

**CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA Y DEFINICIÓN DE AMBIENTE
DE DEPOSITO PARA LA FORMACIÓN CHAGUI, EN LA CUENCATUMACO, A
PARTIR DE LOS DATOS DEL POZO ANH-BVTURA-1-ST-P.**

**ADRIANA SANTOS ZAMBRANO
FRANCISCO GRANADOS ESLAVA.**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2013**

**CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA Y DEFINICIÓN DE AMBIENTE
DE DEPOSITO PARA LA FORMACIÓN CHAGUI, EN LA CUENCATUMACO, A
PARTIR DE LOS DATOS DEL POZO ANH-BVTURA-1-ST-P.**

**ADRIANA SANTOS ZAMBRANO
FRANCISCO GRANADOS ESLAVA.**

Proyecto de grado presentado para optar al título de Geólogo

**Director:
EDWAR HERNANDO HERRERA OTERO
Geólogo**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA
2013**

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	16
1. OBJETIVO	17
1.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	17
2. GENERALIDADES	19
2.1 LOCALIZACIÓN	19
3. MARCO REFERENCIAL	20
3.1 FACIES	20
3.1.1 Litofacies.	21
3.1.2. Electrofacies	23
3.3 AMBIENTE DE DEPÓSITO	25
3.3.1 Ambiente de depósito Continental.	26
3.3.2 Ambientes marino	30
4. NTECEDENTES DEL AREA DE ESTUDIO.	32
5. MARCO GEOLOGICO REGIONAL	35
5.1 LOCALIZACION Y GENERALIDADES DE LA CUENCA TUMACO	35
5.2 EVOLUCION GEOLOGICA DE LA CUENCA TUMACO.	38
5.3 ESTRATIGRAFIA	42
5.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	47
5.5 PROGNOSIS DEL POZO ANH-BVTURA-1-ST-P.	48
6. METODOLOGIA	53
6.1 FASE DE PRE-CAMPO.	54
6.1.1 Recopilación Bibliográfica.	54
6.1.2 Elaboración de formatos para la adquisición y seguimiento de los datos geológicos de pozo.	54

6.2 FASE DE CAMPO.	54
6.2.1 Corazonamiento y muestras de zanja.	55
6.2.2 Adquisición de registros eléctricos	59
6.3 FASE DE LABORATORIO	59
6.4 FASE DE OFICINA	60
6.5 FASE FINAL	60
7. RESULTADOS	61
7.1 ANÁLISIS LITOESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN CHAGÜÍ.	63
7.1.1 Muestras de zanja.	63
7.1.2 Núcleos de roca	68
7.1.3 Petrografía	71
7.1.4 Análisis de microscopía electrónica de barrido (MEB)	75
7.2 ANALISIS FACIAL DE LA FORMACION CHAGÜÍ	87
7.2.1 Litofacies	87
7.2.2 Asociación litofacial	90
7.3 ANÁLISIS DE REGISTROS ELÉCTRICOS	96
7.3.1 Electrofacies de la Formación Chagüí.	97
7.4. CONSIDERACIONES AMBIENTALES GENERALES.	100
8. DISCUSIÓN	103
9. CONCLUSIONES	105
10. RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFÍA	107

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de localización del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P	19
Figura 2. Ubicación geográfica de la cuenca Tumaco. Punto del pozo a perforar y los pozos perforados vecinos.	36
Figura 3. Evolución geológica de la cuenca Tumaco. 3A) Cuenca asociada al sistema de subducción terciario. 3B) Desplazamiento de la placa a lo largo de mega cizalla durante el cretáceo. 3C) Formación de la micro placa Colombia-Ecuador	40
Figura 4. Corte estratigráfico regional de la cuenca Tumaco.	41
Figura 5. Ubicación de los pozos perforados en la Cuenca Tumaco en relación al pozo de ANH-BVTURA-1-ST-P	42
Figura 6. Columna Estratigráfica de la Cuenca Tumaco.	46
Figura 7. Columna estratigráfica esperada en el pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.	49
Figura 8. Ubicación de la línea Sísmica TB-1991-1130.	51
Figura 9. Interpretación de la línea sísmica TB-1991-1130 por la Universidad EAFIT, 2007.	52
Figura 10. Sección esquemática de la Cuenca Tumaco, EAFIT, 2007	52
Figura 11. Metodología planteada para el desarrollo del proyecto.	53
Figura 12 Proceso de corazonamiento. a. Pesca del barril. b. Salida del núcleo. c. Descripción del núcleo. d. Medición, orientación y marcación del núcleo. e. Preservación de los núcleos. f. Empaque y almacenamiento.	56
Figura 13. Proceso de recolección de muestras de ripios. a. Toma de muestra de la zaranda vibratoria. b. Lavado y tamizado de la muestra recuperada. c. Peso de la muestra de zanja. d. Secado de la muestra en el horno. e. Plantillas para fotografías de muestras de zanja. f. Bolsa de cierre hermético para la preservación de muestras de zanja. g. Almacenamiento de cajas. h. Laboratorio	

