

**ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE NÚCLEOS USANDO ASOCIACIONES LITOFACIALES
EN LA MINA EL CERREJÓN, GUAJIRA-COLOMBIA**

CAROLINA MARTINEZ MENDOZA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA**

Bucaramanga

2006

**ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN DE NÚCLEOS USANDO ASOCIACIONES LITOFACIALES
EN LA MINA EL CERREJÓN, GUAJIRA- COLOMBIA**

CAROLINA MARTÍNEZ MENDOZA

Trabajo de grado para optar el título de: Geóloga

Director

Ph.D. Mario García Gonzalez
Docente UIS

Co-Director

Ph.D. Camilo Montes Rodriguez
Supervisor Geología Carbones del Cerrejón LLC

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE GEOLOGIA
Bucaramanga
2006**

AGRADECIMIENTOS

A Camilo Montes mi supervisor por su apoyo incondicional, por los consejos, por la enseñanza, por la confianza, por la colaboración y por aguantarme todo este tiempo

A todo el departamento de geología de carbones del Cerrejón por la colaboración prestada y por hacerme sentir parte de ellos, en especial al grupo de exploración y modelamiento por su ayuda y apoyo, Ciro, Fedor, Gabriel, Cesar y Wilson, gracias por todo.

A mis profes de la universidad, por sus enseñanzas ,en especial a los profes mario y marco, gracias por todo y por confiar en mi.

A Luz Ángela por su amistad, sus consejos y por toda su ayuda durante mi práctica

A German Bayona, por sus consejos y por su tiempo

A Reeves por los favores desinteresados

TITULO : ANALISIS Y DESCRIPCION DE NUCLEOS USANDO ASOCIACIONES LITOFACIALES

AUTORES : CAROLINA MARTINEZ MENDOZA *

DIRECTORES: MARIO GARCÍA GONZALEZ
CAMILO MONTES RODRIGUEZ*****

Palabras claves: códigos faciales, litofacies, asociaciones litofaciales, núcleos, Cerrejón

RESUMEN

El proceso de descripción y Correlación de mantos es un elemento de trabajo diario en el Cerrejón sin embargo se hace necesario la elaboración de nuevas metodologías de descripción que contribuyan a la renovación y mejoramiento del proceso que actualmente se realiza.

A través de la descripción de siete pozos corazonados y estudios en campo de la secuencia superior e inferior de la formación Cerrejón se identificaron siete grupos litofaciales caracterizados y estandarizados con códigos faciales de acuerdo a su estructura, tamaño de grano y composición: estas litofacies se agruparon en tres asociaciones litofaciales características e ideales que se encuentran de forma repetitiva en todo el complejo carbonífero.

A partir de estas asociaciones litofaciales se destilo la información necesaria para proponer un modelo de apilamiento y se elaboro la lista de criterios que permiten describir núcleos usando las asociaciones litofaciales, agilizando el proceso del descriptor , ayudar en la correlación a través de la identificación de superficies de máxima inundación y al mismo tiempo proporcionando información sobre los ambientes de formación del carbón lo cual permite estimar calidad de los mantos que posteriormente puede ser corroborado con análisis geoquímicas.

* Estudiante de geología , UIS

** Profesor titular, UIS

*** Supervisor carbones Cerrejon LLC

TITTLE : ANALYSIS AND DESCRIPTION OF WELL CORE USING LITOFACIAL ASSOCIATIONS IN THE CERREJON COAL MINE, GUAJIRA.-COLOMBIA

AUTHOR: : CAROLINA MARTINEZ MENDOZA[†]

DIRECTORS : MARIO GARCÍA GONZALEZ
CAMILO MONTES RODRIGUEZ*****

Key words : facial code, litofacies, litofaciales associations, core, Cerrejón

ABSTRACT

The description and coal seam correlation are diary elements to work in Cerrejón, nevertheless is necessary use new description methodology that towards to the renovation and improvement of the descriptions process that is use actually.

Through to the description of seven core well and field study to the upper and lower Cerrejon formation it was identify seven litofacial groups characterize and standardize whit facial code in agreement to his structure, grain size, and composition: this litofacies was agroup in tree litofacial association characteristic and ideal that are find in repetitive form in all the mine.

Beginning from since this associations it distilled the necessary information to propose a staking model and it made a list of parameters that permit to describe core using litofacial association, quicken the descriptor process, help in the correlation through to the identification of inundation surfaces and at the same time provide information about environments of coal formation permitting predict quality of coal that lately can be corroborate whit geochemical analysis

[†] Estudiante de geología , UIS

** Profesor titular, UIS

*** Supervisor carbones Cerrejon LLC

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	ix
1. PROBLEMA.....	1
2. OBJETIVOS.....	2
3. GEOLOGÍA REGIONAL	3
3.1 LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO.....	5
3.2 ESTRATIGRAFÍA.....	6
2.2.1 Cuaternario	6
2.2.2 Aluvion Plioceno-Pleistoceno	6
2.2.3 Oligoceo-Eoceno.....	6
1.2.4 Paleoceno superior	8
2.2.5 Paleoceno medio e inferior.....	8
2.2.6 Cretáceo superior.....	9
2.2.7 Cretáceo medio:.....	9
2.2.8 Cretáceo superior.....	11
2.2.9 Jurásico-triásico:	11
2.2.10 Paleozoico:.....	12
2.2.11 Precámbrico:	12
3.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	12
2.2.1. Cabalgamiento Cerrejón	14
2.2.2. Cabalgamiento Ranchería.....	15
3.4. GEOLOGÍA HISTÓRICA.....	15
4. METODOLOGÍA.....	18
5. RESULTADOS	20
5.1 DESCRIPCIÓN DE LAS COLUMNAS	21
5.1.1 POZO 09418	21
5.1.2 POZO 10404	27
5.1.3 POZO O9709	31
5.1.4 POZO EST 05721	36

5.1.5 POZO TAB 03054	39
5.1.6 POZO BRU 04410.....	43
5.2 ANÁLISIS FACIAL.....	46
5.2.1 DESCRIPCION DE LAS ASOCIACIONES LITOFACIALES	46
5.3 DESCRIPCION DE LAS PARASECUENCIAS IDENTIFICADAS.....	52
5.3.1 Parasecuencia 1.....	52
5.3.2 Parasecuencia 2.....	53
5.3.3 Parasecuencia 3.....	54
6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	56
8. CONCLUSIONES	57
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa geológico general del cerrejón	4
Figura 2. Mapa de localización del complejo carbonífero del cerrejón.....	5
Figura 3. Columna estratigráfica de formaciones en el área de estudio.....	7
Figura 4. Columna estratigráfica generalizada de las formaciones Cerrejón y Manantial.....	10
Figura 4. Marco geológico-estructural del depósito del Cerrejón.....	13
Figura 5. Perfil estratigráfico de las principales unidades.....	14
Figura 6. Mapa de ubicación pozos escogidos.....	20
Figura 6. Asociación de litofacies A.....	47
Figura 7. Asociación de litofacies C.....	49
Figura 8. Asociación de litofacies D.....	49
Figura 9. Asociación de litofacies E.....	50
Figura 10. Asociación de litofacies F.....	51
Figura 11. Asociación de litofacies G.....	52
Figura 12. Esquema idealizado del patrón de apilamiento de la parasecuencia 1.....	53
Figura 13. Esquema idealizado del arreglo vertical de las parasecuencias dos y tres respectivamente.....	54

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: Formato para la descripción de núcleos

ANEXO 2: columna estratigráfica pozo 09418

ANEXO 3: columna estratigráfica pozo 09709

ANEXO 4: columna estratigráfica pozo 10404

ANEXO 5: columna estratigráfica pozo EST05721

ANEXO 6: columna estratigráfica pozo TAB03054

ANEXO 7: columna estratigráfica pozo BRU 04414

ANEXO 8: Cartilla para descriptores

ANEXO 9: Póster

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo esta basado en estudios de campo y descripciones de núcleos, a través de los cuales se estableció un modelo facial para la Formación Cerrejón. El modelo facial tiene los siguientes objetivos: 1) norma para descripciones de núcleos; 2) estructura y guía de futuras observaciones; 3) predictor de patrones de apilamiento; y 4) integración en la interpretación de ambientes y la correlación de mantos.

La variabilidad local de las columnas y pozos usados para definir las asociaciones ha sido eliminada tratando de destilar la esencia pura de la asociación litofacial (entendiendose como variaciones locales la desaparición de una u otra asociación litofacial de pozo a pozo). Durante la descripción se encontrarán variaciones a la norma, que el geólogo debe correctamente interpretar (usando criterios sedimentológicos, estructurales y/o estratigráficos)

Dada la monotonía sedimentológica de la sucesión en la Formación Cerrejón, la descripción de núcleos puede facilitarse usando litofacies y asociaciones litofaciales agrupadas en las tres parasecuencias ideales identificadas y descritas en este documento. El presente trabajo resume los criterios usados para definir cada una de las asociaciones litofaciales, sirviendo como norma para la descripción de núcleos. El uso de litofacies agrupadas en asociaciones, agiliza la descripción puesto que aunque todavía se observan todas las características sedimentológicas, sólo se anota el código que describe cada litofacies.

El análisis de los patrones de apilamiento y ambientes sedimentarios servirá para definir superficies de correlación principales. Estas superficies pueden usarse a través del depósito como ayudas en la correlación de mantos y grupos de mantos y además para

caracterizar mantos de acuerdo al ambiente en el que se formaron. Esta información puede compararse con datos de calidad de cada manto.

1. PROBLEMA

Este informe es el resultado del trabajo realizado durante seis meses el cual respondía a las prioridades de la Superintendencia de Geología y Exploración de Carbones del Cerrejón LLC, y consistió en la elaboración de una metodología para describir núcleos de perforación.

Esta metodología usa elementos de estratigrafía de secuencia y la muestra como una herramienta útil en la descripción de núcleos de perforación y en la labor de correlación de mantos, contribuyendo al mejoramiento de ambas actividades en la empresa, permitiendo así optimizar los procesos y perfeccionar los datos de correlación que se manejan actualmente.

La descripción de núcleos de perforación que se realiza actualmente en la empresa carbones del cerrejón se basa en la descripción litológica y su correspondencia con los registros eléctricos, datos que posteriormente son usados en la correlación de mantos. Lamentablemente la información existente no se usa adecuadamente y la correlación de mantos solo se realiza con el registro, lo que ocasionalmente genera ciertas incertidumbres al momento de hacer la correspondencia de mantos. Debido a esto se hace necesario adquirir nuevas herramientas que permitan la correlacionar mantos de manera mas precisa, de la misma forma se hace necesario mejorar la descripción de los núcleos para darles una mejor interpretación a los datos extraídos.

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Diseñar una lista de criterios que permitan describir núcleos de perforación de manera más rápida usando elementos de estratigrafía de secuencias y que a la vez faciliten la correlación de mantos

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Describir a escala 1: 50 los pozos seleccionados
- Codificar cada facies teniendo en cuenta el tipo de litología, estructuras sedimentarias y composición
- Determinar y clasificar las litofacies presentes en los pozos
- Identificar patrones de apilamiento y establecer una interpretación ambiental
- Elaborar una cartilla para descriptores que reúna todas las características de las asociaciones litofaciales encontradas
- Elaborar columnas Estratigráficas a escala 1:200 de los pozos descritos

3. GEOLOGÍA REGIONAL

El depósito de carbón del Cerrejón está ubicado sobre el extremo norte de la placa suramericana. El desarrollo geotectónico y sedimentario de la cuenca del noroeste de Sur América en el Mesozoico-Cenozoico es dominada por la interacción entre las placas Sur Americana, Norte Americana, Caribe y Nazca.

Van der Merwe (1999) señala que la estratigrafía del depósito carbonífero del Cerrejón corresponde a un sistema depositacional continental de planicie deltáica somera con estructuras sedimentarias y secuencias faciales propias de este ambiente, acompañado de un tectonismo originalmente pasivo que controló la subsidencia, los aportes de detríticos y la velocidad de enterramiento de los sedimentos.

Según este mismo autor, el depósito del Cerrejón, contrario a la mayoría de depósitos carboníferos del mundo, es una secuencia sedimentaria que fue sujeta desde las etapas tardías de la diagénesis a una fuerte, extensa y penetrativa deformación por compresión en dirección nor-occidental asociada a la Orogenia Andina, que ha generado una fuerte complejidad tectónica que incluye cabalgamientos, fallamientos, plegamientos y replegamientos a diferentes escalas y de carácter masivo.

La cuenca carbonífera de la guajira es una depresión de 14 Km. de ancho por más de 60 Km. de largo, cuyo eje es aproximadamente paralelo al curso del río Ranchería. La minería de carbón se realiza en las capas de la Formación Cerrejón, que presenta estructura monoclinal con buzamiento hacia el oriente.

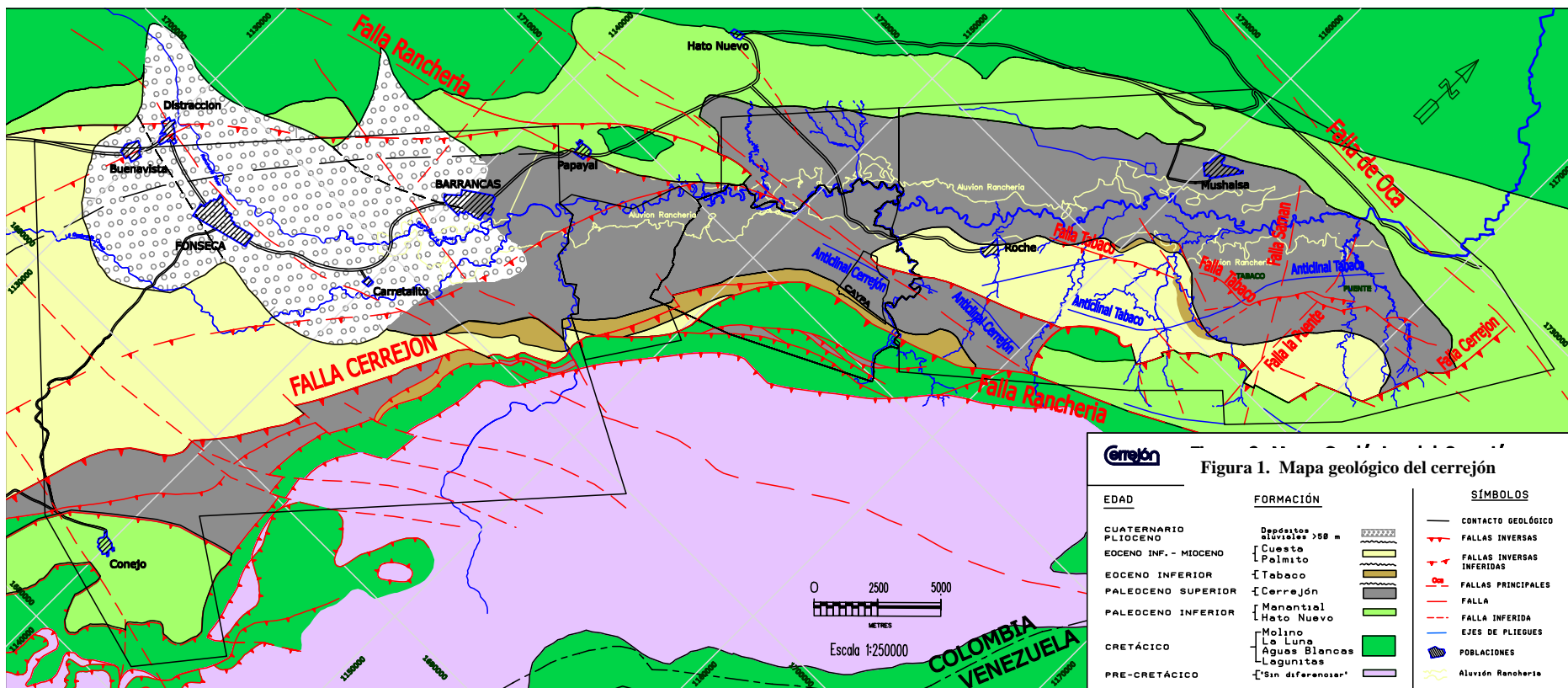


Figura 1. Mapa geológico general del cerrejón, tomado de Olivilla 2005

3.1 LOCALIZACIÓN Y VIAS DE ACCESO

El área minera del cerrejón hace parte de la cuenca carbonífera Cesar-Ranchería, cuyo extremo nororiental en el departamento de la Guajira recibe el nombre de Formación Cerejón. La dirección general de la cuenca del Cerejón es SW-EW y se extiende desde las estribaciones de la Sierra Nevada, al occidente y de las estribaciones de la serranía de Perijá al oriente; su extremo nororiental es tectónico, determinado por la falla de Oca y su extremo suroriental parece que se extiende un poco al sur de la población de Fonseca. La cuenca está cubierta por sedimentos gruesos del Cuaternario.

El yacimiento esta ubicado en el Municipio de Barrancas departamento de la Guajira y se encuentra a 125 Km. de Valledupar y a 103 Km. de la ciudad de Riohacha, por carretera pavimentada.

Se cuenta con la vía nacional que comunica al Departamento del Cesar con los municipios del sur de la Guajira, siendo el mas cercano el municipio de Hato Nuevo por el acceso sur. En cuanto al acceso norte se cuenta con una carretera privada que inicia en el municipio de Albania hasta puerto Bolívar, la cual se intercepta con la troncal del caribe que comunica a Riohacha con Maicao. (ver figura 1.)

Figura 2. Mapa de localización del complejo carbonífero del cerrejón, Tomado de Olivilla, 2005



3.2 ESTRATIGRAFÍA

En el área de estudio encontramos rocas de edades del Cretáceo y Terciario, que presentan varias discordancias regionales, para facilidad del lector se realizó un breve resumen de las características litológicas y ambientales de cada Formación.(ver figura 3)

3.2.1 Cuaternario

Corresponde a sedimentos aluviales constituidos principalmente de areniscas de grano fino a grueso y gravas; clastos subredondeados y angulares de calizas, cuarzo hialino, feldespato, chert y líticos (volcánicos), en menor proporción depositados por el río Ranchería y sus tributarios.

3.2.2 Aluvión Plioceno-Pleistoceno

Conglomerados gruesos, con cantos redondeados. Los bloques más grandes son de lava porfidítica y los cantos de menor espesor son de roca granítica, cuarzomonzonítica y gran cuarzo-feldespáticas en matriz calcárea fino-mediogranular cementadas parcialmente

3.2.3 Oligoceno-Eoceno
















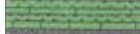

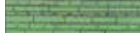





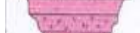

A ésta serie corresponden las Formaciones Tabaco y Palmito en su orden estratigráfico de más joven a más antigua.

3.2.3.1 Formación Palmito: Van der Merwe (1999) la define en la región cerrejón como una unidad clástica de grano fino. La base esta marcada por areniscas arcillosas de grano fino a medio y la parte superior esta conformada por areniscas arcillosas y lodolitas, alternando con areniscas lodosas – calcáreas. Esta

Formación es claramente continental y tiene un espesor de 300m (Ramos, 1990 en Bayona et al., 2004).

3.2.3.2 Formación Tabaco: Tschanz (1969, en de Porta, 1974) la describe de forma general como constituida por areniscas y arcillolitas y le asigna una edad de Eoceno Superior. De acuerdo a Van der Merwe (1999) en la región del Cerrejón aparece como una secuencia de rocas clásticas de grano grueso con estratificación cruzada. Su espesor estimado es de 120m y descansa en un contacto disconforme sobre la Formación Cerrejón (Ramos, 1990 en Bayona et al., 2004).

Figura 3. columna estratigráfica generalizada de las secuencias aflorantes en el area de estudio

		LITOLOGÍA	FORMACIÓN	AMBIENTE	
CUATERNARIO			Aluvión	Continental	CUENCA FORELAND
TERCIARIO	PLIOCENO			Continental	
	MIOCENO			Marino Somero	
	OLIGOCENO		Palmito	Fluvio deltáico/Marino Marginal	
			Tabaco	Fluvial trenzado	
	PALEOCENO		Cerrejón	Fluvio deltáico/Marino marginal	
		Manantial Hato nuevo	Fluvio deltáico/Marino marginal		
CRETÁCICO	MAESTRICHTIANO		Molino	Marino	CUENCA MARGINAL
	CAMPANIANO				
	SANTONIANO		La Luna	Marino Restringido	
	CONIACIANO				
	HURONIANO				
	CENOMANIANO				
	ALBIANO		Aguas Blancas	Marino somero	CUENCA MARGINAL
			Lagunitas		
	APTIANO		Río Negro	Fluvial	
	JURASICO	BARREMIANO			
HAUTERIVIANO					
VALANGINIANO					
BERRIASIANO					
TITONIANO			La Quinta	Continental	
					
					
					
					

3.2.4 Paleoceno superior

3.2.4.1 Formación Cerrejón: Según Duran y otros (1981) esta compuesta por areniscas grises a pardo amarillentas, algunas veces calcáreas, interestratificadas con lodolitas grises y carbonosas, que contienen de 30 a 40 mantos de carbón, mas o menos regularmente distribuidos y cuyo espesor oscila entre pocos centímetros y 10 o mas metros de espesor, llegando ocasionalmente hasta 26 m. Hacia la parte mas alta de la secuencia son comunes las areniscas con fragmentos líticos, algunas veces con matriz calcárea. Los nódulos sideríticos son comunes a lo largo de toda la Formación y llegan a desarrollar tamaños de hasta 1 m de diámetro. Intercor (1980b, en Arboleda, 1987) señala que tiene un espesor promedio de 900 m y se ha definido de edad Paleoceno. Presenta estratificación cruzada de bajo ángulo y estructuras flasser.

