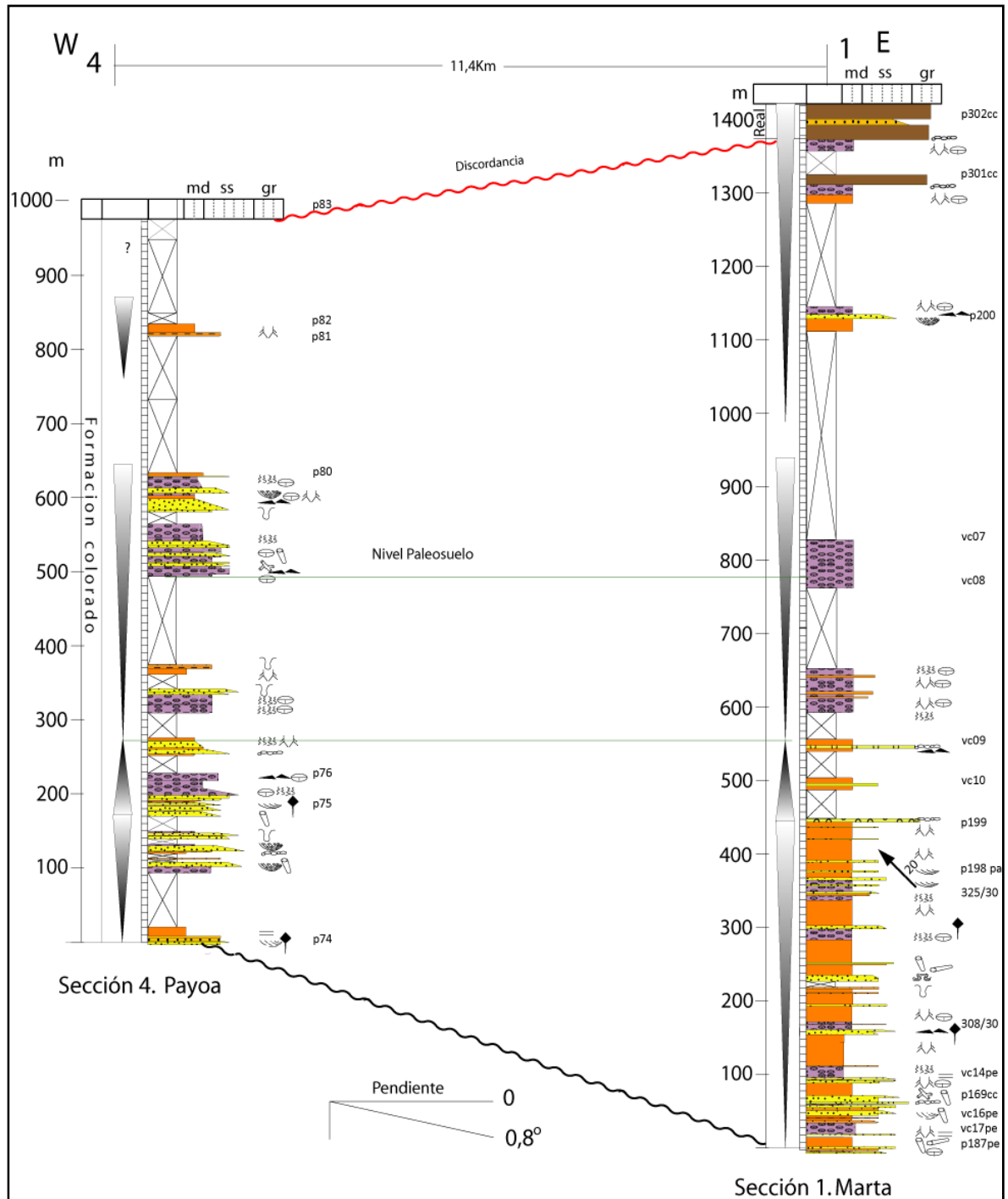


Figura 16. Columnas estratigráficas medidas 2, 1 7 y 9 de la Fm Colorado,



paralelas al flanco oriental del SNM. (localización en la Figura 11). Incluye correlación litoestratigráfica, asociaciones de facies interpretadas, medición de paleocorrientes, ubicación de secciones delgadas y conteo de clastos. Fuente de sedimento del E-SE para la Fm Colorado. (Convenciones en Figura 13).

Figura 17. Columnas estratigráficas medidas 4 y 1 del techo de la Fm Colorado en el SNM. (localización en la Figura 11). Incluye además la correlación litoestratigráfica, asociaciones de facies interpretadas, medición de paleocorrientes, ubicación de secciones delgadas y conteo de clastos. La correlación litoestratigráfica deja ver adelgazamiento hacia el W y fuente de sedimento del E – SE para la Fm Colorado (convenciones en Figura 13).

La Formación Colorado en el flanco E del SNM, alcanza un espesor de 1400 m, es un grupo de 3 ciclos principalmente granocrecientes (coarsening upward) que presenta facies medias de abanico aluvial hacia el norte y hacia el sur corresponde a facies distales de abanico y fluviales de ríos trenzados. En el flanco W la unidad solo alcanza los 970 m de espesor y presenta facies fluviales de arenitas de canales trenzados a meandriformes y niveles de paleosuelos calcáreos (Figura 17), (Figura 32).

En el sector N del SNM en la sección 7 y 9 la unidad varía de base a techo, de facies de arenitas de canales y desborde con conglomerados de facies media de abanico, e intercalaciones de lodolitas de planicie y niveles de paleosuelos, a la base (asociaciones de facies F2-F3, F5, F7-F10 Tabla 2), hasta una predominancia de conglomerados que gradan a arenitas fluviales y paleosuelos y facies de conglomerados matrizsoportados de flujos (flash floods), de abanicos aluviales, hacia el techo (F2-F3, F1, F7-F10), (Figura 16)

Hacia el S a una distancia de 10.5 Km, en la Sección 1 y 2, la Fm Colorado está compuesta de base a tope principalmente de facies de lodolitas fluviales de planicie de inundación con gruesos niveles de paleosuelos y en menor proporción arenitas de canal y sistema de desborde de canal (Crevasse splay channel sands), (F7-F10, F3-F4-F5 y F9). Hacia el techo se presentan en la sección 1 facies conglomeráticas de deflujos de escombros de abanico aluvial con facies de paleosuelos (F1, F10) (Figura 16).

Sobre el flanco W del Sinclinal de Nuevo Mundo (aunque no se encontraron afloramientos de toda la unidad), la Formación Colorado es una secuencia de tres ciclos granocrecientes en donde predominan los niveles gruesos de paleosuelos calcáreos con arenitas de canal fluvial y complejo de desborde fluvial trenzado a meándrico, pero no se encontraron facies de abanico aluvial (F10, F4-F5) (Figura 17).

La distribución de facies y las direcciones de paleocorrientes medidas en esta unidad indican que la fuente del sedimento estuvo localizada hacia el E-SE del SNM

5.3.5 Formación Real

En este trabajo se levantó solamente la Formación Real Inferior (1100 m), del Grupo Real, el cual puede alcanzar los 3000 m. Sin embargo si se hizo la cartografía de toda la unidad (Figura 11). Su contacto con la infrayacente Fm Colorado es discordante erosivo con cambio en buzamientos de 35-40 grados en la Fm Colorado a 25-30 en la Fm Real, pero donde se pudo identificar mejor esta discordancia fue en el anticlinal de monas, donde la Formación Real cubre en discordancia a la Fm Mugrosa habiendo sido erodada la Fm Colorado (Figura 18). La Formación Real Inferior es un grupo de 3 ciclos principalmente granodecrecientes (fining upward) que va desde facies de abanico proximal a la base hasta facies fluviales de ríos trenzados y meandriformes hacia el tope. De norte a sur viene de facies proximales de abanico aluvial hacia facies distales fluviales. Esto mismo ocurre de oriente a occidente.

En el sector N del SNM, sección 7, la Formación Real Inferior inicia con conglomerados matrizsoportados de facies medias de abanico, arenitas fluviales trenzadas en facies medias aluviales y en menor proporción paleosuelos y lodolitas de planicie de inundación (F1, F3-F4, F7-F10), y hacia el tope predominan las facies de arenitas fluviales en canales trenzados con conglomerados clastosoportados subordinados, lodolitas fluviales de planicie y paleosuelos (F3-F4, F2, F7-F10).

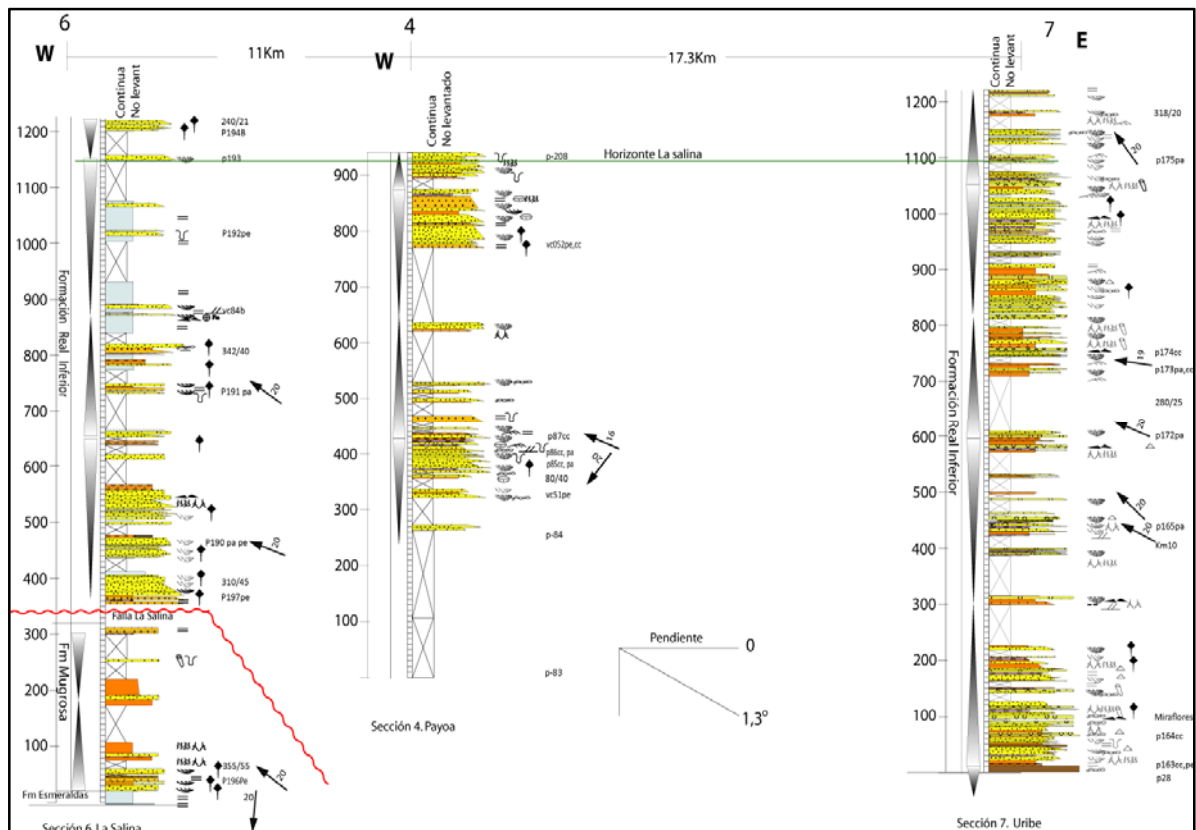


Figura 18. Columnas estratigráficas medidas 6, 4, 7 de la Formación Real en el SNM. Incluye además la correlación litoestratigráfica con base en horizonte guía La Salina de la Fm Real, asociaciones de facies, medición de paleocorrientes, ubicación de secciones delgadas y conteo de clastos. La correlación litoestratigráfica deja ver fuente de sedimento del E – SE para la Fm Real Inferior. (Ver Figura 11 y 13 para ubicación de secciones y convenciones).

En el sector SW del SNM, sección 4, predominan las arenitas de facies medias a distales de abanico y arenitas fluviales de canales trenzados con muy pocos niveles lodosos y de paleosuelos (F3-F4, F7-F10). Al W, sección 6, se encuentran las facies de arenitas fluviales de canales trenzados y algunas lodolitas en la base; y arenitas fluviales de barras puntuales en sistemas meandriformes y lodolitas de planicie fluvial y arcillas lacustres hacia el techo (Figura 18)

La distribución de facies y la dirección de paleocorrientes de esta unidad indican que la fuente de sedimento para la Formación Real Inferior estuvo ubicada hacia el E-NE del Sinclinal de Nuevo mundo, igual que la anterior unidad Colorado (Figura 32).

5.3.6 Fm Mesa

La formación Mesa es una secuencia de gravas y arenas con algunos niveles de planicie de inundación. En este trabajo no se levantó sección de esta unidad pero si se cartografió parte de esta donde aflora en el SNM, hacia el flanco W se pudo observar que esta unidad se encuentra verticalizada en cercanías del cabalgamiento de La Salina indicando que esta falla ha tenido actividad en el Plioceno, en la estación 446 (N: 1291756, E:1058917) los estratos se encuentran verticales.

5.4 PETROGRAFIA DE CONGLOMERADOS

5.4.1 Petrografía de conglomerados

En este trabajo se realizaron 45 estaciones de conteo de clastos para las unidades del Cenozoico que presentan conglomerados en el área del Sinclinal de Nuevo Mundo: Fm La Paz: 5 conteos, Fm Esmeraldas no presenta conglomerados, Fm Mugrosa: 7, Fm Colorado: 23 y Fm Real: 10 conteos de clastos. La distribución estratigráfica de la composición de acuerdo a cada unidad se muestra en las secciones estratigráficas levantadas (Figuras 23, 24, 25); más detalles acerca de las facies de conglomerados se presentan en el Anexo 1: Análisis de facies.

5.4.2 Conglomerados de la Fm La Paz

Solo presenta muy pocos niveles de conglomerados en la Formación La Paz. La unidad inicia con un nivel de conglomerados basal de espesor variable a lo largo de los dos flancos SNM (Tabla 4), pero existen otros niveles por encima de este aunque muy delgados.

los conglomerados de esta unidad tienen fragmentos con tamaños entre guijas medias hasta guijarros (16 – 250mm). Predominan los clastos de cuarzo y chert y en promedio los dos representan el 75 al 80% del total de los clastos.



Figura 19. Conglomerado basal de la Fm La Paz. La composición de este conglomerados es principalmente de cuarzo lechoso de vena y cuarcita, chert de color gris oscuro y amarillo. Aquí las guijas son desde 1 cm hasta guijarros de 16 cm pero contiene aún más gruesos (foto tomada cerca al Cerro La Aurora extremo sur del SNM, Figura 11).

También se identificaron clastos de arenitas y limolitas claras y trazas de limolitas y arenitas rojas. Los niveles de conglomerados más gruesos, de hasta 24 metros en el conglomerado basal de esta unidad, se ubicaron hacia el suroccidente del SNM, Cerro La Aurora. Allí los clastos también son los más gruesos registrados con tamaños hasta de 25 cm, de cuarzo de vena y cuarcitas.

5.4.3 Formación Esmeraldas

Esta unidad no presenta niveles conglomeráticos, solo se encontraron algunos lentes muy delgados hacia la base muy cerca del contacto con la Fm La Paz.

5.4.4 Composición de conglomerados de la Fm Mugrosa

Los conglomerados de la Fm mugrosa se presentan a la base de estratos de arenitas fluviales y muy pocos estratos aislados solo hacia el flanco E en el Sector medio del SNM. Los conglomerados de esta unidad son todos de guijas muy finas a medias (5 a 15mm). Predominan los clastos de chert de color gris y amarillo y cuarzo. Generalmente el cuarzo y chert son bien redondeados, posiblemente el resultado de más de un ciclo sedimentario (Folk, 1974). También contiene fragmentos de limolitas síliceas y cuarzoarenitas amarillas o blancas (23, 24, 25).

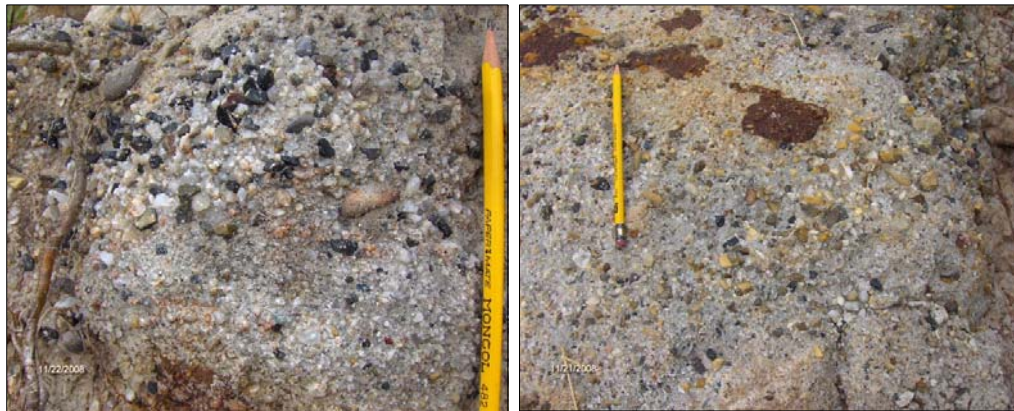


Figura 20. Conglomerados de la Fm Mugrosa. Clastos entre 5mm hasta 1.5cm. Los clastos de color negro y amarillo corresponden a chert, los clastos grises son de cuarzo; se puede observar el alto contenido de chert en estos conglomerados. (Foto tomada en la vía antigua La Y de Marta a Sabana).

5.4.5 Composición de Clastos de la Fm Colorado

Los conglomerados de la Fm Colorado tienen granulometría de guijas y guijarros, esta unidad es la que mayor volumen de conglomerados presenta. La composición de los clastos de la formación colorado es muy constante a través de los sitios medidos, los clastos de rocas sedimentarias son los más abundantes

Los conglomerados de esta unidad varían desde guijas medias a guijarros (15 mm a 25.6 cm). Predomina la composición de arenitas y limolitas claras, arenitas y limolitas rojas y es la única contiene clastos de caliza.



Figura 21. Composición de conglomerados de la Fm Colorado. Corresponde a guijarros y guijas de promedio 4 hasta de 20 cm. En esta unidad predominan los clastos de calizas y arenitas. Algunos de los clastos de calizas con fuerte olor a petróleo, y su fuente puede ser de las unidades La Luna (Hedberg y Sass, 1937) o unidades correlativas. (Fotos tomadas en el caño Charco Polo y en la vía antigua del ferrocarril, hacia el norte del SNM, Figura 11).

Hacia la parte media y techo de la unidad se observa un enriquecimiento en clastos metamórficos, de neises, filitas y esquistos, y fragmentos ígneos graníticos. La Formación Colorado es la unidad que mayor proporción de conglomerados presenta, y los niveles de conglomerados estos son más abundantes y mejor desarrollados hacia la parte central y norte del SNM

5.4.6 Composición de Clastos de la Fm Real

Después de la Fm Colorado, la Fm Real es la siguiente en tener gran cantidad de conglomerados.

Los conglomerados de esta unidad son los de mayor tamaño; en la base de la unidad estos son de tamaño guijarro (6.4 a 30cm). Esta unidad presenta la mayor diversidad en composición. Predominan los clastos ígneos de granito y riolita, metamórficos de neis, filita, esquisto, y sedimentarios de chert, limolita y arenita roja, y arenita y limolita clara. Se pudo observar que nuevamente vuelve a surgir el cuarzo como importante formador de los clastos. Hacia el techo de la Fm Real Inferior (solo esta unidad fue estudiada), aumenta la proporción de clastos ígneos



sobre los demás tipos.

Figura 22. Composición de conglomerados de la Fm Real. Izquierda: a su base que muestra alto contenido de clastos metamórficos, sedimentarios e ígneos, extremo Norte SNM. Derecha: hacia el tope de la unidad aumenta la proporción de clastos ígneos y volcánicos sobre los demás tipos, Foto tomada en la vía Sabana Uribe. (Figura 11).

5.4.7 Distribución en el tiempo de la Composición de Clastos

En las Figuras 23, 24 y 25 se puede observar la variación en la composición de clastos en conglomerados de las formaciones Mugrosa, Colorado y Real en el Sinclinal de Nuevo Mundo; en todos los sectores se repite la misma secuencia de aparición de las litologías, es decir en la formación Mugrosa abundan chert y cuarzo, con algunas arenitas y limolita clara, esta es la principal composición también de las arenitas (Ver Anexo 2 Petrografía de arenitas). Hacia el techo de Mugrosa y base de Fm Colorado se presenta un alto contenido clastos de arenitas y limolitas claras, limolitas y arenitas rojas y calizas y hacia la parte media comienzan a aparecer clastos ígneos y metamórficos; La Fm Real se caracteriza por la aparición de alto contenido de clastos especialmente ígneos y metamórficos.

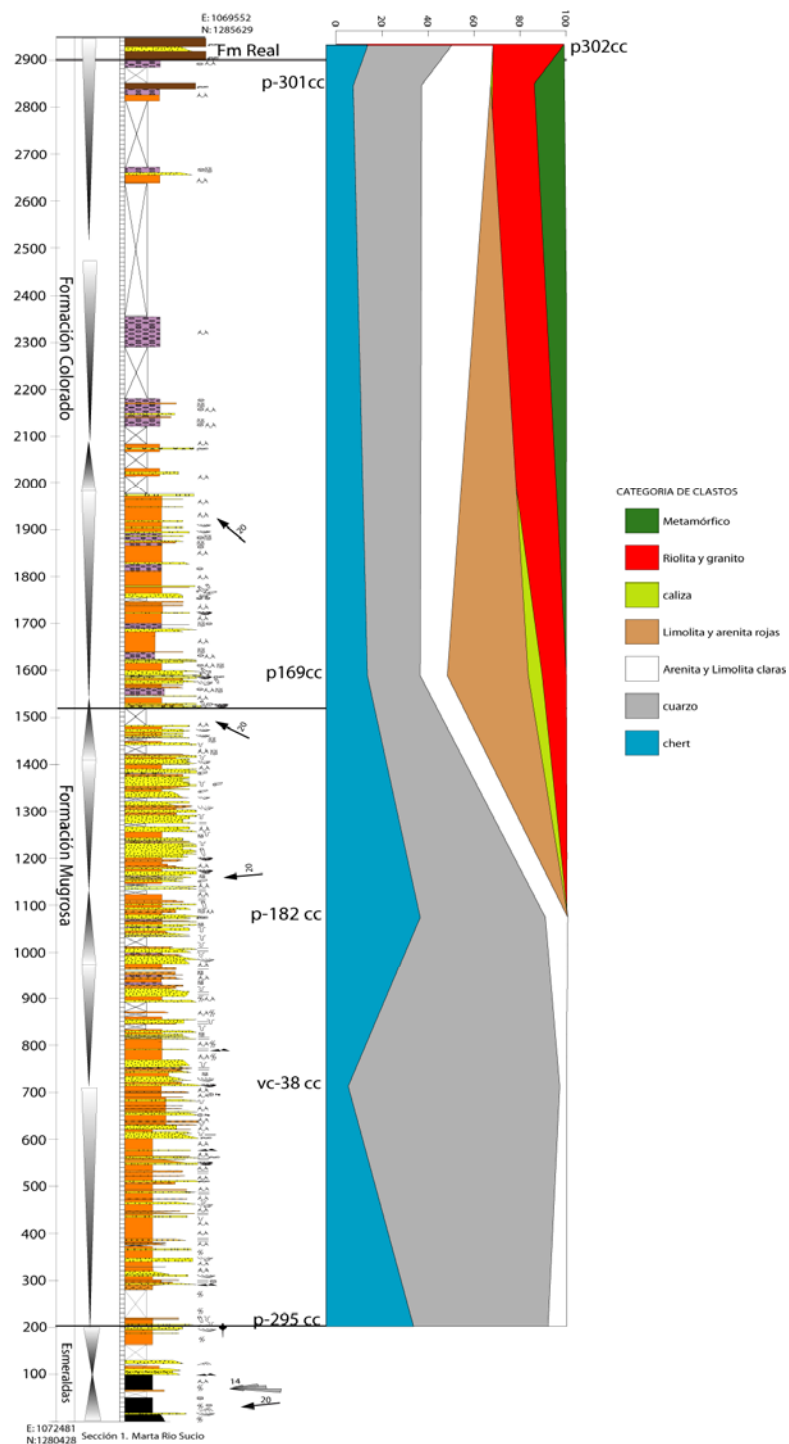
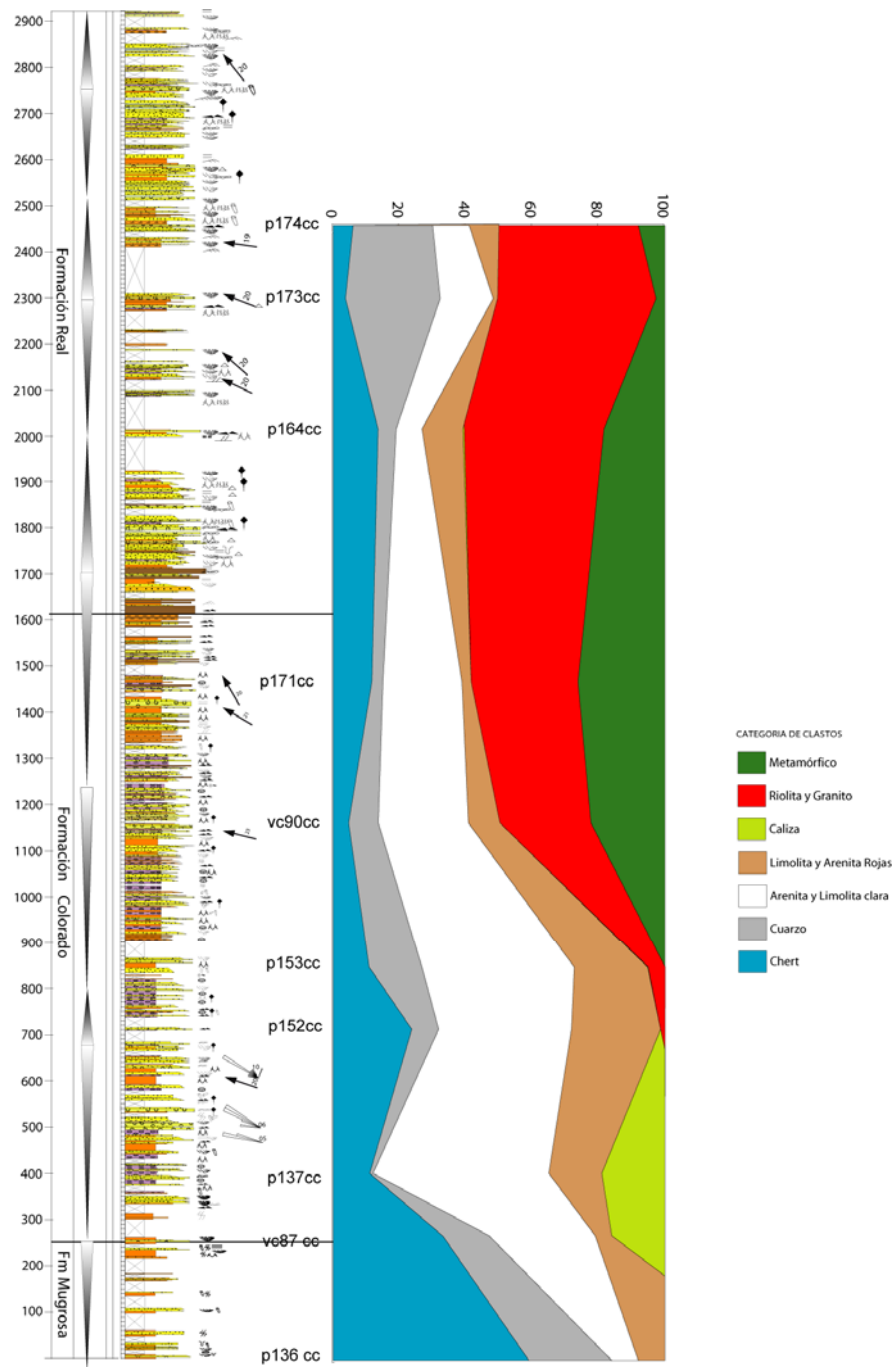


Figura 23. Variación en la composición de clastos Sección 1. Distribución estratigráfica de la composición de clastos en conglomerados de las formaciones Mugrosa, Colorado, Real en la Sección 1. Marta - Riosucio (Figura 11).



Sección 7. Uribe - Sabana de Torres

Figura 24. Variación en la composición de clastos Sección 7. Distribución estratigráfica de la composición de clastos en conglomerados de las formaciones Mugrosa y Colorado, Real. Sección 7. Uribe – Sabana de Torres.

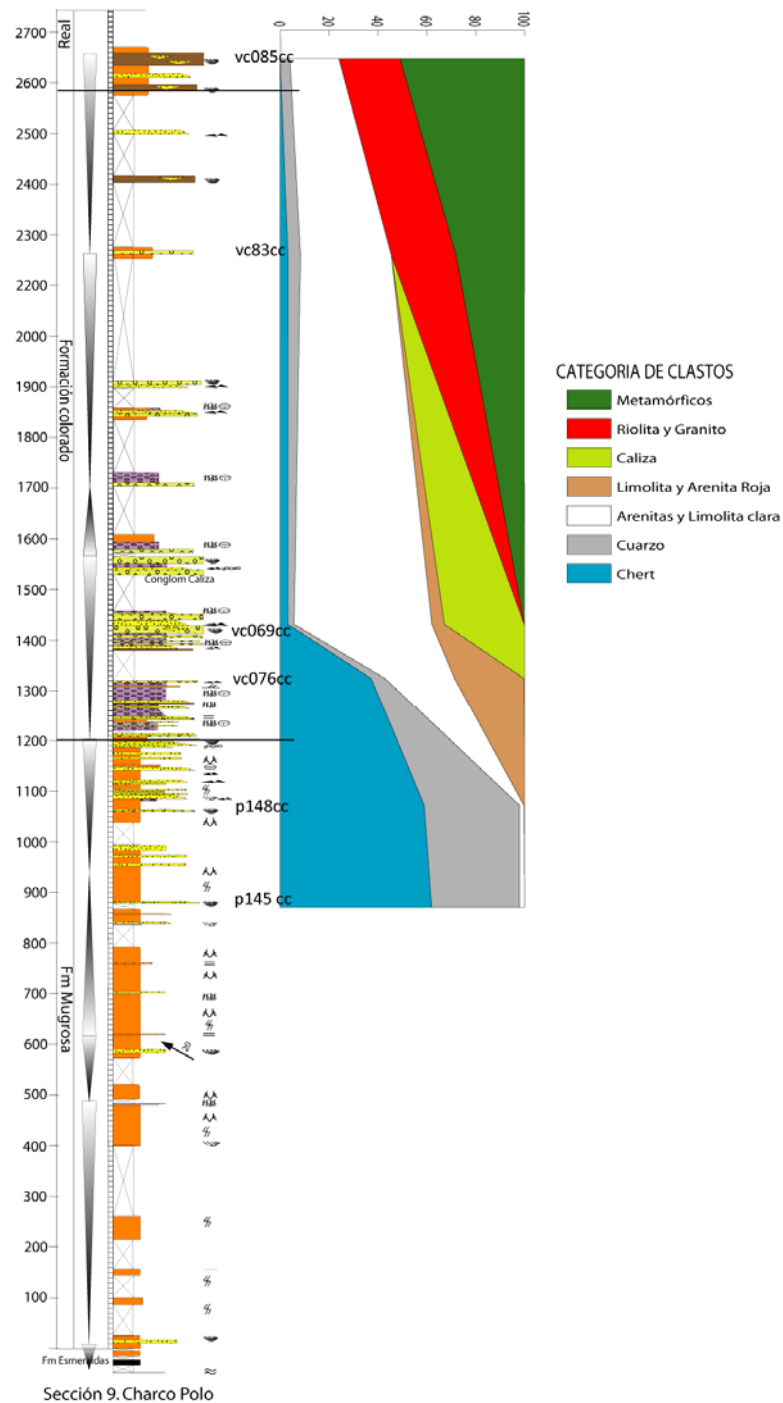


Figura 25. Variación en la composición de clastos Sección 9. Distribución estratigráfica de la composición de clastos en conglomerados de las formaciones Mugrosa, Colorado y Real en la sección 9, al Norte del SNM.