para análisis de muestras. i. Visualización de la master (Drill monitor) j. Cromatografía y pantalla de transmisión de datos en tiempo real.	58
Figura 14. Modelo litológico porcentual de la formación Chagüí a partir de los datos de muestra de zanja del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.	63
Figura 15. Fotografía de la muestra de zanja correspondiente a la Formación Chagüí. Donde se observa Conglomerado polimíctico compuesto principalmente por fragmentos de basalto, diabasa, andesita, cuarzo, chert y otros líticos volcánicos diferenciar, granos gruesos, en parte guijos, en menor proporción subangular matriz silícea de pobre selección.	65
Figura 16. Fotografía de la muestra de zanja correspondiente a la Formación Chagüí. Donde se observa a. Arenisca conglomerática compuesta principalmente por granos gruesos de cuarzo, basalto, y otros líticos volcánicos. b. Lutita de color gris oliva, arcillosa, muy hidratable.	66
Figura 17. Fotografía de la muestra de zanja correspondiente a la Formación Chagüí. Donde se observa Lutita gris medio oscuro, subblocosa en parte tabular, arcillosa, muy hidratable, plástica, blanda, amorfa, heterogénea, microinclusiones de líticos, en parte calcárea.	67
Figura 18. Fotografía de la muestra de zanja correspondiente a la Formación Chagüí. Donde se observa Lutita.	68
Figura 19. a. Fotografía de núcleo perteneciente a la Formación Chagüí. b y c. fragmentos de fósiles visibles en la formación.	70
Figura 20 Fotografía de núcleo correspondiente a la formación Chagüí con fragmentos de fósiles (conchas calcáreas).	71
Figura 21. a) y b). Microfotografía de la muestra C-1-7172, corresponde a una Lodolita calcárea, puede apreciarse los foraminíferos y conchas. C) y d) muestran la recristalización al borde de los foraminíferos.	73
Figura 22. Microfotografía de la muestra C-2-7165, corresponde a una Lodolita calcárea, a) Nícoles cruzados lente 10X se aprecia foraminíferos. b) nícoles cruzados lente 20X presenta en los bordes de los foraminíferos calcita. c) nícoles	

paralelos lente 20X. d) Nicoles cruzados Lente-10X se observa albita e) nicoles paralelos lente 10X.	74
Figura 23. Señal de electrones secundarios. Adquiridas a diferente magnificación: 300X (izquierda), 1600X (derecha) y 4000X (abajo izquierda) y la señal de electrones retrodispersados a 4000X (abajo derecha)	77
Figura 24. Señal de electrones secundarios. Adquiridas a diferente magnificación: 300, 1600, 4000 y 8000X; a la izquierda se encuentran las imágenes de electrones secundarios y a la derecha sus correspondientes imágenes de electrones retrodispersados.	80
Figura 26. Columna Litoestratigráfica del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P correspondiente a la formación Chagüí.	91
Figura 27 Asociación de facies de arenisca y limolitas-lutitas (Flm-Fsm).	92
Figura 28. Asociación de facies de conglomerados polimicticos (Gmm).y limolitas-lutitas (Fsm).	93
Figura 29. Asociación de facies de conglomerados polimicticos (Gmm) y arenisca (Sm).	94
Figura 30. Asociación de facies de arenisca (Sm) y lutita (Fsm)	95
Figura 31. Asociación de facies de lutitas con niveles calcáreos (Fsm-Fmd).	96
Figura 32. Electroforma en forma de campana.	97
Figura 33. Electroforma en forma de cilindro	98
Figura 34. Electroforma en forma de embudo.	99
Figura 35. Comparaciones roca – registro.	100
Figura 36. Esquema de ambiente de depósito.	102

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1 Tabla. Clasificación y códigos de facies y su respectiva interpretación.	22
Tabla 2. Clasificación simplificada de los ambientes de depositación. (Boggs 2001).	26
Tabla 3. Ficha técnica de la Cuenca Tumaco.	37
Tabla 4. Espesores y profundidades estimadas en la prognosis para las formaciones del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.	50
Tabla 5. Correlación de los topes formacionales estimados y medidos en el pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.	61
Tabla 6. Relación de pies perforados – pies corazonados para cada formación del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.	62
Tabla 7. Resumen del tercer intervalo de corazonamiento del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.	69
Tabla 8. Profundidades de secciones tomadas de la formación Chagüí	72
Tabla 9. Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 1.	78
Tabla 10 Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 2.	79
Tabla 11. Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 1 de la figura 24.	82
Tabla 12 Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 2 de la figura 24	83
Tabla 13 Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 3 de la figura 24	84
Tabla 14 Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 4 de la figura 24	85

Tabla 15 Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 5 de la figura 25	86
Tabla 16 Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 6 de la figura 26	87
Tabla 17. Facies identificadas para la formación Chagüí en el Pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.	88

RESUMEN

TÍTULO: CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA Y DEFINICIÓN DE AMBIENTE DE DEPOSITO PARA LA FORMACIÓN CHAGÚÍ, EN LA CUENCA TUMACO, A PARTIR DE LOS DATOS DEL POZO ANH-BVTURA-1-ST-P.

AUTORES: ADRIANA SANTOS ZAMBRANO**
FRANCISCO GRANADOS ESLAVA

PALABRAS CLAVE: CUENCA SEDIMENTARIA, CUENCA TUMACO, ESTRATIGRAFÍA, ANÁLISIS FACIAL, AMBIENTES SEDIMENTARIOS, POZOS ESTRATIGRÁFICOS PROFUNDOS.

CONTENIDO

En el marco del contrato interadministrativo N° 7, celebrado entre la Universidad Industrial de Santander y la Agencia Nacional de Hidrocarburos, en aras de contribuir al conocimiento y potencial hidrocarbúfero de la Cuenca Tumaco, se acordó la perforación del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P, un pozo estratigráfico de trayectoria vertical hasta una profundidad final de 12.100 pies. Gracias a este proyecto se realiza la caracterización litoestratigráfica y definición del ambiente de depósito de la Formación Chagúí a partir de los datos obtenidos durante la perforación. Se evidenciaron 4 litofacies para dicha formación: 1) Sm: Arenisca de grano fino a conglomerática con laminación masiva; 2) Gmm: Conglomerado Polimictico matriz-soportados; 3) Fsm: Lutitas y Limolitas masivas; 4) Fmd: Caliza Mudstone; : Donde 1 y 4 (Sm-Fsm) son interpretadas como abanicos submarinos distales; 2 y 3 (Gmm-Fsm y Gmm-Sm) asociados a rellenos de cañón submarino y/o abanicos submarinos; y 5 (Fsm-Fmd) interpretados como planicie abisal. El análisis de los registros eléctricos mostró electroformas de cilindro y campana representando secuencias granodecrescientes correspondientes a depósitos de rellenos de cañón submarino, y electroformas de abanico granocrecientes representando depósitos de desborde de canal submarino. Con base en estas características se sugiere que la Formación Chagúí fue depositada en un ambiente marino profundo entre cañones y abanicos submarinos bajo procesos de flujos turbidíticos.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Geología. Director: Edwar Hernando Herrera Otero. Geólogo