Con base en la distribución y espesor de los mantos de carbón, la formación Cerrejón ha sido dividida en tres miembros: el inferior, de cerca de 180 m de espesor, caracterizado por la presencia de mantos delgados; el medio de cerca de 300 m de espesor esta formado por un grupo compacto de mantos de 0.9 a 6 m, regularmente espaciados, y el superior, de unos 400 m que contiene los mantos mas gruesos de 1.4 a mas de 10 m, los cuales están ampliamente distribuidos (Carbocol, 1979, en Duran y otros, 1981).

3.2.5 Paleoceno medio e inferior

Correspondientes a este periodo se encuentran las siguientes formaciones:

3.2.5.1 Formación Manantial: Según Van der Merwe (1999) es una secuencia de calizas claras a oscuras ricas en conchas de ostras. Hacia la parte superior presenta una alternancia de lodolitas micáceas finamente laminadas y arcillolitas con calizas lodosas de color gris verdoso y tiene un espesor de 300 a 350 m. Su

contacto inferior y superior es transicional con las Formaciones de Hato Nuevo y Cerrejón (ver figura 3).

3.2.5.2 Formación Hato nuevo: Renz (1960, en de Porta, 1974) la definió como una secuencia de arenisca micácea, marrón, maciza, en parte ferruginosa, cubierta por capas delgadas de caliza. Su espesor es de 100m y descansa en contacto transicional sobre la Formación Molino.

3.2.6 Cretáceo superior

Constituido por las formaciones Molino y la Luna

3.2.6.1 Formación el Molino: definida por Van der Merwe (1999) como una secuencia clástica de grano fino constituida por limolitas calcáreas gris verdosas, interestratificadas con areniscas de grano fino ricas en arcillas, shales grises y delgadas capas de calizas y lodolitas calcáreas; con un espesor total de 500m.

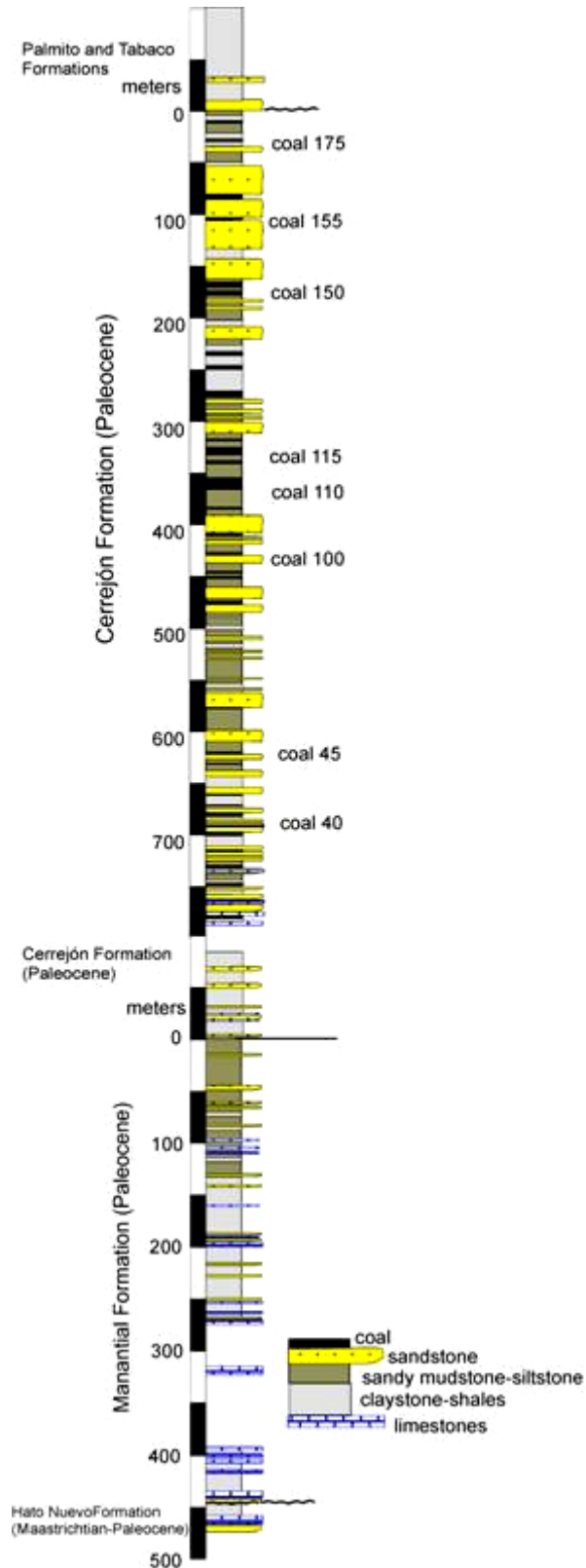
3.2.6.2 Formación la Luna: constituida según Van der Merwe (1999) por intercalaciones de lodolitas calcáreas negras con areniscas de grano fino y areniscas subarcólicas de color gris a café con nódulos de chert de 3 a 10 m de diámetro y con un espesor de algo menos de 100m (Julivert, 1968).

3.2.7 Cretáceo inferior:

3.2.7.1 Grupo Cogollo: el grupo Cogollo está constituido por las siguientes formaciones

3.2.7.1.1 Formación Aguas blancas: definida por Van der Merwe (1990) como una alternancia de capas de caliza micrítica de color gris a café y calizas fosilíferas, en paquetes de hasta 5 m, que descansan en conformidad sobre la

FIGURA 4. Columna estratigráfica generalizada de las formaciones Cerrejón y Manantial, tomado de Meza 2005, Modificado de Bayona 2004.



Formación Lagunitas con una edad Aptiano inferior asignada por Petters (1954b, en Julivert 1968)

3.2.7.1.2 Formación Lagunitas: identificada por Van der Merwe (1999) como una alternancia de aproximadamente 450 m de espesor de calizas micríticas grises de 10 a 15 m, calco-arenitas de grano fino de 3 m y capas de caliza micrita fosilífera de color café de 10 a 40 m.

3.2.8 Cretáceo superior

3.2.8.1 Formación Río Negro: la cual según Hedberg & Sass (1937, en Julivert 1968) esta compuesta por areniscas arcosas y de grano grueso con algunas capas de conglomerados y de lodolitas interestratificadas con un espesor aproximado de 300 a 400 m. Yace discordante sobre rocas volcánicas Jurásicas de la formación La Quinta. Se presenta en bancos de 20 a 40 m de conglomerados de grava con clastos redondeados y de piroclastos gris verdosos, en matriz arenosa, subarcósica alternando con los conglomerados lutitas y limolitas calcáreas verdes y rojizas, micáceas y lítico feldespáticas, con ondulitas como estructura sedimentaria típica.

3.2.9 Jurásico-triásico:

3.2.9.1 Formación La Quinta: Definida por Radelli (1962c, en Julivert, 1968) como una secuencia continental o sub-continental predominantemente detrítica, con la presencia de material de origen volcánico (ver figura 2).

3.2.9.2 Formación Corual: conformada por piroclastos, lavas y diabasas. Los piroclastos tienen color gris oscuro a negros, rocas volcánicas máficas a ultramáficas están interstratificadas con basaltos espilíticos.

3.2.10 Paleozoico:

De acuerdo a Van der Merwe (1999) en esta región el paleozoico medio a superior está representado por areniscas ferruginosas de grano fino, arcosas y lodolitas rojas y negras con estratificación gradacional, laminación flasser y ondulosa y capas ricas en carbón que contienen fósiles de braquiópodos y crinoides. Hacia el tope de esta secuencia se encuentran capas de caliza y de arcosas rojas, con fósiles de braquiópodos típicamente globulares.

3.2.11 Precámbrico:

3.2.11.1 Granulita de Los Mangos: Según Van der Merwe (1999) representa el basamento cristalino el cual consta principalmente de neises cuarzo - feldespáticos y hornblendo - biotíticos bandeados, de colores tanto claros como oscuros, granulitas cuarzo-pertíticas y granulitas granatíferas generalmente en contacto fallado con las rocas vecinas, con un alto estilo de deformación dúctil.

3.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El campo carbonífero del Cerrejón es un depósito estructuralmente complejo localizado dentro del cinturón de Cabalgamiento del Cerrejón – Ranchería y está dominado por los rasgos asociados a ellos que forman parte de los efectos de la orogenia Andina en la zona Norte de Suramérica.

La Cuenca del Cerrejón esta formada por suaves pliegues anticlinales y sinclinales de dirección predominante SW-NE que forman el flanco occidental de la serranía

de Perijá, hasta el extremo noreste del área donde termina contra la Falla de Oca; “sin embargo la estructura general del yacimiento corresponde a un monoclinal con rumbo NE definido por las colinas de la Formación Manantial al oeste y la Falla Cerrejón al este. La orientación general de los estratos es N60E, con buzamiento al SE de 10 a 15 grados” 23 (ver figura 4).

Los estratos de carbón fueron afectados durante 15 a 10 Ma de la Orogenia Andina dando como resultado un cabalgamiento con dirección de transporte hacia el N/W. Como resultado los mantos de carbón fueron levantados a su actual posición. La Falla Cerrejón colocó material volcánico de edad Jurásica encima de la secuencia carbonífera

FIGURA 5. Marco geológico-estructural del depósito del Cerrejón. Modificado de Van der Merwer 1999

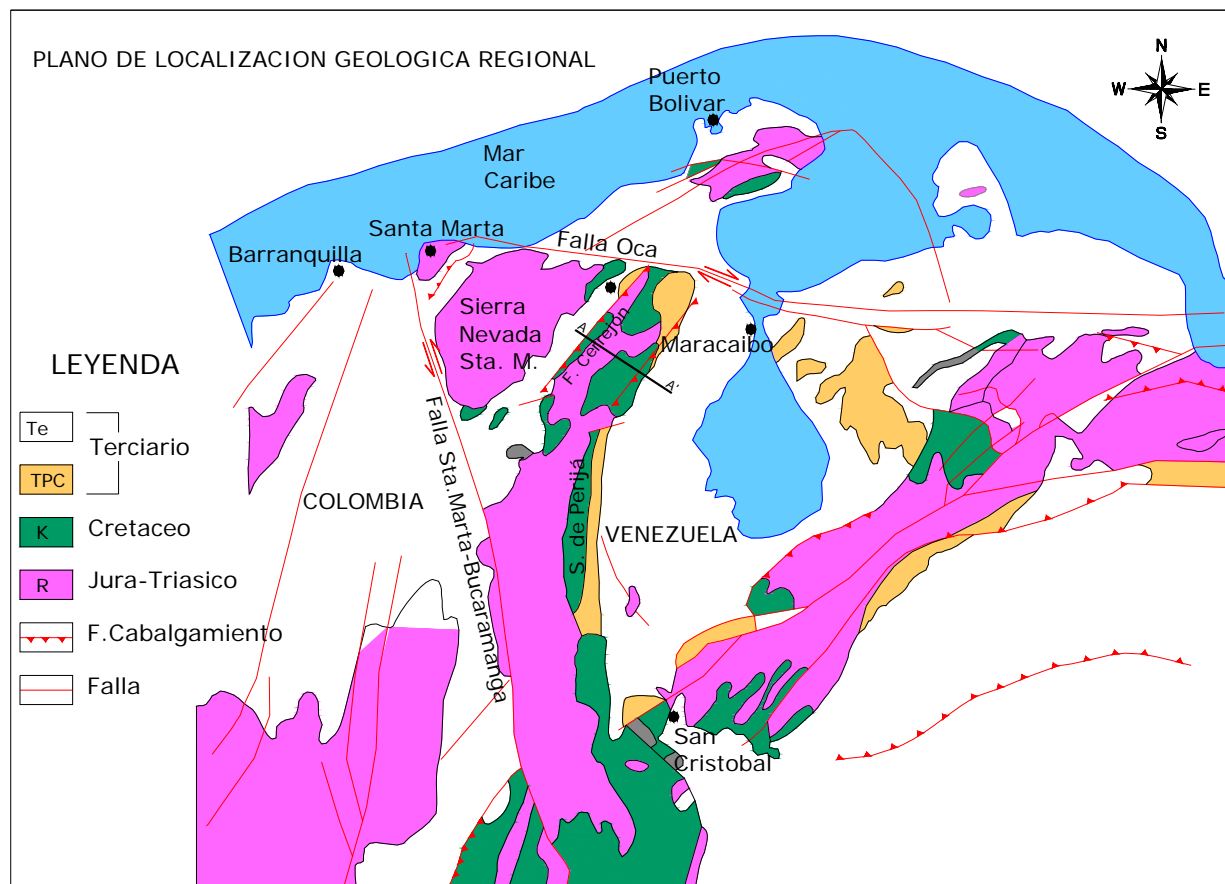
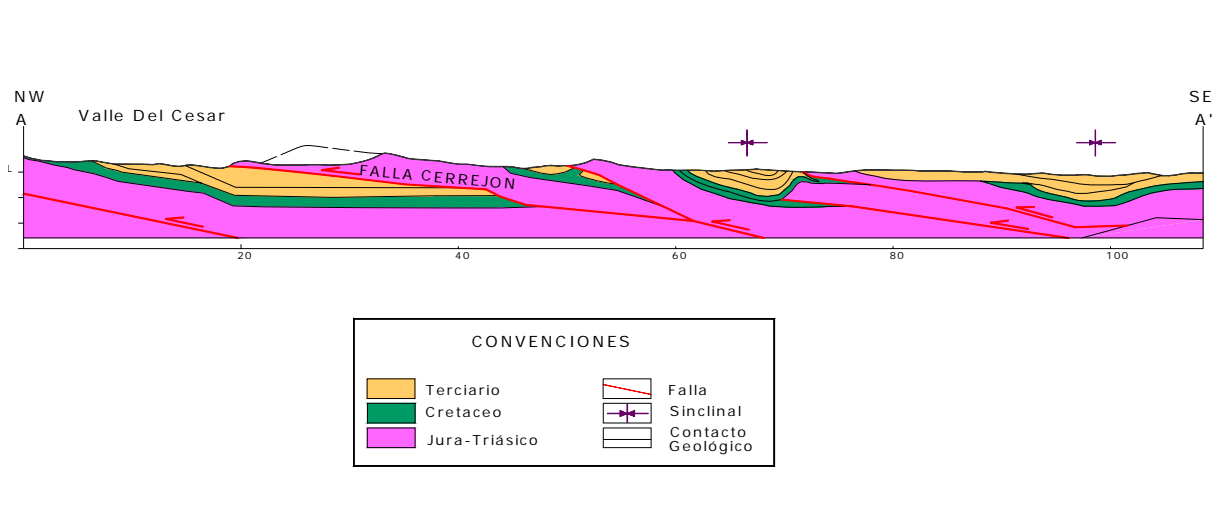


FIGURA 6. Perfil estructural y estratigráfico de las principales unidades *Tomado y Modificado de Schalk W. van der Merwe (1999).*



3.3.1. Cabalgamiento Cerrejón

Según Van der Merwe (2002) el Cabalgamiento Cerrejón es una característica a escala regional con rumbo SW – NE y con longitud mayor de 120 Km. Es un sistema duplex que se forma en el bloque levantado del depósito carbonífero del Cerrejón, en el cual las rocas volcánicas de edad jurásica fueron cabalgadas en el tope de la Formación Cerrejón.

El Cabalgamiento Cerrejón es un cabalgamiento fuera de secuencia formado en el bloque techo del Cabalgamiento Ranchería. La magnitud de su desplazamiento es desconocido, pero dada la duplicación de la columna estratigráfica por debajo del Jurásico, probablemente podría exceder los 5 Km.

La zona del Cabalgamiento con plano basal buzando 20° al SE (datos de sísmica en profundidad) se caracteriza por duplex imbricados a lo largo del rumbo, que se desprenden de un plano basal formando un complejo sistema en el cual una variedad de rocas cretácicas y jurásicas se están apilando una en el tope de la otra.

3.3.2 Cabalgamiento Ranchería

Localizado hacia el centro del yacimiento, posee un rumbo: NE-SW. Según Van der Merwe (2002), este Cabalgamiento no es persistente regionalmente y esta expuesto en una longitud de aproximadamente 100 Km. en la dirección del rumbo. Contrario al Cabalgamiento Cerrejón, el Cabalgamiento Ranchería presenta un buzamiento fuerte, cerca de superficie es del orden de los 45° y se aplana en profundidad (20° a 30°) cerca a la base del cretácico.

El Cabalgamiento Ranchería es un sistema imbricado con una bifurcación hacia el NE del área de la mina. El movimiento aquí se acomoda a lo largo de una zona estrecha de alto esfuerzo. La orientación y características del plano del Cabalgamiento son similares a los de la falla de Oca. Hacia el SW el Cabalgamiento Ranchería se divide en dos ramas, el Cabalgamiento superior e inferior. Su importancia económica es representativa, ya que esta duplicando la secuencia carbonífera.

En profundidad es posible que la zona de despegue del Cabalgamiento Cerrejón y Ranchería sea la misma.

3.4. GEOLOGÍA HISTÓRICA

Entre las cordilleras tan cercanas, la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía de Perijá, existen diferencias geológicas muy marcadas. El macizo de la Sierra Nevada se compone principalmente de rocas muy metamórficas Precambrianas a Predevonianas, rocas ígneas Prepaleozoicas o Paleozoicas y Juratriásicas presentándose en su borde suroriental sedimentos Juratriásicos de carácter continental. No se han encontrado allí sedimentos marinos, con excepción de una faja estrecha, atribuida por A. Gansser al PALEOZOICO. De esto se deduce que

la Sierra Nevada era desde esta época en su totalidad, o en su mayor parte, un bloque terrestre.

La Serranía de Perijá, al contrario, fué al principio del PALEOZOICO mar (geosinclinal), depositándose sobre el PREDEVONIANO sedimentos marinos desde el DEVONIANO hasta el fin del PERMIANO, con una gran disconformidad. El subsiguiente JURATRIÁSICO se caracteriza por erupciones volcánicas de larga duración, extrusiones de roca porfídicas de tipo dacitas y riolitas e intrusiones de las correspondientes rocas cristalino-granulares (monzonitas y granodioritas) en la parte alta de la Sierra Nevada de Santa Marta. Los sedimentos en general ya no son marinos sino de tipo continental, provenientes del material ígneo, depositados en grandes áreas en la Serranía de Perijá y en el borde suroriental de la Sierra Nevada.

Al principio del CRETACEO se efectuó el hundimiento de la Serranía de Perijá y de la parte oriental y septentrional de la Sierra Nevada, dando lugar a la transgresión del mar Cretáceo. Al fin del CRETÁCEO o al principio del Terciario empezó el levantamiento y plegamiento andino, erigiendo la Serranía de Perijá y separándola de la Sierra Nevada por la Cuenca de los Ríos Cesar y Ranchería, donde se depositaron los sedimentos Terciarios.

El eje de la Serranía de Perijá y los elementos estructurales y tectónicos de esta tienen una dirección SSW-NNE. El movimiento andino perduró con mayor o menor intensidad durante el Terciario, acentuándose al fin de esta época o al principio del PLEISTOCENO, manifestándose por el plegamiento de los estratos terciarios y un gran levantamiento (de 2000 a 3000 metros) del macizo de la Sierra Nevada, que dió lugar a la glaciación de su parte alta. Otros fenómenos importantes de esta época son la Falla de Santa Marta (Young et al., 1956), en su parte septentrional con dirección E-W. En el sureste de la Sierra predominan las líneas estructurales (andinas) de la Serranía de Perijá, con dirección SW-NE.