5.5 RESUMEN PETROGRAFÍA DE ARENITAS

Las observaciones realizadas en las secciones delgadas tomadas en el flanco W con las del Flanco E coinciden y refuerzan la cartografía realizada. La ubicación en el diagrama triangular de folk es consistente con los resultados de la cartografía y la estratigrafía levantada, así como con la petrografía de conglomerados (Figura 23 a 26).

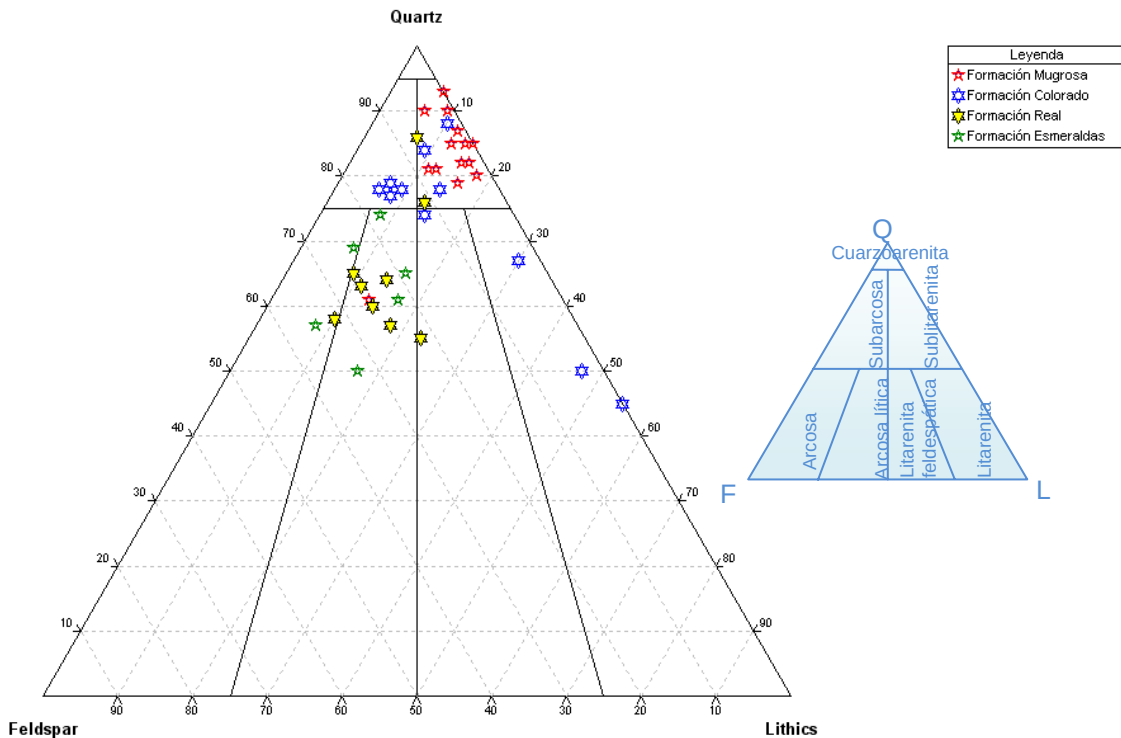


Figura 26. Diagrama triangular de Folk para las arenitas. Clasificación composicional de las formaciones Esmeraldas, Mugrosa, Colorado y Real en el Sinclinal de Nuevo Mundo de acuerdo al diagrama triangular de Folk, (1974).

5.5.1 Formación Esmeraldas

La mayor parte de las muestras analizadas de la Fm Esmeraldas, en el diagrama triangular de Folk (1974), caen en la categoría de Arcosa lítica a Arcosa.

Las arenitas de la Fm Esmeraldas se caracterizan por que su textura en la mayoría de los casos es de grano fino a medio, casi nunca pasa a tamaños gruesos, presenta moderada a buena selección, granos subangulares a

angulares, matriz moderada cantidad, poco cemento pero en algunos sectores calcáreo (ver Sección delgada p-131 Anexo 2), contenido de materia orgánica carbonosa como fragmentos de madera, hojas, de origen vegetal (Anexo 2-sección vc-063 y vc-031; Anexo1 - Figura 2 y 3).

En cuanto a composición se destaca la abundancia de feldespato (ver sección delgada vc-34. Vc-26, Anexo 2), líticos metamórficos en mayor cantidad sobre los ígneos y sedimentarios; en la mayoría de los casos los líticos y feldespatos se encuentran alterados. Las arenitas de la Formación Esmeraldas son muy parecidas en composición a las de la Fm Real excepto porque el tamaño de grano es siempre fino a medio en Esmeraldas.

5.5.2 Formación Mugrosa

Todas las muestras analizadas de la Fm Mugrosa, en el diagrama triangular de Folk (1974), pertenecen a la categoría de Sublitarenitas.

Las arenitas de la Fm Mugrosa se caracterizan por que su textura puede ir de arenitas finas a medias gruesas y muy gruesas, estas son limpias, predominan las arenitas gruesas o medias granulosas e incluso algunos delgados niveles de conglomerados de gránulos y guijas muy finas; una característica textural importante es que las arenitas muestran una distribución bimodal con granos tamaño arena fina, media y gruesa angulares y granos muy gruesos y gránulos redondeados (Sección delgada vc-002, p-166 Anexo 2) . En general son moderada a mal seleccionadas, rara vez tienen cemento y predomina matriz arcillosa en moderada cantidad. En cuanto a composición predomina el cuarzo limpio, chert inalterado muy pocos clast, feldespato es escaso y alterado (seguramente a expensas de este se tiene matriz arcillosa); una característica del chert es que contiene moldes de foraminíferos rellenos de cuarzo o hematita (ver sección delgada vc-002, p-181 Anexo 2).

5.5.3 Formación Colorado

Las muestras analizadas de la Fm Colorado se encuentran entre Subarcosa, Sublitoarenita, litarenita y Litarenita feldespática. Esta variación está relacionada con la posición estratigráfica de las muestras, como se muestra en la figura 16. Siendo sublitoarenitas hacia la base, litarenitas en la parte baja y media de la unidad, litarenitas feldespáticas hacia el techo por el aumento del aporte de feldespato ígneo y nuevamente sublitoarenitas hacia el contacto con la Fm Real (Figura 27).

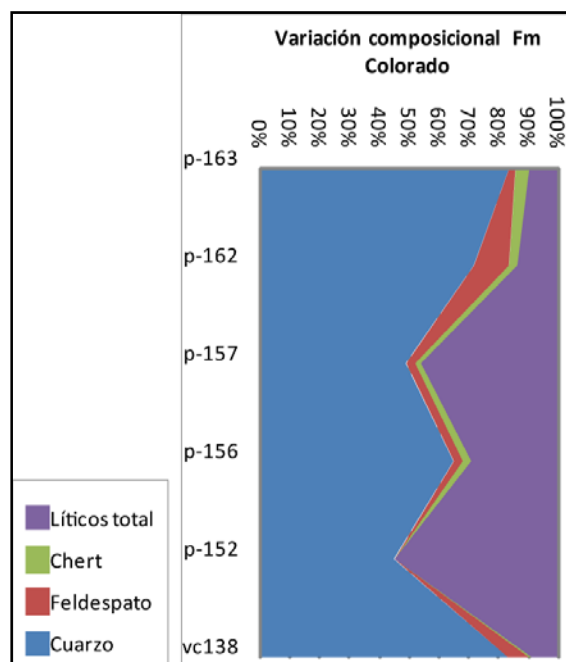


Figura 27. Variación en la composición en sección delgada de muestras de arenitas de la Fm Colorado. Sección Uribe-Sabana: presentan la mayor dispersión y se puede observar que esta dispersión está en función de su posición: hacia la base son subarcosas, más líticas encima de la base y parte media (litarenitas), y al tope sublitarenitas. (Ubicación de muestras en la Figura 16).

Las arenitas de Fm Colorado presentan tamaño de grano variado desde fino hasta muy grueso en su mayor parte conglomerático, selección pobre y en pocas ocasiones moderada. En las litarenitas los clastos de líticos y cuarzo de tamaño gránulo o guija muy fina son redondeados, los de menor tamaño angulares o subredondeados. En varios casos presenta matriz y cemento calcáreo (ver sección delgada p-138, p-152, p-157 Anexo 2), también matriz arcillosa.

Composicionalmente, se caracteriza por la abundancia de líticos de origen sedimentario a la base y parte media y aparición de líticos ígneos y metamórficos hacia el tope igual que la petrografía de los conglomerados (Figuras 23, 24 y 25); los líticos sedimentarios más abundantes son arenitas y fragmentos de caliza (ver sección delgada p-152, p-157 Anexo 2).

5.5.4 Formación real

Casi todas las muestras de arenitas analizadas de la Fm Real son Arcosas líticas a arcosas, pero dos caen en la categoría de sublitarenitas y estratigráficamente están ubicadas hacia la base de la formación en la sección Uribe-Sabana lo cual está de acuerdo con la composición del tope de Fm Colorado (Figura 18).

Las arenitas de la Fm Real presentan un amplio rango textural que va desde arenita fina, media, gruesa, muy gruesa y conglomerática en la mayoría de los casos; esto hace que la selección de los granos sea muy pobre (ver sección delgada p-173, p-177 Anexo 2). En general los granos y clastos líticos son angulares a subangulares. Presenta matriz arcillosa en la mayoría de los casos, hacia el flanco W del SNM las arenitas cerca de la falla La Salina se presentan impregnadas de hidrocarburos.

En cuanto a composición, las arenitas de la Fm Real contienen muchos líticos de todos los tipos y un altísimo contenido de feldespato que en la mayoría de los casos se presenta alterado, quizás la matriz es producto de la alteración de este feldespato y de líticos ígneos que contienen mucho feldespato. Las arenitas de la Fm Real son parecidas en composición a las de la Fm Esmeraldas, excepto el tamaño de grano en Real, el cual es muy mal seleccionado y muy grueso a conglomerático, mientras en esmeralda es bien seleccionado y de tamaño no mayor a medio.

En el Anexo 2 se resumen las características litológicas, (textura, selección, redondez, composición) de las 44 muestras de sección delgada agrupadas por formación y en seguida se muestran imágenes de algunas de estas secciones delgadas.

5.6 DISTRIBUCIÓN DE PALEOCORRIENTES

En las secciones levantadas se pueden ver las direcciones de la paleocorrientes medidas en el área del SNM (Figuras 13 a 18, 23-25). Además las paleocorrientes medidas en afloramientos no pertenecientes a las secciones se han graficado y se pueden ver a lo largo del SNM. (Figura 28).

Se puede observar que el patrón de dispersión para las formaciones Lisama y La Paz siempre va hacia el E, NE, lo que indica procedencia desde el W, SW de la posición actual del SNM.

Las paleocorrientes medidas en la Formación Esmeraldas muestran un patrón de dispersión bidireccional de occidente hacia el oriente en algunos sitios y viceversa (Figuras 13-18, Figura 28), predominando la dirección hacia el oriente.

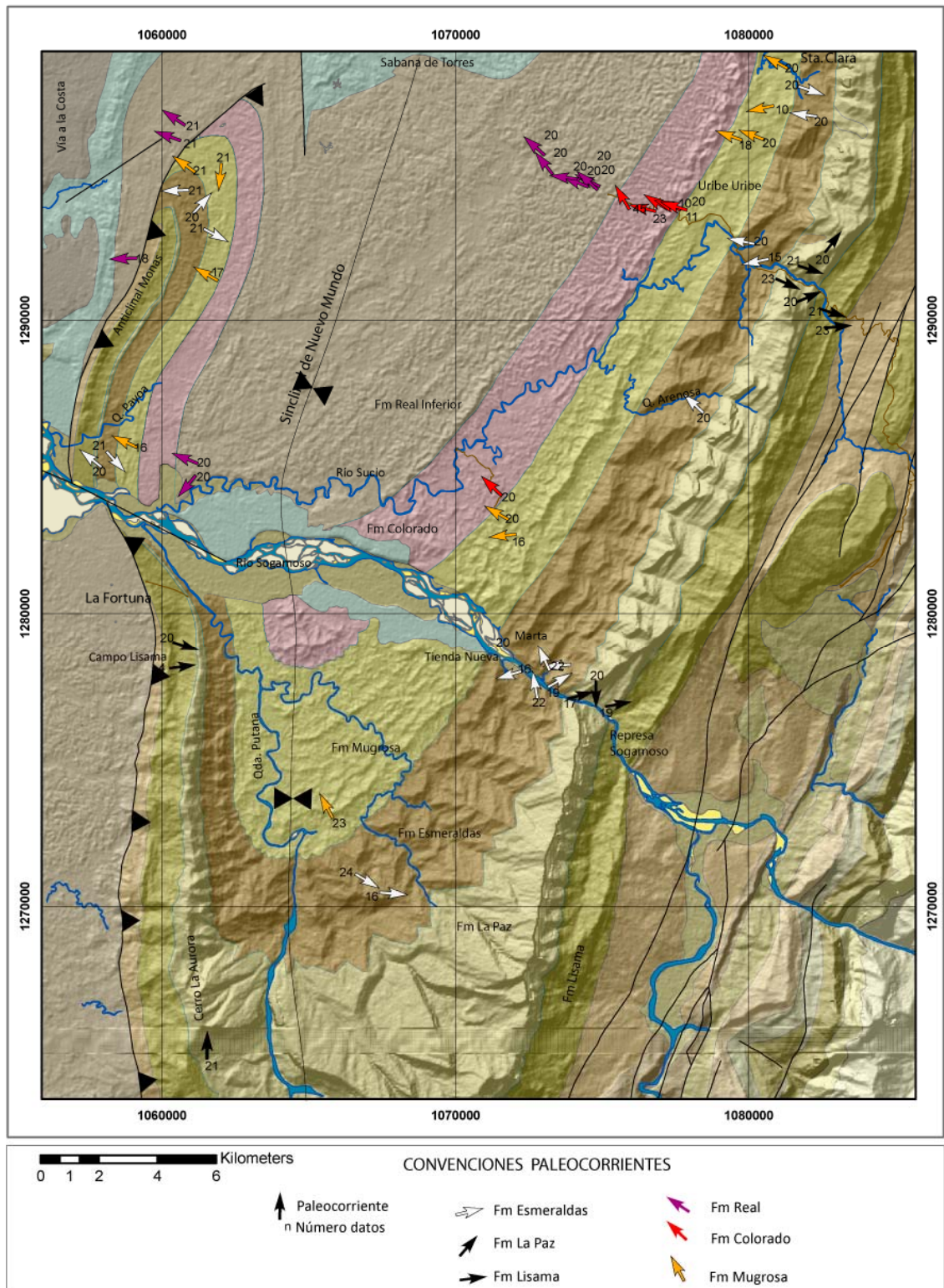


Figura 28. Distribución de paleocorrientes en el Sinclinal de Nuevo Mundo. Paleocorrientes de las formaciones Lisama, La Paz, Mugrosa, Colorado y Real Inferior (la distribución en las secciones medidas en las figuras 13-18 y 23-25).

Lo anterior podría indicar áreas fuente de sedimento ubicadas tanto hacia el oriente como hacia el occidente de la posición actual del SNM o serían producto de la bidireccionalidad del ambiente de depositación indicado por las litofacies analizadas, es decir, cuando existe influencia mareal en estuarios ocurre depositación tanto en eventos de marea alta como en eventos fluviales en la dirección contraria.

El patrón de dispersión para la Formación Mugrosa, en todas las mediciones es hacia el occidente - noroccidente indicando un área fuente de sedimento ubicada hacia el Oriente de la posición actual del SNM. De esta época de depositación en adelante incluyendo la depositación de la Fm Real inferior (estudiadas en este trabajo), las paleocorrientes indican que dicha fuente permaneció ubicada hacia el oriente como lo indican las mediciones realizadas (Figura 28).

5.7 ESTRATIGRAFÍA DE ÁREAS FUENTE

Las fuentes de sedimento potencial para las rocas sedimentarias del Mesozoico y Cenozoico en Colombia han sido la CC, el Escudo de la Guayana y posteriormente la CO (Forero, 1990; Cooper et al., 1995; Gómez, 2001; Gómez et al., 2003; Gómez et al., 2005b; Parra et al., 2009, Figura 8). En las columnas estratigráficas generalizadas (Figura 29), se ha determinado la proporción relativa de cada unidad estratigráfica en el área fuente, que contribuye con sedimento de tamaño grava cuando la unidad es erosionada. Estos datos fueron estimados mediante observaciones de campo en el flanco W de la Cordillera Oriental y flanco E de la Cordillera Central y principalmente teniendo en cuenta espesores resistentes reportados en columnas estratigráficas previamente publicadas en la literatura geológica en el área respectiva.

En el mapa de la Figura 8. se puede observar la distribución de áreas de suministro de sedimento, las cuales incluyen la cordilleras Central Oriental, para las rocas de la CVM. Se puede observar que en la CC, son escasos los afloramientos de rocas cretácicas actualmente, estando solamente restringidos a su flanco E a la Serranía de San Lucas y más al sur. La mayor parte de rocas del Cretácico fueron erosionadas de la CC durante la progresiva denudación y pedimentación de su margen oriental, cubierto a partir del Eoceno medio por sedimentos del Cenozoico (Cooper et al., 1995; Gómez et al., 2003; Gómez et al., 2005b).

Se ha estimado el porcentaje de espesor de lechos resistentes para las unidades potencialmente productoras de clastos en el área fuente que pudo contribuir con fracción de tamaño grava cuando fue erodada.

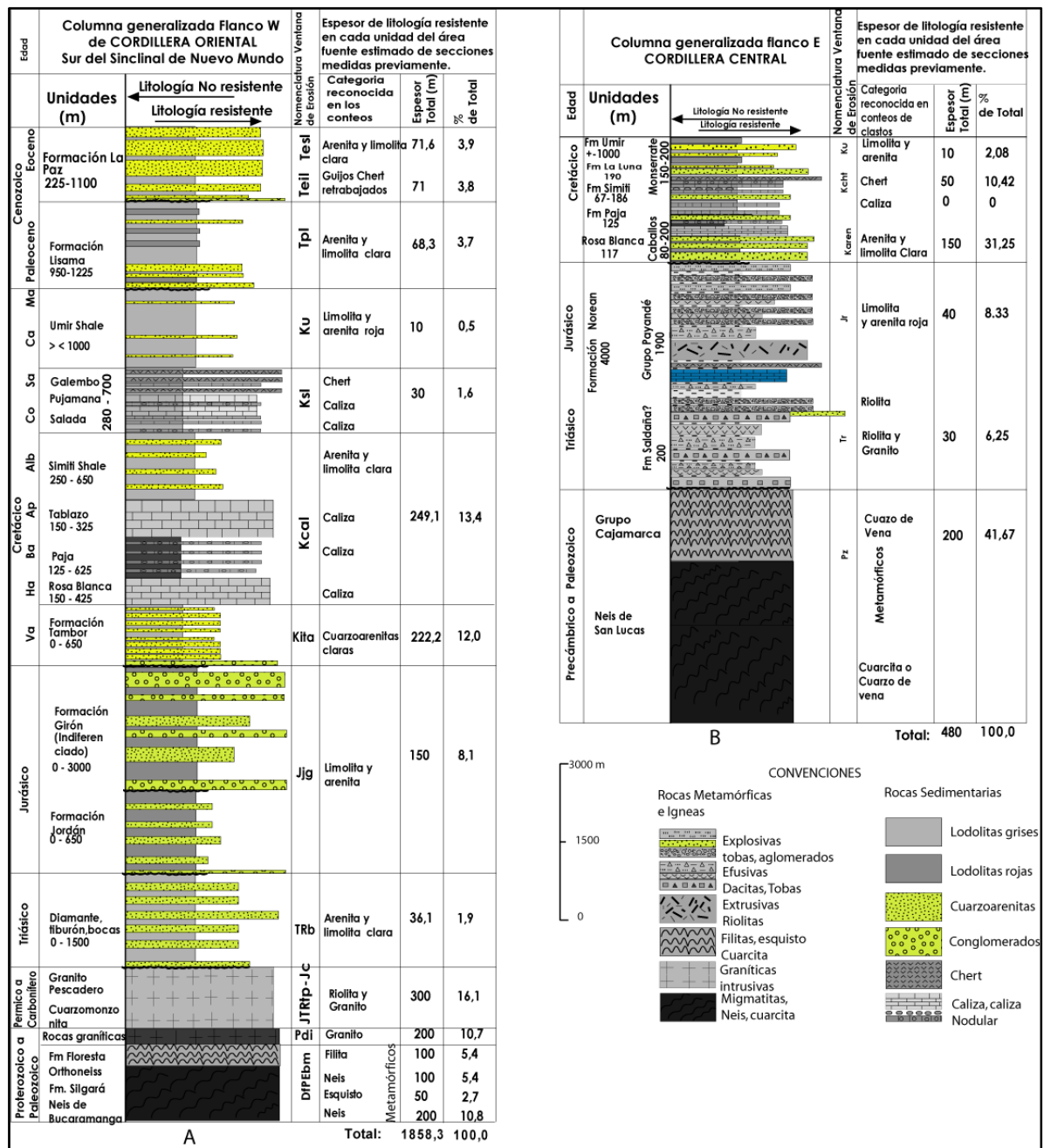


Figura 29. Columna estratigráfica generalizada de áreas fuente. Se muestran las unidades potencialmente productoras de clastos de grava en las áreas fuente de las rocas cenozoicas del Sinclinal de Nuevo Mundo: A. Flanco W de Cordillera Oriental y B. Flanco E de la Cordillera Central (de Morales, 1958; Ward et al., 1973; Fabre, 1981; Etayo-Serna y Laverde, 1985; Butler y Schamel, 1988; Ujueta, 1992; Clavijo et al., 2008, Bogotá y Aluja, 1981, Caballero y Sierra, 1991).

Para hallar el espesor mínimo aflorante se tuvo en cuenta los espesores de niveles actuales duros reportados en varios estudios en la literatura geológica y que tienen el potencial de producir clastos resistentes (Morales, 1958; Ward et al., 1973; Fabre, 1981; Etayo-Serna y Laverde, 1985; Butler y Schamel, 1988; Ujueta, 1992; Clavijo et al., 2008, Bogotá y Aluja, 1981).

Fueron calculados, los espesores de afloramientos resistentes de las diferentes unidades que tienen potencial para producir clastos resistentes, principalmente a lo largo del flanco W de la Cordillera Oriental y parcialmente en la sección de la Serranía de San Lucas en la Cordillera Central (Figura 29).

Tabla 5. Litologías indicadoras de proveniencia y unidades potenciales en las cordilleras Central y Oriental.

Clastos Indicadores proveniencia	Nomenclatura fuente (Ver gráficos ventana de erosión)	
	Cordillera Central	Cordillera Oriental
Cuarzo	Pz	Tesl
Chert	Kcht	Ksl, Teil
Arenita y limolita clara	Karen	Kita, TRb, Tpl, Tesl
Limolita y arenita roja	Jr	Jjg, Ksu
Caliza		Kcal
Riolita y granito	Tr	JTRtp-Jc, Pdi
Metamórficos		DfPEbm

Pz: Paleozoico, Kcht: Cretácico arenoso, Karen: Cretácico arenoso, Jr: jurásico, Tr: Triásico. Tesl: Eoceno Fm La Paz superior, Teil: Eoceno Fm La Paz inferior, Ksl: Cretácico superior Luna, Kita: Cretácico Tambor, TRb: Triásico Bocas, Jjg: Jurásico Jordán Girón, Ksu: Cretácico superior Umir, Kcal: Cretácico Calcáreo, JTRtp-Jc: JuraTriásico Igneos, Pdi: Paleozoico diques intrusivos, DfPEbm: Devónico, Precámbrico metamórfico.

Los clastos indicadores de proveniencia encontrados en los conglomerados estudiados en el área de estudio de este trabajo (SNM) incluyen cuarzo; chert negro, amarillo y gris claro; limolitas y arenitas rojas; limolitas y arenitas claras; caliza; riolita y/o granito; clastos metamórficos de neis, filita y esquisto. Estos clastos representan tipos de roca indicadores de proveniencia debido a su resistencia a la erosión y a haber sobrevivido los procesos sedimentarios antes de su depositación.

Roca fuente de cuarzo y rocas metamórficas: Clastos metamórficos y de cuarzo de vena o cuarcita de tamaño grava (2 a 25 cm), solo pueden derivarse de vetas o diques de cuarzo en las unidades metamórficas, o rocas metamórficas como cuarcitas; solo hay estos tipos de litología en las rocas del basamento tales como

las unidades Neis de Bucaramanga y Fm Silgará en el área de la COOr, o Neis de San Lucas y/o Complejo Cajamarca de la CC. En el Neis de Bucaramanga las cuarcitas predominan en la faja Central de Berlín, California-Cachirí, Morro Nevado del Macizo de Santander, mientras que en la Fm Silgará las cuarcitas se presentan en afloramientos a lo largo de la faja de Aratoca, (Ward et al., 1973). En las rocas metamórficas de la CC se han reportado cuarcitas en filitas y cuarcitas de Tapoa, estas pueden ser potencial fuente para el cuarzo de los conglomerados de Fm La Paz.

Cuarzo de tamaño gránulo o guija muy fina puede ser retrabajado de los conglomerados de Fm La Paz, una vez empieza su exhumación, así que cuarzo y chert reciclado puede generarlo la Fm La Paz.

Roca fuente de chert: Clastos de tamaño grava de chert solo pueden provenir de unidades del Cretácico generadoras de chert como las formaciones La Luna y Capacho y unidades correlacionables, las cuales fueron depositadas en el mar del Cretácico (Erlich et al., 2000; Bralower y Lorente, 2003), que prácticamente cubrió todo el NW de Suramérica, restringido por algunos paleoaltos como el Macizo de Santander y basamento de la Cordillera Central, Sierra Nevada de Santa Marta y Andes de Mérida ancestral.

Si bien es cierto que los estratos de chert son resistentes a la erosión cuando son sometidos a deformación se fracturan en fragmentos muy pequeños también es cierto que cuando existen nódulos de chert, estos tienden a ser más durables y a formar grandes clastos, las unidades productoras de chert como La Luna y Capacho y otras unidades del Cretácico también contienen nódulos de caliza y de chert (Hedberg y Sass, 1937).

El Chert también pudo haberse reciclado posteriormente de las unidades del Eoceno, como la Fm La Paz, que pudo contribuir con chert para las unidades Oligoceno como la Fm Mugrosa.

Roca fuente de arenitas, limolitas rojas y también de granitos y riolitas: clastos de gravas de lechos rojos, riolitas, granitos, provienen de las rocas del Triásico y Jurásico como las formaciones Jordán y Girón en la COOr; Norean, Saldaña, Payandé en la CC; contienen lechos rojos, limolitas, riolitas, dacitas, riolitas también las intrusiones félsicas triásico-jurásicas de estas unidades. Se reporta que estas rocas del Triásico y Jurásico expuestas durante el levantamiento de la CC, suministraron sedimento de riolita y lechos rojos para los estratos conglomeráticos de la base de la Fm. La Paz (Gómez et al., 2005b).

Roca fuente de granitos y riolitas en la Cordillera Oriental incluyen el Grupo plutónico de Santander donde se agrupan varios cuerpos ígneos como los Plutones de Paramo Rico, Granito de Pescadero, Cuarzomonzonita de la Corcova,

de Santa Bárbara y muchos otros cuerpos intrusivos del Triásico (Ward et al., 1973).

Roca fuente de cuarzoarenitas y limolitas claras: clastos de gravas de limolitas y cuarzoarenitas blancas, amarillas, provienen principalmente de rocas del Cretácico superior como las formaciones Umir, Simití, Tablazo y rocas del Cretácico inferior como las formaciones Tambor, Rionegro, Mirador, Bocas.

Roca fuente de caliza: las rocas productoras de clastos de calizas son las unidades del Cretácico como las formaciones La Luna, Salto, Simití, Tablazo, Paja, Rosablanca, Tibú Mercedes, Capacho. También se han reportado calizas en la Formación Diamante del Triásico y como conglomerados de caliza en la Formación Tiburón las cuales afloran al N de Bucaramanga (Ward et al., 1973).

5.8 MODELAMIENTO DE PROVENIENCIA

Siguiendo la metodología para modelamiento de proveniencia de Graham (1986), definida en el aparte 5.5, para cada conteo de clastos se determina la ventana de erosión “Gate” de las unidades estratigráficas del área fuente representadas en los conteos escogidos (Ver eje x de las gráficas de la Figuras 29 y 30).

Tabla 6. Conteo de clastos utilizados para el modelamiento de proveniencia. (Figura 30).

Norte	Este	Fm	Est.	Cht	Qz	Ar-Li Cla	Ar-Li Roj	Cali	Ign	Met	Total
1073704	1294941	Real	p174	6	24	11	10	0	41	8	100
1073696	1294868	Real	p173	4	30	14	2	0	48	2	100
1075155	1294350	Real	p164	14	6	7	12	0	43	18	100
1075781	1294113	Col	p159	3	6	23	10	0	24	34	100
1076315	1293830	Col	vc090	12	14	26	18	0	17	13	100
1077605	1293473	Col	p140	13	3	31	39	14	0	0	100
1077603	1293825	Col	p137	11	1	53	16	19	0	0	100
1078696	1293533	Mugro	p136	59	25	8	8	0	0	0	100
1265917	1061387	Paz	p389	22	67	10	1	0	0	0	100
1260350	1064284	Paz	p394	31	59	10	0	0	0	0	100
1260401	1064058	Paz	p404	45	46	9	0	0	0	0	100

Figura 30. Modelamiento de proveniencia. Columna estratigráfica compuesta sobre la que se muestran los resultados del modelamiento de proveniencia para los conglomerados de las unidades cenozoicas en el Sinclinal de Nuevo Mundo, Cuenca Valle Medio del Magdalena.

Para el modelamiento que se presenta se escogieron algunos de los conteos de clastos realizados en la sección 7: Uribe-Sabana y tres conteos de clastos para la Formación La Paz, teniendo en cuenta que estuvieran a distancias lo más regulares y distribuidas en la columna estratigráfica. Se trabajó con los conteos de clastos de las estaciones p404, p394, p389, p136, p137, p140, vc90, p159, p164 y p173. (Tabla 5)

Las curvas acumulativas de los resultados del modelamiento y su interpretación se ubican estratigráficamente en la sección generalizada del área del flanco E del SNM y se presentan su interpretación (Figura 30).

5.9 CORRELACIÓN ENTRE EL BLOQUE COLGANTE Y BLOQUE YACENTE DE LA FALLA LA SALINA

Fue realizada una correlación, utilizando dos columnas compuestas, una del Flanco occidental y otra del flanco oriental del Sinclinal de Nuevo Mundo con los registros de pozo de los pozos Riosucio-1 y Corazón-8 respectivamente ubicados cerca de las secciones levantadas.

La sección del flanco Este del SNM resultó de la integración de las secciones 1: Marta y 2: Vía antigua complementadas con una columna de Fm La Paz y parte de Fm Esmeraldas en el Río Sucio y Río Sogamoso (Mora et al., 2009); hacia el flanco W la columna compuesta fue levantada en su totalidad en este trabajo y es el resultado de integrar las secciones 3 y 4 (Sección 3: Vía Barranca, Sección 4: Payoa), (Figuras 14, 17 y 18). El amarre entre la columna estratigráfica de afloramiento y el registro de pozo se hizo para el flanco E por medio del horizonte fosilífero Los Corros que fue reportado en el registro gráfico compuesto del Pozo Riosucio-1 y del cual se tiene la posición en la columna estratigráfica, además se hizo corrección de la escala del registro teniendo en cuenta un buzamiento aproximadamente constante de las capas de 30 grados. Para el flanco W el amarre se hizo aprovechando que en el registro se tiene el nivel exacto de la discordancia del Eoceno y en la columna estratigráfica se tenía identificado, en este no se hizo corrección del registro ya que se observó que el pozo cuando fue perforado se hizo desviado de manera que corta las capas perpendicularmente.