ABSTRACT

TITLE: LITHOSTRATIGRAPHIC CHARACTERIZATION AND DEPOSITIONAL ENVIRONMENT DEFINITION OF THE CHAGÜÍ FORMATION AT TUMACO BASIN FROM THE DATA OF THE ANH-BVTURA-1-ST-P WELL.

AUTHORS: ADRIANA SANTOS ZAMBRANO**
FRANCISCO GRANADOS ESLAVA

KEYWORDS: SEDIMENTARY BASIN, TUMACO BASIN, STRATIGRAPHY, SEDIMENTARY ENVIRONMENTS, DEEP STRATIGRAPHIC WELLS.

CONTENT

Under the No.6 contract between Universidad Industrial de Santander and Agencia Nacional de Hidrocarburos in order to contribute to the knowledge of the Tumaco Basin was drilled a stratigraphic well of 12.100 feet depth called ANH-BVTURA-1-ST-P. From the data obtained during drilling was realized the lithostratigraphic characterization and depositional environment definition of the Chagüí Formation. Four lithofacies were evident: 1) Sm: Fine to coarse sandstones; 2) Gmm: Matrix-supported massive Gravel; 3) Fsm: Massive silt and 4) Fmd: Mudstone. Five Facial associations were identified from vertical relations, where Sm-Fsm were interpreted as distal submarine fans; Gmm-Fsm and Gmm-Sm were associated as fillings of submarine canyon and Fsm-Fmd as abyssal plain. From the Gamma Ray log patterns some electroforms were defined like Cylinder and bell shapes representing fining-upward sequences corresponding to submarine canyon fillings and funnel-shaped pattern showing coarsening-upward sequences representing overflows on submarine channels. Based on these characteristics it is suggested that Chagüí Formation was deposited on a deep marine environment between submarine canyon and fans under turbidites flows

* Work degree

** School ** Physical and chemical engineering. School of Geology. Directed by Edwar Hernando Otero Herrera. geologist

INTRODUCCION

El marco del contrato interadministrativo No. 7, entre la Universidad Industrial de Santander (UIS) y la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) se desarrolló con el fin de contribuir al conocimiento y evaluación del potencial hidrocarburífero de la Cuenca Tumaco, donde se acordó la perforación del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P, ubicado aproximadamente a 6,5 Kilómetros del municipio de Buenaventura, Departamento del Valle del Cauca. El ANH-BUVTURA-1-ST-P es un pozo estratigráfico, el cual fue programado para perforarse verticalmente hasta una profundidad total de 12.100 pies, atravesando las Formaciones Mayorquín, Raposo, Guapi, San Agustín, Chagüí, Angustura y Viche. El propósito principal es la recuperación de muestras de roca (núcleos) y adquisición de registros de pozo para el conocimiento geológico de la cuenca.

El objetivo de este trabajo de investigación es la caracterización litoestratigráfica y hacer una aproximación en la definición del ambiente de depósito para la Formación Chagüí, a partir de los datos del pozo. (Núcleo de roca, muestras de zanja, registros eléctricos... etc.).

La Formación Chagüí se compone predominantemente por capas gruesas de lutita gris oscura interestratificadas con niveles de arenisca cuarzosa, limolita gris clara, y caliza tipo wackstone. Se presentan asimismo capas de conglomerados polimicticos y delgados niveles de carbón.

Se interpreta en general como depositada en un ambiente batial medio a superior y rellenos de cañones submarinos interdígitos con depósitos a partir de corrientes de turbidez.

1. OBJETIVO

1.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar litoestratigráficamente y definir el ambiente de depósito para la Formación Chagüí, en la cuenca Tumaco, a partir de los datos obtenidos del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar una descripción macroscópica de los núcleos corazonados en el pozo estratigráfico ANH-BVTURA-1-ST-P del intervalo 7.060 pies a 7.272 pies de profundidad, correspondientes a la Formación Chagüí, con el fin de identificar en muestras de mano la litología de que está constituida, así como las características texturales y estructurales observables en los núcleos y esenciales para la identificación de litofacies.
- Realizar la descripción litológica de muestras de zanja tomadas cada 20 pies en un intervalo de profundidad de 5.720 pies a 7.333 pies; para obtener un registro litoestratigráfico continuo de la Formación Chagüí que permita la definición del ambiente de depósito por medio de la delimitación, asociación e interpretación de litofacies.
- Realizar la descripción microscópica de 2 secciones delgadas y el análisis de microscopía electrónica de barrido a las profundidades de 7.165 y 7.172 pies a fin de establecer de manera detallada sus características composicionales y texturales, que contribuyan a la identificación de litofacies y consecuentemente a la interpretación del ambiente deposicional de la Formación Chagüí.