El CUATERNARIO se caracteriza por la erosión acarreo y sedimentación de material no compacto, por la formación de sabanas y terrazas en los valles (Cesar, Ranchería) y por las playas en la costa del Mar Caribe. Esta acción de las aguas está sustituida en los nevados de la Sierra Nevada de Santa Marta por la del hielo y de la nieve que se deslizan lentamente en forma de glaciares, erodando, transportando y acumulando material en morrenas, formando lagos glaciares y alimentando ríos. El CUATERNARIO no esta excento de movimientos tectónicos con empujes del E al W, que en general hoy poco se registran, siendo estos muy débiles. (Tomado y Modificado de Wokittel , 1957).

4. METODOLOGÍA

El trabajo se desarrollo en cuatro etapas principales:

- **ETAPA 1 : Revisión bibliográfica**

Durante esta etapa se recopiló y analizó la información existente sobre estudios sedimentológicos y estratigráficos de la Formación Cerrejón, basándose mas que todo en los trabajos desarrollados por Bayona 2004 y Meza 2005 posteriormente se reviso la base de datos y se escogieron los pozos corazonados a describir.(ver figura 7)

- **ETAPA 2 : fase de campo**

Reconocimiento en campo para observar la secuencia superior de la formación Cerrejón (pared final norte del Tajo Tabacos) e identificar patrones de apilamiento

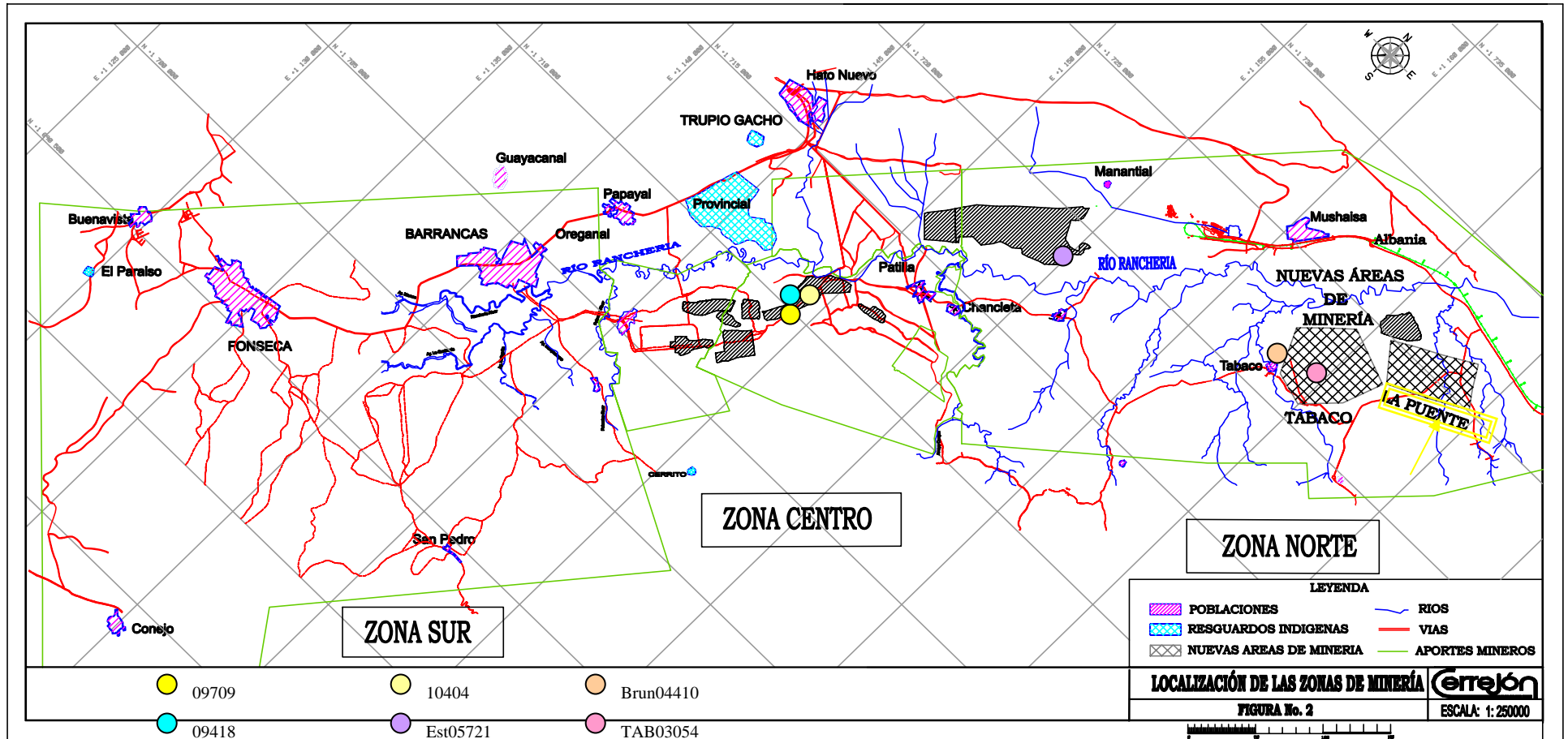
- **ETAPA 3: Descripción de núcleos**

Después de seleccionar siete pozos corazonados 09709, 10404, 09418, TAB03054,EST 05721,BRU 2210, BRU 03612 que abarcan toda la secuencia carbonífera del Cerrejón (desde manto 45 hasta manto 180) tanto para la zona sur como para la zona norte del complejo carbonífero , apoyándonos en los registros eléctricos y en los núcleos existentes se procedió a hacer una descripción detallada a escala 1: 50 de cada uno de los pozos con el propósito de caracterizar las litofacies y asociaciones litofaciales las cuales son la base fundamental de este trabajo.

- **ETAPA 4: Fase de oficina**

Durante esta etapa se procedió a hacer la interpretación ambiental de las asociaciones identificadas, se hizo la comparación con los registros eléctricos se elaboraron la cartilla para descriptores y el documento final.

Figura 7. Ubicación de los pozos escogidos



5. RESULTADOS

5.1 DESCRIPCIÓN DE LAS COLUMNAS

Las columnas se elaboraron a escala 1 :50 utilizando el formato propuesto por el autor (ver anexo 1), y se digitalizaron a escala 1:200; la descripción para objeto de presente documento aparece de base a techo y por paquetes litológicos

5.1.1 POZO 09418

(ver anexo 2)

300-296 3m de lodolita gris media con contenido de moscovita y restos de plantas disgregados que se enriquece en arena al techo y aparece con laminación lenticular (LI) de láminas de arena de grano muy fino en contacto neto con 1m de arenisca maciza (Am) de grano medio compuesta por cuarzo, feldespato, chert y líticos.

296-291 en contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) por 3m, en contacto neto con un carbón de 2m.

291-286 En contacto neto con lodolita gris medio con alto contenido de moscovita y restos de hojas bien conservados por 1m en contacto neto con una arenisca maciza de 1m color gris claro compuesta de cuarzo, feldespato, líticos y chert, en contacto neto con lodolita gris medio de 4m que a la base tienes restos de plantas y va aumentando el contenido dando arena transicionalmente al techo en donde aparece con laminación lenticular (LI), en contacto neto con arenisca maciza (Am) por 1m en contacto neto y bioturbado con 50cm de lodolita negra carbonosa.

286-282 Contacto neto con arenisca lodosa de grano fino con laminación flaser (Af) , laminación ondulosa (Ao) que se va volviendo lodosa al techo y aparece en contacto transicional con 1m de lodolita arenosa con laminación lenticular (LI), en contacto neto con 2m de carbón, en contacto neto con 20 cm. de lodolita carbonosa en contacto neto con 20cm de Torbanita en contacto neto con lodolita negra carbonosa de 50cm.

282- 273.43 En contacto neto con 1,30m de lodolita gris media que se enriquece arena hacia el techo con laminación lenticular (LI) en contacto neto con 1m de arena gris clara de grano medio maciza (Am) con algunas laminas carbonosas hacia la base, en contacto neto con lodolita gris arenosa con laminación lenticular (LIb) y bioturbada hacia el techo, con algunas laminas carbonosas de 10 y 20 cm., en contacto neto con arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao) en contacto transicional con 2m de lodolita arenosa con laminas de siderita que hacia el techo se vuelve mas lodosa.

273.43-269 En contacto neto con carbón de 1m, en contacto neto con 3m de lodolita arenosa al techo con alto contenido de moscovita y laminación lenticular (LI), seguida de 1m de lodolita calcara con numerosas venas rellenas de calcita, en contacto neto con la misma lodolita arenosa anterior por 1m, en contacto neto con Carbón de 40 cm.

269- 262 en contacto neto con 3.5 m de lodolita que hacia la base es arenosa con laminación lenticular (LI) y hacia el techo pierde arena, y aparece con nódulos de siderita, en contacto neto con 1m de arenisca lodosa con tenue laminación flaser (Af) , marcada laminación ondulosa (Ao) y laminas carbonosas en contacto neto con lodolita gris de 25 cm. en contacto neto con Carbón de 90cm, en contacto neto con lodolita gris media con restos de plantas y delgadas laminas de arena mostrando una tenue laminación horizontal (LI), en contacto transicional con arenisca lodosa de 2m con laminación heterolítica (Ahe), laminación ondulosa (Ao) .

262-254 en contacto transicional con lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) de 1m de que a la mitad aparece calcara por 20cm, en contacto neto con 1.70m de arenisca maciza con tenue laminación cruzada (Ac), con algunos intraclástos sideríticos y laminas carbonosas, en contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular de 1,50 m (LI) que se va volviendo lodosa al techo y aparece con restos de plantas disgregados y carbonosa por 30 cm. (Sc).

254-247,18 en contacto neto con una lodolita arenosa al techo con laminación lenticular (LI) de arena fina, con algunas laminas carbonosas y algo de laminación ondulosa (Lo) por 1,50m en contacto transicional con arenisca lodosa con numerosas bandas carbonosas por 80cm, en contacto neto con 90cm de lodolita arenosa en contacto transicional con arenisca lodosa de 30cm en contacto neto con un carbón (manto)

247.18- 235.23 contacto neto con lodolita 3 m de lodolita que gradada transicionalmente a lodolita arenosa, con laminación lenticular (LI) y laminación ondulosa en contacto transicional con 2m de arenisca lodosa con laminación ondulosa y tenue laminación horizontal en contacto neto con lodolita carbonosa de 1m en contacto neto con 2.8m de arenisca lodosa con laminas carbonosas algo bioturbada con laminación ondulosa (Lo) en contacto transicional con lodolita arenosa con laminación lenticular de arena fina. En contacto neto con carbón de 3.15m

235.23-213: contacto neto con lodolita gris media que gradada transicionalmente a lodolita arenosa hacia el techo por 4m en contacto neto con carbón de 3.8m en contacto neto con lodolita carbonosa de 50 cm. en contacto neto con 3.5m de lodolita gris maciza a la base con algunos restos de plantas que gradada a lodolita arenosa al techo, en contacto neto con una torbanita de 20cm en contacto neto con lodolita gris arenosa con fragmentos de plantas por 2.8m , en contacto neto con arenisca de grano medio, gris clara con intraclastos lodosos y maciza por 7.5m

213- 202.4 contacto neto con 9.m de lodolita gris media con fragmentos de plantas que a la base aparece con una tenue laminación horizontal y que transicionalmente se enriquece en arena al techo y aparece con laminación lenticular y algo bioturbada (Llb) en contacto transicional con arenisca lodosa gris clara de tamaño fino con laminación ondulosa (Ao) por 1.6m.

202.4-194.08 contacto neto con lodolita gris media de 5 m que se enriquece en arena al techo con laminación lenticular y tenue laminación horizontal, con algunas láminas de siderita, en contacto transicional con 2.4m de arenisca fina, gris clara con algunas laminas carbonosas y con laminación ondulosa, en contacto neto con 8cm de shale carbonoso en contacto neto con 10 cm. de arenisca fina con laminación lenticular, en contacto neto con 20 cm. de lodolita arenosa, en contacto neto con torbanita por 52 cm.

194.08-175 Contacto neto con 4m de lodolita gris media con laminas de siderita que se enriquece en arena al techo, laminación lenticular (LI)m, en contacto neto con 20 cm. de lodolita negra carbonosa en contacto neto con carbón de 60 cm. , en contacto neto con lodolita arenosa por 20cm en contacto neto con arenisca fina, gris clara bioturbada con laminación ondulosa por 1m en contacto neto con lodolita por 8m, gris media que grada a lodolita arenosa con laminación lenticular, calcara al centro por 50 cm., en contacto neto con carbón de 20 cm. en contacto neto con lodolita arenosa por 1m, en contacto neto con arenisca fina con laminas carbonosas y con laminación lenticular y ondulosa, en contacto neto con carbón 1m en contacto neto y bioturbado con una lodolita carbonosa (Sh).

175-148 Contacto neto con 9m de arenisca media, gris clara, maciza, en contacto neto con lodolita gris clara con algunos fragmentos de plantas que transicionalmente se enriquece en arena al techo y aparece con laminación lenticular (LI) por 4m, en contacto neto con 1m de arenisca maciza en contacto neto con 1.5 m de lodolita arenosa bioturbada con laminación lenticular (LI), en

contacto neto con 60cm de arenisca media maciza, en contacto neto con 8m de lodolita gris arenosa que aparece brechada los últimos 4m, en contacto neto con 30cm de lodolita carbonosa, en contacto neto con lodolita gris media arenosa al techo con laminación lenticular por 3.6m.

148-124 Contacto neto con 20cm de shale carbonoso (Sh), en contacto neto con carbón de 1m en contacto neto con 20 cm. de shale carbonoso (Sh), en contacto neto con lodolita gris media que transicionalmente se enriquece en arena al techo con laminación lenticular (LI) por 3m, en contacto neto con arenisca media, maciza por 1m en contacto neto con 30 cm. de shale carbonoso (sh), en contacto neto con 40cm de torbanita, en contacto neto con 50 cm. de lodolita arenosa en contacto neto con arenisca media maciza por 2m en contacto neto con lodolita arenosa de 4.3m con laminación lenticular (LI), laminación ondulosa (Lo), y bioturbada, en contacto transicional con 2m de arenisca fina con laminación ondulosa algo bioturbada (Aob) y tenue laminación horizontal (Ah), en contacto neto con 2.0m de lodolita arenosa con laminación lenticular (LI), en contacto transicional con 2.5m de arenisca fina con laminación ondulosa (Ao), en contacto neto con 3m de lodolita arenosa al techo, en contacto neto con 3.6m de arenisca media maciza.

124-96 Contacto neto con 20cm de lodolita carbonosa, en contacto neto con manto de carbón de 6m en contacto neto con 20cm de lodolita carbonosa en contacto neto con 3m de lodolita gris media con restos de planta que se enriquece en arena transicionalmente al techo, en contacto neto con lodolita gris parda con algunos nódulos de siderita con abundantes restos de gasterópodos por 4m en contacto neto con arenisca media maciza por 2m, contacto neto con lodolita gris media que se vuelve arenosa al techo con laminación lenticular (LI) y laminación horizontal (Lh) por 8m en contacto neto con 2m de arenisca media maciza, en contacto neto con 3m de lodolita arenosa con laminación lenticular.

96-77 Contacto neto con 20cm de shale carbonoso, en contacto neto con carbón de 1m en contacto neto con lodolita gris media de 9m con abundantes fragmentos de plantas que gradua transicionalmente a lodolita arenosa al techo con laminación lenticular (LI), en contacto transicional con arenisca fina, lodosa con laminación ondulada (Ao), por 3m, en contacto neto con 1m de lodolita arenosa, en contacto neto con arenisca fina con laminación ondulosa por 1.5m.

77-59 contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular por 1m, en contacto neto con carbón de 4m en contacto neto con 10cm de shale carbonoso en contacto neto con 4m de una secuencia intercalada de lodolita arenosa y arenisca lodosa en espesores de 20 a 50 cm., que comienza en lodolita y termina en lodolita en contacto neto con 2m de arenisca fina ondulosa en contacto transicional con 4 m de lodolita arenosa con laminación lenticular, en contacto neto con torbanita de 10cm en contacto neto con 1m de lodolita fosilífera en contacto neto con 4 m de lodolita arenosa con laminación lenticular y bioturbada, en contacto neto con 2m de arenisca media maciza, en contacto neto con 20cm de shale carbonoso

59-40 Contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular delgada, en contacto neto con torbanita de 30cm en contacto neto con lodolita arenosa por 50cm en contacto neto con arena maciza de 2m, en contacto neto con lodolita de 20cm en contacto neto con carbón de 1m en contacto neto con shale carbonoso de 20cm e contacto neto con arena maciza de 1m, en contacto neto con lodolita fosilífera de 1m, en contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular de 3m en contacto neto con carbón de 1.5m en contacto neto con shale carbonoso de 30cm en contacto neto con carbón de 50cm, en contacto neto con una secuencia de 8m que parte de una lodolita gris que transicionalmente se enriquece en arena al techo con laminación lenticular (LI) pasa a arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao) y tenue laminación horizontal (Ah) y termina en arenisca maciza.

40-20 Contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular, bioturbada a la base por 6m en contacto neto con un carbón de 1.8m, en contacto neto con un paquete de 6m que comienza con una lodolita que gradúa a lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) al techo y transicionalmente pasa a arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao), en contacto neto con lodolita arenosa con restos de plantas y laminación lenticular (LI) por 2m, en contacto neto con carbón de 4.2m.

5.1.2 POZO 10404

(ver anexo 3)

352-325 Lodolita gris media con fragmentos de planta y lentes arenosos (LI) por 1m en contacto neto con carbón de 3.85m en contacto neto con 13m de lodolita gris media con laminas de siderita que se enriquece en arena al techo y aparece con laminación lenticular (LI) en contacto neto con 50cm de arenisca fina, lodosa con laminación ondulosa (Ao), en contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular (LI). en contacto neto con 2m de arenisca ondulosa en contacto neto con 30cm de lodolita arenosa con laminación horizontal (Lh)

325-285 Contacto neto con 8m de arenisca media, gris clara con laminas carbonosas, maciza en contacto transicional con 1m de arenisca lodosa de grano fino con laminación ondulosa (Ao), en contacto transicional con 60cm de lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) en contacto neto con carbón de 4m, en contacto neto con 2m de lodolita arenosa en contacto neto con un paquete de 6m granodecreciente que va de arenisca lodosa con laminas carbonosa y laminación ondulosa (Ao), en contacto transicional con lodolita arenosa con laminación lenticular en contacto transicional con lodolita carbonosa con nódulos de Siderca en contacto neto con carbón de 3m, en contacto neto con 5m de lodolita arenosa con laminación lenticular que transicionalmente pierde arena al techo y aparece en contacto transicional con 1m de lodolita carbonosa en contacto neto con carbón de 1.5m.

285-264 Contacto neto con 4m de lodolita gris parda con nódulos de siderita y restos de gasterópodos en contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular y en algunos sectores aparece calcárea y con venas rellenas de calcita, por 7m, en contacto neto con lodolita carbonosa de 30cm en contacto neto con 1m de lodolita fosilífera en contacto neto con 1,2m de lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) , en contacto neto con 2m de lodolita fosilífera en contacto neto con 50cm de lodolita arenosa lenticular en contacto neto con torbanita de 50cm.

264-242 En contacto neto con arenisca media maciza con algunas láminas carbonosas por 5m, en contacto neto transicional con arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao) por 50cm en contacto transicional con lodolita arenosa con laminación lenticular (LI), en contacto neto con 1m de arenisca lodosa ondulosa y bioturbada, en contacto neto con lodolita arenosa de 50cm con laminación lenticular (LI) en contacto neto con 40 cm. de arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao), en contacto neto con carbón de 1m en contacto neto con 1m de arenisca de inyección en contacto neto con 50cm de lodolita carbonosa, en contacto transicional con lodolita fosilífera por 40cm en contacto transicional con lodolita arenosa lenticular en contacto transicional con 1m de arenisca lodosa con laminación ondulosa y bioturbada en contacto transicional con 2m de arenisca media maciza, en contacto neto con 10 cm. de lodolita carbonosa en contacto neto con carbón de 50 cm. en contacto neto con 2m de arenisca media maciza con laminas carbonosas .

242-219 Contacto neto con una secuencia de 6m granocreciente que parte de una lodolita gris que pasa a lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) y que transicionalmente pasa a arenisca lodosa con laminación ondulosa, en contacto transicional con arenisca maciza, en contacto neto con 40 cm. de lodolita arenosa con laminación lenticular en contacto transicional con 3m de arenisca fina lodosa con laminación horizontal, en contacto neto con lodolita arenosa de 1m en

contacto neto con lodolita fosilífera por 2m en contacto neto con lodolita que gradada a lodolita arenosa (LI), en contacto neto con 3m de arenisca de inyección

219-184 Contacto neto con carbón de 5,8m en contacto neto con 30cm de lodolita arenosa con laminación lenticular que gradada transicionalmente a arenisca fina lodosa con laminación ondulosa (Ao), en contacto transicional con 1m de arenisca maciza, en contacto con lodolita de 3m que gradada a lodolita arenosa al techo con laminación lenticular en contacto transicional con 4m de arenisca fina con laminación ondulosa (Ao) y laminación horizontal (Ah) en contacto transicional con 16m de arenisca media maciza con algunos intraclastos carbonosos.