En esta correlación se puede observar que las formaciones La Paz, Esmeraldas, Mugrosa y Colorado, se adelgazan hacia el W, entre el Anticlinal de Los Cobardes hacia el E y los anticlinales de Lisama, provincia y Las Monas hacia el W. Esta

correlación se extendió hacia el occidente, a la Cuenca Valle Medio del Magdalena utilizando además los pozos Cayumba-1, El Dorado-1, Matacuyá-1 y La Coquera-1, cuyos datos fueron tomados del trabajo de Arevalo y Sierra, 2008), (Figura 31).

Real y la Fm Colorado es también una discordancia (ubicación en el mapa inserto) (datos básicos tomados de Arevalo y Sierra, 2008).

En este perfil se puede observar que la Fm La Paz Adelgaza hacia el W hasta desaparecer a partir del pozo El Dorado -1; a diferencia de la Formación Esmeraldas la cual continua hacia el W pero se va adelgazando paulatinamente quedando directamente sobre la Fm Lizama más hacia el W del Pozo El Dorado-1., la Fm Mugrosa tiene continuidad en el bloque yacente de la Falla La Salina, pero presenta un espesor un poco mayor en este bloque. La formación Colorado también tiene continuidad en el bloque yacente y el engrosamiento es mucho mayor que el de la anterior Mugrosa. La Formación Real tiene continuidad hacia el W, y en superficie se puede observar que cubre la traza de falla de la Falla La Salina (Figura 11), sin embargo esta unidad también ha sido deformada como se puede observar hacia el W del Cabalgamiento en donde los estratos se encuentran verticalizados.

6. ANALISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos y los datos presentados en este estudio indican que las rocas del Cenozoico de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena en el sector del Sinclinal de Nuevo Mundo contienen el registro de exhumación de las cordilleras Central y Oriental. El relleno sedimentario post Eoceno tardío del Sinclinal de Nuevo Mundo corresponde a la zona de depositación sobre la cuña orogénica “wedge-top depozone” (Decelles y Giles, 1996), de la cuenca de antepaís asociada al levantamiento de la Cordillera Oriental.

El marco cronológico utilizado para la interpretación de estos resultados es el definido por el laboratorio de bioestratigrafía del ICP durante el desarrollo de la evaluación estratigráfica del Terciario en la Cuenca Valle Medio del Magdalena. (Figura 32)

6.1 DISTRIBUCIÓN DE FACIES

La evolución espacial y temporal de los cinturones de facies del Eoceno-Mioceno en el área del Sinclinal de Nuevo Mundo se ilustra en la Figura 33.

Los resultados del análisis litofacial para la Formación La Paz ilustran la acumulación de facies proximales de abanico y fluvial trenzado hacia el S del SNM y facies distales de planicie y fluvial meandriforme hacia el N, NE. La Formación Esmeraldas presenta facies fluviales y lacustres hacia el flanco W, mientras que en el flanco E las facies son más estuarinas, con influencia fluvial y mareal.

La formación Mugrosa marca un cambio hacia facies fluviales de río meandriforme, siendo principalmente de canales meandriformes y canales de desborde hacia el flanco E, especialmente al S, y distales de planicie de inundación y complejo de desborde hacia el W y NW. La Fm Colorado presenta facies de abanico aluvial proximales a medias hacia el flanco E y NE y facies fluviales trenzadas hacia el flanco W y planicie hacia el SW. De forma similar a la Formación Colorado, la Formación Real pasa de facies proximales a medias de abanico aluvial en el flanco E y NE hacia facies fluviales trenzadas hacia el W y SW.

El conjunto, las formaciones La Paz y Esmeraldas conforman una secuencia granodecreciente con un máximo de inundación hacia el techo de la Fm Esmeraldas. El conjunto de facies de las formaciones Mugrosa, Colorado y Real muestran una secuencia granocreciente.

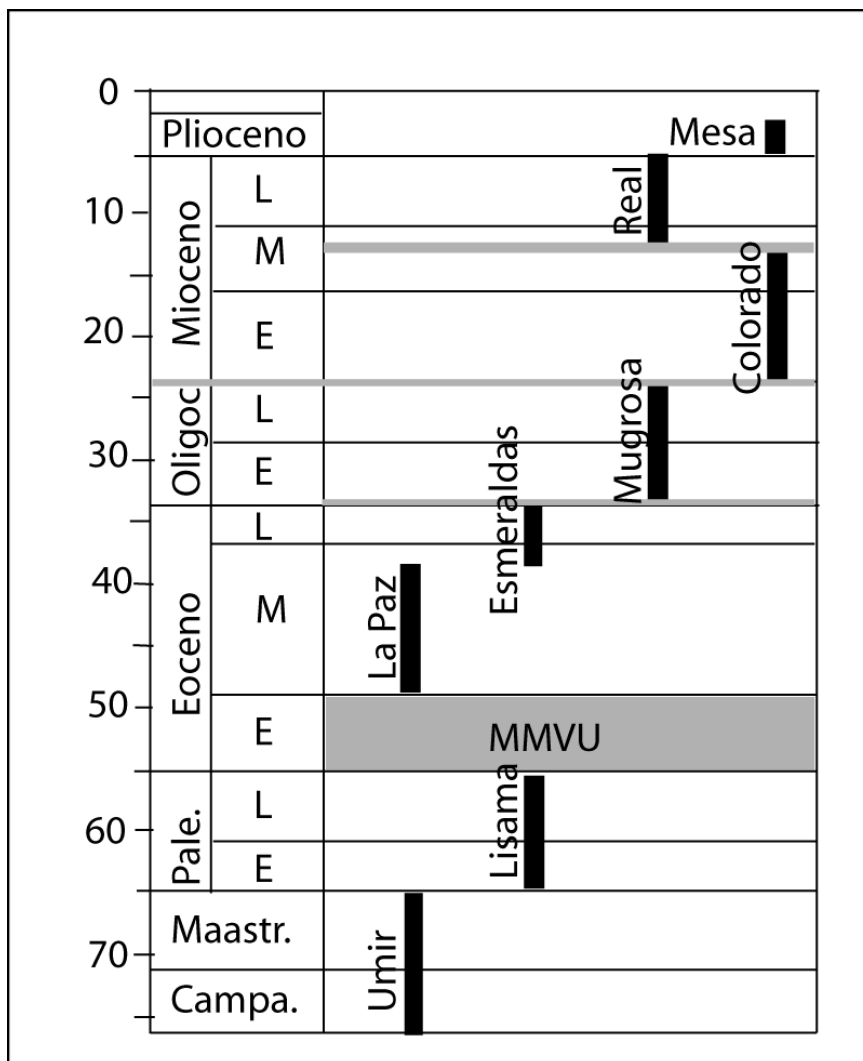


Figura 32. Marco cronológico. Muestra las unidades estratigráficas de la CVMM y el flanco este del SNM basado en palinología y datación geocronológica. (Tomado de ICP-Ecopetrol, 1996; Gómez et al., 2005b).

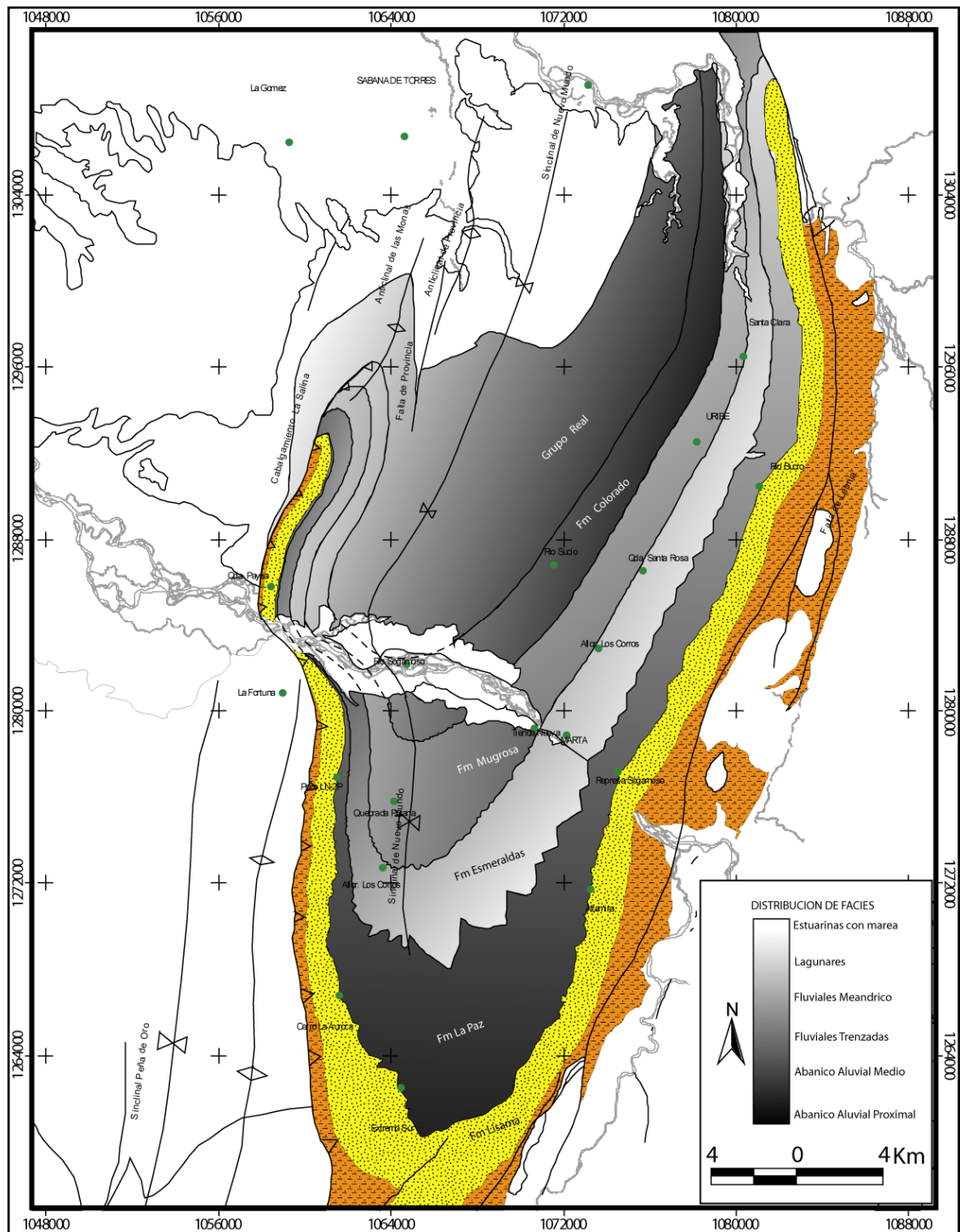


Figura 33. Esquema de distribución de facies en rocas del Cenozoico en el Sinclinal de Nuevo Mundo. Se muestra en oscuro facies proximales y en blanco facies distales estuarinas con influencia mareal dentro de las unidades La Paz, Esmeraldas, Mugrosa, Colorado y Real.

6.2 EVOLUCION TECTONO-SEDIMENTARIA

6.2.1 Paleoceno

Varios autores han documentado el levantamiento de la Cordillera Central durante el Cretácico temprano a Eoceno Temprano mediante termocronología de huellas de fisión en zircones (Gómez et al., 2003, Parra et al., 2010 reporte ECP) y en estudios compilatorios de paleogeografía (Villamil, 1999). En este periodo es depositada la Formación Lisama y la fuente de sedimento es principalmente de esta Cordillera Central en levantamiento (Figuras 34a y 36). El registro sedimentario cambia de una depositación marina durante el Maastrichtiano a continental o deltaica de la Formación Lisama del paleoceno.

En este periodo el Anticlinal de los Cobardes estaba emergido de acuerdo a estudios recientes de termocronología (Parra et al., 2009, Reporte ECP, Geotrack, 2009, Reporte ECP) y proveniencia sedimentaria (Bayona et al, 2009, Reporte ECP).

6.2.2 Eoceno temprano y medio (Formación La Paz)

Eoceno temprano es un periodo de erosión generalizada y generación de la discordancia del Eoceno temprano a medio (Gómez et al., 2005b).

La integración del análisis y distribución de facies y de las direcciones de paleocorrientes muestra que durante el Eoceno medio la fuente de sedimento para la Fm La Paz estuvo ubicada en una posición al sur o suroeste de la posición del Sinclinal de Nuevo Mundo y suministró detritos producto de la erosión del Cretácico y parte del basamento en el Paleoalto de Infantas o Cáchira (Figura 34b y 36).

Los resultados de la petrografía de conglomerados y arenitas indican que dicha fuente de sedimento debió contener rocas (chert, cuarzo de vena, cuarcita y cuarzoarenitas claras), de litologías que produjeran clastos de gran tamaño (Tabla 4) resistentes a la meteorización y transporte y que posteriormente sobrevivieran a la depositación y enterramiento. Esta fuente debió estar constituida por rocas cretácicas fuente de chert y el basamento de la Cordillera Central propiamente dicha o un alto topográfico cercano, como el Paleoalto de Cáchira o Infantas con rocas metamórficas.

Por otro lado, un estudio reciente del ICP ha determinado mediante huellas de fisión en apatitos que el Anticlinal de Los Cobardes, al E del SNM, comienza su

deformación y exhumación inducida por cabalgamiento desde el Paleoceno (60 Ma), (Parra, 2010). Sin embargo el hecho de que la procedencia de sedimento para los depósitos del Eoceno medio y tardío, sea del S o SW indica que, o bien la topografía en el área de Los Cobardes era insuficiente para generar un sistema de drenaje hacia el occidente, hacia la posición actual del Sinclinal de Nuevo Mundo, o bien que dicha área, a pesar de haber estado siendo erosionada en el Paleoceno, fue un área de depósito en el Eoceno.

6.2.3 Eoceno tardío (formación Esmeraldas)

La integración del análisis de facies, petrografía de arenitas y direcciones de paleocorrientes muestra que durante el Eoceno tardío la fuente de sedimento para la Fm Esmeraldas estuvo ubicada tanto hacia el W como hacia el E de la posición del Sinclinal de Nuevo Mundo, la petrografía de arenitas indica que la fuente más probable fue el basamento de la Cordillera Central (Figura 34c y 36, Anexo 2).

Durante la acumulación de la Fm Esmeraldas, la dispersión de sedimentos tuvo un patrón bidireccional, hacia el oriente en algunos sitios y hacia el occidente en otros (Figuras 13 - 18, Figura 28). Esto concuerda parcialmente con estudios previos donde se reporta direcciones de ejes de artesas en dirección NE tanto para la Formación La Paz como para la Formación Esmeraldas (Gómez et al., 2005b).

La bidireccionalidad hacia el E y W en la dispersión de sedimentos se puede interpretar como una característica propia de la evolución de facies fluviales hacia facies estuarinas con dirección de depositación en eventos de marea alta en una dirección y en eventos fluviales en la contraria, pero también indica un confinamiento del sistema fluvial de la Fm La Paz (Incised Valley), favorecido por el rejuvenecimiento del levantamiento del área del Anticlinal de Los Cobardes, al oriente del Sinclinal de Nuevo Mundo.

El adelgazamiento de la Fm La Paz y Fm Esmeraldas hacia el N, NW en el SNM (Figuras 11, 31), indica que simultáneamente con el depósito de estas unidades ocurrió deformación y levantamiento de litologías previamente depositadas en los anticlinales de Lisama, Provincia, es decir que el adelgazamiento estaba siendo generado por el levantamiento de una cresta anticlinal hacia esa posición (Figura 36 y 34c).

Lo anterior documenta las etapas iniciales de la deformación en el flanco W de la Cordillera Oriental con el levantamiento del Anticlinal de Los Cobardes.

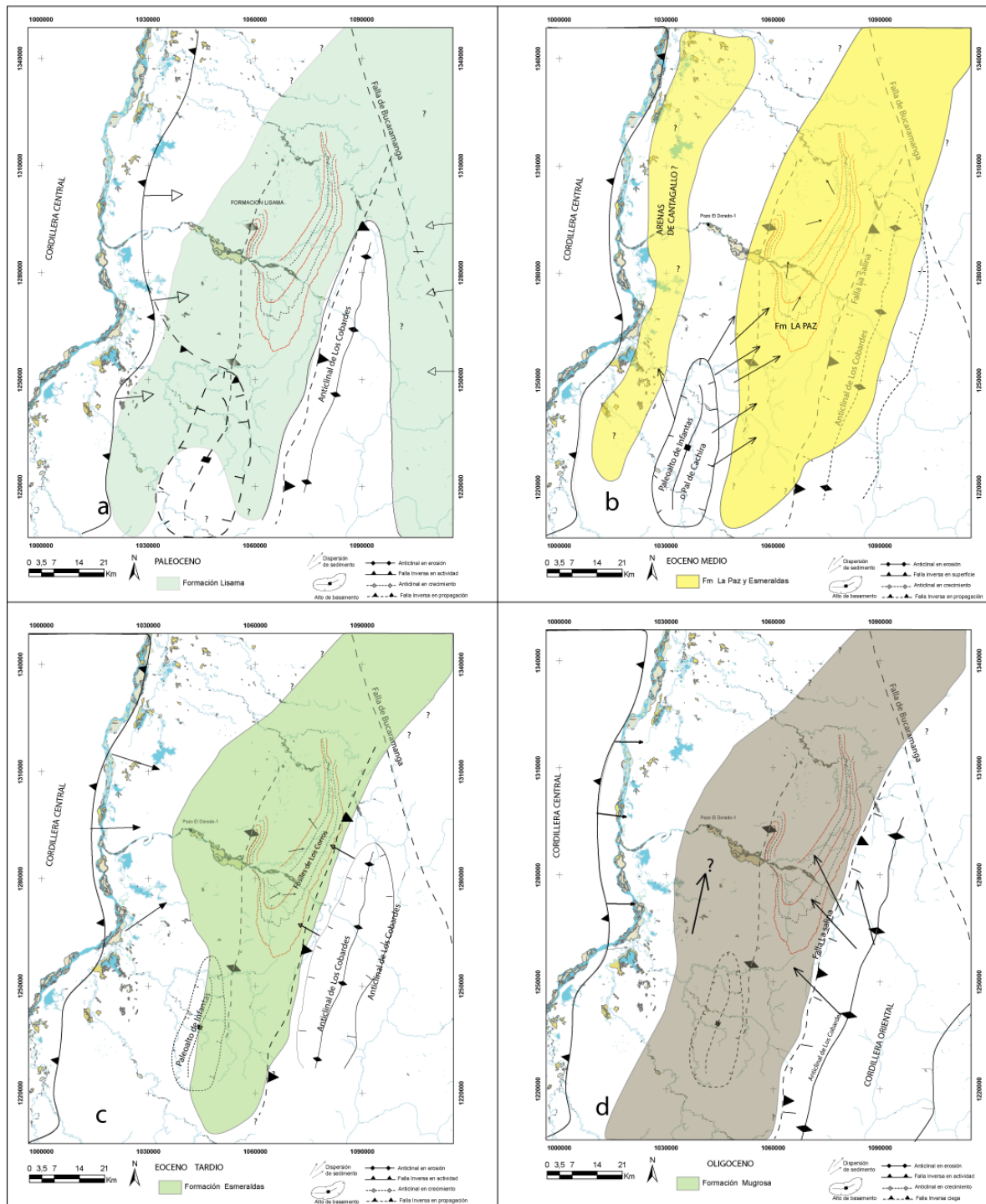


Figura 34. Evolución durante el Paleoceno – Oligoceno del SNM. Esquema para mostrar condiciones tecto-sedimentarias para la deposición de las formaciones Lisama, La Paz, Esmeraldas y Mugrosa.

6.2.4 Oligoceno a Mioceno medio

Durante el Eoceno tardío se está documentando un cambio en la dirección de paleocorrientes y en los ambientes de depositación como lo indica la información obtenida de la Fm Esmeraldas. Durante el Oligoceno a Mioceno medio, la integración del análisis y distribución de facies, proveniencia y direcciones de paleocorrientes muestran que la fuente de sedimento para las formaciones Mugrosa y Colorado estuvo ubicada en una posición al E y SE de la posición del Sinclinal de Nuevo Mundo (Figura 34d, 35a).

La petrografía de conglomerados y arenitas de Mugrosa registran erosión de rocas sedimentarias de la Cordillera Oriental desde la Fm La Paz hasta los niveles arenosos del Cretácico (Figuras 23, 24, 25). El alto contenido de chert y cuarzo en Mugrosa junto con el tamaño y forma de partículas de gravas sugieren retrabajamiento del chert y cuarzo de unidades anteriores como la Fm La Paz y nuevas fuentes como la Formación La Luna y unidades equivalentes.

La petrografía de conglomerados y arenitas de la Formación Colorado registran la exhumación y erosión profunda en la Cordillera Oriental ya que aquí además de alcanzar niveles de caliza y lechos rojos del Triásico y Jurásico, también clastos ígneos graníticos y clastos de rocas metamórficas del basamento las cuales comienzan a aumentar su contenido en los conglomerados al techo de Fm Colorado. Aunque no se puede descartar que la fuente de parte de los clastos ígneos pueda provenir de la Cordillera Central.

El adelgazamiento hacia el W de las formaciones Mugrosa y Colorado indica que ocurre el levantamiento del área del Anticlinal de Los Cobardes hacia el E, durante este periodo, como resultado del avance del plegamiento por propagación de la Falla de La Salina, igualmente, esta actividad tectónica hace crecer la estructura del Anticlinal de Lisama al W y resulta en la formación de estratos de crecimiento en estas unidades.

6.2.5 Final del Mioceno medio a Mioceno tardío

En este trabajo se describió y analizó sólo la Formación Real Inferior del Grupo Real. Los datos de paleocorrientes y análisis de proveniencia indican que la fuente de sedimento para esa unidad sigue ubicándose al E, en la Cordillera Oriental (Figura 35b). La Fm Real Inferior contiene clastos muy variados de todos los tipos de rocas metamórficas, ígneas graníticas, riolíticas y sedimentarias, indicando erosión del basamento de la Cordillera Oriental.

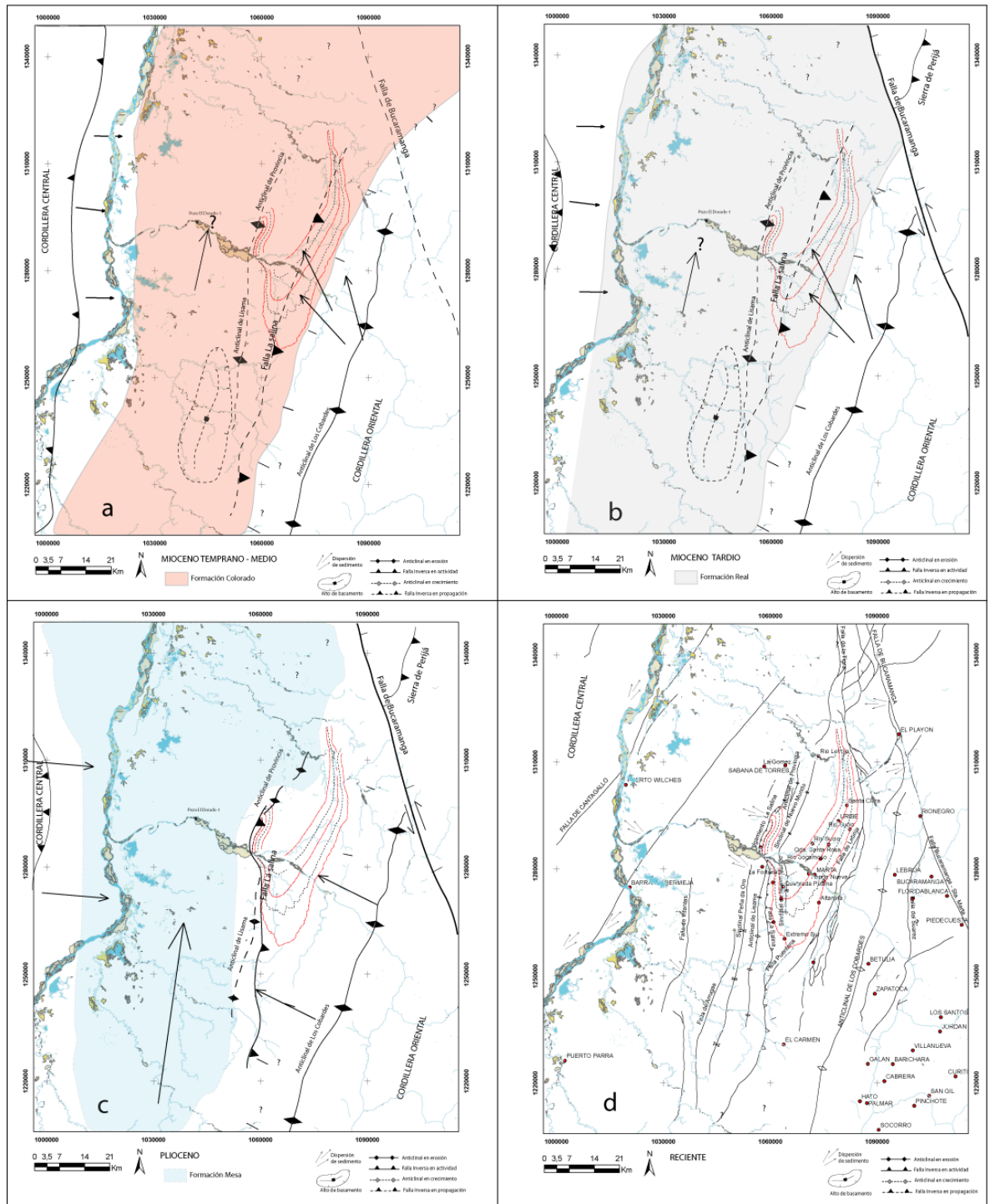


Figura 35. Evolución durante el Mioceno – Plioceno del SNM. Esquema para mostrar las condiciones tecto-sedimentarias para la depositación de las formaciones Colorado, Real, Mesa (escala aproximada).

La petrografía de arenitas deja ver muy altos contenidos de feldespatos tanto potásicos como cálcicos (hasta del 26%). que pueden provenir del volcanismo de la Cordillera Central de esta época. Hacia el techo de la sección (Real medio y superior), se encuentran niveles de tobas que datan de 6.2 a 7 Ma, que provienen de la Cordillera Central (Gómez et al., 2005b); luego existe contribución de la Cordillera Central para los sedimentos de la Formación Real Inferior, sin embargo predomina el flujo hacia el W de acuerdo con las paleocorrientes.

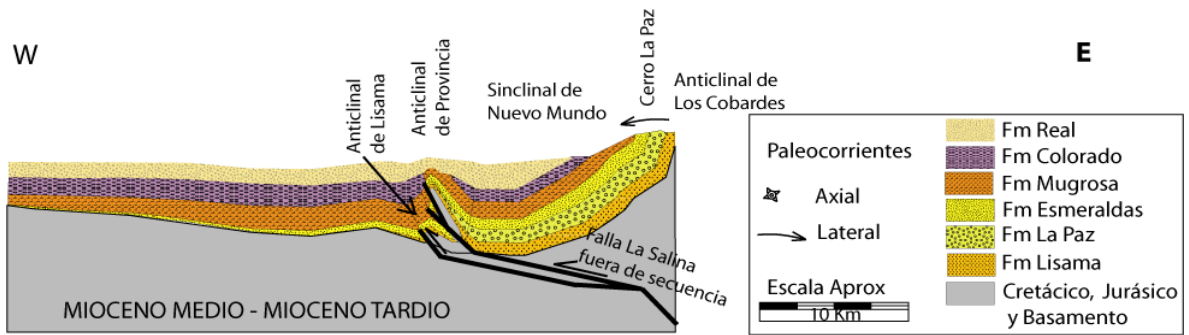
6.3 SECUENCIA DE DESCAPOTAMIENTO

Como se pudo observar en el modelamiento de proveniencia realizado (Figura 30), la Formación La Paz presenta fuente de sedimento del basamento, en este momento las rocas de basamento expuestas son las de la Cordillera Central o Paleohitos cercanos a la Cordillera Central, ubicados hacia el S - SW como lo indican las paleocorrientes.

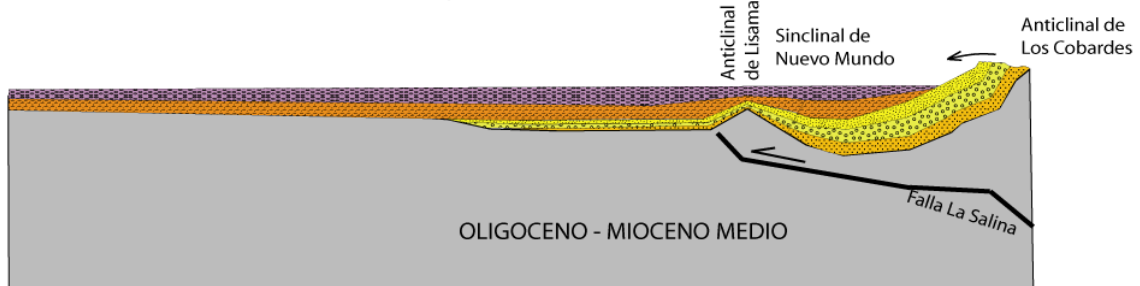
La geometría de estas unidades adelgazándose hacia el W indican que son unidades sintectónicas y que la situación estructural en este momento es de deformación de las unidades previamente depositadas a través de estructuras como el anticlinal de Lisama al W hacia donde se acunian estas unidades y Los Cobardes al E, desde donde se empieza a confinar la cuenca de depositación local del Sinclinal de Nuevo Mundo; por lo tanto estas evidencias apuntan hacia los primeros pulsos de deformación de la Cordillera Oriental.

La secuencia sintectónica de rocas a partir de la Formación Mugrosa hasta las unidades más jóvenes, evidenciada por adelgazamiento hacia el W y distribución de facies, presenta fuente de sedimento ya de la Cordillera Oriental en levantamiento y erosión por lo que constituye una secuencia normal de descapotamiento (unroofing sequence, Jones et al., 2004) y por lo tanto a partir de aquí se observa como cada unidad que se va erosionando deja su registro en las unidades de la cuenca.

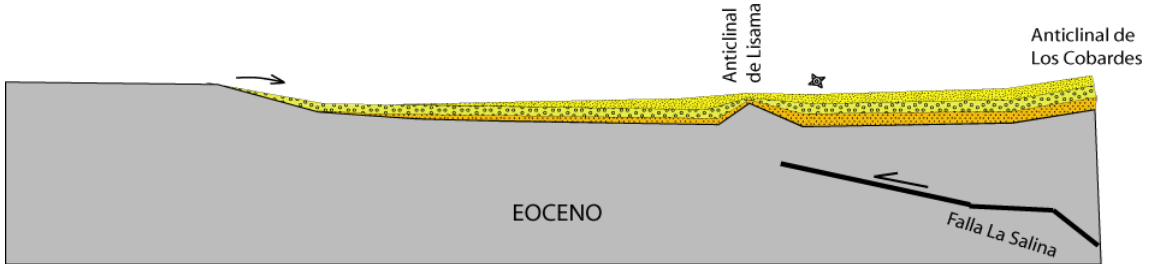
De este modo la Fm Mugrosa contiene clastos de las unidades previamente depositadas como la Fm La Paz hasta La Fm La Luna de las cuales hereda mucho del Cuarzo y Chert (conglomerados de gránulos y guijas muy finas de chert y cuarzo); la mayor parte de clastos de la Fm Colorado provienen de la erosión de las unidades del Cretácico calcáreo y arenoso junto con clastos rojos del JuraTriásico y en seguida los clastos que contiene la Fm Real se derivaron de unidades de basamento metamórficas e ígneas con contribuciones de volcanismo proveniente de la Cordillera Central.



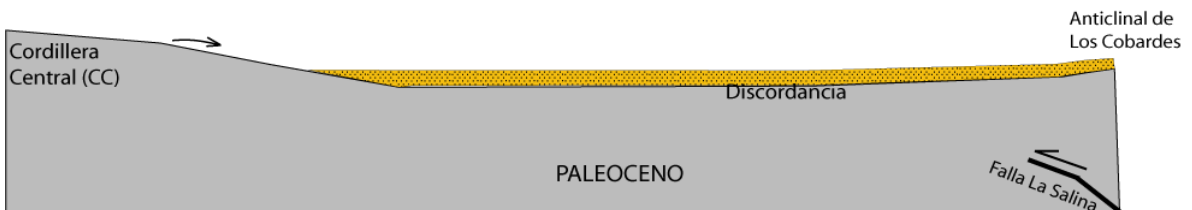
Cabalgamiento fuera de secuencia de la Falla La Salina y deposición sintectónica de la Fm Real con aporte principalmente del basamento y demás rocas expuestas en la Cordillera Oriental y aporte de volcanismo de La Cordillera Central. Ambiente abanico aluvial y fluvial trenzado con facies proximales al E.