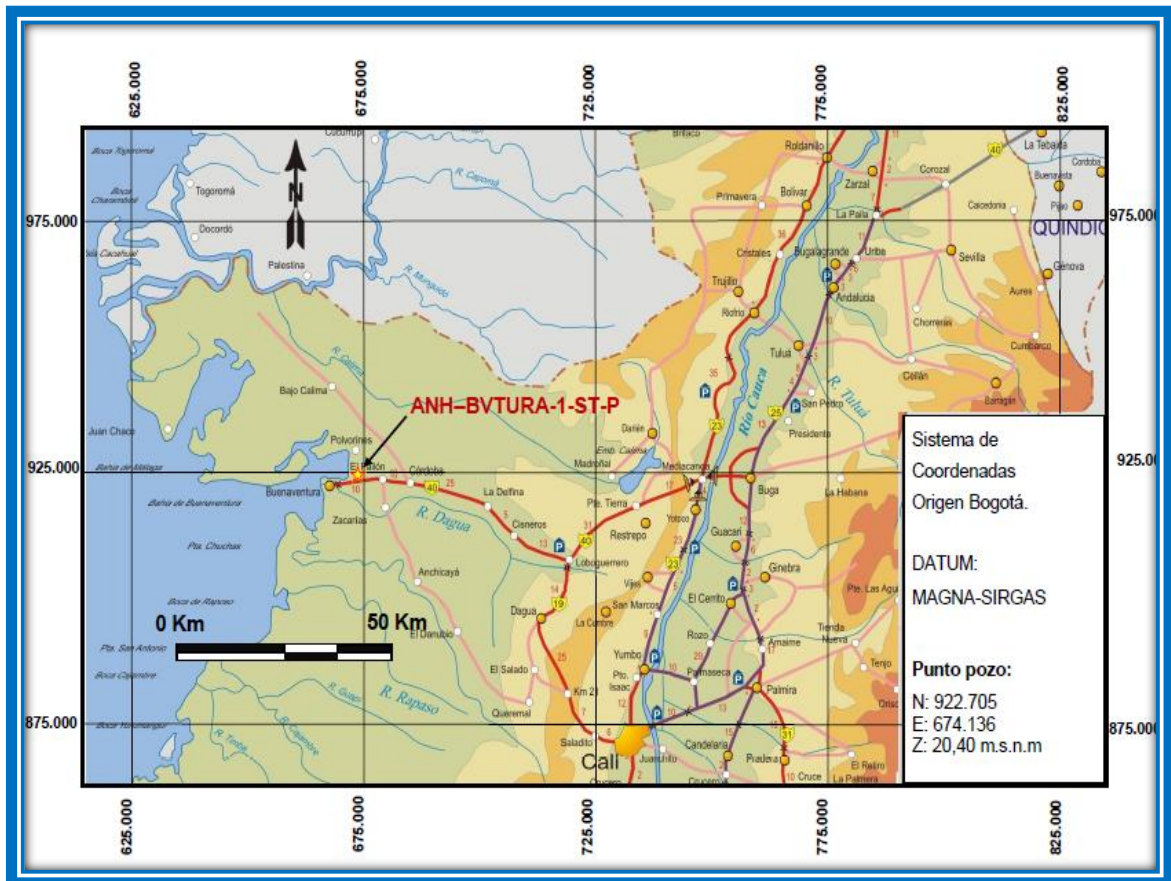
- Realizar una interpretación litológica básica utilizando los diferentes registros eléctricos adquiridos en el pozo ANH-BVTURA-1-ST-P y correlacionar entre esta interpretación y la descripción litológica obtenida de núcleos y ripios de perforación.
- Caracterizar el ambiente de depósito de la Formación Chagüí, a partir de la definición, asociación e interpretación de litofacies y electrofacies, determinadas a partir de la información proporcionada por los núcleos, muestras de zanja, y registros eléctricos, obtenidos en el pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.

2. GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN

El pozo estratigráfico ANH-BVTURA-1-ST-P, se encuentra localizado en la región Suroeste del territorio Colombiano, aproximadamente a 6,5 kilómetros del municipio de Buenaventura, Departamento del Valle del Cauca, con coordenadas planas (Datum Magna Sirgas) origen Bogotá 922.705N y 674.136E (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localización del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.



Modificado de: Equipo de Geología UIS, Proyecto Pozos Profundos

3. MARCO REFERENCIAL

3.1 FACIES

El concepto de facies en Estratigrafía y en Sedimentología lo introdujo formalmente Gressly 1938 (según Vera, 1994) para denominar a "la suma total de los aspectos litológicos y paleontológicos de una unidad estratigráfica" según la traducción de Teichert, 1958 (según Vera, 1994) o sea, para definir el "aspecto" de cada grupo de rocas.

Desde la definición originaria de Gressly 1938 (según Vera, 1994) han tenido lugar numerosas discusiones en torno al uso y significado del término facies, introduciéndose un cierto grado de confusión alrededor de mismo hasta el punto de utilizarse con diversas acepciones, algunas de ellas diferentes.

Sea cual sea la acepción utilizada, la definición de facies busca ser totalmente objetiva y debe basarse en los datos obtenidos en el campo al observar las rocas, como afirma Walker, 1984 (según Vera, 1994). En dicha observación es necesario combinar los datos geométricos (espesor y forma de los estratos) y los relativos a las propias rocas (litología, textura, estructuras sedimentarias, fósiles, color, etc.) destacando aquellos que sean más representativos de su génesis.

Sin embargo en este trabajo se evitará el uso del término facies en sentido genético se usará exclusivamente para denominar al conjunto de propiedades que definen a unos materiales (acepción abstracta) o a los materiales con dicha características (acepción concreta) pero en todo caso basado en criterios totalmente objetivos.

Según los elementos los cuales se ha definido una facies, estas se clasifican de la siguiente manera.