184-136 Contacto neto con 30cm de lodolita carbonosa maciza en contacto neto con 1m de arenisca lodosa con laminación horizontal y lenticular (Ah, Al), en contacto neto con 50cm de lodolita carbonosa en contacto neto con 13m de carbón en contacto neto con 2m de lodolita con laminación horizontal y restos de plantas, en contacto neto con 1m de carbón, en contacto neto con 6m de lodolita gris que se enriquece en arena al techo con laminación lenticular en contacto transicional con arenisca lodosa por 1m, de ahí en adelante se presenta una repetición de lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) con arenisca con laminación ondulosa (Ao) en contactos transicionales por 12m en contacto transicional con 4m de arenisca media maciza.

136-101 Contacto neto con 60cm de carbón en contacto neto con lodolita fosilífera por 1m en contacto neto con 1m de arenisca fina, lodosa con laminación ondulosa (Ao), en contacto neto con 50cm de lodolita fosilífera con bivalvos en contacto neto con lodolita de 2m lodosa a la base con restos de plantas que se enriquece en arena al techo y aparece con laminación lenticular (LI) en contacto neto con 1m de arenisca maciza, en contacto neto con 1,5m de lodolita arenosa con laminación lenticular que transicionalmente pasa a arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao) en contacto neto con 30cm torbanita, en contacto neto con 20cm de shale carbonoso, en contacto transicional con lodolita arenosa con laminación horizontal

por 2m en contacto transicional con 2m de arenisca fina , lodosa, con laminación ondulosa (Ao), en contacto neto con shale carbonoso, en contacto neto con 6m de carbón en contacto neto con un paquete de 7m granocreciente que parte de una lodolita que gradúa a lodolita arenosa, pasa por arenisca lodosa y termina en arena maciza.

101-54 Contacto neto con 3m de arenisca fina, lodosa con algunas laminas de siderita con laminación ondulosa (Ao) y laminación horizontal (Ah) en contacto transicional con lodolita arenosa con laminación lenticular, en contacto neto con 1m de arenisca maciza, en contacto neto con 30cm de shale carbonoso, en contacto neto con 1m de arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao), en contacto transicional con 50cm de lodolita arenosa en contacto neto con 1m de arenisca lodosa en contacto transicional con 4m de lodolita arenosa con laminación lenticular, en contacto neto con 1.5m de arenisca media maciza, en contacto neto con 60 cm. de shale carbonoso, en contacto neto con carbón de 2,7m, en contacto neto con lodolita gris oscura que se enriquece en arena transicionalmente al techo por 6m con laminación lenticular y algo bioturbada (LI) en contacto neto con 5m de arena media maciza con algunas laminas carbonosas en contacto neto con carbón de 10cm en contacto neto con arenisca media maciza con intraclastos carbonoso por 7m en contacto neto con 20cm de carbón

54-28 contacto neto con shale carbonoso macizo de 20cm en contacto neto con 40cm de carbón, en contacto neto con lodolita negra con nódulos sideríticos fosilífera en contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) en contacto transicional con 3m de arenisca fina, lodosa con laminación ondulosa y bioturbada (Aob) en contacto transicional con arenisca media maciza de 2.3m en contacto neto con un paquete de lodolita que en algunas partes se aprecia arenosa, pero es poco clara debido a que esta brechada.

5.1.3 POZO O9709

(ver anexo 4)

306-300. 4m Arenisca lodosa gris clara de tamaño de grano fino, compuesta de cuarzo, feldespato, chert, líticos, de base a techo presenta la siguiente laminación : laminación horizontal inclinada, laminación ondulosa, laminación flaser y tenue laminación lenticular, en contacto transicional con 2m de lodolita arenosa que de base a techo aparece con laminación lenticular de arena gris clara de tamaño de grano fino hacia el techo los lentes de arena disminuyen, hasta encontrar una lodolita sin estructuras con alto contenido de micas y materia orgánica disgregada.

300-292. Contacto neto con 6m de Arenisca gris clara de tamaño de grano medio compuesta de: cuarzo, feldespato, chert, líticos, con algunos intraclastos de micrita, y delgadas laminas carbonosas de aproximadamente 2 cm. . hacia el metro 295 aparecen 80cm de esta misma arena pero con cemento calcáreo. Estructura interna: de base a techo aparece con laminación cruzada plana, laminación horizontal y maciza en contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular por 1m.

292-285 En contacto neto con 3m Arenisca gris clara de tamaño de grano medio compuesta de chert, cuarzo, feldespato, líticos ; con estructuras internas que de base a techo aparecen así : tenue laminación horizontal y maciza en contacto neto con 3m lodolita gris media que se enriquece en arena transicionalmente al techo, con algunos restos de plantas y que a medida que se enriquece en arena aparece con laminación lenticular marcada con laminas de arena de grano fino en contacto transicional con 2m de arenisca lodosa de tamaño de grano fino con laminación ondulosa y laminación flaser.

285-279 En contacto neto con 1m de lodolita gris media con restos de plantas y que se enriquece en arena transicionalmente al techo, con una tenue laminación

lenticular de laminas de arena de grano muy fino en contacto neto con 50 cm. de carbón en contacto neto 50 cm. de shale carbonoso en contacto neto con 3m de carbón.

279-266. En contacto neto con 8m lodolita gris medio que se enriquece en arena transicionalmente al techo, hacia la base es mas lodosa con restos de plantas y nódulos sideriticos, hacia el tope aparece con láminas de arena de grano muy fino, con laminación lenticular en contacto neto con 5m de lodolita negra muy carbonosa.

266-255. en contacto neto con 5m de lodolita gris media con algunos restos de hojas, alto contenido de moscovita que se enriquece en arena transicionalmente al techo con laminación lenticular y tenue laminación ondulosa, bioturbada en contacto transicional con 2m de arenisca lodosa de composición cuarzosa, feldespatos con algunos restos de líticos con laminación ondulosa, laminación flaser y laminación lenticular en contacto transicional con 5m de lodolita con laminación lenticular en contacto transicional con 1m de arenisca lodosa de grano fino con laminación ondulosa.

255-242 En contacto neto con 1m de lodolita gris medio con laminación lenticular muy delgada de arena de grano muy fino, , en contacto neto con 9 m de carbón a 245 aparece un parting de lodolita carbonosa por 50 cm. y luego continua el carbón por 3m. (Es el mismo manto.)

242-235. En contacto neto con 2m de lodolita gris medio con restos de plantas y alto contenido de moscovita en contacto neto con 1m de arenisca lodosa de grano fino, compuesta de cuarzo feldespatos, moscovita, chert y líticos, en contacto neto con torbanita de 50 cm. en contacto neto con 1m de lodolita gris media que gradua transicionalmente a lodolita arenosa con laminación lenticular en contacto transicional con 1m de arenisca lodosa de grano fino con laminación ondulosa y laminación flaser al techo en contacto neto con lodolita gris clara que gradua

transicionalmente a lodolita arenosa por 50 cm. en contacto transicional con arenisca lodosa de grano fino con marcada laminación ondulosa y tenue laminación cruzada por 3m.

235-230 En contacto neto con 2m lodolita que se vuelve arenosa al techo en contacto transicional con 1m de arenisca lodosa de grano fino con laminación ondulosa y laminación flaser. En contacto neto con paquetes de la misma lodolita y la misma arena por 2m mas.

230-207 En contacto neto con lodolita gris media con restos de plantas disgregadas que se enriquece en arena transicionalmente al techo con laminación lenticular de arena gris de tamaño fino en contacto transicional con arenisca lodosa de 4m, compuesta de cuarzo feldespatos, moscovita y chert, con laminación flaser, laminación ondulosa, laminación lenticular muy delgada de lodolita y tenue laminación horizontal al techo, en contacto transicional con 12m de arenisca gris clara de grano medio de igual composición que la arenisca anterior solo que con algunos intraclastos sideríticos, con tenue laminación horizontal y maciza hacia el tope.

207-203 Contacto neto con 50 cm. lodolita gris clara arenosa al techo en contacto transicional con arenisca lodosa de grano fino con laminación ondulosa por 1m en contacto neto con lodolita gris media con restos de hojas que hacia el techo se vuelve mas carbonosa por 1m.

203-188 En contacto neto con 3m de carbón en contacto neto con lodolita que transicionalmente se enriquece en arena al tope con laminación lenticular delgada, y alto contenido de moscovita en contacto transicional con 1m de arenisca lodosa con laminación ondulosa y altamente bioturbada en contacto neto con 50 cm. de lodolita arenosa al techo bioturbada y con lentes de arena en contacto transicional con 3m de arena gris clara de tamaño fino, con laminación ondulosa y algunas

laminas carbonosas en contacto neto con 6,50 m de lodolita gris parda con nódulos sideríticos y con restos de gasterópodos.

188-176 Contacto neto con arenisca gris clara de grano medio compuesta de cuarzo, feldespato, chert que a la base aparece maciza y al techo presenta una tenue laminación cruzada en contacto transicional con arenisca lodosa de grano fino con laminación ondulosa en contacto neto con 30 cm. de lodolita carbonosa en contacto neto con 50 cm. de carbón en contacto neto con lodolita carbonosa por 10 cm. en contacto neto con 6m de carbón.

176-163 en contacto neto con 4m de lodolita carbonosa que se va volviendo gris media al tope y aparece en contacto transicional con 7m de lodolita gris con restos de plantas que gradúa transicionalmente a lodolita arenosa con laminación lenticular en contacto transicional con arenisca lodosa de grano fino con laminación ondulosa y laminación flaser .

163-153 contacto neto con lodolita gris media que se enriquece en arena al techo con laminación lenticular (Ll) por 6m con algunas intercalaciones de lodolita calcárea, en contacto transicional con 1m de arenisca fina lodosa con laminación ondulosa (Ao) en contacto neto con 30cm de lodolita arenosa en contacto transicional con 1m de arenisca lodosa con laminación ondulosa, en contacto neto con 50cm de lodolita arenosa con laminación lenticular en contacto transicional con arenisca lodosa de 70cm con laminación ondulosa (Ao), en contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular y bioturbada (Llb)

153-136 Contacto neto con arenisca de grano medio, maciza por 1m, en contacto neto con 3m de lodolita gris media con fragmentos de plantas que transicionalmente se enriquece en arena al techo, en contacto neto con 1m de arenisca media con tenue laminación horizontal en contacto transicional con 2m de arenisca lodosa, fina con laminación horizontal y laminación ondulosa , algo

bioturbada, en contacto transicional con 3m de lodolita arenosa que se vuelve lodosa al techo, en contacto neto con 50cm de arenisca maciza, en contacto neto con 10cm de lodolita carbonosa en contacto neto con 70cm de arenisca media maciza en contacto transicional con 1.5m de arenisca fina lodosa con laminación ondulosa (Ao), en contacto neto con 40cm de carbón.

136-98 Contacto neto con 20cm de shale carbonoso en contacto neto con 15.8m de carbón en contacto neto con lodolita gris media de 13m con restos de plantas que se enriquece en arena al techo en donde aparece con lentes de arena (LI), en contacto transicional con arenisca fina lodosa con laminación ondulosa y algo bioturbada por 9m (Aob)

98-49 Contacto neto con 8m de lodolita gris medio con abundantes fragmentos de plantas y laminas de siderita que, la lodolita grada a lodolita arenosa hacia el techo y aparece con laminación lenticular de lentes de arena fina, en contacto neto con carbón de 6m, en contacto neto con lodolita carbonosa de 30cm que pasa a lodolita arenosa con laminación lenticular por 10m en contacto neto con carbón de 1m, en contacto neto con 20cm de shale carbonoso en contacto transicional con lodolita arenosa por 1.5m en contacto transicional con arenisca lodosa con laminación ondulosa por 1m en contacto neto con 6m de lodolita maciza que grada a lodolita arenosa al techo, con laminación lenticular (LI), en contacto transicional con 2m de arenisca lodosa con laminación ondulosa , en contacto neto con 9m de lodolita gris media que se vuelve arenosa al techo con laminación lenticular y algo bioturbada, en contacto transicional con 1m de arenisca fina lodosa con laminación horizontal (Ah).

49-36 Contacto neto de 3m de lodolita arenosa con laminación lenticular en contacto neto con 1m de arenisca media, maciza en contacto neto con 2m de lodolita que grada a lodolita arenosa con laminación lenticular, en contacto transicional con arenisca fina lodosa, con laminación horizontal (Ao) y ondulosa (Ao) en contacto transicional con arenisca maciza por 4m.

5.1.4 POZO EST 05721

(ver anexo 5)

300-265.7 Lodolita gris media con restos de plantas que transicionalmente se enriquece en arena hacia el techo y aparece con laminación lenticular (LI) por 4m, en contacto neto con 1m de lodolita carbonosa maciza con nódulos de siderita, en contacto neto con 60cm de carbón, en contacto neto con una secuencia granocreciente de 12m en la que aparece una lodolita carbonosa que transicionalmente pasa a lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) , arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao) y luego vuelve y se repiten la misma secuencia 2 veces hasta que aparece en contacto neto con un shale carbonoso de 60cm en contacto neto con carbón de 3.8m en contacto neto con una secuencia granocreciente de 4m de lodolita arenosa con LI que transicionalmente pasa a arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao) en contacto neto con 4m de lodolita gris media arenosa al techo, en contacto neto con 2m de carbón.

265.7-241 Contacto neto con una secuencia granodecreciente de 6m que comienza en una arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao) y tenue laminación Flaser (Af) en contacto transicional con una lodolita arenosa que se vuelve lodosa hacia el techo con laminación lenticular, algunas láminas de siderita y restos de plantas, en contacto neto con un carbón de 6.7m, en contacto neto con una secuencia granocreciente de 5m compuesta por una lodolita que grada a lodolita arenosa y transicionalmente termina en una arenisca lodosa con laminación ondulosa, en contacto neto con 4m de lodolita arenosa con laminación lenticular (LI)

241-227 Contacto neto con un paquete de 1.5m granodecreciente que parte de una arenisca maciza con intraclastos lodosos a la base, que transicionalmente pasa a arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao) , el mismo paquete se repite

en dos intervalos mas en espesores de 4 y 7m en contacto transicional ambos con una lodolita arenosa, en contacto neto con carbón de 2.10m

227-206 Contacto neto con shale carbonoso de 20cm en contacto transicional con una secuencia granocreciente de 5 m que parte de una lodolita que gradada a lodolita arenosa con laminación lenticular y transicionalmente pasa a arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao), en contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) en contacto neto con una secuencia granocreciente de 9m que parte de una lodolita carbonosa que pasa transicionalmente a lodolita arenosa con laminación lenticular (LI), y termina en una arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao) el mismo patrón se repite en un espesor de 3m en contacto neto con una torbanita de 10 cm., en contacto neto con una arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao) por 1m, en contacto neto con 50 cm. de Shale carbonoso.

206-190 Contacto neto con una secuencia granodecreciente de 15 m que comienza en una arenisca maciza con algunas laminas carbonosas intraclastos lodosos hacia la base en contacto transicional con arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao) algo bioturbada en contacto transicional con lodolita arenosa con laminación lenticular que pasa a lodolita carbonosa con nódulos de siderita y alto contenido en fragmentos de plantas, en contacto neto con torbanita de 20cm

190-156 Contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) que transicionalmente pasa a arenisca lodosa fina, con laminación ondulosa (Ao) y tenue laminación flaser (Af) por 4m, en contacto neto con carbón de 9m en contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular por 2m en contacto neto con shale muy carbonoso por 4m en contacto neto con una secuencia granocreciente que va de lodolita arenosa con laminación lenticular a arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao) que se repite en dos paquetes de 4m cada uno en contacto neto con un shale carbonoso de 1m.

156-118 Contacto neto con una secuencia granodecreciente de 9m que parte de una arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao) y tenue laminación flaser (Af), en contacto transicional con lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) que hacia el techo se vuelve lodosa y maciza (Lm), en contacto neto con torbanita de 20cm en contacto neto con 13m de lodolita gris media con alto contenido en restos de plantas que se enriquece en arena al techo y aparece con laminación lenticular de arena fina (LI), en contacto neto con carbón 1.4m en contacto neto con 50cm de shale carbonoso, en contacto neto con carbón de 30cm en contacto neto con una secuencia granocreciente de 4m que transicionalmente pasa de lodolita arenosa a arenisca maciza, en contacto neto con 30cm de arenisca lodosa con laminación ondulosa, en contacto neto con lodolita con laminación lenticular por 20 cm., en contacto neto con torbanita de 20cm en contacto neto con arenisca ondulosa por 15cm en contacto neto con torbanita de 25cm en contacto neto con arenisca ondulosa por 10cm en contacto neto con lodolita con laminación lenticular por 3m.

118-101 Contacto neto con un paquete granodecreciente de 13m que comienza con una arenisca maciza (Am) con tenue laminación horizontal y con intraclastos lodosos hacia la base, en contacto transicional con arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao) algo bioturbada en contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular, bioturbada (LIb), que pasa transicionalmente a lodolita maciza, al techo, en contacto neto con carbón de 2m.

101-71 Contacto neto con 30cm de shale carbonoso, en contacto neto con 1.5m de carbón, en contacto neto con lodolita gris media que transicionalmente gradada a lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) en contacto transicional con arenisca lodosa de grano fino con laminación ondulosa (Ao), por 3m en contacto neto con lodolita gris medio arenosa con laminación lenticular por 4m, en contacto neto con arenisca de 12m, tamaño de grano medio, maciza, en contacto neto con 1m de lodolita arenosa con laminación lenticular, en contacto neto con arenisca lodosa de

2m con laminación ondulosa (Ao) que transicionalmente pasa a lodolita arenosa con laminación lenticular (LI), en contacto neto con 20cm de carbón.

71-28 Contacto neto con lodolita carbonosa por 10cm en contacto neto con 30cm de carbón, en contacto neto con 16m de lodolita arenosa, en algunos lados se alcanza a observar laminación lenticular alargada, pero hacia el techo esta brechada y aparece maciza, en contacto neto con 30cm de carbón en contacto neto con 8m de lodolita arenosa con restos de plantas y laminación lenticular (LI), en contacto neto con una secuencia granodecreciente de 7m que parte de una arenisca media, maciza con intraclastos lodosos hacia la base, en contacto transicional con arenisca fina, lodosa con laminación ondulosa (Ao), en contacto transicional con lodolita arenosa con laminación lenticular (LI), en contacto neto con una arenisca lodosa de 2m, en contacto transicional con arenisca maciza por 3m en contacto neto con lodolita arenosa con laminación horizontal (Lh) por 4m.

5.1.5 POZO TAB 03054

(ver anexo 6)

348.49-324.94 Lodolita gris media a la base arenosa con laminación lenticular y hacia el techo maciza, por 6m en contacto neto con carbón de 1m, en contacto neto con lodolita gris parda fosilífera por 2m en contacto neto con una arenisca maciza de 1m, en contacto neto con 2m de lodolita fosilífera en contacto neto con arenisca fina de 5m con laminación ondulosa (Ao), en contacto transicional con 1m de arenisca maciza (Am), en contacto neto con arenisca fina ondulosa por 1m en contacto transicional con lodolita arenosa con laminación lenticular, por 3m en contacto neto con carbón de 3.8m.

324.94-289 contacto neto con 6m de lodolita gris media que transicionalmente pasa a lodolita arenosa con laminación lenticular de arena fina (LI), en contacto neto con carbón de 4m en contacto neto con 20cm de lodolita carbonosa , en contacto neto con 1m de lodolita arenosa en contacto neto con carbón de 60cm en

contacto neto con una secuencia granocreciente de lodolita arenosa gris media con laminación lenticular (LI) en contacto transicional con arenisca lodosa gris clara con laminación ondulosa (Ao)., en contacto neto con 2m de lodolita arenosa con laminación lenticular (LI), en contacto neto con carbón de 10m en contacto neto con lodolita de 2m que gradúa a lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) en contacto transicional con arenisca lodosa de 3m con laminación ondulosa y tenue laminación flaser (Af).