Deposición sintectónica de Fm Mugrosa y Colorado registran la exhumación de la Cordillera Oriental, al inicio aporte de unidades anteriormente depositadas, posteriormente de rocas del Cretácico - Jurásico y finalmente del basamento igneometamórfico. Plegamiento por propagación de la Falla La Salina continua simultanea a la deposición y generación de inconformidades de crecimiento entre las unidades. Ambiente fluvial meandriforme en Mugrosa con facies Proximales al E. Ambiente abanico aluvial a fluvial trenzado para Colorado con facies proximales al E.



Anticinal de Lisama y Cobardes en crecimiento. Deposición sintectónica de la Fm La Paz y recibe aporte de paleoalto de basamento de la CC al SW. Al final del Eoceno se deposita la Fm Esmeraldas con aporte principal de sedimento de la CC, en un ambiente fluvial al W y estuarino al E.



Deposición de la Fm Lisama con proveniencia principalmente de la cordillera Central. En este momento el Anticinal de Los Cobardes estaría en levantamiento por propagación de la Falla La salina.

Figura 36. Evolución Tectono - sedimentaria del SNM. Esquema que representa la evolución del Sinclinal de Nuevo Mundo en relación con el Anticinal de los Cobardes al E y los anticlinales de Lisama y Provincia al W. Observar que hacia el anticlinal de Lisama y Provincia se generan discordancias de crecimiento y las unidades post Paleoceno adelgazan hacia esta estructura (escala aproximada).

7. CONCLUSIONES

1. El registro sedimentario del Cenozoico del Sinclinal de Nuevo Mundo representa una secuencia normal de descapotamiento que contiene registrada la historia de exhumación de las Cordilleras Central y Oriental de Colombia.
2. La secuencia de sedimentos del Cenozoico representan depositación sintectónica evidenciada por los cambios laterales de espesor y cambios faciales, asociada al levantamiento de la Cordillera Oriental y en el área específicamente a la evolución del cinturón de cabalgamiento de la Falla La Salina, la cual por propagación genera los plegamientos tanto al W como al E que dieron origen al SNM. Hacia el W los anticlinales de Lisama, posteiormente provincia y finalmente anticlinal de Las monas, y hacia el E el Anticlinal de los Cobardes.
3. El análisis de resultados nos llevan a concluir que la Cordillera Oriental de Colombia se comienza a levantar desde la depositación de los sedimentos de la Fm Mugros, por lo menos a partir del Eoceno tardío-Oligoceno temprano, de acuerdo a las edades asignadas a estas unidades (Morales, 1958; Olaya, 2003; Gómez et al., 2005b). Sin embargo el levantamiento pudo haber comenzado antes de este periodo, pero no ha quedado registrado posiblemente debido a que el área del Anticlinal de Los Cobardes no tenía topografía suficiente para generar una red de drenaje y aportar sedimentos durante el Eoceno.
4. Se realizó una correlación entre las unidades levantadas en afloramiento y los registros de pozo de dos pozos cercanos a las secciones estudiadas, esta correlación deja ver que los topes indicados en el registro gráfico compuesto del pozo Riosucio-1, fueron erróneamente ubicados. Existe una buena correlación con el pozo Corazón 8 y se pudo observar que a partir del cabalgamiento de la Falla de La Salina, las unidades La Paz y Esmeraldas continúan adelgazándose hacia el W pero las unidades Mugrosa, Colorado y Real son más gruesas en el bloque yacente justo debajo del bloque cabalgante y comienzan a adelgazarse hacia el W.
5. Se identificaron 16 litofacies y 10 asociaciones de facies para las formaciones La Paz, Esmeraldas, Mugrosa, Colorado y Real y La Paz. De acuerdo con este análisis los ambientes sedimentarios de estas unidades van desde abanicos aluviales en facies proximales a medias, pasando por ambientes fluviales de río meandriforme y facies de planicie de inundación hasta facies fluviales con influencia estuarina y mareal.

6. La Formación La Paz (Eoceno medio), presenta facies proximales hacia el SW y distales hacia el NW y NE; las paleocorrientes medidas indican hacia el N, NE y en algunos casos hacia el NW indicando fuente de sedimento desde el SW (Paleoalto de Cáchira o Infantas o la Cordillera Central) y transporte desde su piedemonte en ríos meandriformes que divagan hacia el N; representa un ambiente fluvial que hacia el tope cambia hacia mas distal en la Formación Esmeraldas la cual marca un periodo de subida del nivel base de erosión. La petrografía de conglomerados indica la erosión de basamento y probablemente las rocas del cretácico sobre este.
7. La Formación Esmeraldas (Eoceno medio a tardío), presenta facies proximales hacia el W y distales hacia el E. En esta unidad fue identificado el nivel fosilífero de los Corros hacia el flanco E del SNM; las paleocorrientes en esta unidad van hacia el E y algunas hacia el W pero también se midieron hacia el SW y NE, indicando fuente de sedimento de la Cordillera Central, pero también desde el E, indicando fuente de sedimento de la Cordillera Oriental en proceso de deformación y levantamiento. La variabilidad en la dispersión del sedimento también puede ser debida a la depositación fluvial con influencia mareal y estuarina durante su depositación (valle aluvial inundado por el mar).
8. La Formación Mugrosa (Oligoceno), en contacto discordante con la subyacente Esmeraldas, presenta facies fluviales de río meándrico proximales hacia el E y distales hacia el W y N donde predominan facies de planicie fluvial inundable, las paleocorrientes se dirigen hacia el NW, lo que indica fuente de sedimento del E, SE de la Cordillera Oriental, la petrografía de arenitas y conglomerados, indica el levantamiento y exhumación de unidades previamente depositadas y por tanto de la Cordillera Oriental.
9. La Formación Colorado (Mioceno temprano), presenta facies proximales a medias de abanico aluvial con depósitos de canales distributarios separados por facies de planicie poco inundada sobre la que se desarrollaron suelos bastante evolucionados hacia el flanco E – NE del SNM y facies distales de ríos meándricos y trenzados hacia el flanco W con planicies poco inundadas con paleosuelos calcáreos (calcretas), indicando un evento climático predominantemente semiárido a árido. Es una secuencia granocreciente donde la proveniencia de sedimento desde el E, la petrografía de conglomerados y arenitas y la distribución de facies indica la exhumación de la secuencia del cretácico de la Cordillera Oriental hacia su base y hacia el tope el comienzo de la exhumación del basamento de la Cordillera Oriental.
10. La Formación Real inferior (Mioceno medio), en contacto discordante erosivo con la infrayacente Fm Colorado presenta facies proximales de canales distributarios y trenzados de abanico medio hacia el E - NE del SNM y facies distales de ríos trenzados hacia el W. la Formación Real Inferior es una secuencia granodecreciente y la petrografía de arenitas y conglomerados

indica erosión generalizada de la Cordillera Oriental, puede contener clastos provenientes del Macizo de Santander y también tiene proveniencia de la Cordillera Central de materiales volcánicos.

BIBLIOGRAFIA

- Arevalo, O. J., y Sierra, J. M., 2008, Consideraciones estratigráficas para el sector central de la Cuenca Valle Medio del Magdalena Colombia. Anexo 9. Sección de Correlación No 5: Informe Interno ICP.
- Blatt, H. G., Middleton, G. V., y Murray, R., 1980, Origin of Sedimentary Rocks: New Jersey, Prentice Hall.
- Bogotá, J., y Aluja, J., 1981, Geología de la Serranía de San Lucas: Geología Norandina, v. 4, p. 49-55.
- Bralower, T. J., y Lorente, M. A., 2003, Paleogeography and stratigraphy of the La Luna Formation and related Cretaceous anoxic depositional systems: *Palaos*, v. 18, p. 301-304.
- Bridge, J. S., 2003a, Rivers and floodplains. Forms, processes and sedimentary record, Blackwell Publishing, p. 487.
- Burbank, D. W., y Reynolds, R. G. H., 1988, Stratigraphic keys to the timing of thrusting in terrestrial foreland basins: Applications to the northwestern Himalaya, *in* Kleinspehn, K. L., y Paola, C., eds., New Perspectives in Basin Analysis: Frontiers in Sedimentary Geology: New York, Springer-Verlag, p. 331-352.
- Butler, K., y Schamel, S., 1988, Structure along the eastern margin of the Central Cordillera, upper Magdalena Valley, Colombia: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 1, no. 1, p. 109-120.
- Caballero, V., y Sierra, H., 1991, Estratigrafía del Cretácico en el Area de San Andrés, Santander: Universidad Industrial de Santander, 121 p.
- Cant, D. J., 1988, Fluvial facies models and their application, *in* Scholle, P. A., and Spearing, D., eds., Sandstone depositional environments: Tulsa, Oklahoma, The American Association of Petroleum Geologists, p. 115-137.
- Carroll, A. R., y Bohacs, K. M., 1999, Stratigraphic classification of ancient lakes: Balancing tectonic and climatic controls: *Geology*, v. 27, p. 99-102.
- Catuneanu, O., 2006, Principles of sequence stratigraphy, *Developments in Sedimentology*: Amsterdam, The Netherlands, Elsevier, p. 375.
- Clavijo, J., Mantilla, L. C., J.E, P., Bernal, L., y Perez, A., 2008, Evolución geológica de la Serranía de San Lucas, Norte del Valle Medio del Magdalena y Noroeste de la Cordillera Oriental.: *Boletín de Geología*, Universidad Industrial de Santander, v. 30, no. 1, p. 45-62.
- Colombo, F., 1994, Normal and reverse unroofing sequences in syntectonic conglomerates as evidence of progressive basinward deformation: *Geology*, v. 22, no. 3, p. 235-238.
- Colletta, B., Hebrard, F., Letouzey, J., Werner, P., y Rudkiweicz, J. L., 1990, Tectonic style and crustal structure of the Eastern Cordillera, Colombia from a balanced cross section, *in* Letouzey, J., ed., Petroleum and Tectonics in Mobile Belts: Paris, Editions Technip, p. 81-100.

- Cooper, M. A., Addison, F. T., Álvarez, R., Coral, M., Graham, R. H., Hayward, S. H., Martínez, J., Naar, J., Peñas, R., Pulham, A. J., y Taborda, A., 1995, Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and Middle Magdalena Valley, Colombia: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 79, no. 10, p. 1421-1443.
- Córdoba, F., Lopez, C., Rolón, L. F., Gomez, L. A., Bucheli, F., y Sotelo, C. I., 2005, Proyecto Evaluación Regional Cuenca Valle Medio del Magdalena - Cordillera Oriental, Colombia, Fase 1., *in* -Cor, G. d. P.-C. V., ed.: Bogotá, Suarez, M., p. 228.
- Cross, T. A., y Lessenger, M. A., 1997, Correlation strategies for clastic wedges, Innovative applications of petroleum technology in the Rocky Mountain Area: Denver Colorado, Rocky Mountain Association of Geologists, p. 183-203.
- Cross, T. A., Lessenger, M. A., 1998, Sediment volume partitioning: rationale for stratigraphic model evaluation and high resolution stratigraphic correlation, *in* Gradstein, F. M., Sandvik, K. O. & Milton, N. J., ed., Sequence Stratigraphy - Concepts and Applications.: Amsterdam, Norwegian Petroleum Society (NPF), p. 171 - 195.
- DeCelles, P. C., y Giles, K. A., 1996a, Foreland basin systems: Basin Research, v. 8, p. 105-123.
- DeCelles, P. G., y Giles, K. A., 1996b, Foreland basin systems: Basin Research, v. 8, no. 2, p. 105-123.
- DeCelles, P. G., Gray, M. B., Ridgway, K. D., Cole, R. B., Srivastava, P., Pequera, N., y Pivnik, D. A., 1991, Kinematic history of a foreland uplift from Paleocene synorogenic conglomerate, Beartooth Range, Wyoming and Montana: Geological Society of America Bulletin, v. 103, no. 11, p. 1458-1475.
- DeCelles, P. G., Langford, R. P., y Schwartz, R. K., 1983, Two new methods of paleocurrent determination from trough cross- stratification: Journal of Sedimentary Petrology, v. 53, no. 2, p. 629-642.
- Dengo, C. A., y Covey, M. C., 1993, Structure of the Eastern Cordillera of Colombia: implications for trap styles and regional tectonics: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 77, no. 8, p. 1315-1337.
- Dickinson, W. R., 1985, Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones., *in* Zuffa, B. B., ed., Provenance of Arenites, Reidel Publishing Company, p. 333-361.
- Duque-Caro, H., 1990, The Choco Block in the northwestern corner of South America: Structural, tectonostratigraphic and paleogeographic implications: Journal of South American Earth Sciences, v. 3, p. 71-84.
- Erlich, R. M., Macsotay, I. O., Nedebragt, A. J., y Lorente, M. A., 2000, Birth and death of the Late Cretaceous "La Luna Sea", and origin of the Tres Esquinas Phosphorites: Journal of South American Earth Sciences, v. 13, p. 21-45.
- Etayo-Serna, F., and Laverde, F., 1985, Proyecto Cretácico, *in* Energía, M. d. M. y., ed.: Bogotá Colombia, Instituto Nacional de Investigaciones Geológico - Mineras, p. XXIX-5.

- Fabre, A., 1983, La subsidencia de la Cuenca del Cocuy (Cordillera Oriental de Colombia) durante el Cretáceo y el Terciario Inferior. Primera parte: Estudio cuantitativo de la subsidencia: *Geología Norandina*, v. 8, p. 22-27.
- Fabre, A. D., 1981, Geología regional de la Sierra Nevada del Cocuy Plancha 137, "El Cocuy", departamento de Boyacá e Intendencia de Arauca, *in* Regional, D. d. G., ed.: Bogotá, Ingeominas, p. 264.
- Forero, A., 1990, The basement of the Eastern Cordillera, Colombia: an allocthonous terrane in northwestern South America.: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 3, p. 141-151.
- Friedman, G. M., y Sanders, J. E., 1978, *Principles of sedimentology*: New York, John Wiley & Sons, p. 792.
- Gómez, E., 2001, Tectonic controls on the Late Cretaceous to Cenozoic sedimentary fill of the Middle Magdalena Valley Basin, Eastern Cordillera and Llanos Basin, Colombia [Ph.D thesis]: Cornell University, 619 p.
- Gómez, E., Jordan, T. E., Allmendinger, R. W., y Cardozo, N., 2005a, Development of the Colombian foreland-basin system as a consequence of diachronous exhumation of the northern Andes: *Geological Society of America Bulletin*, v. 117, no. 9-10, p. 1272-1292.
- Gómez, E., Jordan, T. E., Allmendinger, R. W., Hegarty, K., y Kelley, S., 2005b, Syntectonic Cenozoic sedimentation in the northern middle Magdalena Valley Basin of Colombia and implications for exhumation of the Northern Andes: *Geological Society of America Bulletin*, v. 117, no. 5-6, p. 547-569.
- Gómez, E., Jordan, T. E., Allmendinger, R. W., Hegarty, K., Kelley, S., and Heizler, M., 2003, Controls on architecture of the Late Cretaceous to Cenozoic southern Middle Magdalena Valley Basin, Colombia: *Geological Society of America Bulletin*, v. 115, no. 2, p. 131-147.
- Graham, S. A., Tolson, R. B., Decelles, P. G., Ingersoll, R. V., Bargar, E., Caldwell, L. M., Cavazza, W., Edwards, D. P., Follo, M. F., Handschy, J. F., Lemke, L., Moxon, I., Rice, R., Smith, G. A., y White, J., 1986, Provenance modeling as a technique for analyzing source terrane evolution and controls on foreland sedimentation.: *Special Publication of the International Association of Sedimentologists*, v. 8, p. 425-436.
- Harms, J. C., Southard, J. B., Spearing, D. R., y Walker, R. G., 1975, Depositional environments as interpreted from primary sedimentary structures and stratification sequences: Dallas, Texas, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, p. 161.
- Hedberg, H. D., y Sass, L. C., 1937, Synopsis de las formaciones geológicas de la parte occidental de la Cuenca de Maracaibo, Venezuela, *in* Minería, S. t. d. g. y., ed., *Boletín de Geología y Mineralogía [Venezuela]*: Caracas, p. 83-84.
- ICP-Ecopetrol, 1996, Palinoestratigrafía del Terciario - VMM, *in* Dep., E., ed.: Evaluación estratigráfica del Terciario en el Valle Medio del Magdalena y prospectividad: Piedecuesta, Laboratorio de Bioestratigrafía.

- Jones, M. A., Heller, P. L., Roca, E., Garcés, M., y Cabrera, L., 2004, Time lag of syntectonic sedimentation across an alluvial basin: Theory and example from the Ebro Basin, Spain: *Basin Research*, v. 16, no. 4, p. 467-488.
- Jordan, T. E., 1995, Retroarc Foreland and Related Basins, *in* Busby, C. J., y Ingersoll, R. V., eds., *Tectonic of Sedimentary Basins*: Cambridge, MA, Blackwell Science, p. 331-362.
- Jordan, T. E., Flemings, P. B., y J.A. B., 1988, Dating thrust fault activity by use of foreland-basin strata, *in* Kleispehn, K. L., y Paola, C., eds., *New Perspectives in Basin Analysis*: New York, Springer Verlag, p. 307-330.
- Leeder, M., 1999, *Sedimentology and sedimentary basins, from turbulence to tectonics*: Cornwall, Blackwell Science, p. 592.
- McCourt, W. J., Aspden, J. A., y Brook, M., 1984, New geological and geochronological data from the Colombian Andes: continental growth by multiple accretion: *Journal of the Geological Society*, v. 141, no. 5, p. 831-845.
- Miall, A. D., 1996, *The Geology of Fluvial Deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology*: New York, Springer, 582 p.
- Mirioni, H., 1965, Etude anatomique de quelques bois Tertiaires de Colombie: *Boletín de Geología*, Universidad Industrial de Santander, v. 20, p. 27-59.
- Mora, A., Parra, M., Strecker, M. R., Kammer, A., Dimaté, C., y Rodríguez, F., 2006, Cenozoic contractional reactivation of Mesozoic extensional structures in the Eastern Cordillera of Colombia: *Tectonics*, v. 25, no. 2.
- Mora, C., Parra, P., Parra, M., Caballero, V., Vargas, A., Piragua, A., Sanabria, D., Aldana, W., y Moreno, C., 2009, Adquisición y consolidación de información para el Valle Medio del Magdalena (VMM) y piedemonte de la Cordillera Oriental - Fase I: Instituto Colombiano del Petróleo ICP.
- Morales, L. G., Colombian petroleum Industry, 1958, General geology and oil occurrences of the Middle Magdalena Valley, Colombia, *in* Weeks, L. G., ed., *Habitat of Oil: A Symposium*: Tulsa, AAPG, p. 641-695.
- Navas, J., 1963, Estudio estratigráfico del Girón al W del Macizo de Santander (Cordillera Oriental, Colombia): *Boletín de Geología*, v. 12, p. 19-33.
- Nilsen, T. H., 1988, Alluvial fan deposits., *in* Scholle, P. A., y Spearing, D., eds., *Sandstone depositional environments*: Tulsa Oklahoma, The American Association of Petroleum Geologists, p. 49-86.
- Olaya, I. D., 2003, Evaluación regional de las tectonosecuencias terciarias en la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, sector entre el Rio Sogamoso y Cascajales, *in* ICP, E., ed.: Bucaramanga, Capítulo de Estratigrafía, p. 34.
- Parra, M., Mora, A., Jaramillo, C., Strecker, M. R., Sobel, E. R., Quiroz, L. I., Rueda, M., y Torres, V., 2009, Orogenic wedge advance in the northern Andes: Evidence from the Oligocene-Miocene sedimentary record of the Medina Basin, Eastern Cordillera, Colombia: *Geological Society of America Bulletin*, v. 121, p. 780-800.
- Parra, M., Mora, A., Jaramillo, C., Torres, V., Zeilinger, G., y Strecker, M. R., 2010, Tectonic controls on Cenozoic foreland basin development in the north-eastern Andes, Colombia: *Basin Research*, v. en prensa.

- Parra, M., Mora, A., Ketcham, R.A., Horton, B. K., Sanchez, N., Rubiano, J., Reyes, A. , 2010, Temporal constraints on the early growth of the Colombian Andes: thermochronological data from the Central and Eastern Cordilleras.: Informe interno, Ecopetrol - ICP.
- Ramón, J. C., y Cross, T. A., 1997, Correlation strategies and methods in continental strata. Middle Magdalena Basin, Colombia, Department of Geology and Geological Engineering, Colorado School of Mines.
- Reineck, H. E., y Singh, I. B., 1980, Depositional sedimentary environments with reference to terrigenous clastics: Berlin, Springer Verlag.
- Reineck, H. E., y Wunderlich, F., 1968, Classification and origin of flaser and lenticular bedding: *Sedimentology*, v. 11, p. 99-104.
- Restrepo-Pace, P. A., Colmenares, F., Higuera, C., y Mayorga, M., 2004, A fold-and-thrust belt along the western flank of the Eastern Cordillera of Colombia. Style, kinematics, and timing constraints derived from seismic data and detailed surface mapping, *in* McClay, K. R., ed., *Thrust Tectonics and Hydrocarbon Systems*: Tulsa, American Association of Petroleum Geologists Memoir 82, p. 598-613.
- Rubiano, J., 1995, Modelo estratigráfico y estructural del Campo Provincia, Valle Medio del Magdalena, Santander Colombia, *in* Memorias VI Congreso Colombiano del Petróleo, Bogotá Colombia, p. 235-242.
- Sarmiento-Rojas, L. F., 2001, Mesozoic Rifting and Cenozoic Basin Inversion History of the Eastern Cordillera, Colombian Andes [Ph.D thesis]: Vrije University, 295 p.
- Stow, D. A. V., y Dorrik, A. V., 2005, *Sedimentary rocks in the field: a color guide*: London, Manson Publishing Ltd, p. 320.
- Touissaint, J. F., 1999, Evolución geológica de Colombia: Precámbrico, Paleozoico, Mesozoico, Cenozoico, *in* Colombia, U. N. d., ed.: Bogotá, p. 243.
- Ujueta, G., 1992, Fotogeología de la parte central y norte del Valle Medio del Magdalena, *in* Ingeominas, ed.: Bogotá, Ingeominas, p. 76.
- Van der Hammen, T., 1958, Estratigrafía del Terciario y Maestrichtiano Continentales y tectogénesis de los Andes Colombianos: *Boletín Geológico, Ingeominas Bogotá*, v. 6, no. 1-3, p. 67-128.
- Villamil, T., 1999, Campanian - Miocene tectonostratigraphy, depocenter evolution and basin development of Colombia and western Venezuela: *Palaeogeography, palaeoclimatology*, v. 153, p. 239-275.
- Ward, D. E., Goldsmith, R., Cruz, J., y Restrepo, A., 1973, Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona, departamentos de Santander y Norte de Santander, *in* Bogotá, I., ed.: Bogotá, *Boletín Geológico*, p. 132.

Anexos

8. ANEXO 1: ANALISIS DE LITOFACIES

8.1 DESCRIPCION E INTERPRETACIÓN DE LITOFACIES

Este anexo contiene el análisis e interpretación detallada de litofacies de las formaciones Esmeraldas, Mugrosa, Colorado y Real. Para su identificación se utilizó la propuesta de litofacies para sistemas aluviales de Miall (1996) complementada para la formación esmeraldas. Al final se incluye una tabla resumen de los ambientes de depositación de estas mismas unidades para cuya interpretación se tuvo en cuenta estudios anteriores y la literatura sobre sistemas aluviales (Ver Tabla 1 y 2).

8.1.1 Facies de Conglomerados en la Fm La Paz

En la Fm La Paz los conglomerados son escasos y predominan a la base de la unidad, un conglomerado basal se pudo seguir a lo largo del SNM (Tabla 4) y está en contacto erosivo discordante sobre la Fm Lisama.

Los conglomerados son de tamaño de guijas finas a guijarros (2cm – 25 cm), arenosos, limpios, blanco a amarillento; La geometría de los estratos es lenticular, subtabulares o acuñaos; los espesores promedio están entre 1m hasta 24m; las guijas son subredondeadas a bien redondeadas, la fracción arena angular a subangular. Son bien cementadas, la composición de clastos de los conglomerados de la Fm La Paz son principalmente Cuarzo, Chert y Cuarzoarenitas (Figura 19, documento principal).

Este tipo de conglomerados se presenta principalmente hacia el SE del Sinclinal de Nuevo Mundo; hacia el NW solo se encuentra el nivel basal con una adelgazamiento muy marcado hacia un nivel de limolitas blancuzcas síliceas nombrada como el Toro Shale (Morales, 1958). Estos conglomerados de la base representan facies proximales de abanicos aluviales y están ubicadas principalmente hacia el SW del Sinclinal de Nuevo Mundo.

8.1.2 Facies de arenitas en la Fm La Paz

Las facies y ambientes en las arenitas de la Fm La Paz ha sido estudiado en la Cuenca Valle Medio por varios autores (Gómez et al., 2005b). A la base de esta unidad se encuentran arenitas cuarzosas de facies St, Sl, Sm y Sr grano decrecientes que representan depósitos de barras puntuales; algunos niveles en la sección inferior contienen clastos de carbón o lodolitas carbonocas flotantes en las arenitas y hacia el sur del SNM, se observaron intraconglomerados de clastos de lodolitas carbonosas y carbón; las facies finas son lodolitas blancuzcas sin materia

orgánica, con huellas de raíces verticales que indican planicies aluviales, hacia la base un nivel de paleosuelo con costras calcáreas y rizolitos (figura).



Facies aluviales de la Fm La Paz. Arenitas masivas con clastos de carbón Sm, arenitas con estratificación cruzada en artesa St, arenitas con estratificación de bajo ángulo SI y arenitas con ondulitas de corriente Sr. Facies de barras puntuales y complejo de desborde (crevase splay) aluviales.



Lodolitas de la Fm La Paz. Se puede observar un nivel de paleosuelo P sobre lodolitas gris claro con nódulos calcáreos y rizolitos y nivel grueso de lodolitas grises moteadas de facies Fm. Son depósitos de planicie aluvial.

Hacia el tope se encontraron apilamientos de arenitas de geometría lenticular a acuñada con muy pocas lodolitas, excepto algunos niveles muy delgados lenticulares entre las arenitas. Estos depósitos corresponden a depósitos de acreción lateral en barras entrelazadas o barras puntuales y las lodolitas corresponden a rellenos de canales abandonados.

8.1.3 Facies de conglomerados en la Fm Esmeraldas

La Formación Esmeraldas Carece de facies conglomeráticas, solo predominan las facies arenosas por tanto los conglomerados en el área del Sinclinal de Nuevo Mundo (SNM), no son representativas de esta formación.

8.1.4 Facies de arenitas en la Fm Esmeraldas

Las arenitas de la Formación Esmeraldas son de tamaño de grano medio a fino predominante sobre el grueso, se observaron muy pocas arenitas muy gruesas o granulosas; la gradación no es una característica sobresaliente en arenitas de Esmeraldas, más bien la textura se mantiene en todo el estrato. La geometría de los cuerpos casi siempre es tabular y se observaron algunos estratos muy gruesos (8m), de arenitas y en algunas ocasiones se presentan profundos canales rellenos con toda una secuencia de estratos (incised channels) (Figura 1).

Las arenitas son de color verde, gris o gris verdoso con abundantes líticos (Ver Anexo 2. Secciones delgadas), bastante estructuradas con estratificación cruzada en artesa St, arenitas con estratificación horizontal o inclinada de bajo ángulo Sh. La primera es interpretada como producida por migración de dunas de cresta sinuosa, y la segunda producida durante régimen de flujo alto de lecho plano (plane bed), en procesos de flujo laminar de alta energía (sheetflood) o por acreción de arenas en barras puntuales durante migración de meandros (Blatt et al., 1980).

Arenitas medias con estratificación cruzada plana Sp, (se observó por lo menos dos ocasiones en donde esta es bidireccional) formadas por migración de dunas de cresta recta (sand waves), lo que indica flujos bidireccionales tales lo que ocurren en ambientes intermareales o estuarinos (Reineck y Singh, 1980).

También se observaron frecuentes niveles de arenitas finas a muy finas con laminación ondulosa, flaser y lenticular dependiendo de la proporción arena/lodo,

con abundantes láminas de materia orgánica carbonosa en estratificación heterolítica. Estas estructuras sedimentarias indican régimen de flujo variable: la arena depositada en periodos activos del flujo y el lodo en periodos de quietud o disminución de la energía del evento (waning flood). (Friedman y Sanders, 1978).



Figura 1. Geometría, espesores y magnitud de estratificación en la Fm Esmeraldas; se puede observar facies de arenitas Sh y lodolitas Fl en relleno de canales profundos Ch; estratificación heterolítica inclinada horizontal Sh, EHI, arenitas en cuerpos acuñaos con estratificación cruzada plana Sp, en este caso bidireccional; estratos de arenitas entre 6 a 8 m de espesor con estratificación cruzada en artesa St y estratificación plana al tope.

Una interpretación para estas estructuras es que representen un ambiente donde existen varias etapas de un evento mayor como por ejemplo un evento mareal o influencia aluvial y mareal: cualquier forma de lecho en el fondo tendrá periodos de movimiento, desaceleración, quietud, aceleración y así sucesivamente (Leeder, 1999); estas estructuras implican que tanto arena como lodo están disponibles y que hay periodos de actividad de la corriente que alterna con periodos de quietud, durante los periodos de actividad la arena es transportada y depositada como ripples mientras que el lodo es mantenido en suspensión; cuando la corriente pausa, el lodo en suspensión flocula y se deposita en las artesas de los ripples (Reineck y Singh, 1980).



Figura 2. Contenido orgánico Fm Esmeraldas. a: arenita muy fina con laminación horizontal con hojas SI. b: lodolita y arenita con laminación plana horizontal con conchas de gasterópodos. c: arenitas y lodolitas laminadas con alto contenido de conchas de gasterópodos y bivalvos, de hasta 4 cm; d: varios sets de laminación ondulosa, flaser y lenticular en arenitas finas Sw. e: algunos estromatolitos algales (Est), entre arenitas. f: arenitas en cuya base se encuentran fragmentos de troncos vegetales. El nivel fosilífero de gastrópodos y bivalvos es el denominado horizonte Los Corros aproximadamente 50 m por debajo del techo de la unidad.

Cerca al poblado de Uribe, dentro de la Fm Esmeraldas se encontraron algunas estructuras correspondientes a estromatolitos algales, están compuestas de caliza y se observaron al tope de estratos de arenitas (Figura 2). Los estromatolitos algales son muy comunes en el registro sedimentario desde el Cámbrico superior consisten de agrupaciones de algas que atrapan partículas de carbonatos y forman estructuras de crecimiento de varias formas. En ambientes modernos se encuentran en ambiente marino de plataforma o en ambientes estuarinos donde se forman carbonatos. Los filamentos orgánicos de algas atrapan y unen sedimento de carbonato, crecen alrededor de estos granos calcáreos y producen una nueva superficie para seguir atrapando y uniendo más partículas conformando la siguiente capa de sedimento (Blatt et al., 1980; Stow y Dorrik, 2005).

En el estudio petrográfico de secciones delgadas se encontraron fragmentos de madera fósil del género *Guttiferoxylon Compactum* según Schonfeld, (1947), las cuales fueron recolectadas cerca al poblado de Uribe y que han sido reportada y descritas previamente en Colombia en el municipio de Amagá Antioquia donde fueron datadas del Oligoceno superior – Mioceno inferior (Mirioni, 1965), (Ver Anexo 2, sección delgada vc63).

8.1.5 Facies de Lodolitas de la Formación Esmeraldas

Las lodolitas de la Fm Esmeraldas son generalmente de dos tipos, shales gris oscuro a negros con abundante materia orgánica Fc, Fl, y arcillolitas grises claras varicoloreadas de morado oscuro a rojizo, sin restos de materia orgánica Fm; las primeras dos litofacies predominan a lo largo del flanco E del SNM, mientras que hacia el flanco W predomina las arcillolitas varicoloreadas; en el flanco W no abundan Lodolitas negras ricas en materia orgánica en la Fm Esmeraldas (Figura 3).