3.1.1 Litofacies. Una litofacies es definida como un cuerpo de roca (sedimentos) con características específicas. Puede ser una simple capa o un grupo de ellas. Idealmente, ésta debería ser una roca distintiva que se formó bajo ciertas condiciones de sedimentación, reflejando procesos particulares, set de condiciones o ambientes (Reading, 1996 según Vera, 1994).

Una litofacie se puede definir por su color, estructuras, composición, textura, fósiles y arquitectura sedimentaria. Normalmente por una combinación entre estos atributos.

Para describir diferentes litofacies, (Miall, 1996) propone el uso de un sistema de códigos identificatorios de las distintas facies, que pueden existir en los sistemas fluviales (tabla 1). El funcionamiento de éste se explica a continuación:

- La letra mayúscula indica el tamaño de grano dominante (G=grava, S=arena, F=facies finas, incluyendo arena muy fina, limo y fango).
- La letra minúscula acompañante caracteriza la textura o estructura de las litofacies.
- Si existe una segunda letra minúscula, ésta indicará si las facies son clastosoportado (c), o matriz soportado (m).

1 Tabla. Clasificación y códigos de facies y su respectiva interpretación.

CODIGO DE FACIES	FACIES	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	INTERPRETACION
Gmm	Grava masiva, matriz soportada	Gradación pobre	Flujo de detritos plástico (alta resistencia, viscoso)
Gmg	Grava matriz soportada	Gradación inversa a normal	Flujo de detritos pseudoplástico (baja resistencia, viscoso)
Gci	Grava clasto soportada	Gradación inversa	Flujo de detritos rico en clastos (alta resistencia) o flujo de detritos pseudoplástico (baja resistencia)
Gom	Grava masiva clasto soportada	Ninguna	Flujo de detritos pseudoplástico (carga de fondo inercial, flujo turbulento)
Gh	Grava con estratificación gruesa clasto soportada	Estratificación horizontal, imbricación	Estructuras sedimentarias longitudinales, depósitos de lag, depósitos de sieve
Gt	Grava estratificada	Estratificación en artesas	Colmatación de canales menores
Gp	Grava estratificada	Estratificación cruzada planar	Estructuras sedimentarias transversales, crecimientos deltaicos de remanentes de antiguas barras
St	Arena, fina a muy gruesa. Puede ser guijarrosa	Estratificación en artesas solitarias o agrupadas	Dunas de cresta sinuosa o lingüiforme (3 - D)
Sp	Arena, fina a muy gruesa. Puede ser guijarrosa	Estratificación cruzada planar solitarias o agrupadas	Estructuras sedimentarias transversas o lingüiformes (dunas 2 - D)
Sr	Arena, fina a muy gruesa.	Estratificación cruzada con ondulitas	Ondulitas (régimen de flujo bajo)
Sh	Arena, fina a muy gruesa. Puede ser guijarrosa	Laminación horizontal, particionada o de comiente	Flujo de estratificación planar (flujo crítico)
Sl	Arena, fina a muy gruesa. Puede ser guijarrosa	estratificación cruzada de bajo ángulo (< 15°)	Llenado de estructuras erosivas, humpback o lado stoss de dunas, antidunas
Ss	Arena, fina a muy gruesa. Puede ser guijarrosa	estructuras erosivas de fondo (desbaste) anchas y someras	Llenado de estructuras erosivas
Sm	Arena, fina a muy gruesa.	Laminación masiva o poco clara	Depósitos de flujos de sedimentos gravitacionales
Fl	Arena, limo, fango	Laminación fina, ondulitas muy pequeñas	Llanura de inundación, canales abandonados o depósitos de inundación en su etapa final
Fsm	Limo, fango	Masiva	Pantano o canal abandonado
Fm	Fango, limo	Masiva, grietas de secamiento	Llanura de inundación, canales abandonados o depósitos de drape
Fr	Fango, limo	Masiva, raíces, bioturbación	Capas de raíces, suelo incipiente
C	Carbón, fango carbonáceo	improntas de plantas en el fango	Depósitos de pantanos ricos en vegetación
P	Carbonato paleosol (calcita, siderita)	Características pedogénicas: nódulos, filamentos	Suelo con precipitación química

Modificado de Miall, 1996

3.1.1.1 Asociación de facies: Grupo o conjunto de facies que guardan una clara relación física y genética entre sí. El concepto involucra tanto a las relaciones verticales como laterales entre las facies. El concepto de asociación de facies es fundamental para definir mecanismos de formación de los depósitos sedimentarios, así como proponer modelos sobre sistemas de depositación y ambientes de acumulación.

Dentro de un medio sedimentario, para un momento determinado las facies se distribuyen superficialmente con un orden o polaridad determinada, regulada por las condiciones genéticas reinantes. Este concepto es conocido como ley de Walther y se refiere, exclusivamente, a las asociaciones de facies en las que no miden discontinuidades estratigráficas y para materiales dentro de una misma región y genéticamente relacionados. La ley de Walther plantea que en esas condiciones "las facies que se encuentran superpuestas se encuentran también yuxtapuestas con la misma ordenación". De acuerdo con esta ley cuando tiene lugar cambios oblicuos, las facies se presenta ordenadas simultáneamente en sentido lateral y vertical, de manera que las facies en la actualidad se encuentran yuxtapuestas se disponen, además, superpuestas formando una "asociación de facies", que en la vertical se refleja en una "secuencia de facies".

3.1.2. Electrofacies. Cada perfil o registro de pozo brinda en mayor o menor grado alguna información, directa o implícita, de la composición mineralógica, la textura y las estructuras sedimentarias, es decir, que cada perfil de pozo brinda un panorama particular de las propiedades de la roca. Si bien en algunos casos basta uno o dos perfiles para la determinación de las propiedades de la roca, entre mayor sea el número de perfiles utilizados en la interpretación, menor será el riesgo de ambigüedad y error, y serán por tanto mejor definidos los atributos de las rocas. Las electrofacies fueron designadas originalmente por Serra, 1970 (según Vera, 1994) y definidas de la siguiente manera: "el conjunto de la

respuesta de los perfiles que caracterizan un estrato y permite distinguirlo de otros”.