289-257 Contacto neto con lodolita gris oscura con restos de plantas que gradúa a lodolita arenosa con laminación lenticular por 2m, en contacto neto con carbón de 3m en contacto neto con 9m de lodolita gris media que hacia el techo se convierte en lodolita arenosa con laminación lenticular (LI), en contacto neto con 3.2m de carbón en contacto neto con 1m de shale carbonoso, macizo con nódulos de siderita, en contacto neto con un paquete granocreciente que parte de una lodolita que transicionalmente pasa a lodolita arenosa con laminación lenticular y algo bioturbada (LIb) por 7m, en contacto transicional con 3m de arenisca lodosa, fina con laminación ondulosa y bioturbada (Aob).

257-221 Contacto neto con lodolita arenosa por 2m, en contacto neto con arenisca media maciza (Am) de 2m en contacto neto con 3m de lodolita que gradúa a lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) en contacto neto con 1m de arenisca fina, lodosa con laminación ondulosa (Ao), en contacto neto con lodolita carbonosa de 50cm, en contacto neto con 2,4m de carbón, en contacto neto con lodolita arenosa por 2m en contacto neto con arenisca ondulosa por 1m en contacto neto con lodolita arenosa por 1m en contacto neto con 1.2m de carbón, en contacto neto con una secuencia granocreciente que va de lodolita arenosa a arenisca lodosa con laminación lenticular y horizontal en las lodolitas y ondulosa y flaser en las arenas por 20m.

221-167 Contacto neto con carbón de 3.6m en contacto neto con lodolita gris media con restos de plantas que grada a lodolita arenosa hacia el techo, con laminación lenticular por 8m en contacto neto con carbón de 1m en contacto neto con lodolita arenosa de 1m, en contacto neto con arenisca fina ondulosa de 1m, en contacto neto con 3m de lodolita arenosa con laminación lenticular, en contacto neto con arenisca fina con laminación ondulosa en contacto neto con 50cm de shale carbonoso, en contacto neto con 6.2m de carbón en contacto neto con 1m de lodolita carbonosa con nódulos de siderita en contacto neto con 1m de arenisca lodosa con laminación ondulosa, en contacto neto con 20 cm. de lodolita carbonosa en contacto neto con una secuencia granocreciente que parte en una lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) por 9m en contacto transicional con 3m de arenisca lodosa con laminación ondulosa (Ao). La secuencia anterior con las mismas características se repite en un paquete de 6m.

167-158.82 contacto neto con 1m de carbón en contacto neto con 2m de lodolita gris media con restos de plantas que grada transicionalmente a lodolita arenosa, con laminación lenticular, en contacto transicional con arenisca lodosa de 4m , de tamaño fino con laminación ondulosa, en contacto neto con 1m de lodolita arenosa con laminación lenticular en contacto neto con 1m de carbón en contacto neto con 60cm de shale carbonoso macizo con nódulos de siderita.

158.82 -106.87 Contacto neto con 6m de arenisca fina, gris clara, lodosa con laminación ondulosa en contacto transicional con 6m de lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) en contacto neto con arenisca fina por 7m con laminación ondulosa y algo bioturbada (Ao), en contacto transicional con 2m de lodolita arenosa con laminación lenticular que al techo es mas lodosa, en contacto neto con 1m de carbón, en contacto con 5m de lodolita arenosa con laminación lenticular y algo bioturbada, en contacto neto con 2m de carbón, en contacto neto con 2m de arenisca lodosa con laminación ondulosa, en contacto transicional con lodolita arenosa con laminación lenticular por 1m en contacto neto con 8m de carbón

106.87-88 Contacto neto con lodolita gris media que transicionalmente grada a lodolita arenosa al techo, con laminación lenticular (LI) por 5m que transicionalmente pasa a arenisca lodosa con laminación ondulosa por 7m, en contacto neto con lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) por 2m, en contacto transicional con arenisca lodosa fina con laminación ondulosa (Ao).

88-53 Contacto neto con 8m de lodolita gris media con laminas de siderita que transicionalmente pasa a lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) en contacto neto con 60cm de carbón en contacto neto con 30 cm. de lodolita carbonosa, en contacto neto con 50 cm. de carbón, en contacto neto con 3m de lodolita arenosa con laminación lenticular, en contacto neto con 30cm de torbanita, en contacto neto con lodolita gris media que se enriquece en arena al techo, con laminación lenticular (LI) por 5m en contacto neto con carbón de 2m en contacto neto con 10 cm. de lodolita carbonosa, en contacto neto con 50 cm. de carbón, en contacto neto con 40 cm. de lodolita arenosa con laminación horizontal (Lh), en contacto neto con 8m de arenisca fina, lodosa con laminación ondulosa y bioturbada, en contacto neto con 4m de lodolita arenosa con laminación lenticular.

53-36 Contacto neto con 1m de arenisca media maciza, en contacto neto con arenisca fina, lodosa con laminación flaser (Af), ondulosa (Ao), y horizontal que esta en contacto transicional con una arenisca media con tenue laminación horizontal (Ah) por 6m en contacto neto con 5m de lodolita gris medio, que aparece con laminas de arena al techo, en contacto neto con carbón de 2.8m en contacto neto con shale carbonoso de 1m con nódulos de sidrita y restos de plantas.

36-16 Contacto neto con 1m de arenisca fina, gris clara, lodosa con laminación ondulosa y bioturbada (Ao), en contacto neto con una secuencia granocreciente que parte con 5m de lodolita que grada a lodolita arenosa al techo con laminación ondulosa, en contacto transicional con 7m de arenisca fina, lodosa con laminación

horizontal y ondulosa, en contacto neto con 1m de lodolita arenosa con laminación horizontal, en contacto neto con 1m de arenisca lodosa, ondulosa y bioturbada (Aob) en contacto neto con 5m de lodolita arenosa con abundantes fragmentos de plantas y lentes de arena.

5.1.6 POZO BRU 04410

(ver anexo 7)

252-244 8m de lodolita de color gris medio con algunos restos de plantas mal conservadas con alto contenido en moscovita y que grada transicionalmente a lodolita arenosa con laminación lenticular(LI) la lodolita se encuentra bioturbada al centro y al techo(LIb).

244- 236 en contacto neto con 1m de arenisca lodosa de grano fino compuesta de cuarzo, feldespato, chert, líticos y algunos intraclastos lodosos, presenta laminación ondulosa (Ao) a la base y hacia el techo aparece laminación flaser (Af), en contacto neto con 7m de arenisca de grano medio color gris claro de composición cuarzo- feldespática con algunos líticos, generalmente maciza(Am) pero hacia el techo aparece una tenue laminación horizontal inclinada.(Ah)

236-228 en contacto neto con 1m de arenisca lodosa de grano fino con laminación ondulosa y bioturbada (Aob), en contacto neto con 50 cm. lodolita gris media con algunos restos de plantas con tenue laminación horizontal (Lh), en contacto neto con carbón de 4m en contacto neto con 2,50 m de lodolita negra carbonosa.

228-216 en contacto transicional con 5m de lodolita gris media o restos de plantas, que transicionalmente se enriquece en arena al techo mostrando una laminación Lenticular bioturbada(LIb), en contacto transicional con arenisca de 4m lodosa de grano fino de composición cuarzo feldespática y algunos líticos con

laminación ondulosa (Ao), laminación flaser (Af), hacia el techo aparece una tenue laminación horizontal (Ah),

216- 192 en contacto neto con 3m de lodolita gris media que se enriquece en arena transicionalmente al techo con laminación lenticular (LI) de laminas de arena de grano fino en contacto neto con arenisca gris clara de tamaño de grano medio compuesta de cuarzo feldespatos, líticos y chert, maciza que aparece bioturbada al techo por 19m.

192-180 en contacto neto con lodolita negra carbonosa por 50cm, que esta en contacto neto con carbón de 3m ,en contacto neto con 3 m de lodolita negra carbonosa en contacto neto con 4m de lodolita gris media con restos de planta hacia la base que transicionalmente se enriquece en arena hacia el techo con alto contenido de moscovita y laminación lenticular (LI).

180- 165 en contacto neto con lodolita homogénea gris parda de 10m con nódulos sideríticos y alto contenido de gasterópodos en contacto neto con 5m arenisca de grano medio compuesta de cuarzo, feldespatos, chert, y líticos con estructura maciza.

165-140 en contacto neto con 4m de lodolita gris medio con restos de hojas y alto contenido de moscovita que se enriquece en arena transicionalmente al techo con laminación lenticular (LI) en contacto neto con 1m de lodolita negra carbonosa en contacto neto con manto de carbón de 19m.

140-132 en contacto neto con 1m de lodolita arenosa con laminación lenticular (LI) en contacto transicional con 7m de arenisca lodosa de grano fino con laminación ondulosa (Ao) y en algunos sectores laminación Cruzada plana (Acp).

132-126 En contacto neto con 3m de lodolita a la base con restos de plantas, que se enriquece en arena al techo y aparece con laminación lenticular delgada (LI) en

contacto transicional con arenisca lodosa de grano fino con laminación lenticular de lodo gris oscuro (Al), laminación ondulosa (Ao) bioturbada al techo.

126-116 En contacto neto con 10m de lodolita gris clara que a la base es muy lodosa con restos de hojas bien conservadas y transicionalmente empieza a se enriquece en arena al techo, en donde el contenido de materia orgánica también disminuye y la lodolita aparece con laminación lenticular (LI)

116-89 En contacto neto con 23m de arenisca gris claro de tamaño de grano medio compuesta de cuarzo, feldespato, chert y líticos, con intraclastos lodosos y carbonosos al centro de base a techo presenta las siguientes estructuras: tenue laminación horizontal, (Ah) laminación cruzada plana (Acp) y hacia el techo aparece una tenue laminación ondulosa (Ao) también se observan pequeños fragmentos calcáreos de color rosado.

89-79 En contacto neto con 1m de lodolita gris medio arenosa con laminación lenticular (LI) en contacto transicional con arenisca lodosa de 6m con laminación ondulosa (Ao), laminación flaser (Af) y laminación lenticular (Al)

79-70 contacto transicional con 3m de lodolita gris que a la base es arenosa con laminación lenticular (LI) y esta algo bioturbada y hacia el techo aparece maciza (Lm) y con restos de plantas, en contacto neto con lodolita negra carbonosa (Sc) de 1m con nódulos sideríticos en contacto transicional con lodolita gris medio de 4m que se enriquece en arena al techo y aparece con laminación lenticular (LI) delgada-

70-63 En contacto transicional con 2m de arenisca de grano fino lodosa con laminación lenticular de laminas de lodo (Al), laminación ondulosa (Ao) y laminación flaser (Af) en contacto neto con 1m de lodolita negra carbonosa con algunos nódulos sideríticos, en contacto neto con carbón de 4m.

63-53 en contacto neto con 3m de lodolita a shale negro carbonoso con contacto neto con una lodolita de 7m color gris medio que a la base aparece maciza (Lm) con restos de hojas bien conservadas y hacia el techo se enriquece en arena hasta que aparece con una laminación lenticular muy marcada (LI).

53-45 En contacto neto con un carbón de 1 , en contacto neto con 7m de lodolita negra a shale carbonosa (Sc) con algunos nódulos sideríticos

45- 32 En contacto neto con 4m de lodolita gris arenosa con laminación lenticular (LI) y algunos restos de plantas mal conservados con alto contenido de moscovita, en contacto neto con lodolita maciza (Lm) negra carbonosa por 2m en contacto neto con Carbón de 7m.

32-22 En contacto neto con 1m de lodolita negra carbonosa maciza(Lm) en contacto neto con 1m de arenisca lodosa de grano fino con laminación ondulosa (Ao) y laminación Flaser (Af), en contacto neto con 1m de lodolita carbonosa en contacto neto con 3m de Carbón, en contacto neto 2m de lodolita gris medio arenosa con laminación lenticular

5.2 ANÁLISIS FACIAL

El análisis facial consiste en la identificación, clasificación e interpretación de las asociaciones litofaciales encontradas en la Formación Cerrejón.

5.2.1 DESCRIPCION DE LAS ASOCIACIONES LITOFACIALES

Teniendo en cuenta que una litofacies es el conjunto de características físicas, litológicas, estructurales y orgánicas detectables a simple vista y que caracterizan a un cuerpo de roca y lo diferencian de los cuerpos de rocas que estén por encima y por debajo de este. Para los pozos estudiados se identificaron seis asociaciones litofaciales principales:

5.2.1.1 Asociación de litofacies A: Shale negro carbonoso (Sc) a lodolita gris oscura con alto contenido de materia orgánica, generalmente aparece maciza (Lm), pero en ocasiones aparece con una tenue laminación horizontal (Lh) y con laminación lenticular (LI) de láminas de siderita. Cuando la lodolita es carbonosa y está asociada a facies lodosas, sin contenido de arena y hay formación de carbón se interpreta como una llanura supramareal. Cuando la misma lodolita aparece asociada con facies arenosas se interpreta como una llanura de inundación (ver figura 8).

5.2.1.2. Asociación de litofacies B : Corresponde al carbón (c). Se forma en ambientes tranquilos generalmente en zonas de charcas rodeado de áreas con densa vegetación. La interpretación puede variar teniendo en cuenta las litofacies asociadas. Cuando aparece entre facies arenosas se interpreta como una llanura de inundación con desborde o relleno de canal y posterior estabilización de los sistemas fluviales, cuando aparece entre facies lodosas se interpreta como una llanura de mareas. La torbanita (T) generalmente esta asociada a ambientes de ciénaga, donde hay desarrollo de algas. Esta asociación litofacial también puede corresponder a un shale muy carbonoso.

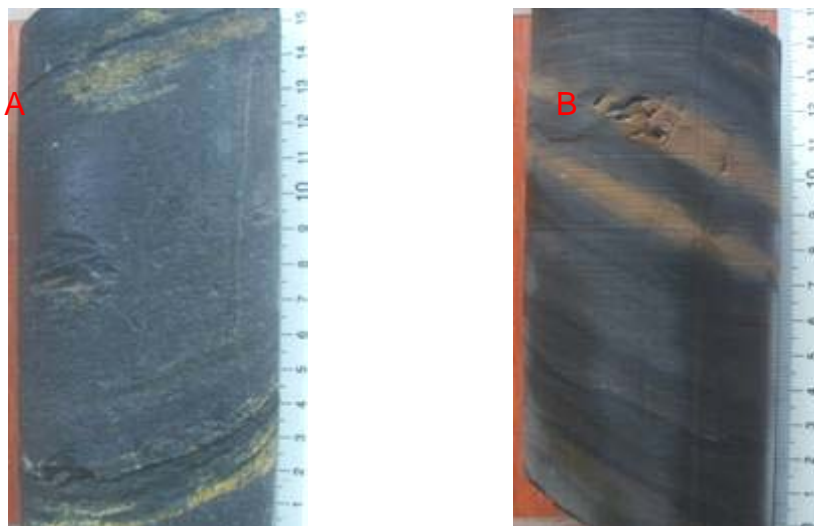


FIGURA 8. Asociación de litofacies A; A. Shale carbonoso con algunas láminas de pirita. B. Lodolita carbonosa con láminas de Siderca y laminación horizontal (Lh)

5.2.1.3 Asociación de litofacies C: Lodolita gris oscura a gris clara con poco o ningún contenido de restos fósiles vegetales fragmentados, que se enriquece en arena transicionalmente al techo, generalmente presenta laminación lenticular (Ll) de arena gris clara de tamaño fino, en algunas ocasiones se aprecia laminación ondulosa (Lo) y laminación horizontal (Lh), en muchas ocasiones aparece bioturbada (Llb). Cuando la lodolita aparece altamente bioturbada y con laminación lenticular muy delgada se interpreta como una llanura de inundación, mientras que cuando aparece con ritmicidad en la laminación (láminas de lodo y arena bien definidas), con poca bioturbación se interpreta como una llanura de mareas (ver figura 9).

5.2.1.4 Asociación de litofacies D: Arenisca gris clara lodosa de tamaño fino a medio. De base a techo aparece con laminación horizontal (Ah), laminación cruzada plana (Acp), laminación ondulosa (Ao), en algunas ocasiones aparece laminación lenticular con bioturbación (Alb) y con laminación flaser (Af). Si es granodecreciente y con contacto neto inferior, corresponde a rellenos de canal cortando llanuras de mareas. Cuando la arenisca aparece en una secuencia granocreciente con marcada bioturbación se interpreta como una llanura de inundación (ver figura 10).

5.2.1.5 Asociación de litofacies E : Arenisca gris clara de tamaño fino a medio generalmente con estructura maciza (Am), y en algunas ocasiones con tenue laminación horizontal (Ah), esporádicamente puede aparecer laminación ondulosa. Cuando la arena aparece en contacto neto con un carbón o unidades lodosas (Lm, Sc) y con presencia de intraclastos carbonosos se interpreta como un relleno de canal de corrientes fluidas (poco contenido de sedimento); si aparecen en contacto

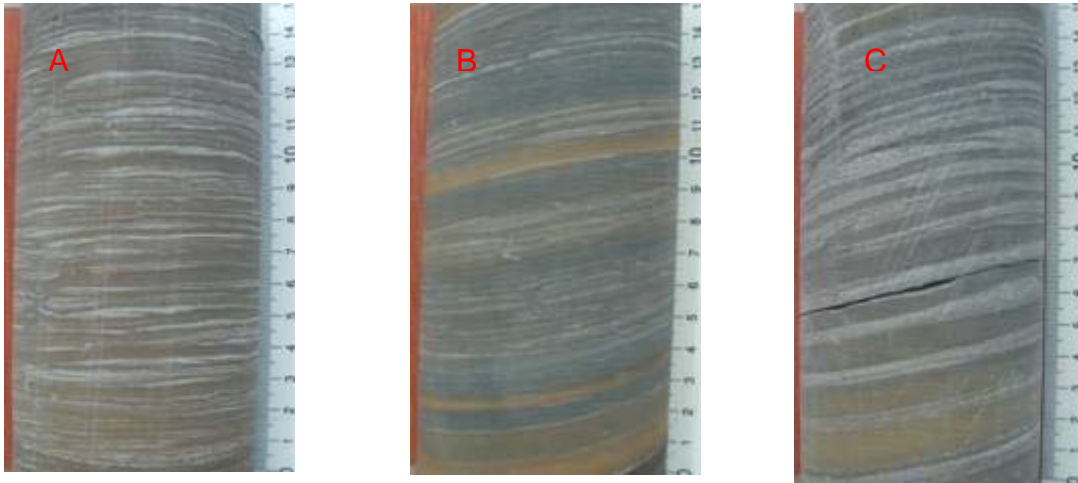


FIGURA 9. Asociación de litofacies C; A..Lodolita con laminación lenticular de arena fina (LI). B. Lodolita con laminación lenticular de arena y laminas de siderita. C. lodolita con laminación horizontal. (Lh)

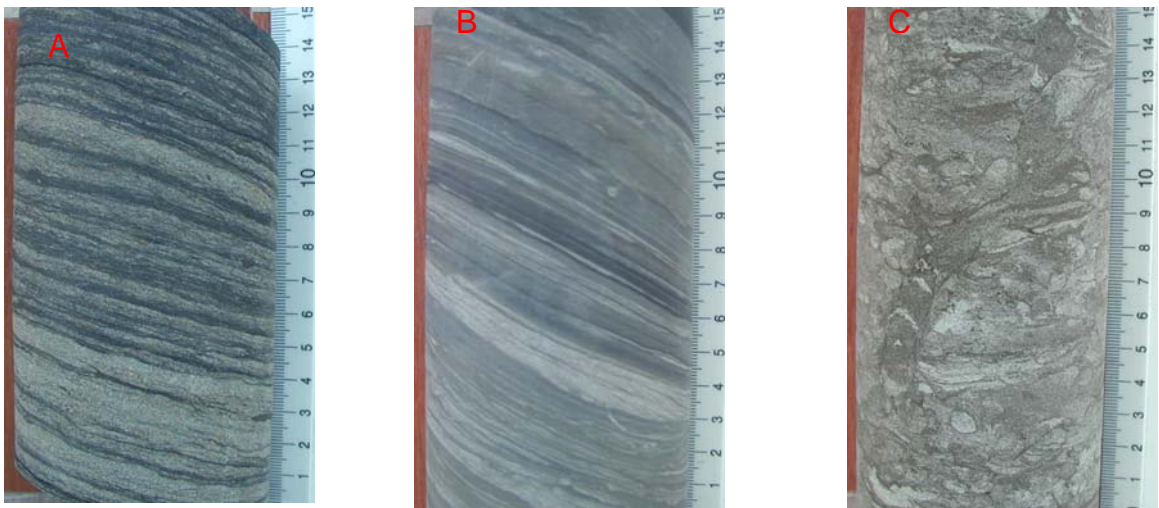


FIGURA 10. Asociación de litofacies D. A. arenisca lodosa con laminación ondulosa, B. arenisca lodosa con laminación horizontal y ondulosa. C. arenisca con laminación ondulosa bioturbada (Aob)

neto y sin intraclastos se interpretan como un relleno de canal de corrientes hiperconcentradas (alto contenido de sedimento). Una litofacies A sobre la E marca una superficie de inundación y esta a su vez limita una migración lateral de ambientes genéticamente relacionados (ver figura 11)

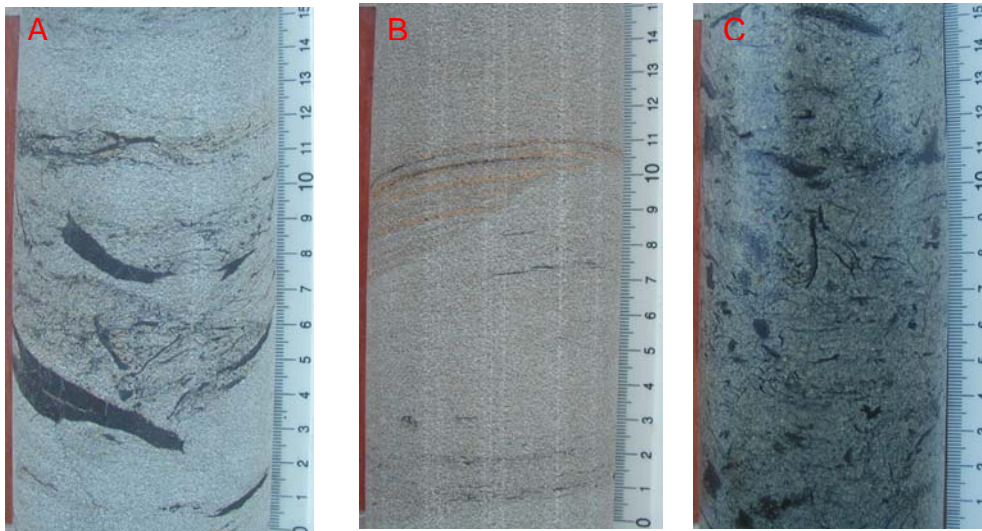


FIGURA 11. Asociación de litofacies E. A. arenisca maciza con intraclástos carbonosos. B. Arenisca maciza con intraclástos de siderita siguiendo una tenue laminación horizontal, C. Arenisca maciza con intraclastos lodo- carbonosos

5.2.1.6. Asociación de litofacies F : Shale a lodolita gris media a gris parda de estructura generalmente maciza (Lm) se caracteriza por poseer restos de gasterópodos y/o bivalvos y por la ausencia de restos fósiles vegetales, en algunas ocasiones aparece con nódulos sideríticos. Esta litofacies corresponde generalmente a llanuras costeras inundadas que contienen vegetación tropical y muestran variación en la salinidad dependiendo del contenido de las lluvias. Propia de ambientes de dominio pantanoso (ver figura 12).