Los shales gris oscuro carbonosos presentan laminación plana y en hacia el techo de la Fm Esmeraldas contienen conchas de gastrópodos y Bivalvos, los cuales han sido datados como Eoceno superior Pilsbry y Olsson (1935), (Morales, 1958). Estos shales son depositados por acreción vertical en ambientes tranquilos de poca energía o estancados donde se acumula además materia orgánica tanto vegetal como animal debido a condiciones reductoras: valores de Eh de -3 Volt y contenidos de oxígeno disuelto cercano a cero (Blatt et al., 1980).

La facies de lodolitas Fm indican depositación por acreción vertical; el moteado varicoloreado: marrón rojizo, gris, gris verdoso, amarillo rojizo, indica periodos de oxidación combinados con reducción, exposición subaérea, variaciones en la profundidad del nivel freático o condiciones oxidantes durante nivel freático bajo

(colores rojizos o amarillos rojizos) y reductoras durante nivel freático alto (colores grises o verdes), por tanto planicie de inundación.

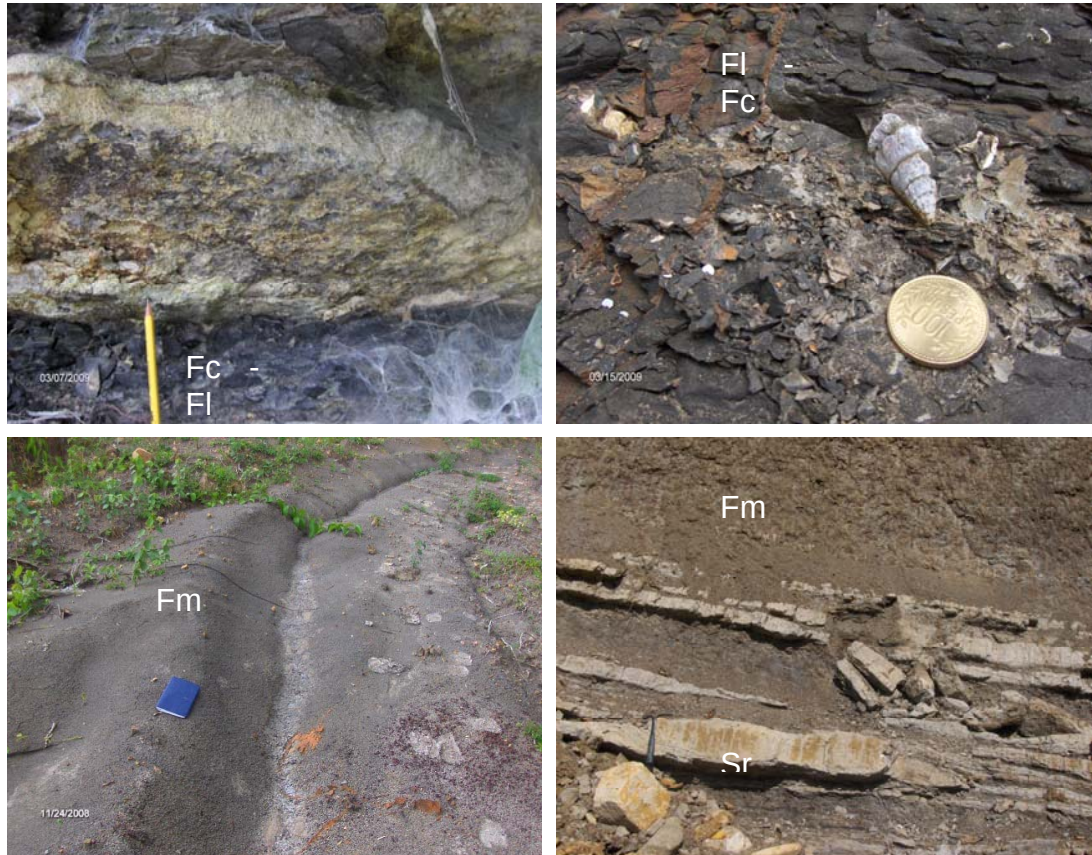


Figura 3. Arriba se pueden ver shales gris oscuro a negro carbonosa Fc en el Nivel Fosilífero de Los Corros contiene conchas de bivalvos y de gastrópodos; abajo lodolitas varicoloreadas masivas Fm, con algunos niveles aislados de arenitas con ripples Sr.

8.2 DESCRIPCION E INTERPRETACIÓN DE LITOFACIES

8.2.1 Facies de Conglomerados de la Formación Mugrosa

En la Fm Mugrosa los conglomerados son escasos y predominan a la base de estratos potentes de arenitas que no superan un metro de espesor; estos son de tamaño de gránulos y guijas finas (4mm a 20mm), arenosos, limpios, blanco a amarillento, hacia el techo de la formación algo marrón rojizo; La geometría de los estratos es lenticular (como de canales), subtabulares o acuñados, pero a lo largo

del área estos niveles no son muy continuos o persistentes y lateralmente pasan a arenitas o lodolitas; los espesores promedio están entre 10 hasta 80 cm.

Generalmente las guijas son subredondeadas a bien redondeadas, la fracción arena angular a subangular (Ver secciones delgadas vc002 y p131, Anexo 2 Petrografía). No cemento, no materia orgánica, algo de matriz arcillosa blanca verdosa. La composición de clastos de los conglomerados de la Fm Mugrosa son principalmente Cuarzo, Chert y Cuarzoarenitas (Figura 20, documento principal).

Este tipo de conglomerados se presenta principalmente hacia el SE del Sinclinal de Nuevo Mundo; hacia el N y E son muy escasos si se presentan es a la base de estratos de arenitas que se encuentran aislados dentro de lodolitas; desaparecen hacia el flanco occidental pasando a ser más arenitas aisladas dentro de lodolitas.



Figura 4. Conglomerados de gránulos y guijas fina a medias (4-12mm), de Fm Mugrosa. La geometría predominante es la lenticular y canaliforme erosional, con gradación normal en facies Gt o Gh. Los clastos son subredondeados a angulares. Un alto porcentaje son bien redondeados indicando mucho retrabajamiento.

En la Fm Mugrosa los conglomerados presentan estructuras sedimentarias como estratificación cruzada en artesa Gt o estratificación horizontal Gh. Normalmente

sobre los conglomerados se presenta en contacto transicional arenitas granulosas blancas y en conjunto forman gradación normal (Figura 4).

Los conglomerados son depósitos de canal fluvial que se transportan como carga en tracción y rodamiento principalmente y van quedándose mientras la arena y lodo avanza cuando las condiciones son normales (Reineck y Singh, 1980). Durante avenidas del río en régimen de flujo alto o en condiciones de desborde pueden formar capas tabulares con estratificación horizontal Gh (Cant, 1988).

También representa concentraciones residuales y se acumula como depósitos de geometría lenticular discontinua en la parte más profunda de un canal, una duna o en la curva interna de barras puntuales de arena de canales Gt. Estos depósitos llegan a quedar rápidamente cubiertos por sedimento más fino y así se preserva (Reineck y Singh, 1980).

Las facies conglomeráticas generalmente indica la base de un canal y su espesor corresponde a la máxima profundidad de erosión efectiva durante una avenida del río. Pueden formarse en sub-ambientes de canales principales meandriformes o en canales de desborde en sistemas meandriformes (Reineck y Singh, 1980).

8.2.2 Facies de Arenitas de la Fm Mugrosa

Las arenitas de Mugrosa son de grano muy grueso a medio, en general blancas, limpias, moderadamente seleccionadas, muy pocas veces se observó arenitas sucias o lodosas; hacia el SE del SNM predominan las arenitas gruesas a muy gruesas granulosas con base conglomeráticas; hacia el sector N y W del SNM se presentan principalmente estratos aislados dentro de gruesos niveles de arcillolitas y lodolitas. La geometría de los estratos es subtabular a lenticular, con espesores hasta de 1m, máximo apilamiento de 13.5m predominando agrupaciones que están entre 2.5 y 7 m.

En la Fm Mugrosa los conglomerados presentan estructuras sedimentarias como estratificación cruzada en artesa Gt o estratificación horizontal Gh. Normalmente sobre los conglomerados se presenta en contacto transicional arenitas granulosas blancas y en conjunto forman gradación normal (Figura 4).

Los conglomerados son depósitos de canal fluvial que se transportan como carga en tracción y rodamiento principalmente y van quedándose mientras la arena y lodo avanza cuando las condiciones son normales (Reineck y Singh, 1980). Durante avenidas del río en régimen de flujo alto o en condiciones de desborde pueden formar capas tabulares con estratificación horizontal Gh (Cant, 1988).

También representa concentraciones residuales y se acumula como depósitos de geometría lenticular discontinua en la parte más profunda de un canal, una duna o en la curva interna de barras puntuales de arena de canales Gt. Estos depósitos llegan a quedar rápidamente cubiertos por sedimento más fino y así se preserva (Reineck y Singh, 1980).

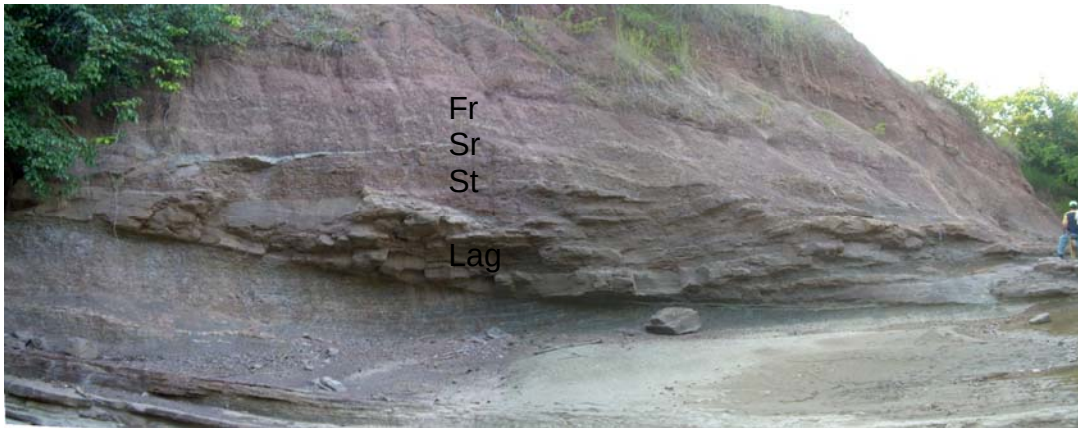


Figura 5. Macroforma de acreción lateral, como un conjunto de barra puntual, en arenitas y lodolitas de la Formación Mugrosa. Observada en el sector sur del SNM. Se puede observar gradación normal de base a techo de la macroforma, sobre esta se observan lodolitas y arenitas finas de planicie de inundación.

Se encontraron arenitas con estratificación cruzada en artesa St, con ausencia de estructuras base erosiva con intraclastos y gradación normal Sm; arenitas medias a finas con ripples Sr; arenitas con laminación cruzada de bajo ángulo Sh; arenitas finas con laminación horizontal Sl (Miall, 1996); generalmente predomina la facies St y en su base casi siempre se encuentra la facies Gh. o Gt configurando estratos con gradación normal (Figura 5, 6 y 7).

La estratificación cruzada en artesa por migración de dunas de arena 3D en las barras de arena del canal; la Sm se forma por canibalización de capas de arena por acreción lateral o por erosión y relleno en dirección a las corrientes o migración de formas de lecho sobre barras de canales o migración de barras puntuales; la estratificación horizontal durante avenidas del río en régimen de flujo alto donde las velocidades pueden ser suficientes para que se presente la fase de lecho plano en complejos de desborde (sheetflood) (Harms et al., 1975; Blatt et al., 1980).



Figura 6. Arenitas blancas, limpias granulosas de Fm Mugrosa. En las fotos de arriba el contacto inferior es erosivo y el superior transicional de arenitas a lodolitas; las arenas gruesas granulosas tienen gradación normal hacia arenitas medias o finas con ripples. En las fotos de abajo, a la izquierda conglomerado de gránulos con laminación horizontal y a la derecha, conglomerados y arenitas granulosas con estratificación cruzada en artesa en gradación normal.



Figura 7. a,b y c: Estratos aislados de hasta 1m en contacto no erosivo con lodolitas, presentan bioturbación y por esto se observan masivos. b, c: Facies Sh, Sh de arenita granulosa gradada. d y e: Arenitas finas a medias con intercalaciones de lodolitas estratos de hasta 30 cm en paquetes de hasta de 1.8m, con ripples o laminación cruzada de bajo ángulo corresponde a facies Sr o Sl.

La gradación normal es producida cuando existen corrientes turbulentas o flujos helicoidales que crean celdas de circulación vertical y llevan agua y sedimento del fondo hacia la superficie a lo largo de la superficie de una barra de meandro; a medida que sube, esta corriente pierde su velocidad y disminuyen los esfuerzos para mantener las partículas en suspensión por lo que los granos gruesos tienden a depositarse en el fondo y los más finos hacia la parte alta de la barra generando una gradación normal (Reineck y Singh, 1980) (Figura 5 y 6).

La asociación de arenitas con estratificación horizontal – laminación inclinada de bajo ángulo – arenitas con ripples, son el producto del desborde del canal principal durante avenidas torrenciales de alta velocidad en épocas de lluvias fuertes que pueden romper el dique natural o “Bank”, crear flujos hacia la planicie de inundación y depositar material en un cuerpo en forma de abanico o especie de pequeño delta distributario que disminuye su tamaño de grano en las facies más distales lejos del cauce principal, y puede quedar dentro de lodos de la planicie de inundación (Figura 7a y 7c), (Reineck y Singh, 1980).

8.2.3 Facies de Lodolitas de la Formación Mugrosa

Asociación lodolita con fantasmas de raíces Fr, lodolitas masivas varicoloreadas Fm. Miall (1996). Es la asociación de facies que más predomina dentro de la formación Mugrosa hacia el Norte del SNM siendo aproximadamente el 80% del total. Corresponde a niveles métricos a decamétricos de lodolitas masivas (principalmente arcillolitas, limolitas, lodolitas arenosas, arcillolitas arenosas) marrón rojizo moteadas gris, verde claro, donde predominan los colores rojos, amarillos y morados sobre los grises, cuya característica principal es el moteado, estructura prismática y trazas de raíces (Figura 8).

Indican condiciones de baja energía, depositación por acreción vertical de material que va en suspensión, pero también sedimento fino como carga de fondo o saltación, esto se da en depósitos de agua quieta posterior a las inundaciones en temporadas lluviosas.

Estos depósitos corresponden a depósitos de llanura de inundación. El moteado de colore marrón rojizo con gris, huellas de raíces y estructura prismática, indica que hubo condiciones alternadas reductoras y oxidantes dependiendo de la altura del nivel freático, predominando las últimas e indicando condiciones bien drenadas, donde hubo desarrollo de vegetación e inicio de configuración de horizontes de suelo, pero debido a una rata de depositación muy alta no pueden desarrollarse completamente horizontes evolucionados. Puede corresponder a suelos agradacionales donde la velocidad de desarrollo de paleosuelos es igual o menor que la velocidad de sedimentación (Catuneanu, 2006).

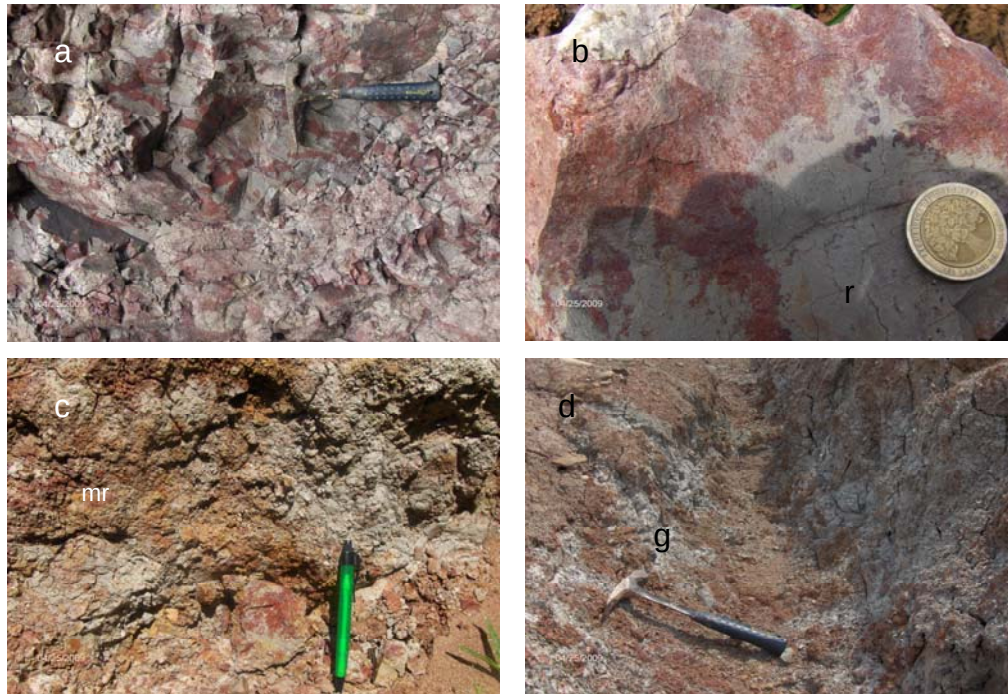


Figura 8. Arcillolita, arcillolita limosa y/o arenosa, moteada marrón rojiza, amarilla rojiza moteado gris claro a verde claro, de estructura prismática, con trazas de raíces r, de la Fm Mugrosa. El moteado marrón rojizo mr, indica condiciones predominantemente oxidantes suelo bien drenado, el moteado gris g indica condiciones reductoras por nivel freático alto, suelo poco drenado. Indican desarrollo incipiente de paleosuelos en la planicie de inundación (b detalle trazas de raíces en a.

8.2.4 Paleosuelos de Mugrosa

En algunas llanuras de inundación se desarrollan niveles de paleosuelos evolucionados indicando condiciones más apropiadas con bajas tasas de depositación, como lo representa la siguiente asociación.

Asociación P de Miall (1996). Estos depósitos corresponden a arcillolitas, arcillolitas arenosas, arenitas muy finas lodosas y limolitas. Presentan estructuras de costras o nódulos ferruginosos, trazas de raíces verticales mineralizadas, costras y nódulos de carbonatos; también hay paleosuelos ferruginizados, asociados con láminas de yeso. En estos paleosuelos aún se observan relictos de estructuras sedimentarias de las rocas pedogenizadas como laminación o ripples; son niveles más locales desde 30 hasta 1 m de espesor.



Figura 9. Paleosuelos de la Fm Mugrosa, al tope de la formación son frecuentes paleosuelos con desarrollo de costras y nódulos calcáreos de color blancuzco (a y c), en la parte media y baja de la unidad son más frecuentes los nódulos ferruginosos (d y b). la estructura de la roca original ha sido borrada o se pueden ver relictos de esta.

Estos depósitos corresponden a depósitos de llanura de inundación o de desborde de canal, sobre las cuales evolucionaron perfiles de suelo que han enmascarado la estructura de las rocas originales degradándola hasta el punto que solo se observan fábrica y textura relictas de las facies previas. Los nódulos de hierro (ferricretas) y calcáreos (calcretas), son costras desarrolladas en perfiles de suelo antiguos, el primero bajo condiciones de clima cálido y húmedo, el segundo bajo clima árido donde la evaporación es mayor que la precipitación (Bridge, 2003a; Stow y Dorrik, 2005).

8.2.5 Capas de Yeso en Mugrosa

Hacen parte de la asociación P de Miall (1996). Se presentan en el flanco Este y Oeste del Sinclinal de Nuevo Mundo, corresponden a láminas de yeso de hasta 4 cm de espesor asociadas con paleosuelos bien oxidados y/o arcillolitas de planicie de inundación y lodolitas varicoloreadas. Estos delgados horizontes de yeso fueron

encontrados a en ambos flancos del sinclinal y hacia el sector sur de sinclinal pudiendo utilizárseles como horizontes guía para correlación litológica (Figura 10).

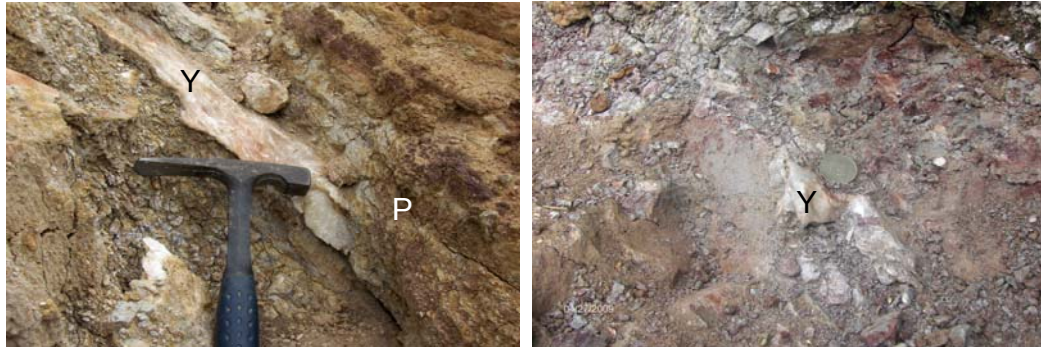


Figura 10. Delgadas capas de yeso Y, sindeposicionales o producto de desarrollo de paleosuelos. Se puede ver debajo de paleosuelos ferruginizados Pf, o como capas en arcillolitas marrón rojizas a la derecha.

Fueron encontrados tres delgados horizontes con capitas de yeso en la sección Santa Clara del flanco E del SNM, y dos niveles en la sección Las Monas del flanco W del SNM, en el sector sur del SNM también fue encontrado uno de los niveles, pero en las otras secciones tal vez se encontraron cubiertos. Estos depósitos de yeso indican máximas condiciones de aridez en ciertos periodos de la evolución de la cuenca (Aridisoles?).

8.2.6 Facies de Lodolitas y arenitas laminadas en Mugrosa

Asociación de facies Fl, Sr de Miall (1996). Son niveles de arcillolitas o limolitas con laminación horizontal o masivas de colores gris claro a verdoso, intercaladas con arenitas finas a medias con ripples o laminación horizontal. En estas intercalaciones se pueden presentar estructuras de carga como laminación convoluta u otras estructuras de deformación de las capas o láminas depositadas (flame structures) (Figura 11).

Estos depósitos se forman por acreción vertical en la planicie inundada o mal drenada, más baja del sistema aluvial en ambientes lacustres o meandros abandonados, donde por asentamiento del sedimento fino transportado en suspensión se forman capas con laminación horizontal o arenitas con ripples que han logrado llegar hasta allí después de eventos de desborde de canal. Las estructuras de deformación indican velocidad de sedimentación rápida sobre

sedimento que está aún saturado de agua en cuerpos de agua dentro de la llanura.

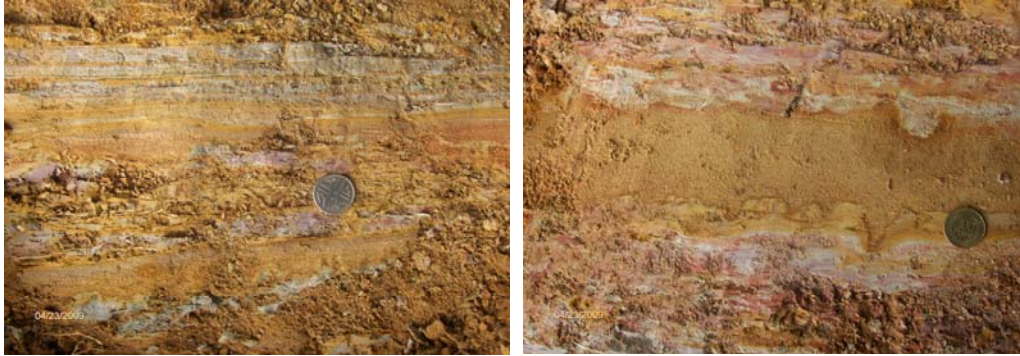


Figura 11. Delgados paquetes laminados de arcillas grises y arenitas intercaladas con estructuras de deformación tales como load casts y flame structures. Los colores amarillos y amarillo rojizo parecen ser por meteorización (oxidación), reciente de líticos o micas dentro del sedimento.

Se incluye en esta facies arcillolitas de colores predominantes grises que indican llanuras de inundación mal drenada, nivel freático alto, tierra inundada permanentemente o durante la mayor parte del tiempo.

8.3 DESCRIPCION E INTERPRETACIÓN DE LITOFACIES

8.3.1 Facies de conglomerados de la Formación Colorado

En la Formación Colorado las facies de conglomerados son abundantes y gruesas tanto en tamaño de grano como en espesor; de norte a sur se presentan gruesos estratos que van desde 1m a 15m, siendo los estratos más gruesos ubicados hacia el tope de la formación lo que constituye una secuencia granocreciente (coarsening upward) y con estratos cada vez más gruesos hacia el tope (thickening upward), con clastos de hasta 35 cm de diámetro predominando los de 5cm. (Figura 23 a 25).

En la Formación Colorado los conglomerados se presentan como estratos de forma tabular y lenticular pero también se presentan como lentes de conglomerados en la base de depósitos de arenitas con gradación normal, o como estratos individuales. La distribución de los conglomerados en Fm Colorado a través del Sinclinal de Nuevo Mundo es de predominancia de estos hacia el sector Norte y flanco Este y disminuyen casi hasta desaparecer hacia el Sur y hacia el

Oeste; hacia el sur y hacia el oeste van a predominar las arenitas conglomeráticas.



Figura 12. Formación Colorado. Facies Gcm: conglomerado clastosoportado masivo; Gmg: marrizsoportado masivo; Gh: con estratificación horizontal o suavemente inclinada y Gt: con estratificación cruzada en artesa. Guijarros y guijas promedio de 4cm hasta de 35 cm con matriz arenosa clastos redondeados, en estratos tabulares y lenticulares (gravel lag).

En la Formación Colorado se presentan las facies, Gcm, Gmg, Gt y Gh, (Miall, 1996), en general son conglomerado de guijarros y guijas, predomina un armazón clastosoportado Gcm, algunos de estos con imbricación de clastos; conglomerados matrizsoportados Gmg donde las guijas y guijarros son redondeados con abundante matriz arenolodosa, algunos presentan seudoestratificación horizontal Gh. En general se presenta en contacto erosional sobre arenitas, paleosuelos, arenitas lodosas o lodolitas.

Los conglomerados matrizsoportados, corresponden a flujos pseudoplásticos depositados por flujo turbulento, laminar a viscoso y flujos de gravedad. Los clastosoportados depositados por corrientes de tracción principalmente en canales y/o barras por flujos de alta energía y turbulencia (grandes esfuerzos de corte), donde solo clastos grandes se depositan conduciendo a un armazón abierto clastosoportado que se rellena posteriormente por arena y tamaños de partícula menores llevados por flujos con menor energía y velocidad (Reineck y Singh, 1980).

Los depósitos matrizsoportados generalmente ocurre en facies proximales aluviales como abanicos aluviales en canales principales o en canales distributarios o como flujos no confinados (sheet flood y flash floods), como flujos de escombros (Reineck y Singh, 1980; Nilsen, 1988).

Las barras de gravas y lechos de gravas o gravas de canal (gravel bar and bedforms), capas extensa y gruesas resultado de acreción en dirección de la corriente o lateral, en ríos trenzados que fluyen intermitentemente debido a variaciones en la lluvia en las zonas de aporte cercanas. A medida que ocurren nuevos flujos del río, este puede cambiar su curso repetidamente, dando lugar a un depósito extenso lateralmente (depósito tabular de gravas), (Miall, 1996).

En el Sinclinal de Nuevo Mundo, estos depósitos representan ambientes de abanico aluvial en facies medias a proximales que gradan lateralmente, de norte a sur en una distancia de aproximadamente 15 Km, a facies de arenitas de ríos trenzados con barras de gravas menos gruesas y lodolitas de planicie aluvial.

8.3.2 Facies de Arenitas de la Fm Colorado

Las arenitas de la Formación Colorado se caracterizan por su pobre selección, de tamaño de grano muy grueso, grueso, medio a fino, conglomeráticas de color marrón rojizo al igual que las lodolitas y paleosuelos. La composición típica de estas arenitas es subarcosa, sublitoarenita, litarenita y litarenita feldespática (ver Anexo 3: Secciones delgadas) .

Hacia el sector Norte y Este del Sinclinal de Nuevo Mundo están asociadas en su mayor parte con gruesos niveles de conglomerados, mientras que hacia el SW no se encontraron conglomerados y predominan las arenitas medias y arenitas granulosas y a expensas de los conglomerados aumenta la frecuencia de lodolitas rojas y paleosuelos con muchas costras de carbonato.

En la vertical los estratos de arenitas gradan normalmente a facies lodosas que pueden terminar en paleosuelos bien evolucionados (calcretas), configurando una incipiente gradación normal.; se encuentran algunos niveles de arenitas limpias de color blanco amarillento. Las estructuras sedimentarias a menudo son borradas por intensa bioturbación (Figura 13).



Figura 13. Cuerpos tabulares de gravas y arenitas conglomeráticas de la Fm Colorado. Facies Gh - St, se interpretan como barras de grava y arena o lechos de gravas y arena en facies medias aluviales cuyos características son de barras de arenas y gravas depositadas por ríos trenzados en facies medias de abanicos aluviales.

Se observaron litofacies de arenitas con base erosiva e intraclastos de erosión y relleno (scour and fill) Ss; arenitas con estratificación cruzada en artesa St, algunas con intraclastos de arenita fina con restos de bitumen; arenitas con estratificación horizontal Sh y en conjunto presentan gradación normal incipiente que se da por disminución en la proporción de gravas gruesas y aumento del contenido de lodo, e incremento del contenido de gránulos hasta terminar en paleosuelos. La otra estructura visible es la estratificación horizontal y las arenitas con ripples bioturbadas.

Las anteriores litofacies junto con litofacies Gh o Gt hacia la base, se pueden haber depositado por migración de barras de gravas y arenas o lechos de gravas y

arenas en ambiente fluvial de río trenzado y/o facies medias de abanico aluvial (Nilsen, 1988)

También se observaron asociaciones de arenitas de erosión y relleno Ss, arenitas con estratificación cruzada en artesa St, que terminan con lodolitas masivas o con ripples que pueden haberse depositado por migración de barras de arena en canales distributarios de facies medias o también relleno de canales de desborde en sistemas trenzados “channel fill” (Figura 14) .

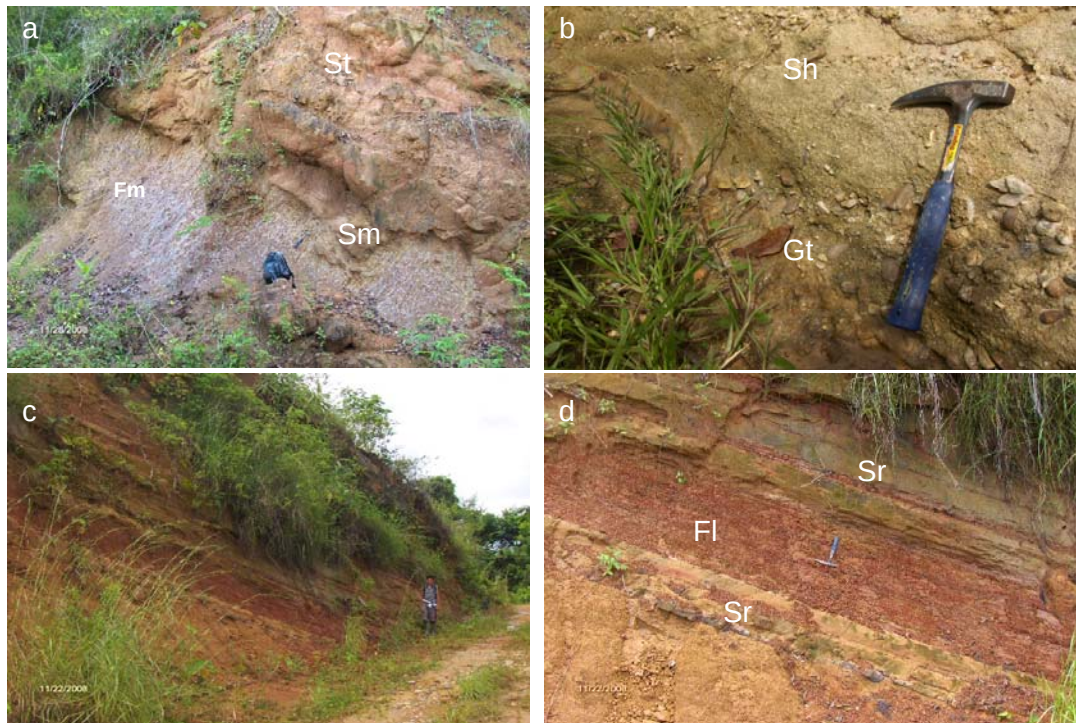


Figura 14. Facies de arenitas de la Fm Colorado. a: Facies arenitas de erosión y relleno (scour and fill) Ss seguida de arenitas con estratificación cruzada en artesa St en cuerpos lenticulares sobre paleosuelos. b: facies conglomerados con estratificación cruzada en artesa Gt seguida por arenitas con estratificación horizontal Sh. c, d: arenitas con ripples Sr, lodolitas finamente laminadas Fl, formando estratos tabulares.