3.1.2.1. Asociación de electrofacies o electrosecuencias: Algunas veces observamos que los registros (resistividad, rayos gamma, potencial espontáneo, etc.) evolucionan en forma progresiva con la profundidad. Estas evoluciones que tienen la forma de rampas fueron denominadas por Serra, (1970) como electrosecuencias. A continuación se da la definición propuesta para una electrosecuencia:

“Un intervalo de profundidad de mayor espesor que la resolución vertical de la herramienta de medición y que presenta una evolución continua y progresiva entre dos valores extremos del parámetro de medida, describiendo una rampa”.

Esta variación puede reflejar:

- Un cambio progresivo en la composición mineralógica con la profundidad: evolución del porcentaje de arcillas en una arenisca o en una caliza; aumento de la proporción de dolomita en una caliza o de minerales pesados radiactivos en una arenisca.
- La evolución de un parámetro textural: cambio en el tamaño del grano, que refleja secuencias granocreciente o granodecreciente; disminución de la selección, etc.
- Una variación simultánea de la composición mineralógica y de la textura (conglomerado-arena-lutita).
- Una evolución de la saturación en la zona de transición entre reservorios petrolíferos y acuíferos, que se manifiesta especialmente en las curvas de resistividad.

3.3 AMBIENTE DE DEPÓSITO

Un ambiente sedimentario está caracterizado por un conjunto geomorfológico particular en el cual un grupo de procesos físicos – químicos y biológicos opera para generar un cierto tipo de depósito sedimentario (Boggs, 2001).

El ambiente físico está caracterizado por elementos estáticos y dinámicos. Los elementos físicos estáticos incluyen la geometría de la cuenca: los materiales siliciclásticos depositacionales como grava, arena y lodo; la profundidad del agua; y temperatura. Los elementos físicos dinámicos incluyen factores como la energía y dirección del flujo del fluido (agua, viento, hielo, precipitaciones, nevadas, etc.) los cuales influyen las corrientes y olas. Las características químicas de los ambientes como salinidad, pH, Eh y el contenidos de dióxido de carbono y oxígeno controlan los procesos químicos como la precipitación de minerales. La características biológicas se restringen a las actividades de los organismos (crecimiento de las plantas, madrigueras, de descanso, y alimentación /ingestión de sedimento y extracción de sílice y carbonato de calcio para generar material esquelético) y a la presencia de restos orgánicos como material depositacional.

A nivel general se identifican tres ambientes principales de depositación: (1) Continental, (2) Marino-marginal, y (3) Marino. Cada uno de éstos se encuentra dividido en diferentes sistemas de depósito, así como en una serie de ambientes y sub-ambientes asociados (Tabla 2).

Tabla 2. Clasificación simplificada de los ambientes de depositación.

Conjunto Deposicional Primario	Ambiente Principal	Subambientes
CONTINENTAL	Fluvial	Abanicos aluviales Corrientes trenzadas Corrientes meándricos
	Desértico	
	Lacustre	
	Glaciar	
MARINO MARGINAL	Deltaico	Planicie deltaica Frente deltaico Prodelta
	Playa /Islas barrera	
	Estuario / lagunal	
	Plataforma mareal.	
MARINO	Nerítico	Plataforma continental Arrecife orgánico
	Oceánico	Talud continental Piso oceánico profundo

Fuente: Boggs, 2001

3.3.1 Ambiente de depósito Continental. En lo que respecta al depósito continental, podemos mencionar que los sedimentos son acumulados dentro de cuatro sistemas bien definidos: Fluvial (Abanicos aluviales, ríos), Desértico, Lacustre (lagos) y Glaciar. Cada uno de ellos presenta ambientes sedimentarios que los caracterizan, aunque esto no quiere decir que sean exclusivos de dicho sistema. Por ejemplo, los sedimentos fluviales son depositados principalmente por ríos generados en regiones húmedas; sin embargo, dentro de los sistemas desértico y glaciar, también se tiene el desarrollo de ríos que depositan el material, pero con características sedimentológicas diferentes. Los depósitos que se generan en los sitios continentales son sedimentos predominantemente detríticos que se caracterizan por un contenido fosilífero escaso, llegando a dominar en algunos casos, los restos de madera fósil y algunos vertebrados. En el ámbito global los afloramientos de rocas sedimentarias de origen continental son menos abundantes que su contraparte depositada en ambientes marino y marginal

marino, pero éstos pueden llegar a representar un papel muy importante en la historia geológica de una región en particular. (Krumbein y Sloss, 1963).

3.3.1.1 Sistemas Fluviales: Los depósitos fluviales constituyen uno de los medios continentales de mayor importancia estratigráfica y están constituidos principalmente por sedimentos que se acumulan a partir de la actividad de los ríos y los procesos de deslizamiento por gravedad asociados. Tales depósitos ocurren en el presente bajo una variedad de condiciones climáticas y una variedad de escenarios que van desde áreas desérticas hasta regiones húmedas y glaciales, muchos ambientes fluviales antiguos pueden ser asignados a uno de los tres marcos ambientales generales: Abanicos aluviales, ríos trezados o ríos meándricos.