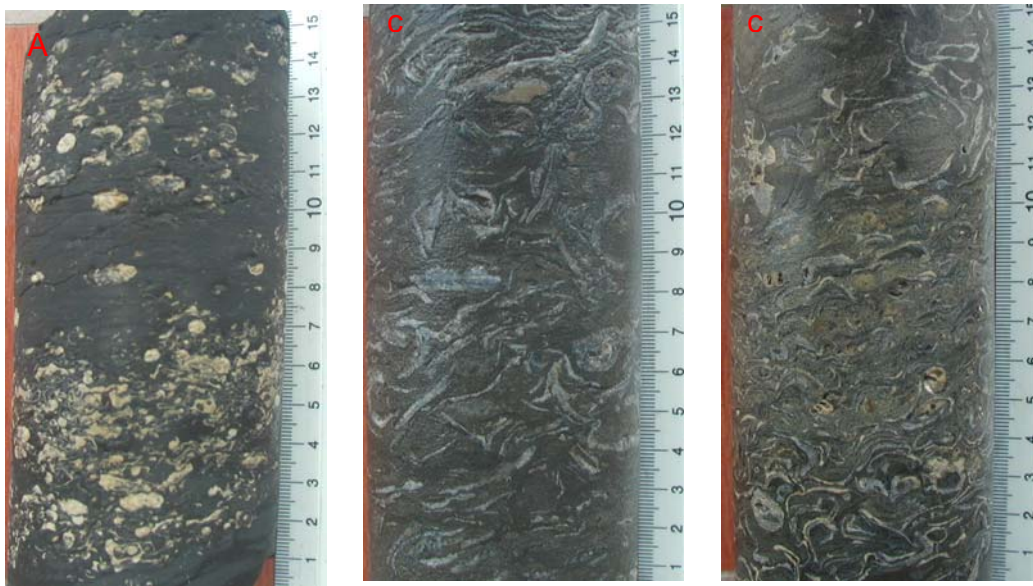


FIGURA 12. Asociación de litofacies F. A. Lodolita negra con conchas de bivalvos disgregadas e incompletas, B. lodolita gris parda con restos de gasterópodos, C. lodolita ligeramente arenosas con conchas de gasterópodos.

5.2.1.7 Asociación de litofacies G: Arenisca gris de tamaño fino a medio con láminas delgadas de lodolita en algunos casos aparece con nódulos sideríticos de color amarillo, generalmente aparecen con laminación heterolítica, laminación cruzada y rizaduras asimétricas onduladas. Esta arenisca se caracteriza por poseer bajo contenido de materia orgánica y por tener glauconita. De acuerdo con su composición y estructuras sedimentarias internas esta litofacies corresponde a una planicie intermareal conformada por secuencias de arena y lodo que reflejan la condiciones de ascenso y descenso de la marea (ver figura 13).

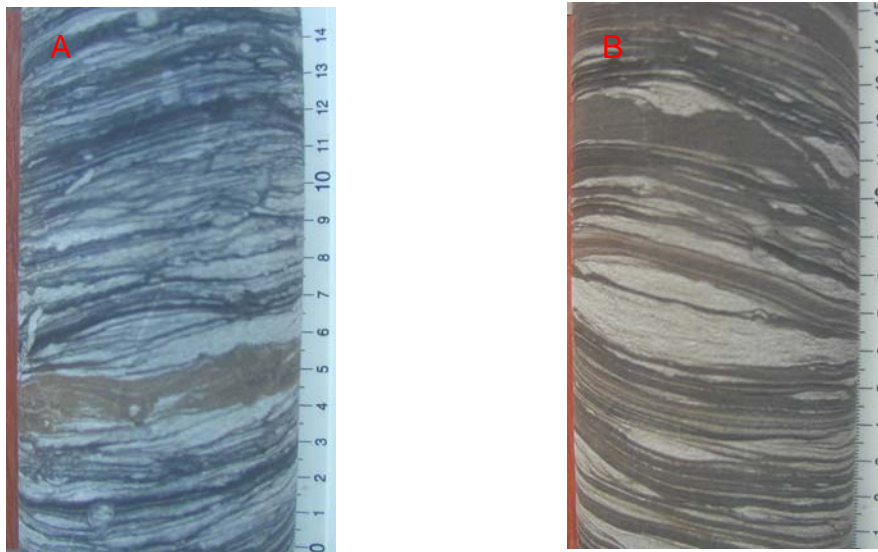


FIGURA 13. Asociación de litofacies G. A. arenisca con láminas de lodo, mostrando laminación ondulosa y flaser, bioturbada. B. Arenisca con láminas de lodo, con laminación flaser y rizaduras

5.3 DESCRIPCION DE LAS PARASECUENCIAS IDENTIFICADAS

5.3.1 Parasecuencia 1

Esta parasecuencia es granocreciente. De base a techo comienza con una lodolita carbonosa y termina en una arena maciza. Su ambiente de depósito comienza en una llanura supramareal que transicionalmente pasa a llanura de inundación y termina en un relleno de canal. La asociación ideal presenta todas las asociaciones litofaciales propuestas (A,B,C,D,E) pero esta puede presentar variabilidad en la aparición de las asociaciones litofaciales como se describe a continuación (ver figura 14).

Generalmente se pueden encontrar parasecuencias en donde hay repetición de una o varias asociaciones litofaciales como ejemplo la repetición de C y D que estaría indicando una leve agradación del sistema. Así también se puede encontrar pérdida de algunas de las asociaciones litofaciales como en el caso de tener A, B, C, D que indicaría que el ambiente de formación no tuvo influencia fluvial. Se puede tener también un cambio brusco de A, B, E lo cual representaría una leve

retrogradación del sistema. Todos los cambios anteriores estarían indicando variaciones en el ambiente de depositación pero aun así representan la misma parasecuencia 1 porque se mantiene la característica fundamental de granocrecimiento y carbón generalmente en contacto con asociaciones litofaciales de grano fino.

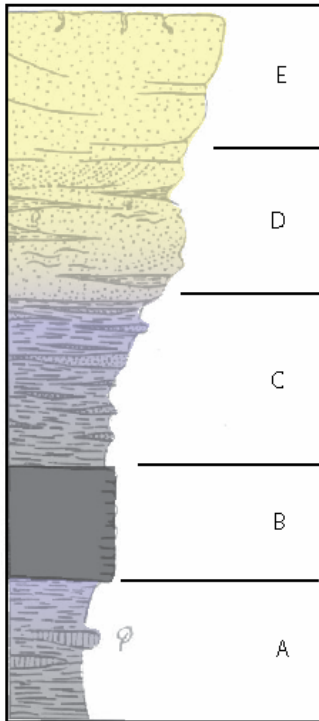


FIGURA 14. Esquema idealizado del patrón de apilamiento de la parasecuencia 1.

5.3.2 Parasecuencia 2

Esta parasecuencia es granodecreciente con mantos de carbón en ambientes propios de una llanura deltáica. De base a techo comienza con una incisión de sistemas fluviales con desborde de canal y termina en una llanura deltáica inundada con posterior formación de carbón. Esta parasecuencia idealmente incluye de base a techo las asociaciones litofaciales E,D,C,F,A,B (ver figura 15).

Aunque puede existir variabilidad en la aparición de cada una de las asociaciones litofaciales como es el caso de encontrar D,C,B que indicaría una leve

retrogradación del sistema, así también puede aparecer repetición de capas como D,C o puede desaparecer la asociación de litofacies F. Esta parasecuencia se reconoce no solo por su carácter granodecreciente sino también por su contacto inferior neto y con intraclastos. Se diferencia de la parasecuencia 3 (también granodecreciente) porque las arenas de la parasecuencia 2 son macizas y contienen intraclastos.

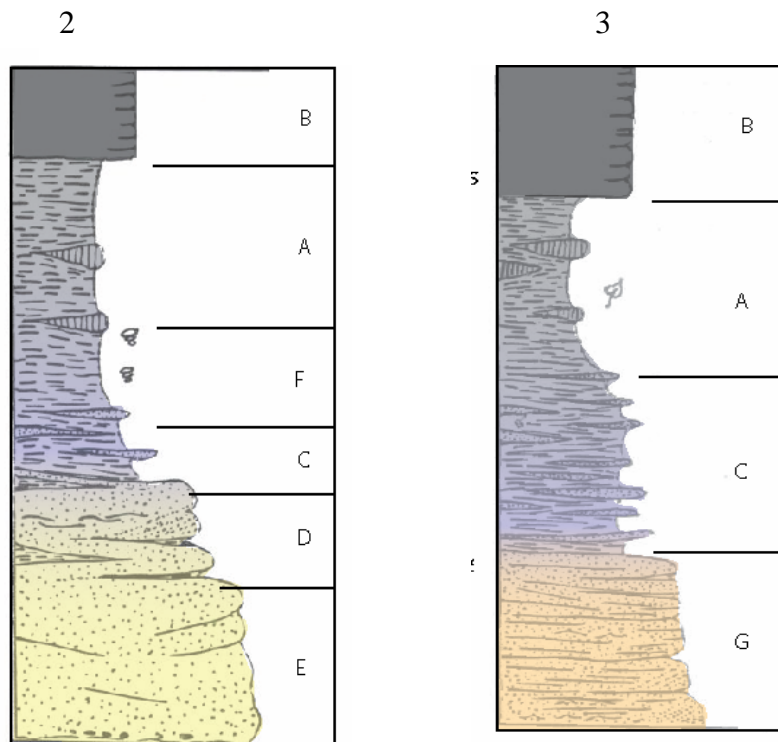


FIGURA 15. Esquema idealizado del arreglo vertical de las parasecuencias dos y tres, respectivamente.

5.3.3 Parasecuencia 3

Es una parasecuencia granodecreciente que corresponde a los intervalos más cercanos a la línea de costa con influencia mareal. Su progradación produce una secuencia característica que idealmente de base a techo incluye las asociaciones litofaciales G,C,A,B. Así esta parasecuencia comienza con una planicie

intermareal con influencia de mareas, seguida de una zona con disminución del contenido clástico, evidenciando disminución en la capacidad de transporte y marcando el límite entre la planicie intermareal y supramareal. Por último se observa un enriquecimiento en materia orgánica con acumulación de plantas y formación de carbón, típico de una planicie supramareal (ver figura 15).

Al igual que las parasecuencias uno y dos se puede presentar variabilidad en la aparición de cada asociación litofacial, pero se reconoce por las estructuras sedimentarias encontradas en la asociación litofacial G, típicamente heterolítica, con rizaduras, laminación flaser y presencia de glauconita.

6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron analizados para establecer superficies de inundación que sirvan como límites de correlación de los carbones, de lo cual se obtuvo que al usar las parasecuencias sobre los pozos se pudo identificar ciertas tendencias de depositación en los tres miembros de la formación Cerrejón : La parte inferior de la formación corresponde a un ambiente de depósito de origen marino, con subambientes de llanura mareal que van de llanura intramareal pasan a llanura submareal y terminan en llanura supramareal . las asociaciones litofaciales en este intervalos muestran estructuras típicas de zonas con alta influencia de mareas

La parte media de la Formación Cerrejón pertenece a un ambiente de depósito de origen continental próximo a la línea de costa, con subambientes de canales amalgamados, llanuras de inundación, pantanos y llanuras de marea. Todos estos subambientes son característicos de un ambiente deltáico sujeto a un amplio rango de condiciones de energía y procesos físicos producidos por cambios en la tasa de subsidencia, nivel relativo del mar, tasa de aporte de sedimentos y de materia orgánica, los cuales varían en espacio y tiempo y son responsables de los cambios laterales de facies dentro de la cuenca

La parte superior de la formación Cerrejón pertenece a un ambiente de origen continental lejos de la línea de costa con subambientes de canales amalgamados, ríos trezados, ambientes típicos de una llanura deltáica sin influencia mareal.

8. CONCLUSIONES

El uso de asociaciones litofaciales y parasecuencias junto con el uso de los registros eléctricos agiliza el proceso de descripción de núcleos y le da un enfoque más útil a los datos que se extraen durante la descripción

Se identificaron tres parasecuencias ideales que definen casi en su totalidad los patrones de apilamiento de la formación cerrejón : **P- 1**. Esta agrupación es granocreciente representada en la base por una lodolita carbonosa y al techo por una arena maciza. Su ambiente de depósito comienza en una llanura supramareal que transicionalmente pasa a llanura de inundación y termina en un relleno de canal. La asociación ideal presenta de base a techo las litofacias A, B, C, D y E.

P-2: Esta agrupación litofacial es granodecreciente con mantos de carbón en ambientes propios de una llanura deltáica. De base a techo comienza con una incisión de sistemas fluviales con desborde de canal y termina en una llanura deltáica inundada con posterior formación de carbón. Esta asociación idealmente incluye de base a techo las litofacias E, D, C, F, A y B.

P-3: Es una agrupación granodecreciente que corresponde a los intervalos más cercanos a la línea de costa con influencia mareal. Su progradación produce una secuencia característica que idealmente de base a techo incluye las litofacias G,C,A,B. Así esta asociación comienza con una planicie intermareal con influencia de mareas, seguida de una zona con disminución del contenido clástico, evidenciando disminución en la capacidad de transporte y marcando el límite entre la planicie intermareal y supramareal. Por último se observa un enriquecimiento en materia orgánica con acumulación de plantas y formación de carbón, típico de una planicie supramareal,

Los límites entre parasecuencias se pueden usar como superficies de correlación local para los mantos de carbón, teniendo en cuenta el ambiente en el que se forman y la continuidad local de estos.

No se pueden establecer superficies de correlación regionales para toda la formación debido a que los pozos pertenecen a zonas del complejo carbonífero alejadas más de 20km y los mantos a ambos lados a pesar de tener la misma nomenclatura no son los mismos

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Bayona G., Jaramillo C. Rueda M., Pardo A., Christie A., Hernandez G.(2004) Important Paleotectonic and Chronostratigraphic Considerations of the Late Paleocene in the Northernmost Andes as Constrained by Paleocene Rocks in the Cerrejón Coal Mine, Guajira, Colombia. Tercera convención técnica de la ACGGP

Bohacs, K., Sutter, J. 1997. sequence stratigraphic distribution of coaly rocks: fundamental controls and paralic examples. AAPG Bulletin. Vol. 81. pp. 1612-1639

Buillit, N., Lallier-Verge`s, E., Pradier, B., Nicolas, G. (2002). Coal petrographic genetic units in deltaic-plain deposits of the Campanian Mesa Verde Group (New Mexico, USA). International Journal of Coal Geology. Vol.51, pp.93-110.

Cardozo, L., 1980. Geología del depósito de carbón de “El Cerrejón” en el sector de Sarahita - Guajira. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de grado, 109 p.

Davies, R., Diessel, C., Howell, J., Flinta, S., Boydb, R. (2005) Vertical and lateral variation in the petrography of the Upper Cretaceous Sunnyside eastern Utah, USA—implications for the recognition of high-resolution accommodation changes in paralic coal seams International Journal of Coal. Geology. Vol. 61, pp. 13-33.

Davis, R., 1983. Depositional systems: A genetic approach to sedimentary Geology.

Herrera, F., 2004. Paleotemperatura y paleoprecipitación del paleoceno superior en zonas tropicales usando plantas megafósiles de la Formación Cerrejón, mina de carbón El Cerrejón – Guajira. Universidad Industrial de Santander. Tesis de grado, 50 p.

Holz, M., Kalkreuth, W. & Banerjee, I. (2002) Sequence stratigraphy of paralic coal-bearing strata: an overview. International Journal of Coal Geology. Vol. 48, pp. 147-179.

Miall, A.D., 2000. Principles of sedimentary basin analysis, tercera edición, 616 p.

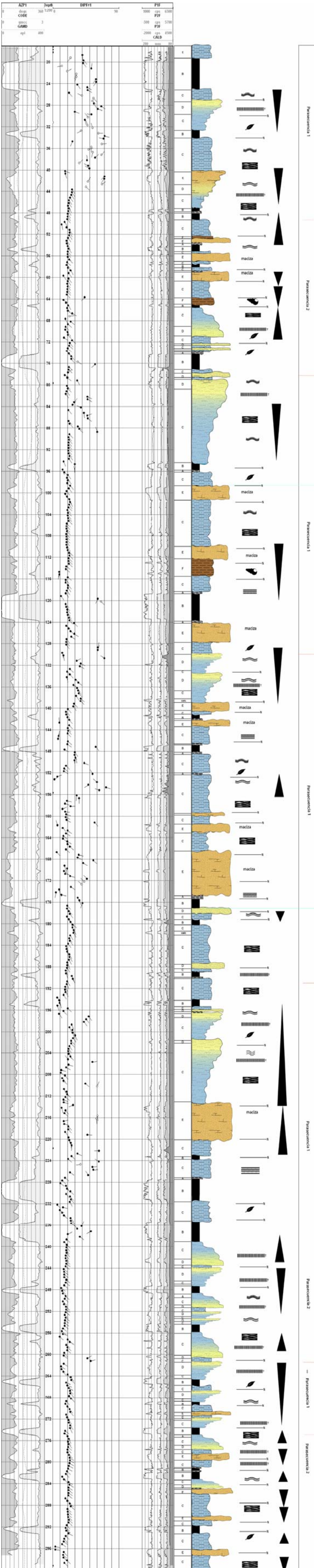
Meza, L. 2005. Análisis facial de la parte inferior de la Formación Cerrejón en los tajos Patilla, 831 y 45, mina el Cerrejón. Universidad de Caldas, Departamento de Geología. Tesis de pregrado. Manizales,80 pps.

Montes, C., Bayona, G., Ojeda,C., Molina, M., Herrera, F. Uplift of the Sierra Nevada de Santa Marta and subsidence in the Cesar-Ranchería Valley: Rigid-beam pivot model.