8.3.3 Facies de Lodolitas de la Formación Colorado

Asociación paleosuelos P, lodolitas masivas Fm, arcillolitas, limolitas o arenitas con huellas de raíces Fr. Es la asociación de facies lodosas que más predomina

dentro de la Formación Colorado, sin embargo también se pudo observar la facies FI hacia la parte sur del flanco Este.

Las lodolitas de la Formación Colorado son generalmente lodolitas arenosas y/o arenitas muy finas lodosas de color rojo indio o marrón rojizo con mucho menor moteamiento que en Mugrosa, con desarrollo de estructuras pedogenéticas como estructura prismática, rizolitos, costras y/o nódulos de carbonatos precipitados químicamente; en algunos niveles son paleosuelos completamente desarrollados como calcretas (Figura 15).

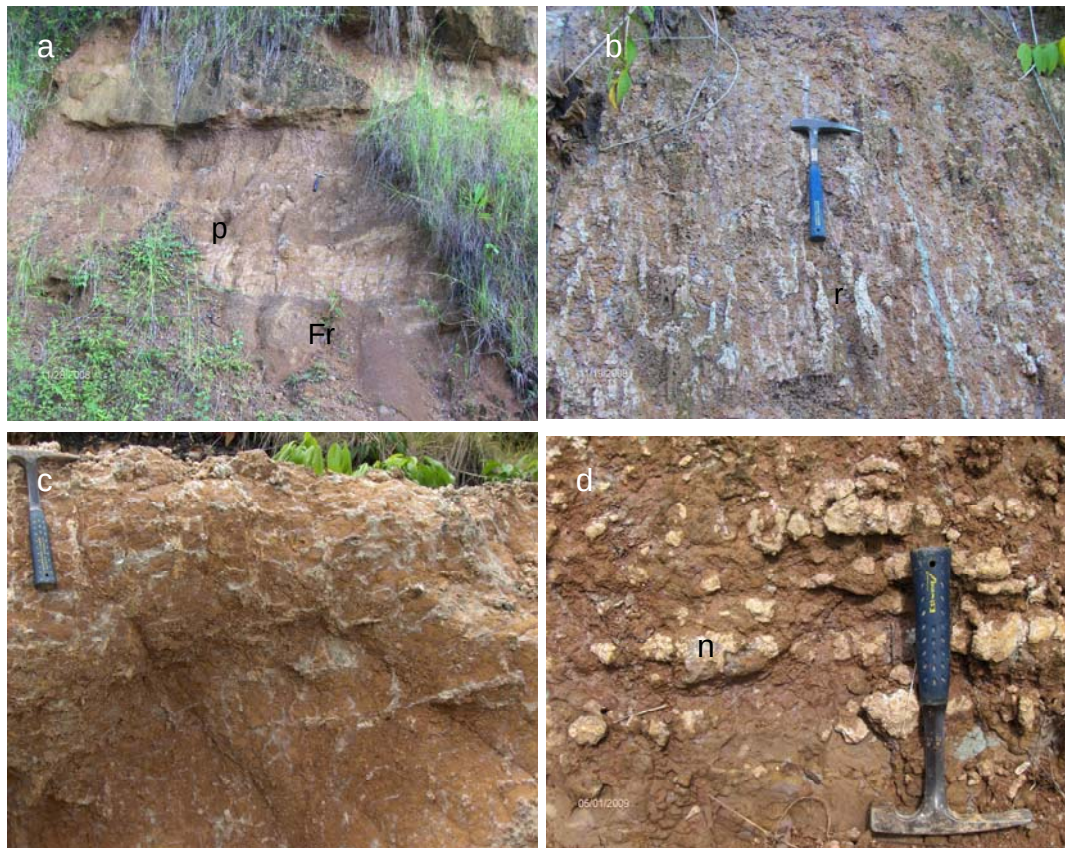


Figura 15. Paleosuelos P, de la Formación Colorado. Generalmente son lodolitas arenosas o arenitas finas lodosas con paleosuelos. a: suelo moderadamente evolucionado sobre lodolitas con lentes de arenitas truncado por arenita conglomerática; b: nivel grueso de paleosuelo con rizolitos calcáreos r (rhizoliths); c: un nivel de calcreta Cl en donde no se preserva estructuras originales de la roca; d: detalle de un nivel de calcreta con nódulos de carbonatos n.

Estos depósitos corresponden a depósitos de bancos o terrazas o de planicie aluvial, sobre las cuales evolucionaron suelos que se han preservado. Son

paleosuelos más maduros que los anteriores desarrollados en condiciones más áridas, en terrenos relativamente estables con periodos de inundación escasos y por tanto periodos de menor velocidad de sedimentación que dan tiempo a desarrollar extensas áreas de suelos, seguramente bien vegetalizados (Bridge, 2003a).

8.4 DESCRIPCION E INTERPRETACIÓN DE LITOFACIES

8.4.1 Facies de Conglomerados de la Formación Real

Igual que en la Formación Colorado, los conglomerados en la Formación Real son abundantes y gruesos tanto en tamaño de clastos como en el espesor de estratos, a la base estratos de 11.5 m con clastos hasta 35 cm; hacia el tope los estratos de conglomerados disminuyen hasta menos de 1 m de espesor con clastos de 3cm máximo. Sin embargo la diferencia con los de la Fm Colorado radica en que la secuencia de la Fm Real una secuencia granodecreciente (fining upward).

La geometría de los cuerpos, son estratos de forma tabular, representando depósitos de barras de gravas; lenticular por relleno de canales pero también se presentan como lentes de conglomerados o como rezago de canal (gravel lag), en la base de depósitos de arenitas con gradación normal.

La distribución de los conglomerados de la Fm Real, es casi igual que en la Fm Colorado; predominancia de estratos gruesos y granulometría gruesa de guijarros y guijas hacia el sector E y NE del sinclinal (Figura16), y disminuye la proporción de estratos y el diámetro de partículas pero no desaparece hacia el Sur y hacia el flanco W del sinclinal en distancias de 25 Km; hacia el S y hacia el W van a predominar los conglomerados de guijas finas y gránulos con arenitas conglomeráticas, lodosas muy mal seleccionadas y arcillas grises claras, al parecer de origen volcánico.

En la Formación Real se presentan también las facies Gt, Gh, Gmg y Gp de Miall (1996), los clastos son bien redondeados a la base y se hacen menos redondeados hacia el tope, el armazón es tanto clastosoportado como matrizsoportada pero siempre presenta matriz arenosa a arenolodosa, en algunos casos arenoarcillosa por alteración de clastos ígneos y feldespato y hacia el tope algunos niveles volcanosedimentarios con mucha matriz arcillosa de alteración de color verde muy claro y clastos riolíticos.

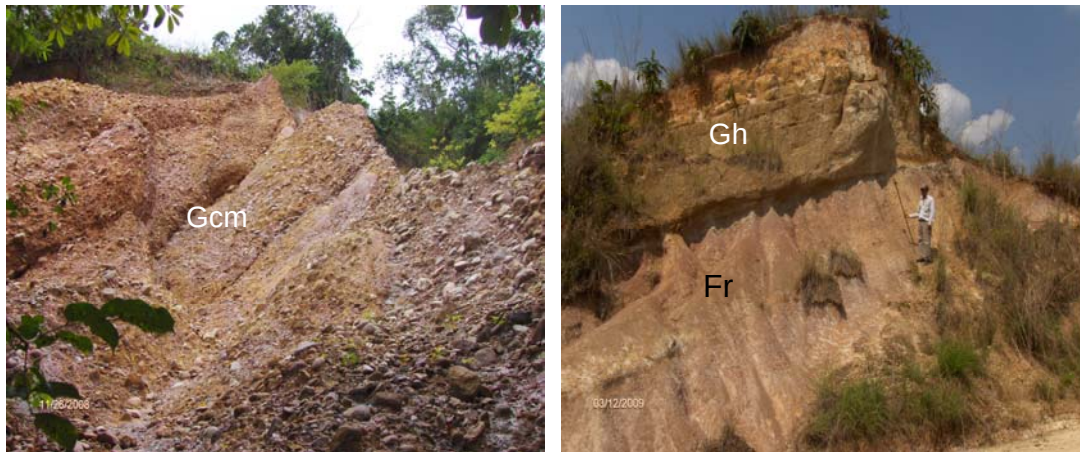


Figura 16. Estratos gruesos tabulares de conglomerados de Fm Real. Estos son clastosoportados masivos Gcm, con estratificación horizontal Gh, hacia el sector NE del SNM, se encuentran cortando estratos de lodolitas masivas con huellas de raíces Fr.

Las litofacies Gcm pueden haberse formado por flujos pseudoplásticos confinados o por amalgamación de barras de gravas de canales, y también por flujos de muy alta energía en barras longitudinales; la facies Gh puede haberse depositado por flujos de alta energía “flash floods, sheetfloods” durante eventos de avenidas torrenciales (Reineck y Singh, 1980).

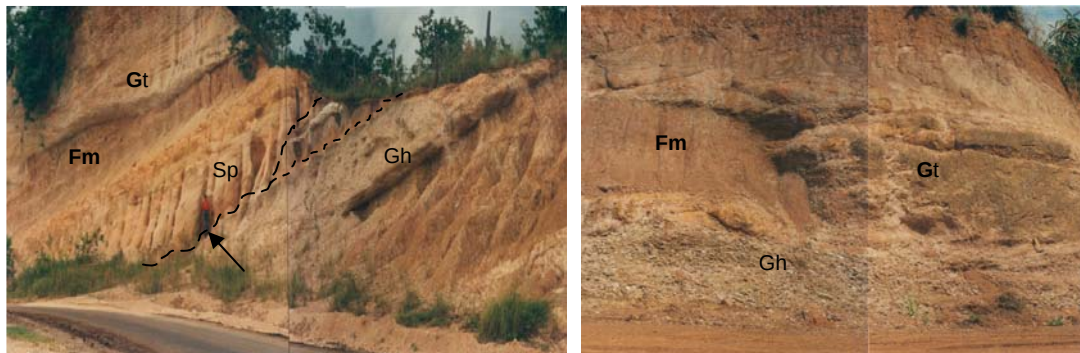


Figura 17. Facies de conglomerados de la Fm Real. Se presentan con estratificación horizontal Gh, con estratificación cruzada Gt, arenitas con estratificación cruzada Sp que gradan a Fm y con base erosiva sobre lodolitas Fm. A la derecha relleno de canal formado sobre Fm y Gh. Geometría de estratos tabulares y lenticulares de la Formación Real. Como escala una persona.

Las litofacies (Gcm y Gh), se encuentran asociadas y conforman estratos potentes que pueden llegar hasta 10 metros en el sector NE del SNM, son

depósitos de flujo viscoso turbulento canalizado o flujo de escombros en avenidas torrenciales (régimen de flujo alto, lecho plano) no canalizado y representan ambientes de abanico aluvial en facies proximales (Nilsen, 1988; Reineck y Singh, 1986; Miall, 1996). Las facies Gt se observaron frecuentemente como relleno de canales (Figura 17).

8.4.2 Facies de Arenitas de la Fm Real

En su mayor parte las arenitas de la Fm Real son conglomeráticas, muy pobremente seleccionadas con matriz arcillosa, son de color blanco a rosado por el alto contenido de feldespatos y fragmentos ígneos graníticos y en ocasiones por la alta oxidación.

En la Fm Real las lodolitas y los paleosuelos son escasos, siendo las arenitas y arenitas conglomeráticas las facies predominantes en toda la unidad.

Las arenitas con estratificación horizontal son el producto de la depositación durante avenidas del río en régimen de flujo alto cuando las velocidades pueden ser suficientes para que se presente la fase de lecho plano en complejos de desborde (sheetflood) (Harms et al., 1975; Blatt et al., 1980).

Las facies SS se presenta, durante eventos altamente torrenciales generando erosión en canales y su posterior relleno cuando la energía comienza a disminuir, estos canales pueden ser canales de desborde o canales con alto suministro de sedimento en sistemas meandriformes (Reineck y Singh, 1980).

Las arenitas con estratificación cruzada en artesa St, corresponden a depósitos por migración de barras de arena; arenitas con superficies de erosión y relleno Ss, indica periodos repetidos de erosión y depositación; las arenitas con estratificación cruzada plana pueden deberse a migración de dunas de cresta recta (Figura 18).

La facies St, asociada con facies Gt y Gh ocurren en esta unidad por migración de barras muy probablemente en sistemas de ríos trenzados; las facies Sp probablemente corresponde a dunas de arenas en planicies de arena (sand flat), en sistemas trenzados o desarrollada cuando barras de arena migran y rellenan canales (Reineck y Singh, 1980). Las lodolitas son escasas o muy delgadas lo mismo que los paleosuelos indicando régimen de flujo alto que lava materiales finos y un alto suministro de sedimento grueso.

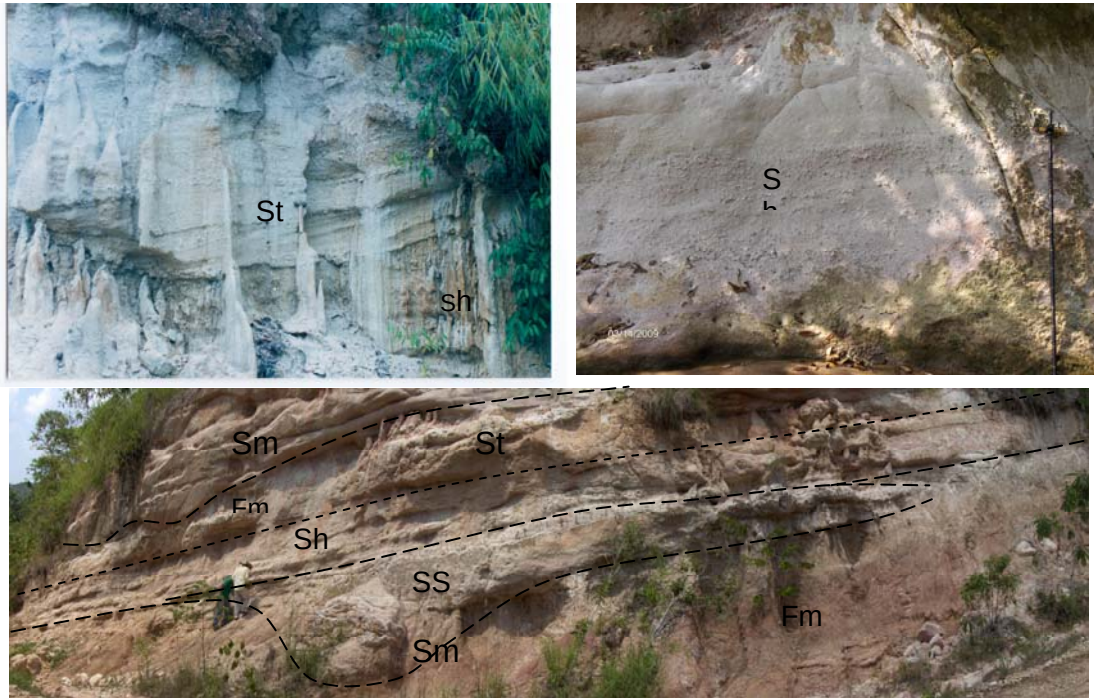


Figura 18. Arenitas y lodolitas en la Fm Real. Arenitas con estratificación horizontal Sh, arenitas con estratificación cruzada en artesa St, arenitas de relleno de canal (Steer head geometry), indicando canales distributarios en sistemas fluviales trenzados, lodolitas rosadas a gris claro masivas.

8.4.3 Lodolitas de la Formación Real

Se presentan facies de lodolitas masiva Fm, lodolitas con fantasmas de raíces Fr, lodolitas arenosas y arenitas de grano fino a muy fino lodosas, ambas granulosas a guijosas de color marrón rojizo con moteados verde claro a blancuzco; también violeta a verde con moteados rojizos y algunas veces amarillo. La fracción gruesa siempre se hace presente como granos flotantes de cuarzo angular y líticos graníticos o feldespáticos subredondeados, algunas veces líticos metamórficos.

La facies Fr no presenta estructuras físicas visibles, es decir, siempre se observa masiva, pero se puede ver a menudo bioperturbación indiferenciada, madrigueras verticales y trazas de raíces. Los estratos de lodolitas tienen una forma muy irregular con terminaciones abruptas y pinchamientos frecuentes debido a la erosión por facies gruesas suprayacentes. Los niveles de lodolitas en la Fm Real parecen no presentar continuidad lateral (Figura 17, 18 y 19).



Figura 19. Facies lodosas en los afloramientos de la Fm Real. Estas son escasas debido a intensa canibalización de depósitos en fases continuas de erosión y depositación; predominan las arenas lodosas. En estos afloramientos se pueden apreciar relictos de facies Fr y Fm de lodolitas entre facies de arenas con estratificación cruzada, horizontal con bases erosivas.

La facies Fm y Fr representa depósitos de planicie de inundación (overbank), inestables por alto contenido de materiales no cohesivos como las arenas. Sin embargo se presentan estas facies depositadas en condiciones de baja energía un tiempo después de los eventos de inundación en las áreas intercanales de las facies medias y distales de abanico aluvial y en valles de ríos de corrientes entrelazadas; en la columna se presenta también en las facies proximales de abanico como producto de flujos de lodo en eventos máximos sobre los cuales se desarrollan estos paleosuelos poco evolucionados (Friedman y Sanders, 1978).

En la Fm Real, las facies de conglomerados de abanico lentamente gradan lateralmente, en una distancia de aproximadamente 15 Km al sur, a facies de arenitas de ríos trenzados con barras de gravas menos gruesas y hacia el tope a ríos meándricos, planicie aluvial y lagunas en ambiente húmedo (Figura 18 del documento principal).

9. ANEXO 2: PETROGRAFIA DE ARENITAS

9.1 PETROGRAFÍA DE ARENITAS

En el laboratorio del ICP, se elaboraron 44 secciones delgadas de muestras de roca recolectadas en el área del Sinclinal de Nuevo Mundo (SNM) para este proyecto, flanco W y flanco E; el número de secciones por formación son: 15 secciones de la Fm Mugrosa, 12 secciones de la Fm Colorado, 9 secciones de la Formación Real y 8 secciones de la Formación Esmeraldas. La mayor parte de estas muestras se tomaron a través del Sinclinal de Nuevo Mundo y las secciones estratigráficas levantadas (Ver Figuras 1 y 13 a 18 documento principal).

Las muestras que no aparecen en ninguna de las secciones estratigráficas levantadas, corresponde a muestras tomadas en estaciones de trabajo para cartografía geológica detallada (Figura 1).

En las tablas siguientes se tienen los datos de coordenadas de la ubicación de cada una de las muestras de sección delgada, los porcentajes de minerales principales (cuarzo, feldespato, líticos), se contabilizó el porcentaje de chert aparte, ya que es útil en el Sinclinal de Nuevo Mundo para diferenciar la Formación Mugrosa que es la que más contenido de chert contiene; se presentan observaciones de textura, redondez, selección, forma y la clasificación composicional de cada una de las muestras analizadas.

Posteriormente se presenta para cada formación imágenes representativas de las secciones delgadas y su descripción y análisis que muestran las características principales o más importantes de las formaciones estudiadas que afloran a lo largo del Sinclinal de Nuevo Mundo.

9.2 FORMACIÓN ESMERALDAS

La mayor parte de las muestras analizadas de la Fm Esmeraldas, en el diagrama triangular de Folk (1974), caen en la categoría de Arcosa lítica a Arcosa.

Las arenitas de la Fm Esmeraldas se caracterizan por que su textura en la mayoría de los casos es de grano fino a medio, casi nunca pasa a tamaños gruesos, presenta moderada a buena selección, granos subangulares a angulares, matriz moderada cantidad, poco cemento pero en algunos sectores calcáreo (ver sección p-131), contenido de materia orgánica carbonosa (fragmentos de madera, hojas), de origen vegetal (ver sección vc-063, vc-031). En cuanto a composición se destaca la abundancia de feldespato (ver sección vc-34. Vc-26), líticos metamórficos en mayor cantidad sobre los ígneos y

sedimentarios; en la mayoría de los casos los líticos y feldespatos se encuentran alterados.

Tabla 1. Resumen descripción de secciones delgadas de la Formación Esmeraldas.

Formación	Muestra	% de minerales principales					Folk (1984)	Observaciones
Ubicación	Estación	Cuarzo	Feldespato	Chert	Otros Líticos	Total Líticos	Clasificación	
Esmeralda Quebrada Arenosa	vc30	74	18	2	6	8	Arcosa lítica	Arenita de grano fino, moderada a bien seleccionada, granos subangulares a subredondeados,, contacto puntual, sucia, con abundante matriz de materia orgánica.
Esmeralda Quebrada Arenosa	vc34	61	22	2	15	17	Arcosa lítica	Arenita de grano medio, bien seleccionada con granos subangulares a angulares en contacto puntual a longitudinal, fragmentos de material orgánica carbonoso y algo de matriz arcillosa; feldespato y líticos muy alterados.
Esmeraldas Cerca Uribe	vc62							Arcillolita marrón con materia orgánica y abundante pirita.
Esmeraldas cerca de Marta	vc26	65	19	4	12	16	Arcosa lítica	Arenita de grano fino a medio lower, moderada a bien seleccionada, granos angulares a subangulares, contacto puntual a longitudinal, cemento calcáreo en parches, feldespato y líticos meteorizados.
Esmeraldas cerca de Marta	vc31	69	24	1	6	7	Arcosa	Arenita muy fina, bien seleccionada, granos subangulares a subredondeados, contacto puntual a longitudinal, matriz arcillosa abundante, materia orgánica en fracturas, no cementada.
Esmeraldas cerca de Marta	vc63							Estructura algal en lodolitas de la Formación Esmeraldas
Esmeraldas cerca de pozos Salina	p195	50	33	6	11	17	Arcosa lítica	Arenita muy fina a media, moderadamente seleccionada, granos subangulares a subredondeados, contacto puntual, feldespato abundante y junto a los líticos se encuentran meteorizados. Cemento calcáreo en parchas y escasa matriz.
Esmeraldas cerca de Uribe	p131	57	35	1	7	8	Arcosa	Arenita de grano fino, moderada a bien seleccionada, granos subangulares a subredondeados, contacto puntual a flotante, abundante feldespato y líticos meteorizados, cemento calcáreo abundantes y mica.

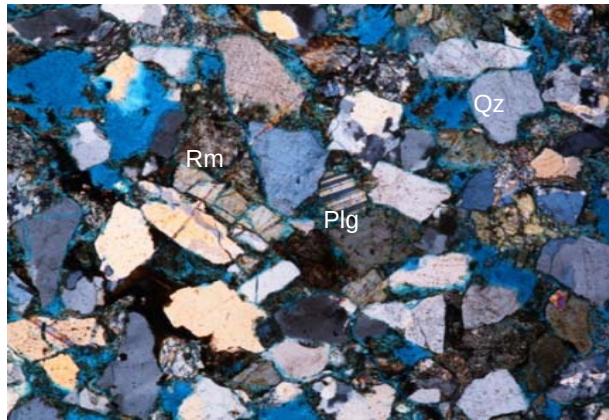


vc-30. Formación Esmeraldas. Arenita fina con materia orgánica, abundante feldespato y moderada a bien seleccionada. Nícoles paralelos. Nícoles cruzados, (N: 1280545, E: 1073264)



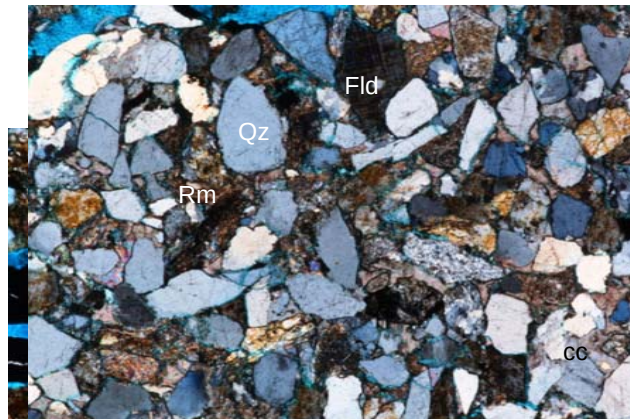
Muestra tomada cerca al poblado de Marta Flanco E del Sinclinal de Nuevo Mundo, muy por debajo del nivel fosilífero de Los Corros. Se caracteriza por alto contenido de líticos metamórficos, feldespatos potásico y plagioclasa.

vc-30. Imagen anterior vista con nicoles paralelos.

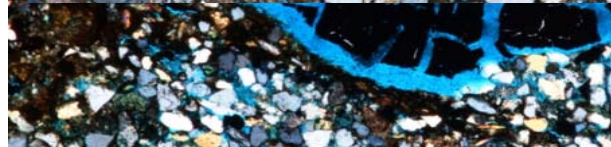


vc-34. Formación esmeraldas. Se puede observar contenido de feldespato plagioclasa: Plg, fragmentos de roca metamórfica: Rm y cuarzo: Qz. Nícoles cruzados.

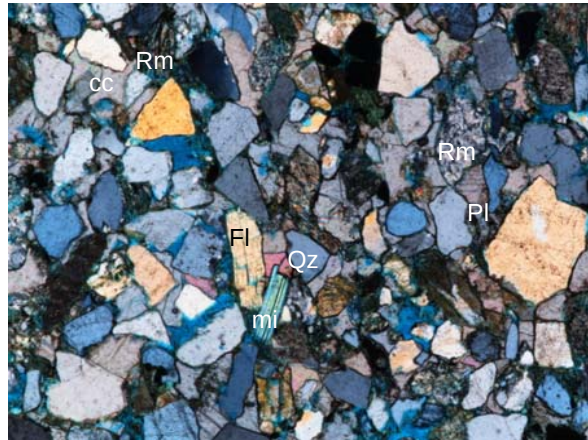
Muestra tomada en La Y poblado de Marta, flanco E del SNM. (N:1280495, E:1072349).



Vc-026. Tope de la Fm Esmeraldas, cerca de la Y, poblado de Marta; se puede observar los granos de feldespato: Fld, clastos metamórficos: Rm, cuarzo: Qz y algo de cemento calcáreo: cc. Nícoles cruzados. (N:1280940, E:1072551).

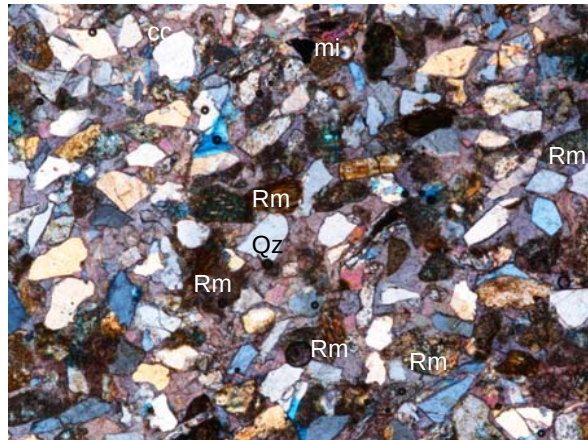


vc-031. Fm Esmeraldas, esta muestra presenta grano fino,



alto contenido de materia orgánica carbonosa de origen vegetal: mo, incluso en fracturas dentro de la muestra, clastos metamórficos y fragmentos de minerales como micas, feldespatos, con algo de cemento calcáreo. Vista en nicoles cruzados.

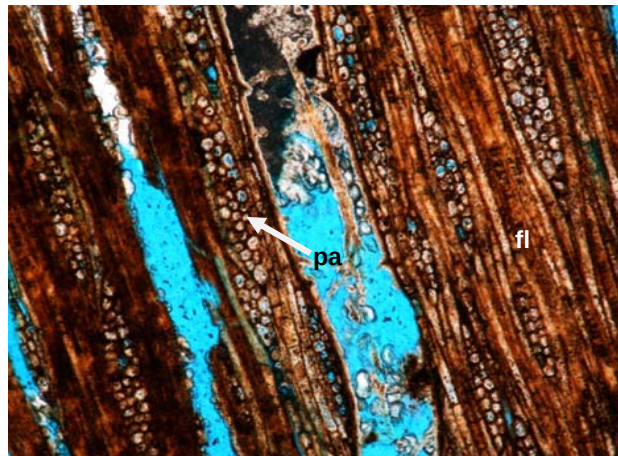
Muestra tomada cerca poblado de Marta vía hacia parte alta de quebrada Arenosa, flanco Este SNM. (N:1282069, E:1074083).



Vc-031. Imagen anterior vista con nicoles paralelos.

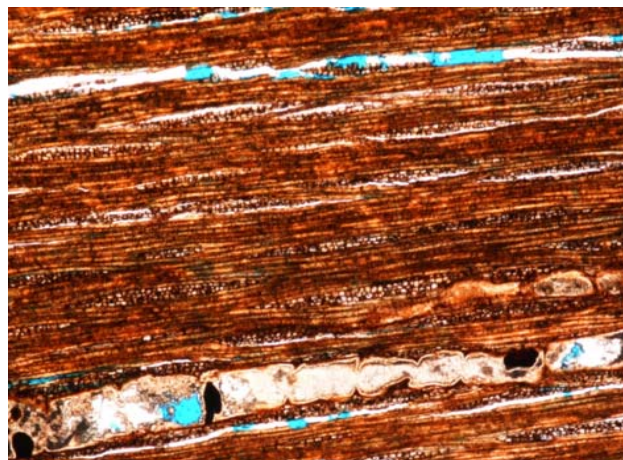
p-195. Fm Esmeraldas, muestra clastos principalmente de cuarzo: Qz, feldspato: Pl, mica: mi, fragmentos metamórficos: Rm y algo de cemento calcáreo: cc. El tamaño de grano es medio. Nicoles cruzados. Muestra tomada cerca al Campo La Salina, pozo LSB-5, flanco W del SNM. (N: 1295170, E: 1060711).

p-131. Fm Esmeraldas. Justo debajo del contacto con la Fm Mugrosa, sobre el Río Sucio, cerca al poblado de Uribe. Puede observarse alto contenido de clastos de roca metamórfica: Rm, cuarzo: Qz, mica:mi, cemento calcáreo: cc. Tamaño de grano fino. No todas las arenitas de Fm Esmeraldas tienen cemento calcáreo, (N:1292616, E: 1079491).



vc063. Fm Esmeraldas. Esta sección delgada muestra la estructura orgánica vegetal de madera. Esta madera parece ser de la especie *Guttiferoxylon Compactum* de Schonfeld, 1947, de edad Oligoceno superior – Mioceno inferior (Mirioni, 1965). Nicotes cruzados.

Muestra tomada cerca al poblado de Uribe, flanco E del SNM, (N:1291180, E: 1079650).



Fibra leñosa (fl), largas filas de células parenquimáticas (par).

vc063. Otra imagen del tejido orgánico hallado en arcillolitas de la Formación

Esmeraldas, cerca al poblado de Uribe.