Los sistemas de ríos a través del tiempo han sido los agentes más importantes como conductos transportadores de sedimento hacia lagos y océanos que como lugar de sedimentación. El sedimento depositado por los ríos bajo algunas condiciones llega a formar parte del registro sedimentario antiguo

- **Sistemas de canales trezados.** Los ríos trezados se distinguen de los ríos meándricos por tener baja sinuosidad y por la presencia de muchos canales separados por barras o por pequeñas islas. Los ríos trezados muestran un mayor desarrollo en las partes distales de los abanicos aluviales, y en las proximidades a los sistemas de alta montaña. En estas áreas, el sedimento es abundante, la descarga de agua es alta y comúnmente esporádica. Bajo estas condiciones, los ríos alcanzan una sobrecarga de sedimento, importante en la rápida depositación de sedimento. El trezamiento aparentemente se forma por rápidas fluctuaciones en la descarga del río, una abundancia del sedimento grueso y una alta tasa de aporte de sedimento. Los ríos trezados tienden a tener altos gradientes lo cual hace estos ríos característicos de los sistemas de ríos montañosos.

- **Sistemas de canales anastomosados.** Un sistema de canales anastomosados es un depósito fluvial con un gradiente de pendiente muy bajo la cual varía entre 0.09 a 0.012 m/Km (Smith y Puntman 1980), en donde se interconectan una serie de canales de muy alta sinuosidad, angostos y relativamente profundos. Además, en estos sistemas los canales son separados por planicies de inundación que consiste de islas con vegetación, muros naturales y áreas donde pueden desarrollarse depósitos de desborde (crevasse splay). Los canales en estos sistemas son rellenados con arena y grava, formando depósitos lenticulares, limitados por depósitos arenos – arcillosos de muro natural. Por otra parte, en las planicies de inundación, los depósitos característicos los constituyen materiales limo- arcillosos finamente laminados, incluyendo depósitos finos de pantanos con un alto contenido de materia orgánica.
- **Sistemas de canales meándricos.** Contrastando las redes de canales que caracterizan los ríos trenzados, los ríos meándricos tienden a ser confinados dentro de un canal principal, caracterizados por bancos cohesivos difíciles de erosionar. Las corrientes de meandros se caracterizan por su gran sinuosidad, bajos gradientes y carga de sedimentos finos.

Tipos de Depósitos Fluviales:

Los sedimentos de un medio fluvial presentan características diversas según la zona en que se hayan depositado; unos representan la acumulación en el canal; otros la que tuvo lugar en sus márgenes; finalmente, existen sedimentos correspondiente a zonas alejadas del cauce.

- **Depósitos de barras de canal.** Son depósitos típicos de ríos anastomosados, su granulometría varía según se trate de corrientes montañosas, en cuyo caso depositaran material grueso, o de tramos en los cursos bajos de ríos que

transportan una gran cantidad de sedimentos, siendo entonces la granulometría fina (Reineck y Stinch, 1973) Estas barras pueden desplazarse originando estratificación cruzada tabular (Corrales, Rosell, Sánchez, Vera, Vilas, 1977).

- **Depósitos de barras de punta (Point Bar).** Son aquellos que se acumulan en la parte interna de los meandros y contienen los sedimentos más gruesos de los transportados por la corriente, observándose en ellos un grano-selección con disminución del tamaño de grano hacia la parte superior. Puede presentar estratificación cruzada curva, debida a la migración de ripples, de tamaños tanto pequeños como grandes (la de mayor escala se encontraría hacia la base de la unidad); sobre está puede encontrarse estratificación cruzada plana y laminación paralela principalmente.
- **Depósitos de diques o albardones (Levee).** Forman bandas que bordean los cauces. Sus sedimentos están entre los más gruesos de los depositados fuera de aquellos: arenas finas, limos y arcillas, generalmente, disminuyendo el tamaño de grano hacia la llanura de inundación así como las aguas abajo. Suelen presentar inter – estratificación de los sedimentos más gruesos con los más finos, que sería debido a las inmersiones que sufren durante las épocas de avenidas. Pueden estar recubiertos por vegetación (Allen, 1965).
- **Depósitos de desborde de canal (Crevasse Splay).** Estos depósitos se generan cuando las aguas de la corriente principal logran romper los muros que la confinan. La sedimentación por tracción y suspensión ocurre rápidamente cuando el agua cargada, tanto con material grueso como fino, pierde su competencia en el transporte, dando como resultado depósitos gradados.
- **Depósito de llanura de inundación (Flood Plain).** Se encuentra en las zonas más alejadas del cauce. Están formados por sedimentos de grano fino, que han sido transportados en suspensión: limos y limos arcillosos. Puesto que

durante largos periodos de tiempo quedan expuestos al aire presentan grietas de desecación y si el clima es lo suficientemente seco pueden mostrar costras calcáreas y ferruginosas. Además estos tipos de depósitos describen los llamados depósitos de transición, que son aquellos que se acumulan en los canales abandonados, especialmente en los tramos correspondientes a meandros, cuando la corriente rectifica su curso. Fundamentalmente están formados por limos y arcillas, aunque en ocasiones pueden contener también algo de arena fina; algunos presentan laminación estratificación cruzada y grietas de desecación. (Corrales, Rosell, Sánchez, Vera, Vilas, 1977).

- **Depósito de canal de abandono** compuesto generalmente de material grueso que los ríos pueden mover o transportar durante los períodos de máxima competencia de las corrientes. El material incluye gravas, troncos u otro material vegetal de grandes dimensiones, como componente principal. Además tienden a ser depósitos de forma lenticular, en donde lo más característico es la imbricación de clastos que presentan (Corrales, Rosell, Sánchez, Vera, Vilas, 1977).

3.3.2 Ambientes marino. En ambiente marino, tanto en la plataforma continental como en el talud y en la cuenca marina profunda se forman depósitos sedimentarios que pueden servir como rocas almacenadoras o generadoras de hidrocarburos siendo su potencial en menor escala cuando se le compara, por ejemplo, con los yacimientos de ambientes Deltaicos. El ambiente Marino comprende la plataforma, el talud y la cuenca marina profunda.