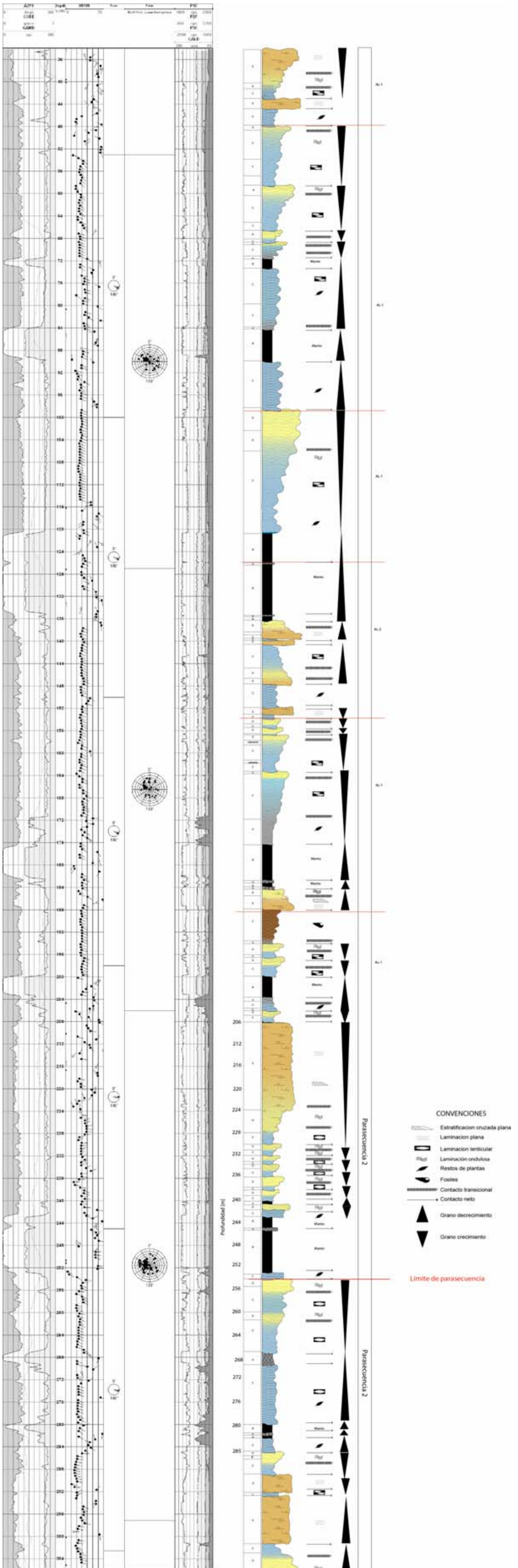
Olivella, A. (2005) Cartografía geológica del tajo la puente, mina el Cerrejón, Universidad pedagógica y tecnológica de Tunja. Escuela de ingeniería geológica. Tesis de pregrado, Sogamoso,60pps

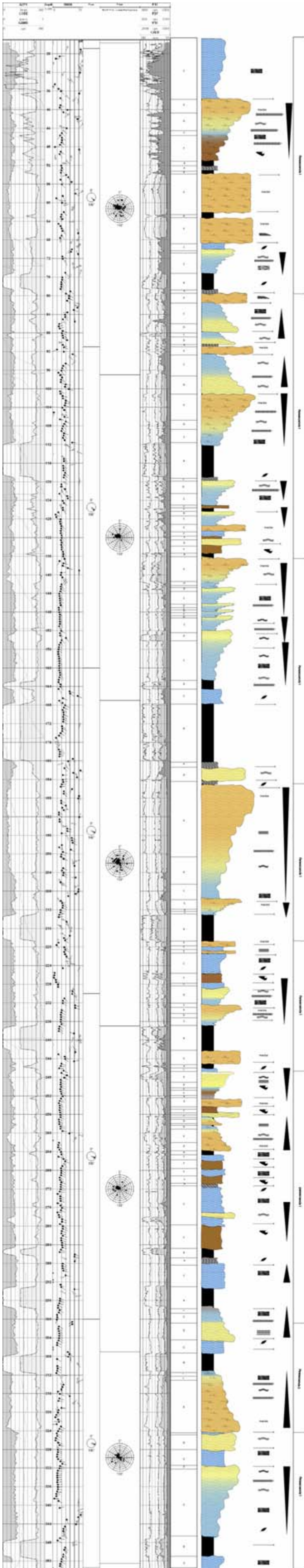
ANEXOS

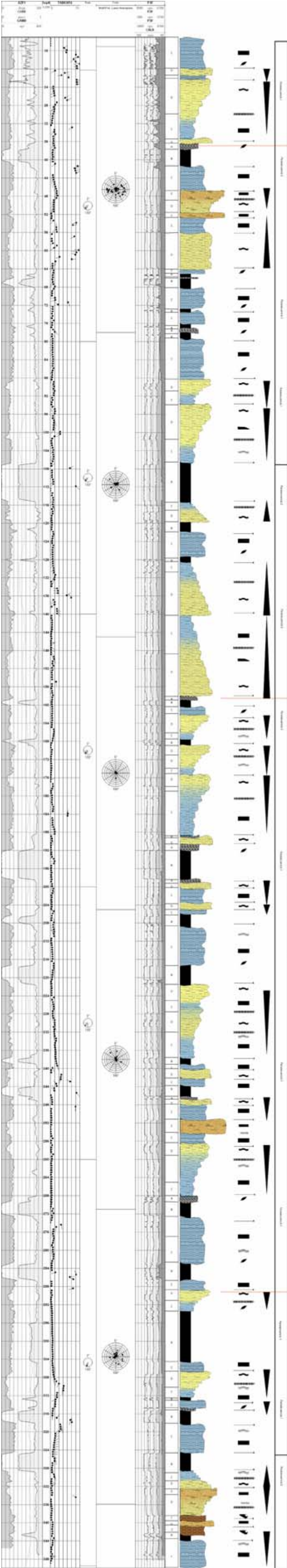
POZO 09418



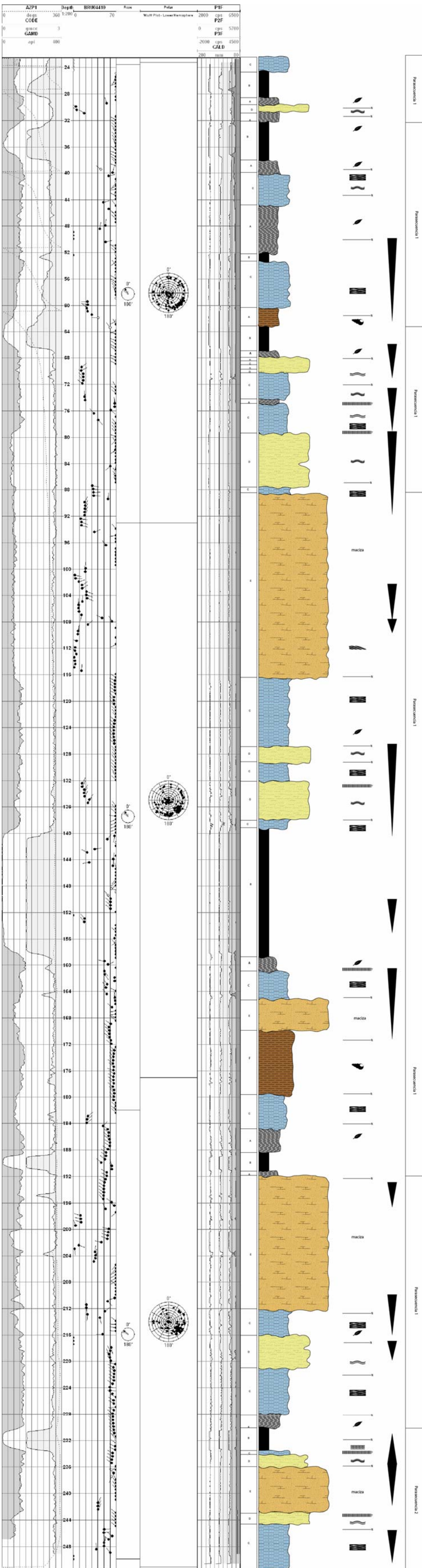
POZO O9709







BRU 04410





Carbón para el mundo.
Progreso para Colombia

Mejoramiento en correlación de carbones usando elementos de estratigrafía de secuencias.
Descripción de núcleos aplicando asociaciones litofaciales

**MEJORAMIENTO EN CORRELACION DE CARBONES USANDO
ELEMENTOS DE ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS EN LA MINA
CERREJON, GUAJIRA, COLOMBIA**

Cartilla para la descripción de núcleos aplicando asociaciones litofaciales

ALBANIA, 20 DE MAYO DE 2006

CONTENIDO

INTRODUCCION.....	71
1. DEFINICIONES	73
2. DESCRIPCIÓN DE LAS ASOCIACIONES LITOFACIALES.....	77
2.1 Asociaciones litofaciales lodosas.....	77
Asociación de litofacies A	77
Asociación de litofacies B	78
Asociación de litofacies C	79
Asociación de litofacies F.....	80
2.2 Asociaciones litofaciales arenosas.....	80
Asociación de litofacies D	80
Asociación de litofacies E	81
Asociación de litofacies G	82
3. DESCRIPCION DE LAS PARASECUENCIAS	84
PARASECUENCIA 1	84
PARASECUENCIA 2.....	85
PARASECUENCIA 3.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Modelo Facial.....	8
Figura 2.	Clasificación de las Asociaciones litofaciales.....	10
Figura 3.	Asociación de litofacies A.....	11
Figura 4.	Asociación de litofacies C.....	12
Figura 5.	Asociación de Litofacies D.....	13
Figura 6.	Asociación de Litofacies E.....	14
Figura 7	Asociación de litofacies G.....	15
Figura 8.	Parasecuencia 1.....	16
Figura 9.	Parasecuencia 2.....	17
Figura 10.	Parasecuencia 3.....	18

INTRODUCCION

Basado en observaciones de campo y en núcleos de perforación se estableció un modelo de descripción litofacial para la Formación Cerrejón. Este modelo tiene los siguientes objetivos: 1) Establecer los parámetros para la descripción de núcleos; 2) servir como estructura y guía de observaciones en afloramientos y núcleos; 3) predecir patrones de apilamiento; y 4) Realizar simultáneamente la interpretación de ambientes y la correlación de mantos (ver figura 1). Este modelo facial esta basado en descripciones de columnas de campo y núcleos de perforación distribuidos a lo largo de toda la zona de minera.

La variabilidad local de las columnas y pozos usados para definir el modelo facial ha sido eliminada para destilar la esencia pura en forma de un modelo ideal. Durante la descripción de núcleos se encontrarán variaciones a la norma que el geólogo debe correctamente interpretar, esta cartilla describe las variaciones más comunes encontradas hasta ahora.

Dada la monotonía sedimentológica de la sucesión en la Formación Cerrejón, la descripción de núcleos puede facilitarse usando asociaciones litofaciales agrupadas en tres parasecuencias definidas en este documento. Esta cartilla resume los criterios usados para definir cada una de las asociaciones litofaciales, sirviendo como norma para la descripción de núcleos. El uso de asociaciones litofaciales agrupadas en parasecuencias, agiliza la descripción puesto que aunque todavía se observan todas las características sedimentológicas, sólo se anota el código que describe cada asociación litofacial.

El patrón de apilamiento de las parasecuencias se puede usar para definir ciclos de sedimentación (progradación, retrogradación, agradación), que están limitados por superficies de inundación. Estas superficies pueden usarse a través del depósito como ayudas en la correlación de mantos y grupos de mantos. Este análisis permitirá caracterizar mantos de acuerdo al ambiente en el que se formaron y puede servir para comparar calidades de acuerdo al ambiente de formación.

1. DEFINICIONES

Litofacias

Es el conjunto de características físicas, litológicas, estructurales y orgánicas detectables a simple vista y que caracterizan a un cuerpo de roca y lo diferencian de los cuerpos de rocas que estén por encima y por debajo de este. Una sucesión vertical se divide en cuerpos de roca usando las características litológicas y estructurales de las capas, ejemplo: lodolita gris medio con laminación horizontal con pobre bioturbación e intraclastos sideríticos. Las litofacias se identifican con códigos faciales. Un código facial es una abreviatura que define las características litológicas y estructurales de una litofacia; el anterior ejemplo se abrevia como Lh (ver tabla 1).

Asociaciones litofaciales

Es el conjunto de litofacias que están genéticamente relacionadas y que al ser interpretadas tienen un significado ambiental. Una relación genética significa que los depósitos fueron acumulados por un solo proceso natural. El cambio **gradual** de asociaciones de litofacias en la vertical (lo cual representa los cambios laterales de litofacias) es indicador de cambios en los procesos naturales dentro de un ambiente de acumulación. El arreglo vertical de las asociaciones litofaciales sustenta la interpretación de ambientes de acumulación. Es decir, habiendo definido las litofacias y las superficies de inundación se puede identificar patrones de apilamiento que indican si el sistema deposicional está progradando, agradando o retrogradando.

Parasecuencia

Es el conjunto de asociaciones litofaciales con su interpretación ambiental, estudiadas como un solo proceso deposicional. Está delimitada por superficies de máxima inundación o su correlativo contacto paraconforme.



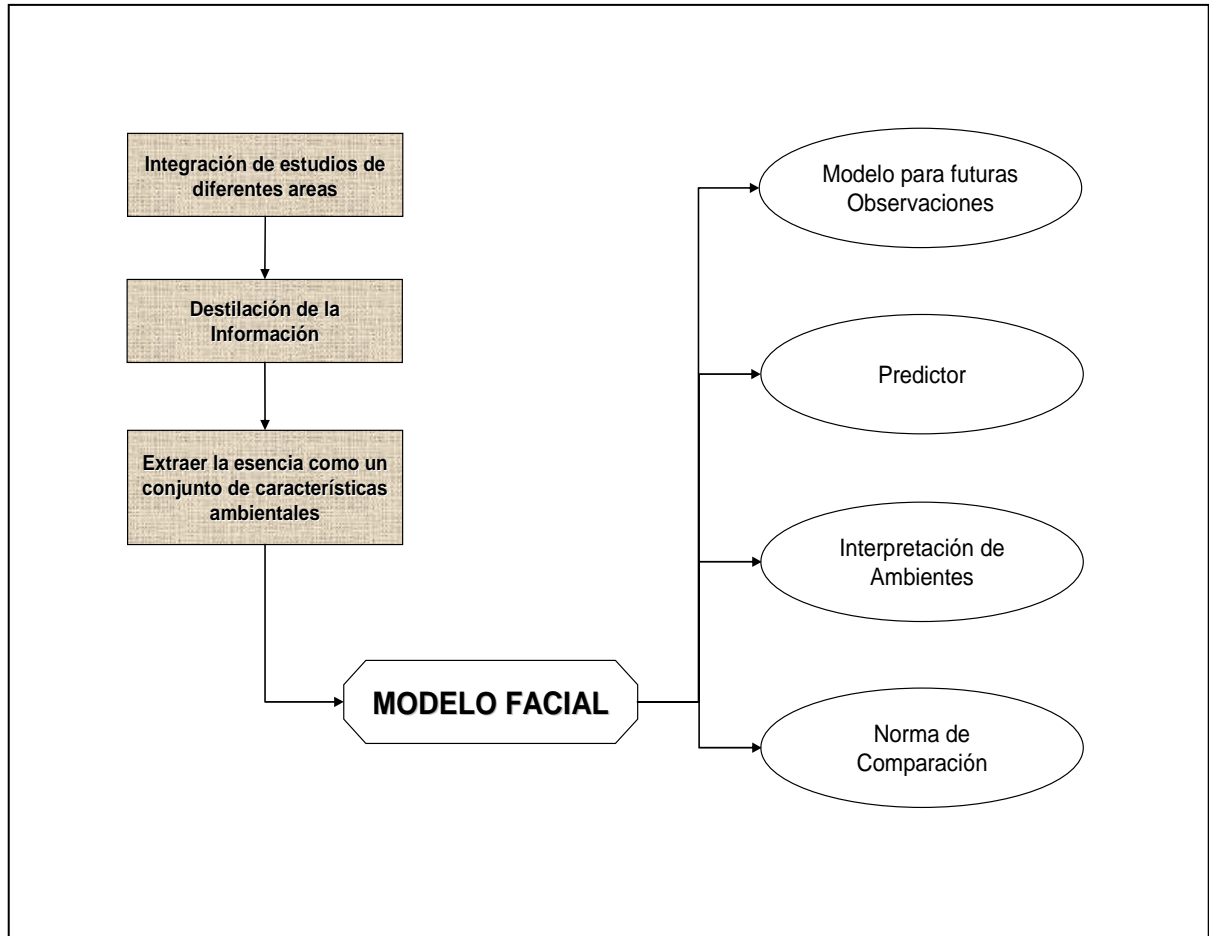
Superficies de inundación

Son contactos netos que muestran cambios abruptos en las litofacias, asociaciones litofaciales y en los ambientes deposicionales. Marca dos procesos distintos, que no están genéticamente relacionados.

Patrón de apilamiento

Es el arreglo vertical característico de una parasecuencia que indica si el sistema deposicional esta progradando, agradando o retrogradando.

Figura 1. Modelo facial



Resumen explicativo de cómo se forma un modelo facial y las aplicaciones de este



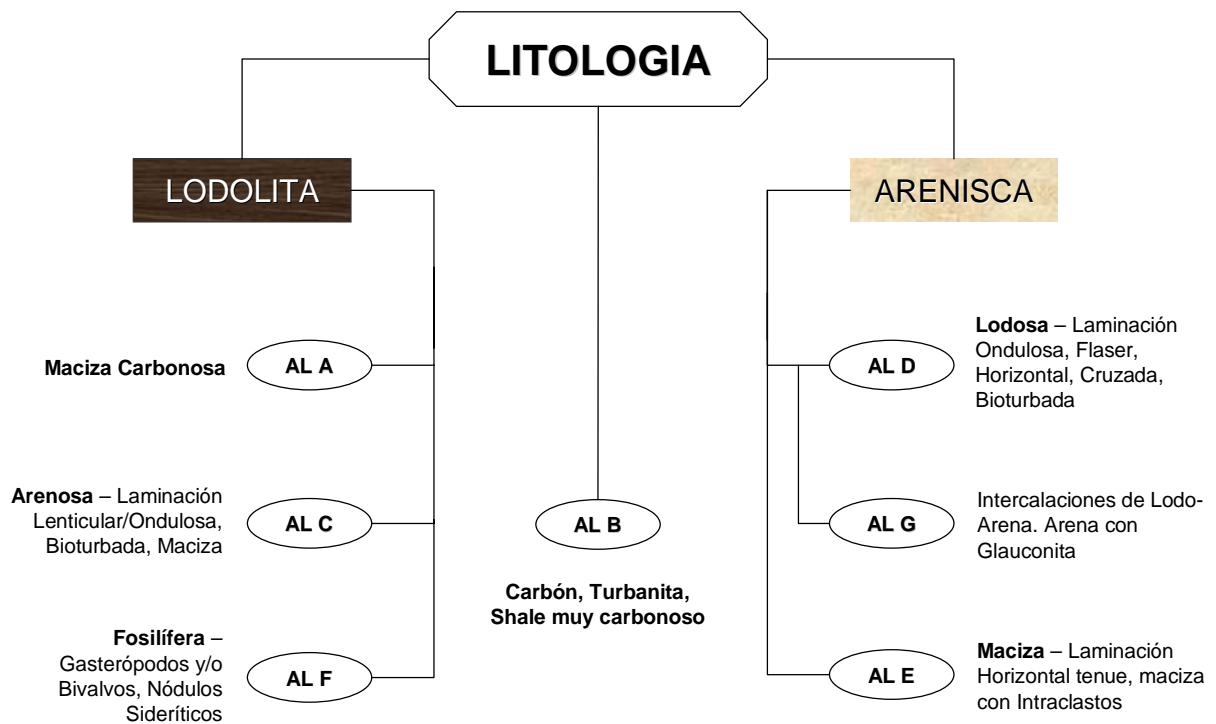
Tabla 1. Códigos faciales observados en núcleos

Códigos faciales	Facies	Estructuras sedimentarias
Ah	Arenisca de grano fino a medio	laminación planar horizontal
Ao	Arenisca de grano fino a medio	laminación ondulosa
Aob	Arenisca de grano fino a medio	laminación ondulosa bioturbada
Am	Arenisca de grano fino a medio	maciza a tenue laminación
Af	Arenisca de grano fino a medio	laminación flaser
Arc	Arenisca de grano fino a medio	rizaduras de corriente
Aro	Arenisca de grano fino a medio	rizaduras ondulosas
Acp	Arenisca de grano fino a medio	laminación cruzada plana
Aa	Arenisca de grano fino a medio	cruzada en artesa
Lh	Lodolita a lodolita arenosa	laminación horizontal
LI	Lodolita a lodolita arenosa	laminación lenticular
Llb	Lodolita a lodolita arenosa	laminación lenticular bioturbada
Lhe	Lodolita a lodolita arenosa	laminación heterolítica
Lo	Lodolita a lodolita arenosa	laminación ondulosa
Lm	Lodolita	maciza
Sc	Lodolita a shale carbonoso	fragmentos de plantas carbonizadas
c	Carbón	maciza
T	Turbanita	maciza

2. DESCRIPCIÓN DE LAS ASOCIACIONES LITOFACIALES

A continuación se describen los criterios usados para definir cada asociación litofacial (ver figura 2).