9.3 FORMACIÓN MUGROSA

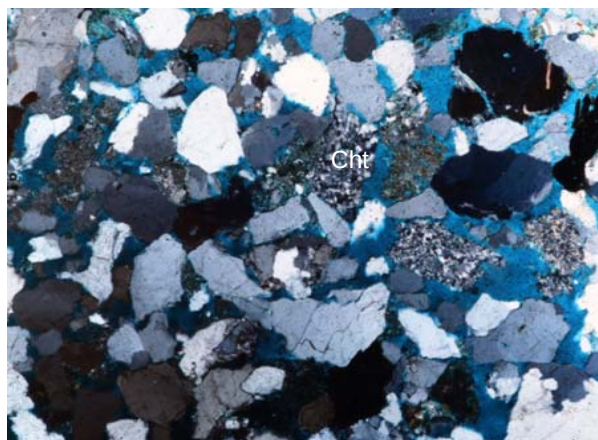
Todas las muestras analizadas de la Fm Mugrosa, en el diagrama triangular de Folk (1974), pertenecen a la categoría de Sublitarenitas.

Las arenitas de la Fm Mugrosa se caracterizan por que su textura puede ir de arenitas finas a medias gruesas y muy gruesas, estas son limpias, predominan las arenitas gruesas o medias granulosas e incluso algunos delgados niveles de conglomerados de gránulos y guijas muy finas; una característica textural importante es que las arenitas muestran una distribución bimodal con granos tamaño arena fina, media y gruesa angulares y granos muy gruesos y gránulos redondeados (ver sección vc-002, p-166) . En general son moderada a mal seleccionadas, rara vez tienen cemento y predomina matriz arcillosa en moderada cantidad. En cuanto a composición predomina el cuarzo limpio, chert inalterado muy pocos clast, feldespatos es escaso y alterado (seguramente a expensas de este se tiene matriz arcillosa); una característica del chert es que contiene moldes de foraminíferos rellenos de cuarzo o hematita (ver sección vc-002, p-181).

Tabla 2. Resumen descripción de secciones delgadas de la Formación Mugrosa.

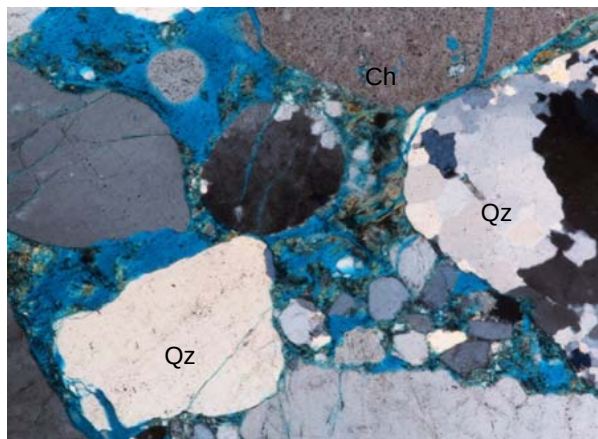
Fm	Muestra	% de minerales principales					Folk (1984)	
Ubicación	Estación	Cuarzo	Feldespatos	Chert	Otros Líticos	Total Líticos	Clasificación	Observaciones
Mugrosa Quebrada Arenosa Uribe	vc002	90	4	5	1	6	Sublitarenita	Arenita de grano fino, medio a muy gruesa, pobremente seleccionada, bimodal con fracción arena muy gruesa a gránulo redondeada y fracción arena subangular. Clastos gruesos de chert con moldes de foraminíferos dentro, reemplazados en cuarzo, contacto puntual, matriz arcillosa escasa, no cementada.
Quebrada Arenosa Uribe	vc006							Lodolita arcillosa, con muy pocos granos de limo.
Base Mugrosa Marta	vc35	79	5	8	8	16	Sublitarenita	Arenita de grano fino a medio, moderada a bien seleccionada, limpia, granos subangulares a subredondeados, contacto puntual a longitudinal, suelta con matriz arcillosa escasa.
Mugrosa Marta	vc036	82	3	10	5	15	Sublitarenita	Arenita de grano fino a grueso, moderada a pobremente seleccionada, bimodal, grano fino angulares, grano muy grueso redondeados
Base Mugrosa Uribe	p131	81	8	1	10	11	Sublitarenita	Arenita de grano medio a grueso, moderadamente seleccionada, granos subangulares a subredondeados en contacto puntual a longitudinal, fragmentos de materia orgánica carbonosa y líticos principalmente sedimentarios.
Mugrosa Caño Prado, sur Uribe	p166	85	1	14	1	15	Sublitarenita	Arenita de grano fino a grueso granulosa, granos angulares a subangulares en contacto puntual, no cementada, con matriz arcillosa muy posiblemente por alteración del feldespatos.

Mugrosa Caño Prado, sur Uribe	p167	85	0	15	0	15	Sublitarenita	Arenita de grano fino a grueso, moderada a pobremente seleccionada, granos subangulares a subredondeados, contacto puntual, no cemento, matriz arcillosa, alta porosidad.
Mugrosa Marta Río Sucio	p178	87	1	10	2	12	Sublitarenita	Arenita de grano fino a muy gruesa granulosa, moderada a pobremente seleccionada, granos subangulares a subredondeados, con contacto puntual, no cementada, matriz arcillosa.
Mugrosa Marta Río Sucio	p180	82	2	16	0	16	Sublitarenita	Arenita de grano muy fino a muy grueso granulosa, granos subangulares a angulares en contacto puntual moderada a pobremente seleccionada, matriz arcillosa escasa, poco feldespato muy alterado con escasos granos de materia orgánica.
Mugrosa Marta Río Sucio	p181	80	2	15	3	18	Sublitarenita	Arenita de grano fino a muy grueso granulosa, pobremente seleccionada, bimodal granos finos de cuarzo angulares y gruesos y muy gruesos de cuarzo y chert subangulares a subredondeados, matriz arcillosa escasa, poco cemento, contacto puntual a longitudinal.
Mugrosa Marta Río Sucio	p183	93	0	6	1	7	Sublitarenita	Arenita de grano muy fino a medio lower, moderadamente seleccionada, granos subangulares a subredondeados, contacto puntual, escasa matriz arcillosa, no cementada, poco feldespato muy alterado.
Mugrosa Marta Río Sucio	p184	90	1	8	1	9	Sublitarenita	Arenita de grano fino a medio, granos subangulares a angulares, contacto puntual, pobremente seleccionada con abundante matriz arcillosa al parecer producto de alteración de feldespato
Mugrosa Marta Río Sucio	p185	85	2	10	2	12	Sublitarenita	Arenita de grano fino a grueso, granos angulares a subangulares, moderadamente seleccionada, contacto puntual, escasa matriz arcillosa, no cemento, feldespato escaso y muy alterado.
Tope Mugrosa Marta Río Sucio	p187	81	7	7	5	12	Sublitarenita	Arenita de grano fino a medio granulosa, moderadamente seleccionada, granos angulares a subangulares, contacto puntual, escasa matriz arcillosa, feldespato muy alterado.
Mugrosa cerca pozos La Salina	p196	61	26	0	13	13	Arcosa	Arenita de grano fino a grueso, moderadamente seleccionada, granos angulares en contacto puntual, matriz arcillosa abundante, feldespato y líticos muy alterados, se observa fracturamiento de los granos.



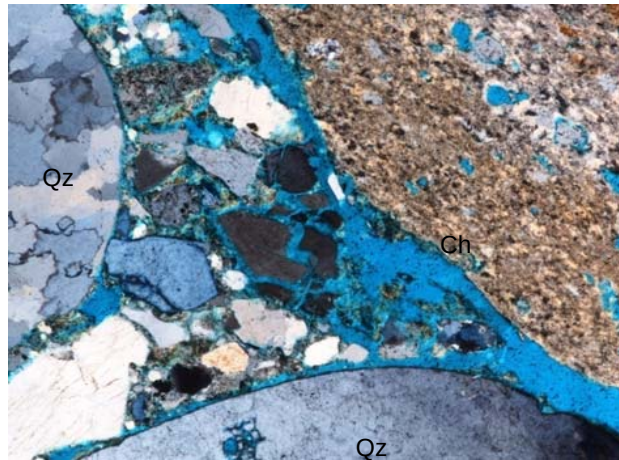
p-131: Cuarzoarenita de grano medio, cuyos componentes principales son cuarzo en su mayor parte, chert (Cht), como segundo más importante y algunos líticos de arenitas. En esta muestra se presenta buena selección, pero lo común es la selección pobre a moderada y tienden a ser bimodales con la fracción gruesa redondeada y la fracción fina subangular a angular. Poros se ven en color azul. Nícoles cruzados.

Muestra de la base de la Fm Mugrosa cerca al contacto con Fm Esmeralda en el río Sucio Cerca a Uribe. Ver p-131 de la Fm Esmeraldas que está justo debajo del contacto. (N: 1292616, E: 1079491).



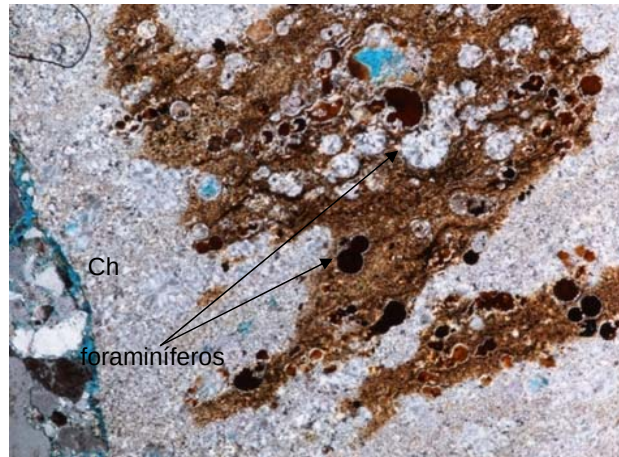
Vc-002: En esta sección, a diferencia de la vista anterior, se puede observar que es bimodal siendo la fracción gránulos de cuarzo (Qz) y chert (Cht), bien redondeada y la fracción arena fina subangular. Chert en la parte superior, bien redondeado. Porosidad en color azul. Estos gránulos bien redondeados significa que han sido re TRABAJADOS en un segundo ciclo sedimentario. (Folk , 1974 p 67, 81).

Muestra tomada por la quebrada Santa Rosa, justo antes de entregar al río Sucio al sur de Uribe, (N: 1288645, E: 1075099).

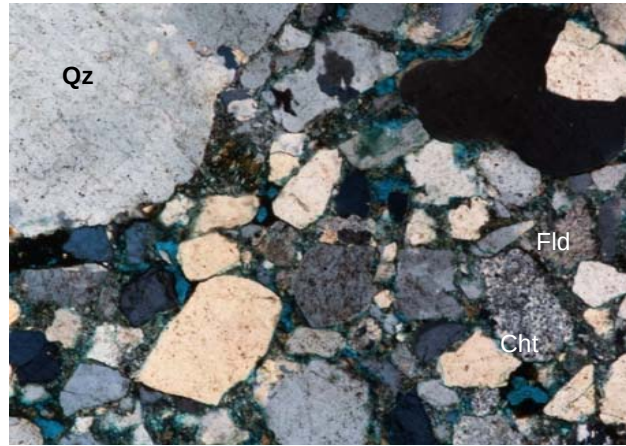


Vc-002. Una característica de las rocas de la base de la Fm Mugrosa es la presencia de clastos grandes (gránulo o guija), dentro de los cuales hay moldes de foraminíferos que han sido disueltos y conforman porosidad intrapartícula o han sido reemplazados por otros minerales. Porosidad en color azul.

La redondez de los clastos de cuarzo y chert indica retrabajamiento a partir de rocas sedimentarias. (N: 1288645, E: 1075099).

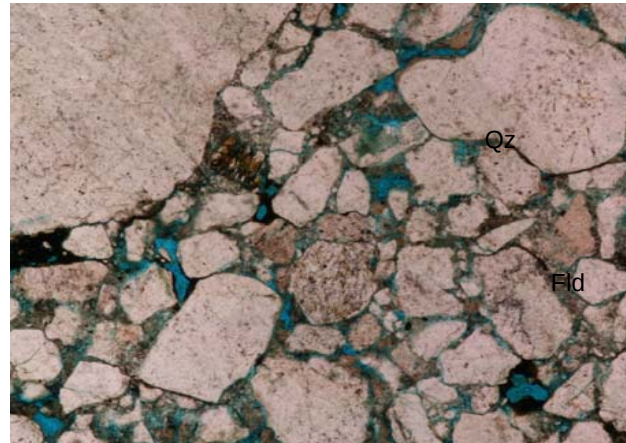


Vc-002. Conchas de foraminíferos que han sido reemplazados por minerales como hematita y cuarzo.



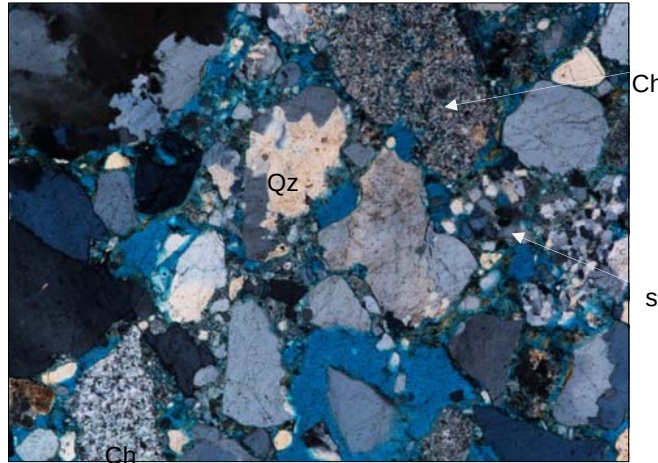
p-166. En esta sección se observa la porosidad reducida por presencia de matriz arcillosa, esta matriz probablemente es producto de la alteración de feldespato a minerales arcilla. Nícoles cruzados

Esta muestra fue tomada al sur del poblado de Uribe sobre la margen derecha del río Sucio. (N: 1291829, E: 1077771).



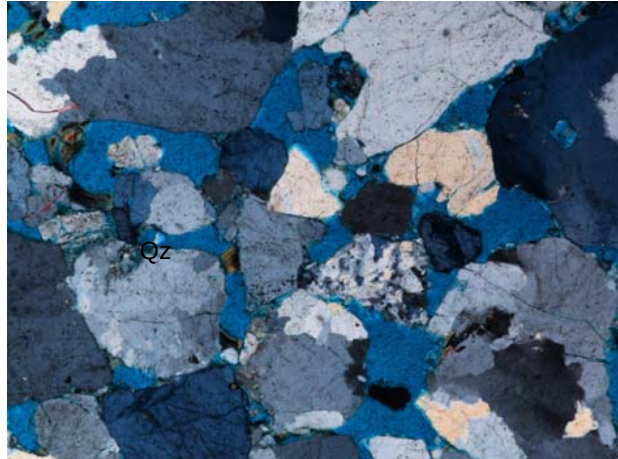
p-166. Vista anterior en nícoles paralelos. Los gránulos de cuarzo, bien redondeados y el feldespato (Fld), alterado. Esto puede indicar clastos

retrabajados de segundo ciclo de sedimentación.



p-167.
Composición típica
de la Fm Mugrosa:
cuarzo, chert y
clastos de rocas
sedimentarias,
cuarzoarenitas
(ss). Nícoles
cruzados.

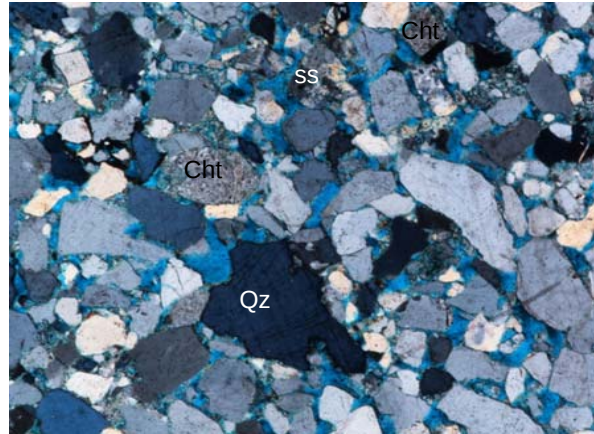
Esta muestra fue
tomada al sur de
Uribe cerca unión
Caño Prado con
Río Sucio, (N:
1291359, E:
1076655).



p-178.
Principalmente
cuarzo, limpia,
buena selección y

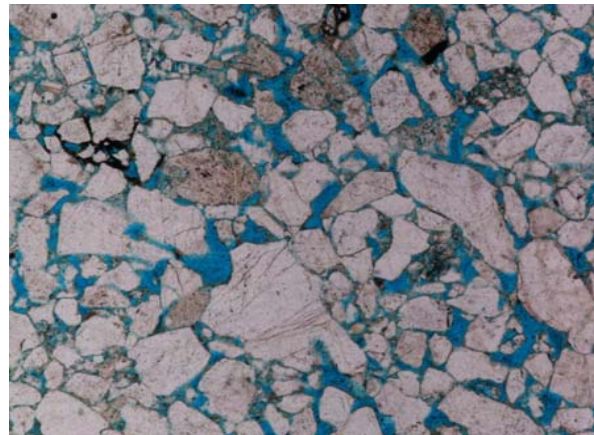
alta porosidad en azul. Nícoles cruzados. Muestra tomada cerca a la población de
Marta. (N: 1281632, E: 1072371).

Cht

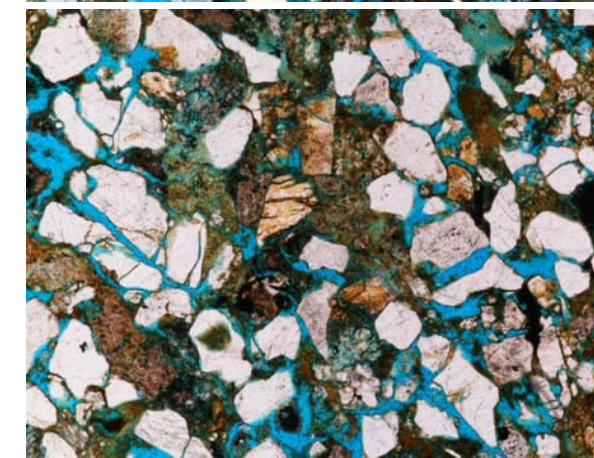


p-180. Moderada a mala selección con tamaños de grano arena muy gruesa hasta fina. Composición principalmente cuarzo: Qz, chert: Cht y algunos granos de cuarzoarenitas: ss. Nicoles cruzados.

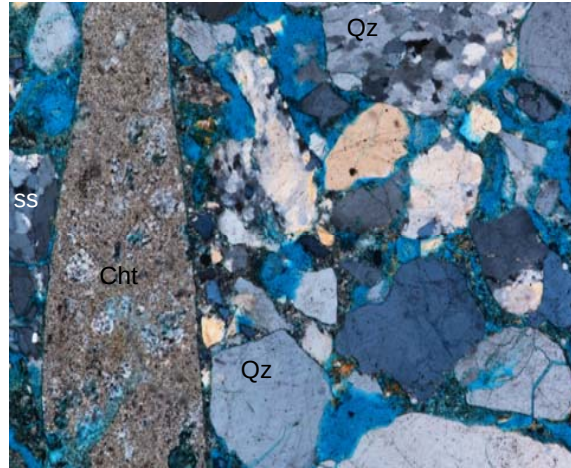
Esta muestra fue tomada cerca al poblado de marta en la parte media de la formación. Carretera a Río Sucio, (N: 1281906, E: 1072006).



p-180. Vista en nicoles paralelos, algunos trazas de materia orgánica dentro del espacio poroso.



p-196. Esta muestra de la Fm Mugrosa fue tomada en el flanco W del SNM, cerca al



pozo LSB-5, se muestra con matriz arcillosa, se observan los clastos de chert (cht), feldespato (fld), arenitas (ss), e impregnaciones de hidrocarburos. Nícoles cruzados, (N: 1295309, E: 1060754).



p-196. La misma vista anterior con nicoles paralelos.

P-181. Se puede observar predominio de cuarzo, escasa matriz arcillosa y chert con moldes vacíos de foraminíferos y algunos rellenos de cuarzo. Moderada a pobremente seleccionada. Nícoles cruzados. Ubicada sobre el flanco E del SNM, sección de Marta. (N: 1282162, E: 1071619).

p-185. Se pueden observar fragmentos de arenitas, cuarzo, algo de matriz arcillosa, mala selección, cuarzo limpio y escaso feldespato. Granos subangulares a subredondeado los más grandes. Tomada en la sección Marta. Nícoles cruzados. (N: 1283366, E: 1071498).

9.4 FORMACIÓN COLORADO

Las muestras analizadas de la Fm Colorado se encuentran entre Subarcosa, Sublitoarenita, litarenita y Litarenita feldespática. Esta variación está relacionada con la posición estratigráfica de las muestras, como se muestra en la figura 2. Las arenitas de Fm Colorado presentan tamaño de grano variado desde fino hasta muy grueso e incluso conglomerático, selección pobre y en pocas ocasiones moderada. En las litarenitas los clastos de líticos y cuarzo de tamaño gránulo o guija muy fina son redondeados, los de menor tamaño angulares o subredondeados. En varios casos presenta matriz y cemento calcáreo (ver sección p-138, p-152, p-157), también matriz arcillosa. Composicionalmente, se caracteriza por la abundancia de líticos de origen sedimentario encima de la base y parte media y aparición de líticos ígneos y metamórficos hacia el tope (sección Uribe-Sabana); los líticos sedimentarios más abundantes son arenitas, y fragmentos de caliza (ver sección p-152, p-157).

Figura 1. Variación en la composición en sección delgada de muestras de rocas de la Fm Colorado en la sección Uribe-Sabana, donde tienen la mayor dispersión y se puede observar que esta dispersión está en función de su posición estratigráfica: son más líticas encima de la base y parte media (litarenitas), hacia la base son más subarcosas y al tope sublitoarenitas. Ver Sección 7. Uribe Sabana.

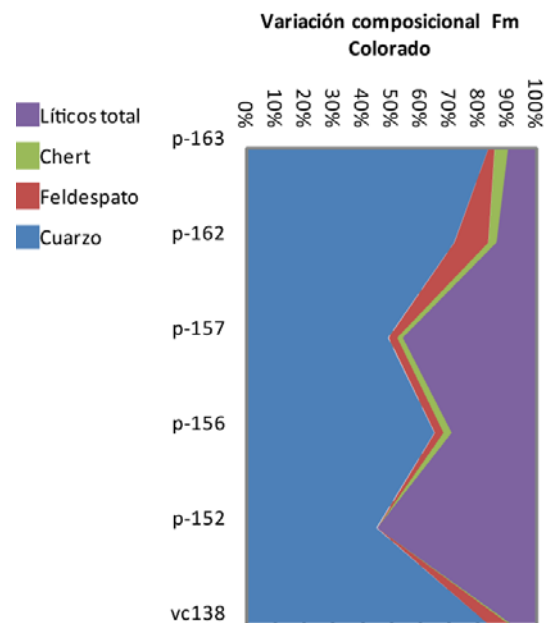
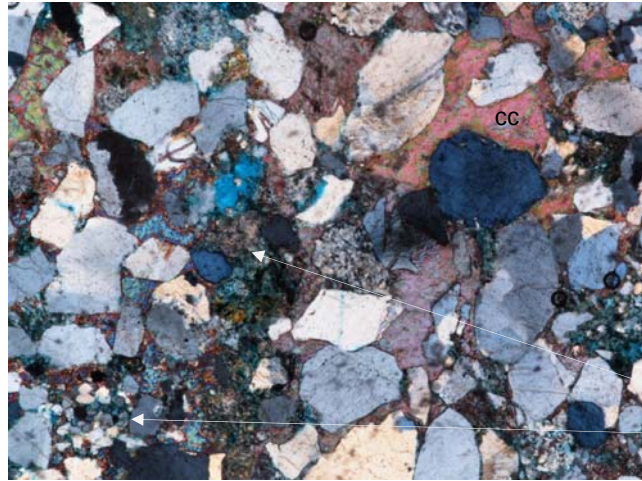


Tabla 6. Resumen descripción de secciones delgadas de la Formación Colorado

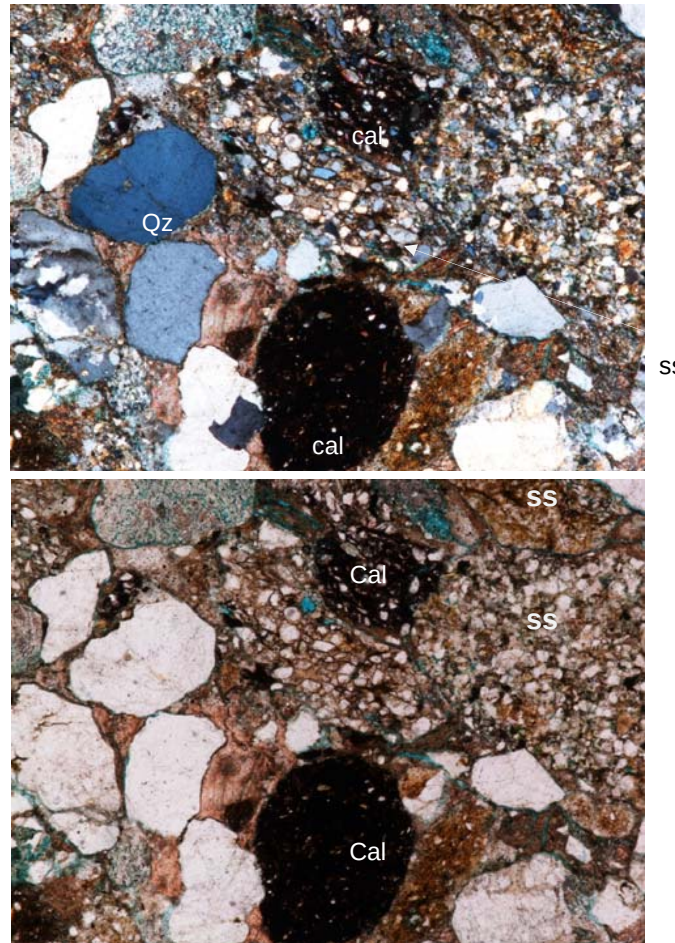
Formación	Muestra	% de minerales principales					Folk (1984)	
Ubicación	Estación	Cuarzo	Feldespatos	Chert	Otros Líticos	Total Líticos	Clasificación	Observaciones
Base Colorado Uribe Saba	p138	84	7	1	8	9	Sublitarenita	Arenita de grano fino a grueso lower, moderadamente seleccionada, bimodal con granos fino angulares pero los muy gruesos como el chert bien redondeados, cemento calcáreo en parches, porosa.
Base Colorado Uribe Saba	p152	45	0	0	55	55	Litarenita	Arenita de grano medio a muy gruesa granulosa, pobremente seleccionada, granos subangulares a redondeados (cuarzo angular, líticos redondeados)
Colorado Uribe-Saba	p156	67	3	3	27	30	Litarenita	Arenita media, moderada a bien seleccionada, granos angulares a subangulares, Matriz arcillosa con fragmentos de materia orgánica, moderadamente seleccionada
Colorado Uribe-Sabana	p157	50	3	2	45	47	Litarenita	Arenita muy gruesa granulosa, moderada a pobremente seleccionada, granos redondeados (los líticos sedimentarios muy redondeados), a subangulares, parches de cemento calcáreo, predominan líticos sedimentarios de caliza arenosa, caliza y arenita de cuarzo
Tope Colorado Uribe Sabana	p162	74	12	3	11	14	Litarenita Feldespática	Arenita de grano muy fino a grueso, pobremente seleccionada, granos angulares a subangulares en contacto puntual, no cementada, inmadura texturalmente (sucia).
Tope Colorado Uribe-Sabana	p163	88	2	5	5	10	Sublitarenita	Tope de Fm Colorado Arenita media, granos angulares a subangulares, escasa matriz lodosa, contacto puntual, moderada a bien seleccionada.
Colorado Marta Río Sucio	p189	80	8	4	10	14	Sublitarenita	Arenita friable de grano fino a medio, moderadamente seleccionada, granos subangulares a angulares escasa matriz arcillosa, feldespatos totalmente alterado.
Colorado Marta Río Sucio	vc014	79	13	1	8	9	Subarcosa	Arenita de grano fino a medio lower, moderada a bien seleccionada, granos subangulares a angulares, contacto flotante, líticos de arenitas y caliza principalmente, abundante matriz y cemento calcáreos; feldespatos alterado, intraclastos de materia orgánica.
Colorado Marta Río Sucio	vc016	79	14	3	4	7	Subarcosa	Arenita de grano muy fino a muy grueso, pobremente seleccionada con granos angulares a subangulares, feldespatos y líticos alterados, líticos igneos, limpia, poco cemento, granos en contacto puntual.
Colorado Marta Río Sucio	vc17	84	7	8	1	9	Sublitarenita	Arenita de grano fino a grueso, moderada a pobremente seleccionada, granos subangulares a angulares, escasa matriz arcillosa de feldespatos alterado, contacto puntual, bimodal pero ambas fracciones con clastos angulares. Friable suelta.
Colorado cerca pozo Corazón 8	vc56	78	16	2	4	6	Subarcosa	Arenita de grano fino a medio lower, moderada a bien seleccionada, granos angulares a subangulares contacto puntual, cemento calcáreo abundante, dura. Alto contenido de feldespatos alterado.
Colorado cerca Marta	dep200	77	15	3	5	8	Subarcosa	Arenita fina a muy gruesa, moderadamente seleccionada, granos subangulares a subredondeados, contacto puntual, poca matriz, limpia.



p-138. Formación Colorado, se caracteriza por la presencia de cuarzo, fragmentos de arenitas abundantes (ss), fragmentos de caliza (cal), abundantes en este nivel de la unidad y matriz o cemento calcáreo (cc). Esta muestra se tomo sobre la vía Uribe Sabana a la base de la Fm Colorado. Nícoles cruzados. (N: 1293889, E: 1077526).

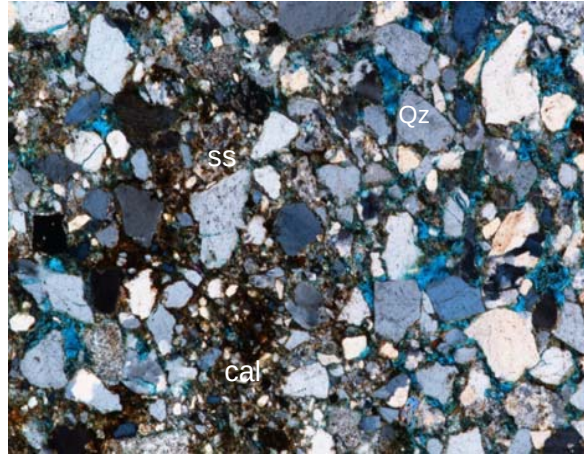


p-138. Fragmentos de caliza y arenitas, abundante cuarzo y cemento calcáreo (cal: caliza, ss: arenitas, cc: cemento calcáreo. (N: 1293889, E: 1077526).

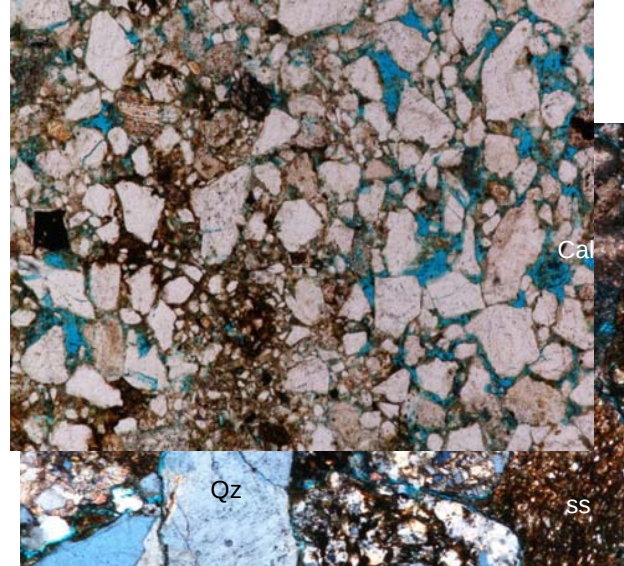


P-152. En esta sección de la Fm Colorado, se puede observar abundantes fragmentos de rocas sedimentarias como caliza: cal, arenita: ss y cuarzo cementadas por material calcáreo: Qz. Arenita de grano grueso, se presentan a la base de la Formación Colorado. Muestra tomada en la carretera Uribe – Sabana, parte baja a media de la Fm Colorado. (N: 1293986, E: 1077108).

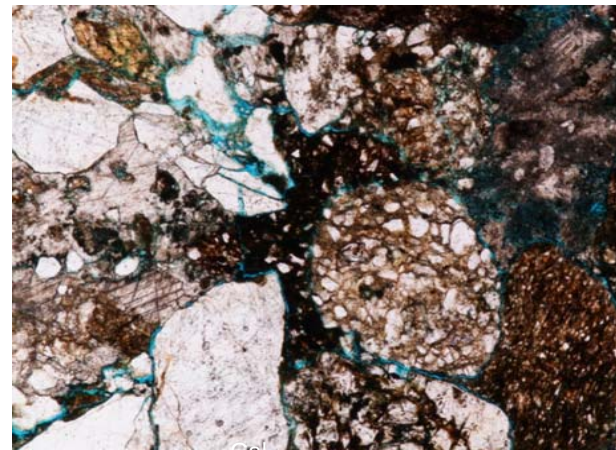
p-152. Igual que la imagen anterior con nicoles paralelos.



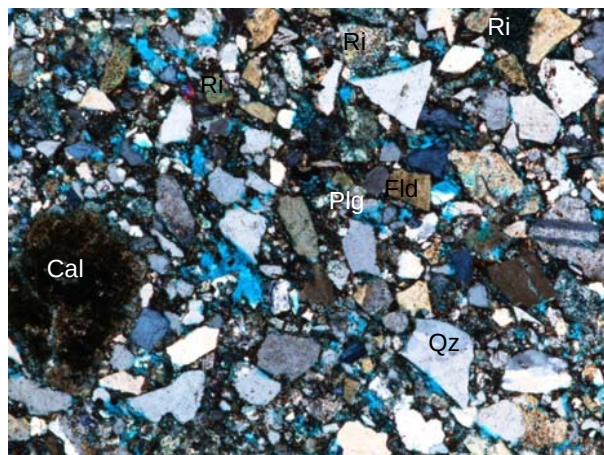
p-156. Arenita fina a media de la Fm Colorado en donde se puede observar líticos de arenitas: ss, líticos calcáreos: cal, matriz calcárea. Pobre selección y clastos angulares. Nícoles cruzados.



Muestra tomada en la vía Uribe – Sabana parte media de la Fm Colorado, (N:1293803, E: 1076613).



p-156. Igual a la anterior con nicoles paralelos.



p-157. Base de la Fm Colorado. Arenita gruesa. Se pueden observar clastos de caliza arenosa (cala), arenita calcárea (ssc), cuarzo (Qz), cemento calcáreo (cc) y matriz calcárea (mc). Arenita muy gruesa granulosa, lítica. Nícoles cruzados.

Muestra tomada en la vía Uribe–Sabana parte media alta de la Fm. (N:1293817, E: 1076383).



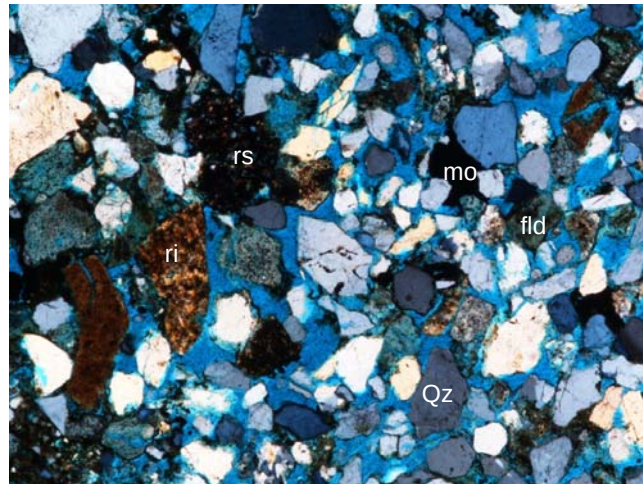
p-157. Igual vista anterior con nicoles paralelos.

p-162. Tope de Fm Colorado, muy pobremente seleccionada con matriz arcillosa, clastos calcáreo: cal, ígneos : Ri, feldspato alterados: Fld, pobre selección y clastos angulares. Esta muestra se ubica hacia el tope de la formación.

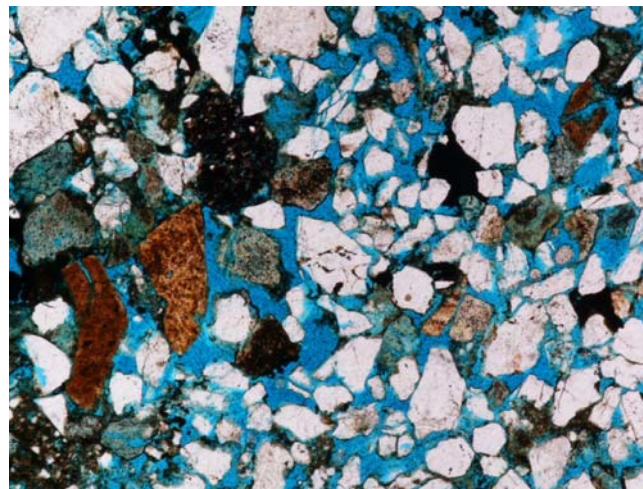
Muestra tomada en la vía Uribe–Sabana hacia el tope de la Fm. (N: 1294187, E:1075497).

LI

p-162. Nícoles paralelos para la imagen anterior.

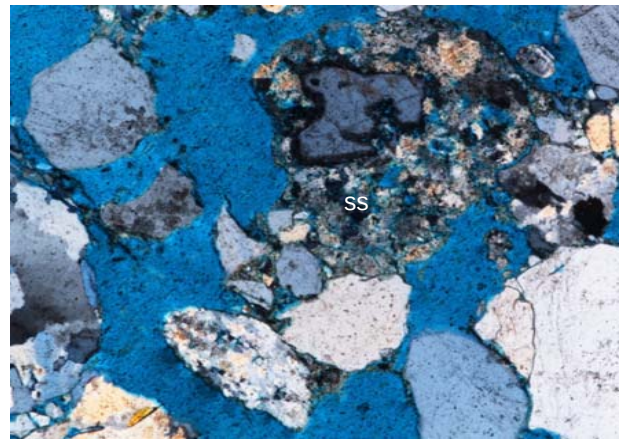


p-189. Arenita fina a media de la Fm Colorado mostrando clastos de feldespato alterado: fld, fragmentos de roca ígnea: ri, sedimentarios (rs) y cuarzo: Qz. Localizada hacia la parte media de la Fm Colorado. Observa materia orgánica (mo), como clastos y en el espacio poroso.

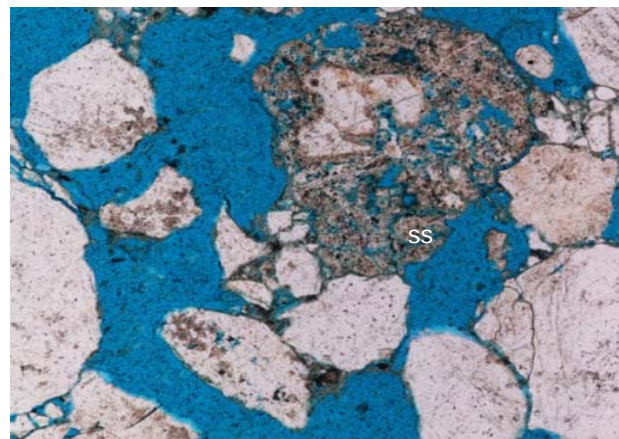


Muestra tomada hacia la parte media baja de la unidad. vía antigua Marta a Sabana, parte media de la unidad. (N: 1282378, E: 1069110).

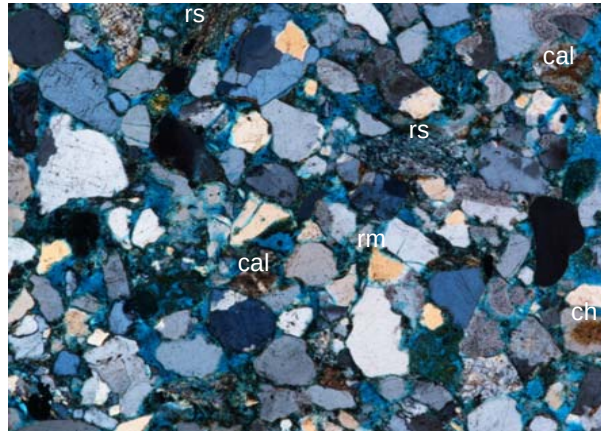
p-189. Imagen anterior con nicoles paralelos.



Vc-016. Base de la Fm Colorado hacia el sur del SNM. Se puede observar algunos clastos de arenitas (ss). Esta muestra presenta poco cemento y alta porosidad y alto porcentaje de cuarzo. Nicolores cruzados. (N: 1284097, E:1071530).



Vc-016. Imagen anterior con nicoles paralelos.



observa mejor un clasto de roca sedimentaria (rs).

p-200. Formación Colorado. Arenita de grano fino, se pueden observar algunos clastos de roca sedimentario (rs), calcárea (cal), chert (cht) y cuarzo. Muestra tomada en Marta, Cerca de Río Sucio. (N: 1285503, E: 1070224).

p-200. Imagen anterior con nicoles paralelos. Se

9.5 FORMACIÓN REAL

Casi todas las muestras de arenitas analizadas de la Fm Real son Arcosas líticas a arcosas, pero dos caen en la categoría de sublitarenitas y estratigráficamente están ubicadas hacia la base de la formación en la sección Uribe-Sabana lo cual está de acuerdo con la composición del tope de Fm Colorado.

Las arenitas de la Formación Real presentan un amplio rango textural que va desde arenita fina, media, gruesa, muy gruesa y conglomerática en la mayoría de los casos; esto hace que la selección de los granos sea muy pobre (ver sección p-173, p-177). En general los granos y clastos líticos son angulares a subangulares. Presenta matriz arcillosa en la mayoría de los casos, hacia el flanco W del SNM las arenitas cerca de la falla La Salina se presenta impregnada de hidrocarburos.

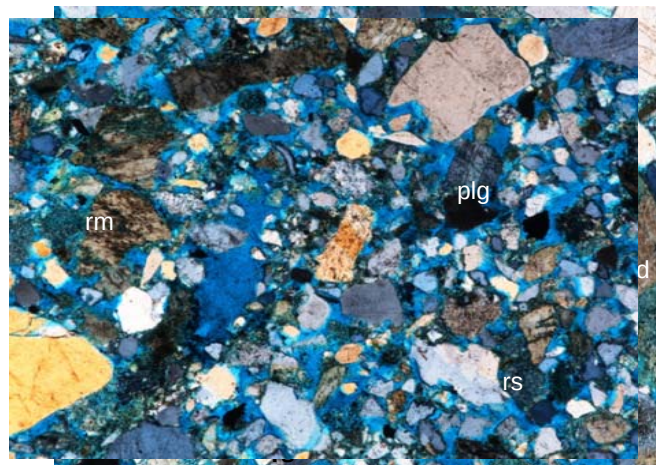
En cuanto a composición, las arenitas de la Fm Real contienen muchos líticos de todos los tipos y un altísimo contenido de feldespato que en la mayoría de los casos se presenta alterado, quizás la matriz es producto de la alteración de este feldespato y de líticos ígneos que contienen mucho feldespato.

En las siguientes tablas se resumen las características litológicas, (textura, selección, redondez, composición) de las 44 muestras de sección delgada agrupadas por formación y en seguida se muestran imágenes de algunas de estas secciones delgadas para su ubicación geográfica y estratigráfica ver figuras 1 a 3, al final.

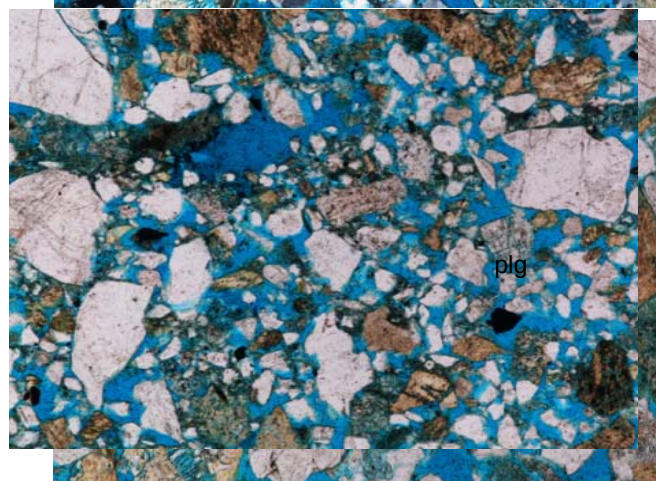
Tabla 7. Resumen descripción de secciones delgadas de la Formación Real

Ubicación	Estación	Cuarzo	Feldespato	Chert	Otros Líticos	Total Líticos	Clasificación	Observaciones
Formación	Muestra	% de minerales principales					Folk (1984)	
Base Real Uribe-Saba	p163	86	7	4	3	7	Sublitarenita	Base de Real. Arena suelta de grano fino, sin matriz ni cemento, limpia, moderada a bien seleccionada con granos angulares a subredondeados.
Real Inferior parte media	p173	57	25	0	18	18	Arcosa lítica	Arenita de grano fino a grueso granos angulares a subangulares, suelta, moderada a pobremente seleccionada, con algunos fragmentos de materia orgánica, abundante feldespato, líticos metamórficos y sedimentarios.
Real Inf parte superior	p177	65	26	0	9	9	Arcosa lítica	Arenita de grano muy fina a gruesa, granos subangulares a angulares, muy pobremente seleccionada, suelta sin cemento ni matriz. Feldespato y líticos alterados.
Real cerca de Pozos La Salina	p190	55	22	1	22	23	Litarenita feldespática	Arenita de grano fino a muy grueso, pobremente seleccionada, granos angulares a subangulares en contacto puntual, matriz arcillosa escasa. Impregnada de aceite.

Real cerca de Pozos Salina	p192	63	26	0	11	11	Arcosa lítica	Arenita de grano fino a grueso granulosa, pobremente seleccionada, granos angulares a subangulares, contacto puntual, alto grado de meteorización de feldespatos y líticos y vorman una matriz arcillosa de alteración.
Real cerca de Pozos Salina	p197	60	26	0	14	14	Arcosa lítica	Arenita de grano fino a muy grueso granulosa, moderada a pobremente seleccionada, granos angulares a subangulares fracturados en contacto puntual, fragmentos de materia orgánica revestidos de CaCO ₃ , feldespato y líticos muy alterados, parches de matriz orgánica. impregnada de aceite
Real Flanco W SNM cerca Río Sucio	p51	76	11	3	10	13	Sublitarenita	Arenita de grano fino a muy grueso granulosa, pobremente seleccionada, granos angulares a subangulares en contacto puntual, matriz arcillosa abundante, clastos de materia orgánica.
Real Flanco W Sinclinal NM	p52	58	32	0	10	10	Arcosa	Arenita de grano medio a muy grueso moderada a pobremente seleccionada, granos subangulares a angulares, contacto longitudinal a puntual, matriz arcillosa, abundante feldespato muy alterado.
Real Anticlinal de Monas	p203	64	22		14	14	Arcosa lítica	Arenita gruesa a muy gruesa, pobremente seleccionada, granos angulares a subangulares, contacto puntual, matriz intermedia, impregnada de hidrocarburos.



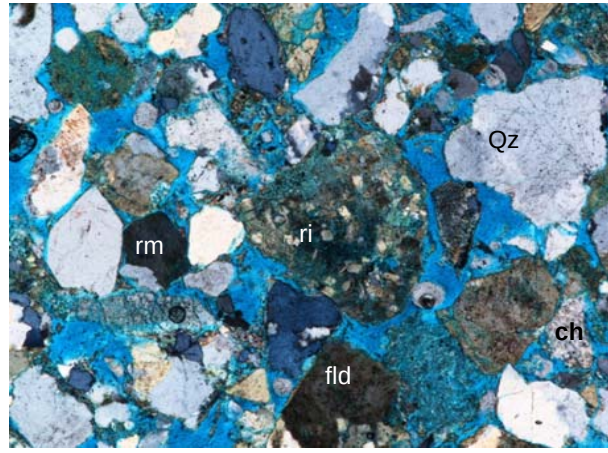
p-173. Formación Real. Se caracteriza por clastos de todos los tamaños y todas los tipos. Se pueden observar clastos ígneos (ri), metamórficos (rm), Sedimentarios (rs), cuarzo y feldespato. Nícoles cruzados.



con nícoles paralelos.

Muestra tomada en la carretera Uribe- Sabana parte media de la Fm Real. (N: 1294868, E: 1073696).

p-173. Imagen anterior



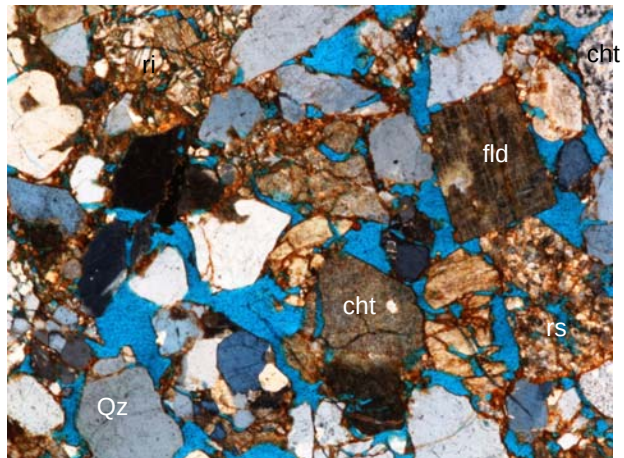
p-173. Clastos ígneos (ri), abundan en la Fm Real, así como el feldespato alterado (fld), cuarzo (Qz), roca metamórfica (rm). (nicos cruzados). (N: 1294868, E: 1073696).



p-173. Imagen anterior con nicos paralelos.

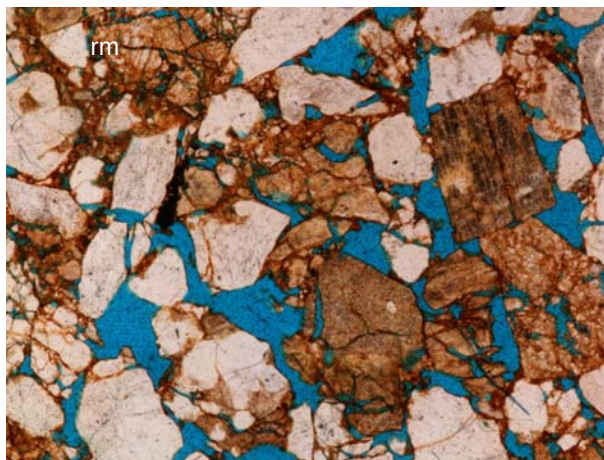
p-177. Arenita muy pobremente seleccionada de la Formación Real. Observa gran cantidad de feldespato plagioclasa (plg), rocas metamórficas (rm). (nicos cruzados). Muestra tomada al tope de la Fm por carretera Uribe-Sabana. (N:1295939, E: 1072700).

p-177. La misma imagen anterior con nicoles paralelos.

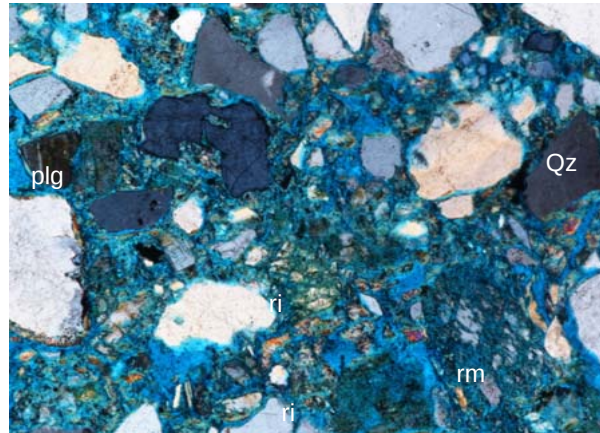


p-190. Fm Real. Arenita fina a muy gruesa. Se observan clastos de roca ígnea (ri), feldespato (fld), cuarzo (Qz), chert (cht), roca sedimentaria (rs). (nicos cruzados).

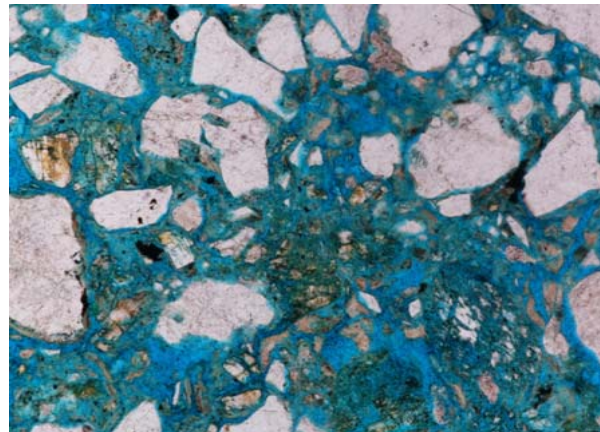
Esta muestra fue tomada en el flanco W del anticlinal de Monas o La Salina. (N: 1296095, E: 1060844).



p-190. Imagen anterior con nicoles paralelos. La



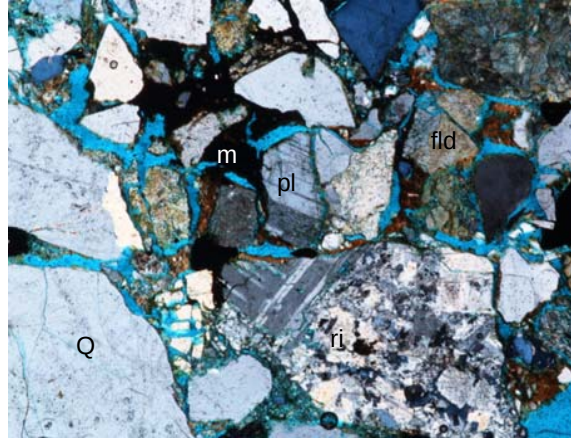
muestra de un afloramiento impregnado de hidrocarburos.



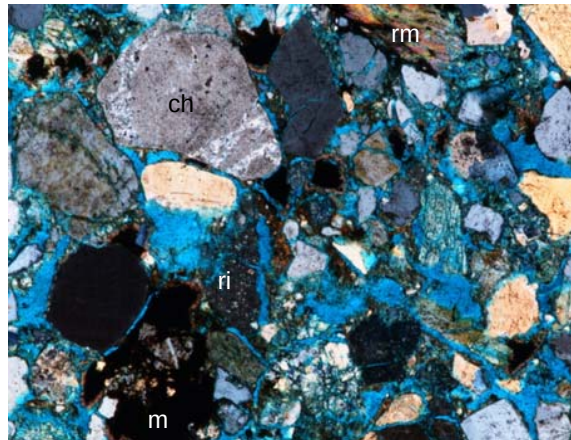
p-192. Fm Real. Alto grado de alteración de minerales y líticos. Líticos de origen ígneo (ri), líticos metamórficos (rm), feldespato (plg), cuarzo (Qz). Presenta matriz de alteración arcillosa. (nicos cruzados).

Muestra tomada en flanco W Sinclinal de Nuevo Mundo, campo La Salina. (N:1296195,E: 1059985).

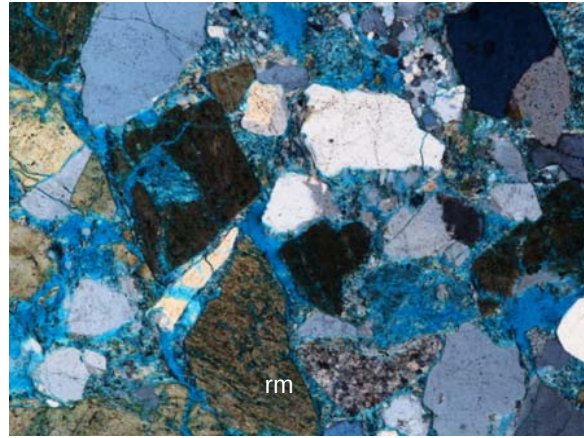
p-192. Imagen anterior vista con nicoles paralelos.



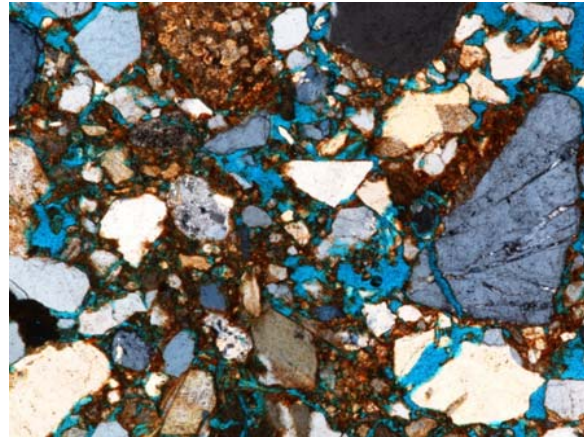
p-197. Fm Real. Se observan clastos de roca ígnea granítica (ri), y fragmentos de feldespato (fld), así como cuarzo (Qz), materia orgánica (mo), relleno de espacio poroso. Mala selección, granos angulares. Muestra impregnada de hc, tomada en el campo La salina, flanco W del SNM. (nicos cruzados). (N: 1295913, E: 1060772).



p-197. En otro sector de la misma muestra se puede observar clastos ígneos (ri), metamórficos (rm), chert (cht) y materia orgánica (mo). (Nicos cruzados). (N: 1295913, E: 1060772).



vc-052. Fm Real Flanco W SNM. Fragmentos angulares de chert, cuarzo, abundante feldespato y clastos de arenitas, también se puede observar algo de matriz arcillosa. (nicoses cruzados). (N: 1285078, E: 1061345).



p-203. Se puede observar clastos ígneos, cuarzo y feldespato muy angulares con algo de matriz arcillosa, en una muestra impregnada de hidrocarburos. Tomada en el flanco W del SNM, cerca al campo La salina. (nicoses cruzados). (N:1294254, E:

1059701).

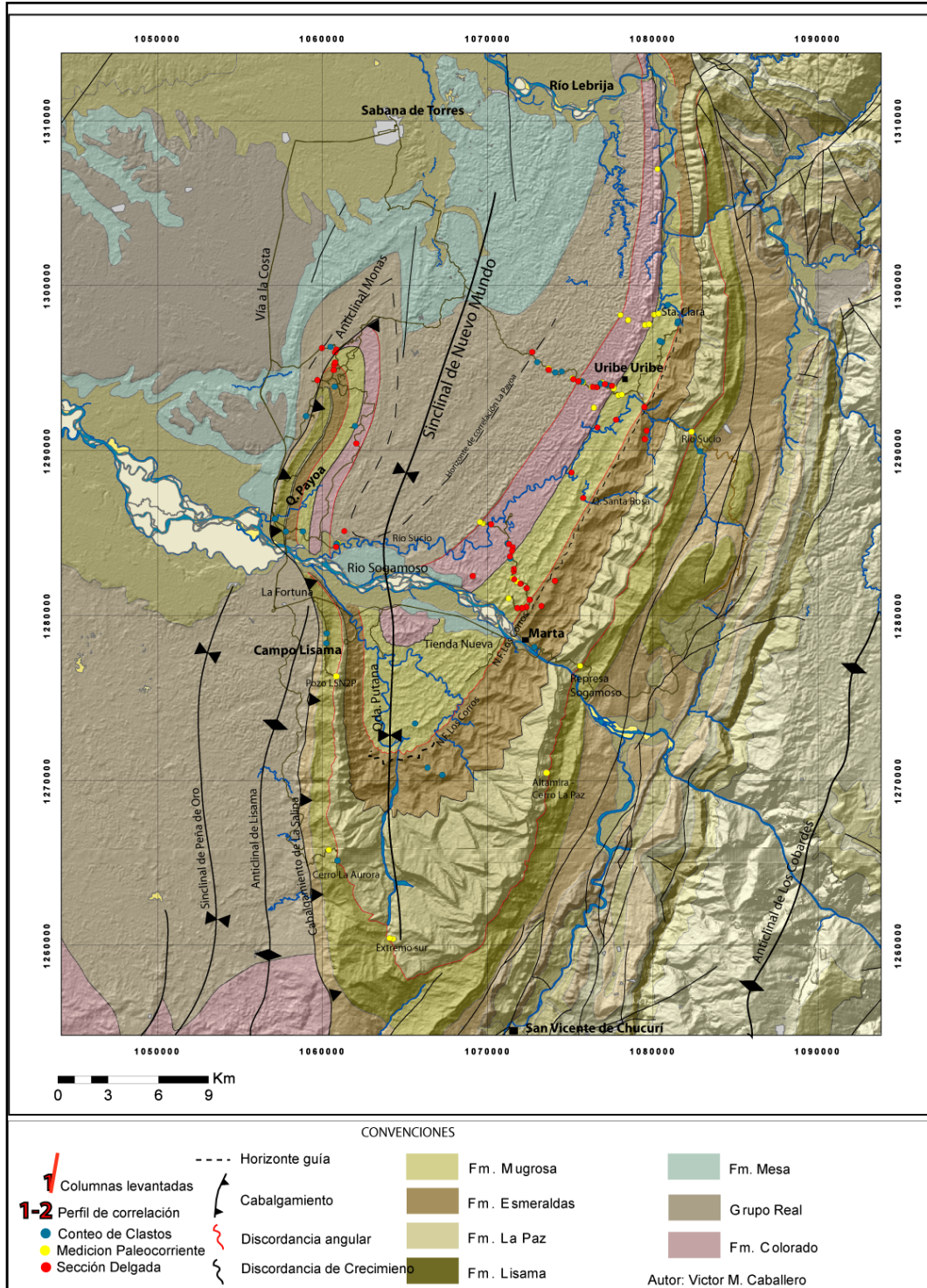


Figura 1. Ubicación del muestreo para sección delgada realizado. La mayoría de muestras se tomaron en las secciones levantadas pero algunas no están dentro de ellas, como se puede ver. Para ubicación en las columnas ver figuras 13 a 18 y 23 a 25.

Tabla 8. Ubicación geográfica de las muestras de sección delgada.

Muestra	Sección	Este	Norte	Formación
Delgada				
VC-002		1075099	1288645	Mugrosa
VC-006		1075800	1287095	Esmeraldas
VC-014		1071302	1284291	Colorado
VC-016		1071530	1284097	Colorado
VC-017		1071500	1283900	Colorado
VC-030		1073264	1280545	Esmeraldas
VC-034		1072349	1280495	Esmeraldas
VC-035		1072085	1280427	Tope Esmeraldas
VC-051		1060831	1284123	Real
VC-052		1061346	1285078	Real
VC-056		1062047	1290385	Colorado
VC-131		1079491	1292616	BaseMugrosa
VC-132		1079566	1292755	Base Mugros
VC-138		1077526	1293889	Colorado
VC-152		1077108	1293986	Colorado
VC-156		1076613	1293803	Colorado
VC-15		1076383	1293817	Colorado
VC-161		1075600	1294194	Cubierto 8
VC-162		1075497	1294187	Tope Colorado
VC-163		1075208	1294288	Contacto Colorado Rea
VC-166		1077771	1291829	Mugrosa
VC-173		1073696	1294868	Real
VC-177		1072700	1295939	Real Cliff
VC-178		1072371	1281632	Mugrosa Inicio Column
VC-179		1074129	1282816	Esmeraldas Corros
VC-180		1072006	1281906	Mugrosa
VC-181		1071619	1282162	Mugrosa
VC-183		1071608	1282648	Mugrosa
VC-184		1071600	1282802	Mugrosa
VC-185		1071498	1283366	mugrosa
VC-187		1071357	1283567	Mugrosa
VC-189		1069109	1282378	Colorado
VC-190		1060844	1296095	Real
VC-192		1059985	1296195	Real
VC-196		1060754	1295309	Mugrosa
VC-197		1060773	1295913	Colorado
VC-200		1070224	1285503	Colorado
VC-201		1072848	1278048	Esmeralda
VC-203		1059701	1294254	Colorado
VC-34		1072349	1280495	Tope Esmeraldas
VC-201		1072848	1278048	Middle Esmeraldas
VC-36		1071803	1280430	Base Mugrosa