Figura 2. Asociación Litofacies - AL



2.1 Asociaciones litofaciales lodosas

Asociación de litofacies A

Shale negro carbonoso (Sc) a lodolita gris oscura con alto contenido de materia orgánica, generalmente aparece con estructura maciza (Lm), pero en ocasiones aparece con una tenue

laminación horizontal (Lh) y con laminación lenticular (Ll) de láminas de siderita. Cuando la lodolita es carbonosa y está asociada a facies lodosas, sin contenido de arena y hay formación de carbón se interpreta como una llanura supramareal. Cuando la misma lodolita aparece asociada con facies arenosas se interpreta como una llanura de inundación (ver figura 3).

Figura 3. Asociación de litofacies A



POZO : TAB 03054
PROFUNDIDAD : 303.84

Lodolita gris oscura carbonosa maciza (Lm) con láminas de siderita. La pseudo laminación horizontal es producto de la broca.

Foto 1. Lodolita maciza

Asociación de litofacies B

Corresponde al carbón (c). Se forma en ambientes tranquilos generalmente en zonas de charcas rodeado de áreas con densa vegetación. La interpretación puede variar teniendo en cuenta las litofacies asociadas. Cuando aparece entre facies arenosas se interpreta como una llanura de inundación con desborde o relleno de canal y posterior estabilización de los sistemas fluviales, cuando aparece entre facies lodosas se interpreta como una llanura de mareas. La turbanita (T) generalmente esta asociada a ambientes de ciénaga, donde hay desarrollo de algas. Esta asociación litofacial también puede corresponder a un shale muy carbonoso.

Asociación de litofacies C

Lodolita gris oscura a gris clara con poco o ningún contenido de restos fósiles vegetales fragmentados, que gana arena transicionalmente al techo, generalmente presenta laminación lenticular (LI) de arena gris clara de tamaño fino, en algunas ocasiones se aprecia laminación ondulosa (Lo) y laminación horizontal (Lh), en muchas ocasiones aparece bioturbada (Llb). Cuando la lodolita aparece altamente bioturbada y con laminación lenticular muy delgada se interpreta como una llanura de inundación, mientras que cuando aparece con ritmicidad en la laminación (láminas de lodo y arena bien definidas), con poca bioturbación se interpreta como una llanura de mareas (ver figura 4).

Figura 4. Asociación de litofacies C



Foto 2a. Lodolita Lm horizontal



Foto 2b. Lodolita Lm. lenticular

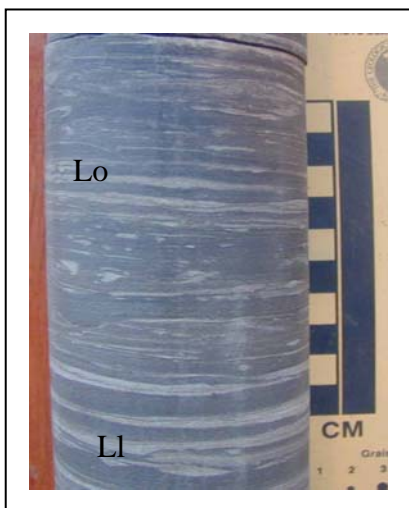


Foto 2c. Lodolita arenosa lenticular

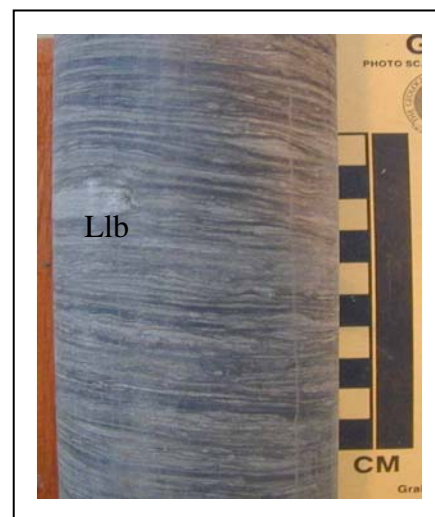


Foto 2d. Lodolita arenosa bioturbada

Asociación de litofacias F

Shale a lodolita gris media a gris parda de estructura generalmente maciza (Lm) se caracteriza por poseer restos de gasterópodos y/o bivalvos y por la ausencia de restos fósiles vegetales, en algunas ocasiones aparece con nódulos sideríticos. Esta litofacies corresponde generalmente a llanuras costeras inundadas que contienen vegetación tropical y muestran variación en la salinidad dependiendo del contenido de las lluvias. Propia de ambientes de dominio pantanoso.

2.2 Asociaciones litofaciales arenosas

Asociación de litofacias D

Arenisca gris clara lodosa de tamaño fino a medio. De base a techo aparece con laminación horizontal (Ah), laminación cruzada plana (Acp), laminación ondulosa (Ao), en algunas ocasiones aparece laminación lenticular con bioturbación (Alb) y con laminación flaser (Af). Si es granodecreciente y con contacto neto inferior, corresponde a rellenos de canal cortando llanuras de mareas. Cuando la arenisca aparece en una secuencia granocreciente con marcada bioturbación se interpreta como una llanura de inundación (ver figura 5).

Asociación de litofacias E

Arenisca gris clara de tamaño fino a medio generalmente con estructura maciza (Am), y en algunas ocasiones con tenue laminación horizontal (Ah), esporádicamente puede aparecer laminación ondulosa. Cuando la arena aparece en contacto neto con un carbón o unidades lodosas (Lm, Sc) y con presencia de intraclastos carbonosos se interpreta como un relleno de canal de corrientes fluidas (poco contenido de sedimento); si aparecen en contacto neto y sin intraclastos se interpretan como un relleno de canal de corrientes hiperconcentradas (alto contenido de sedimento). Una litofacies A sobre la E marca una superficie de inundación y esta a su vez limita una migración lateral de ambientes genéticamente relacionados (ver figura 6)

Figura 5. Asociación de litofacias D

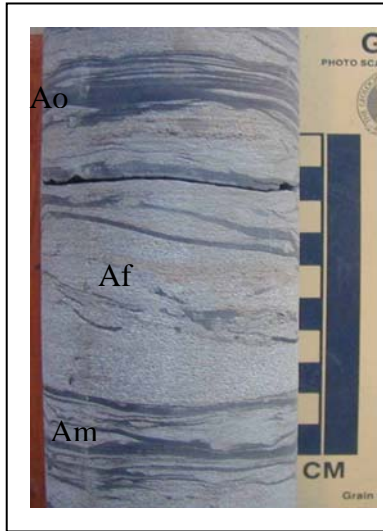


Foto 3a. Arenisca con laminación Flaser, laminación ondulosa y maciza

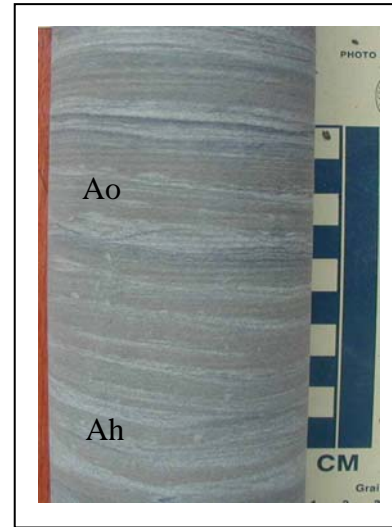


Foto 3b. Arenisca con laminación horizontal y tenue laminación ondulosa

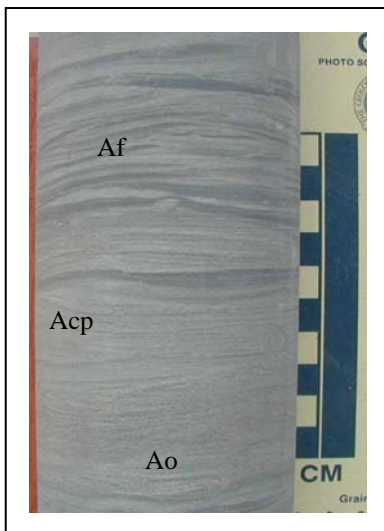


Foto 3c. Arenisca lodosa con laminación ondulosa

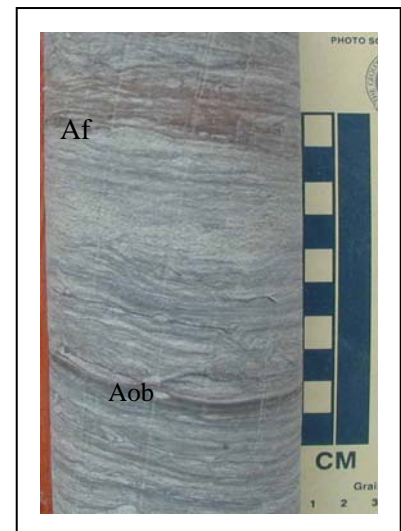
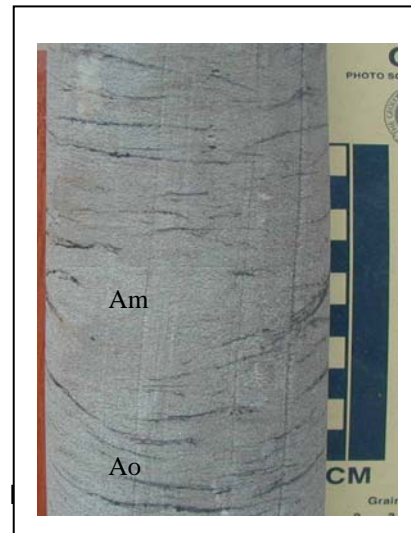
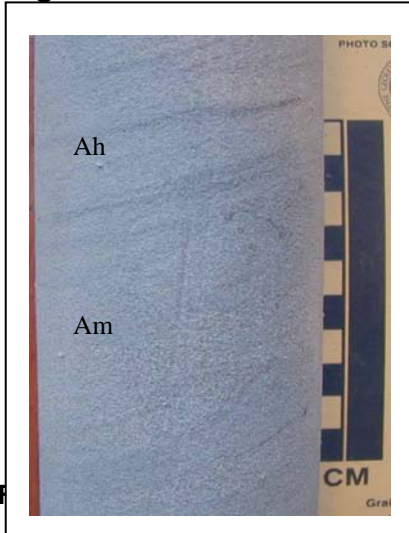


Foto 3d. Arenisca lodosa muy bioturbada

Figura 6. Asociación de litofacies E



Asociación de litofacies G

Arenisca gris de tamaño fino a medio con láminas delgadas de lodolita en algunos casos aparece con nódulos sideríticos de color amarillo, generalmente aparecen con laminación heterolítica, laminación cruzada y rizaduras asimétricas ondulosas. Esta arenisca se caracteriza por poseer bajo contenido de materia orgánica y por tener glauconita. De acuerdo con su composición y estructuras sedimentarias internas esta litofacies corresponde a una planicie intermareal conformada por secuencias de arena y lodo que reflejan la condiciones de ascenso y descenso de la marea (ver figura 7).

Figura 7. Asociación de litofacias G

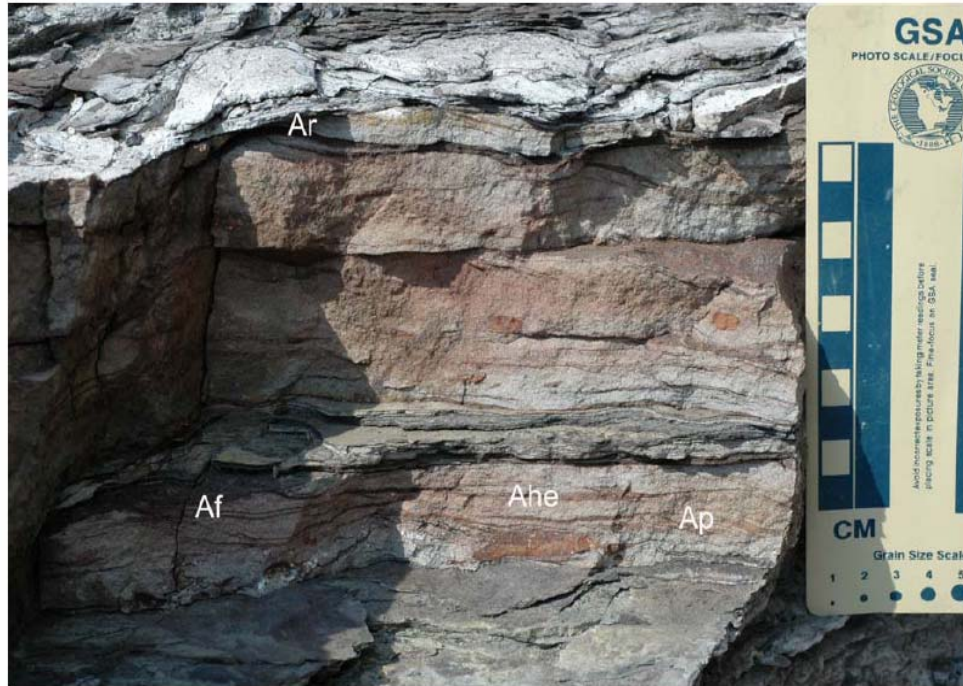


Foto 5. Intercalaciones de Arenisca y lodolita con laminación flaser (Af), laminación cruzada plana (Ap) y laminación heterolítica (Ahe). Tomado de Meza, L..A.(2005)

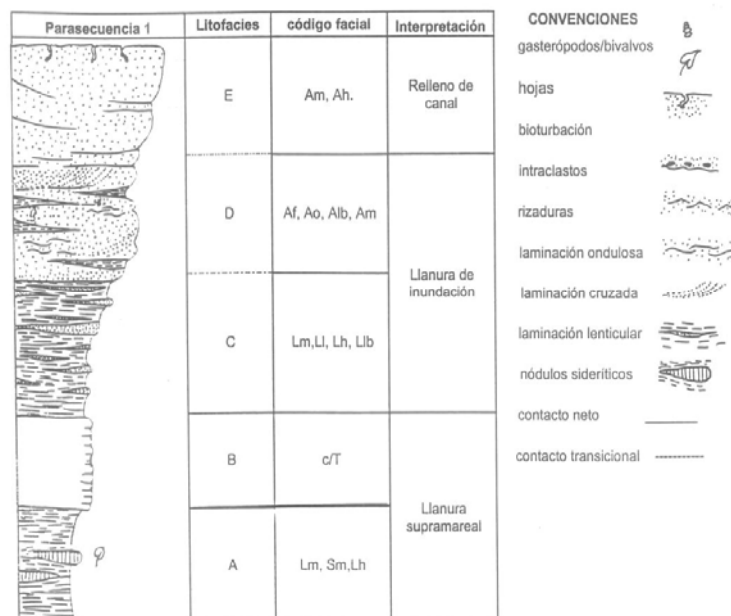
3. DESCRIPCION DE LAS PARASECUENCIAS

PARASECUENCIA 1

Esta parasecuencia es granocreciente. De base a techo comienza con una lodolita carbonosa y termina en una arena maciza. Su ambiente de depósito comienza en una llanura supramareal que transicionalmente pasa a llanura de inundación y termina en un relleno de canal. La asociación ideal presenta todas las asociaciones litofaciales propuestas (A,B,C,D,E) pero esta puede presentar variabilidad en la aparición de las asociaciones litofaciales como se describe a continuación (ver figura 8).

Generalmente se pueden encontrar parasecuencias en donde hay repetición de una o varias asociaciones litofaciales como ejemplo la repetición de C y D que estaría indicando una leve agradación del sistema. Así también se puede encontrar pérdida de algunas de las asociaciones litofaciales como en el caso de tener A, B, C, D que indicaría que el ambiente de formación no tuvo influencia fluvial. Se puede tener también un cambio brusco de A, B, E lo cual representaría una leve retrogradación del sistema. Todos los cambios anteriores estarían indicando variaciones en el ambiente de depositación pero aun así representan la misma parasecuencia 1 porque se mantiene la característica fundamental de granocrecimiento y carbón generalmente en contacto con asociaciones litofaciales de grano fino.

Figura 8. Parasecuencia 1

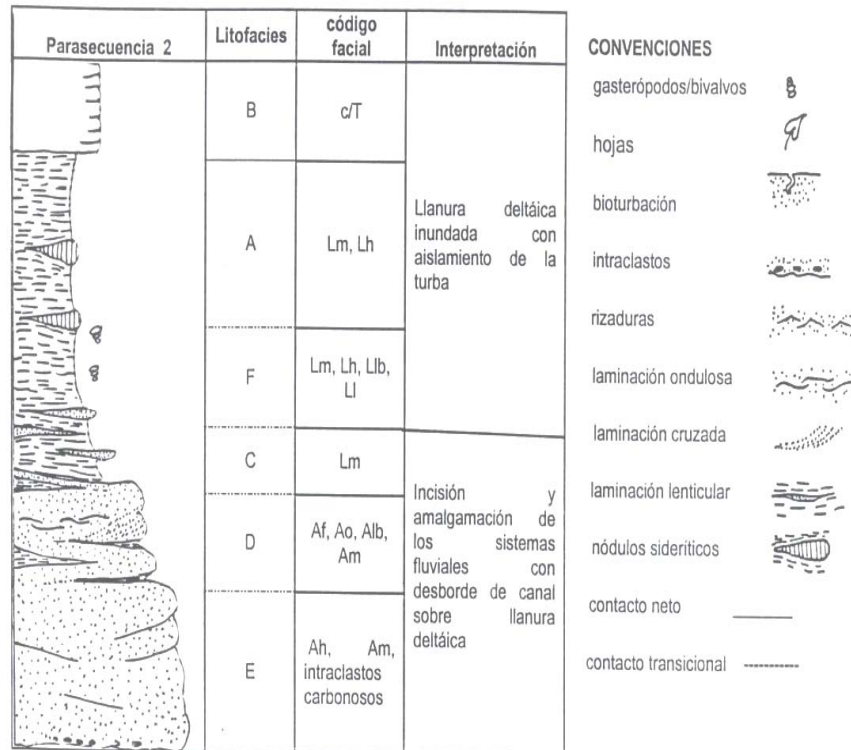


PARASECUENCIA 2

Esta parasecuencia es granodecreciente con mantos de carbón en ambientes propios de una llanura deltáica. De base a techo comienza con una incisión de sistemas fluviales con desborde de canal y termina en una llanura deltáica inundada con posterior formación de carbón. Esta parasecuencia idealmente incluye de base a techo las asociaciones litofaciales E,D,C,F,A,B (ver figura 9).

Aunque puede existir variabilidad en la aparición de cada una de las asociaciones litofaciales como es el caso de encontrar D,C,B que indicaría una leve retrogradación del sistema, así también puede aparecer repetición de capas como D,C o puede desaparecer la asociación de litofacias F. Esta parasecuencia se reconoce no solo por su carácter granodecreciente sino también por su contacto inferior neto y con intraclastos. Se diferencia de la parasecuencia 3 (también granodecreciente) porque las arenas de la parasecuencia 2 son macizas y contienen intraclastos.

Figura 9. Parasecuencia 2



PARASECUENCIA 3

Es una parasecuencia granodecreciente que corresponde a los intervalos más cercanos a la línea de costa con influencia mareal. Su progradación produce una secuencia característica que idealmente de base a techo incluye las asociaciones litofaciales G,C,A,B. Así esta parasecuencia comienza con una planicie intermareal con influencia de mareas, seguida de una zona con disminución del contenido clástico, evidenciando disminución en la capacidad de transporte y marcando el límite entre la planicie intermareal y supramareal. Por último se observa un enriquecimiento en materia orgánica con acumulación de plantas y formación de carbón, típico de una planicie supramareal (ver figura 10).

Al igual que las parasecuencias uno y dos se puede presentar variabilidad en la aparición de cada asociación litofacial, pero se reconoce por las estructuras sedimentarias encontradas en la asociación litofacial G, típicamente heterolítica, con rizaduras, laminación flaser y presencia de glauconita.

Tabla 10. Parasecuencia 3

Parasecuencia 3	Litofacies	codigo facial	Interpretación
	B	c/T	Planicie Supramareal
	A	Lm, Lh	
	C	LI, Im, LIb	Límite intermareal-supramareal
	G	Ahe, Ac, Aro	Planicie intermareal

CONVENCIONES	
gasterópodos/bivalvos	
hojas	
bioturbación	
intraclastos	
rizaduras	
laminación ondulosa	
laminación cruzada	
laminación lenticular	
nódulos sideríticos	
contacto neto	
contacto transicional	