- **Ambiente nerítico.** Se extiende desde el límite de la baja marea hasta los 200 m de profundidad. La energía es principalmente mecánica debido a la acción de olas y corrientes; Los materiales pueden ser esencialmente clásticos, desde grava hasta arcilla.

- **Ambiente batial.** Se extiende desde 200 hasta 2000 m de profundidad. La energía mecánica es despreciable, salvo en el caso de las corrientes de densidad y de los derrumbes. Los materiales incluyen clásticos finos originados por sedimentación de las partículas en suspensión y detritos gruesos que ocasionalmente pueden derrumbarse desde zonas menos profundas
- **Ambiente abisal.** Se encuentran en zonas marinas con profundidades superiores a los 2000 m, la energía mecánica es reducida a su mínima expresión. Los materiales incluyen sedimentos finos originalmente en suspensión y caparzones de organismos planctónicos que representan una importante porción del material.

4. NTECEDENTES DEL AREA DE ESTUDIO.

SUAREZ, M. 1990. Estudio Geológico regional e interpretación sísmica estratigráfica en la provincia sedimentaria de la Costa Pacífica.

El objetivo principal es la contribución al conocimiento de las posibilidades hidrocarburíferas de la “Provincia de la Costa Pacífica” y el reconocimiento de áreas de mayor interés hidrocarburífero que definan la estrategia de exploración en ésta. Se realizó con base en información de pozos exploratorios perforados por ECOPETROL y diferentes compañías operadoras, información aeromagnética, sísmica marina y terrestre y geología de campo.

Según este proyecto el área de mayor interés hidrocarburífero corresponde a la parte suroccidental de la Costa Pacífica, esta afirmación se basan por las siguientes razones:

- Presentan una facies arenosa conglomerática cuarzosa (Formación Maralú y la base de las Formaciones Floresanto y Pajuil) en este sector, aumentando la posibilidad de tener reservorios potenciales en el mismo.
- Los acuíferos intraformacionales hacia el borde de cuenca (suroccidente) pueden proveer trampas estratigráficas y eventualmente pueden tenerse trampas combinadas al presentarse sellamiento a través de la falla de Urabá.
- Es una zona contigua al depocentro de la cuenca en el cual pudo presentarse generación de hidrocarburos.
- En este sector se tiene una somerización del basamento permitiendo tener las rocas reservorio en posiciones más someras y por lo tanto en zonas de menor presión litostática hacia las cuales migrarían los hidrocarburos desde el depocentro.

Los resultados de este trabajo para la Cuenca Tumaco es información que se tuvo en cuenta para la ayuda de la elaboración del presente proyecto de tesis.

- Esta cuenca corresponde a una cuenca de antearco (Forearc basin) en la cual se depositaron una megasecuencia pre-Mioceno medio y 3 secuencias desde el Mioceno medio hasta el Plioceno. En el nivel inferior de la Secuencia A (Mioceno medio) y B (Mioceno superior) se tiene rocas depositadas durante “basin-floor fan systems tracts”, en los cuales se tienen reservorios potenciales representados en arenitas, arenitas conglomeráticas y conglomerados formados en abanicos submarinos, canales submarinos y cañones submarinos.
- Aún no se conoce la litología de la parte inferior de la megasecuencia pre-Mioceno medio pudiéndose tener rocas generadoras en este nivel. La información actual no permite realizar una evaluación del potencial de generación en esta cuenca.
- El área de mayor interés hidrocarburífero en esta cuenca corresponde al sector oriental costa adentro siendo el mayor interés trampas estratigráficas.

ESCOVAR, R. GOMEZ, L. A. RAMIREZ, J. R. 1992. Informe final proyecto Tumaco – 90.

Por medio de la interpretación de 300 Km de líneas sísmicas distribuidos en la parte sur de la Cuenca Choco-Pacífico, más específicamente en la Subcuenca Tumaco. Con base en la interpretación de la información previa existente (información de pozos, mapas geológicos etc.) se desarrolló un modelo de evolución de la cuenca y una distribución facial. Con esta información se pudo determinar de manera preliminar el potencial de la Subcuenca Tumaco para generar y entrapar hidrocarburos.

En este trabajo proponen una Megacuenca que llaman Guayaquil-Buenaventura de tipo antearco con producción de aceite y gas en la cuenca Guayaquil. Con información recogida de la sísmica realizada se pudo determinar facies sedimentarias y una predicción de roca almacenadora, generadora y sello por medio de un análisis de secuencias. Con la información proveniente de un área de 15.000 Km² localizada en la Subcuenca Tumaco se concluyó un espesor de sedimentos hasta de 32.000 pies de espesor pertenecientes a un ambiente marino profundo.

SANCHEZ, N. PEÑALOZA, E. 2006 Patronamiento bioestratigráfico con base en foraminíferos planctónicos en el intervalo 2110 pies – 5620 pies del pozo Remolino Grande -1, subcuenca de Tumaco, Pacífico Colombiano.

Se realizó un estudio bioestratigráfico con base al análisis de foraminíferos en el pozo Remolino Grande-1 ubicado en la Subcuenca Tumaco en el que se tomaron 47 muestras de zanja húmeda, de las cuales se realizó un estudio taxonómico para 34 de ellas. Los autores identificaron 10 géneros y 45 especies de foraminíferos plantónicos y 30 géneros de foraminíferos bentónicos, información con la que se realizó una carta de dispersión de foraminíferos estableciendo dos zonas, una de edad Oligoceno y otra de Mioceno medio. Las estimaciones paleobatimétricas con base a la relación entre foraminíferos planctónicos y bentónicos arrojan profundidades de nerítico medio a batial superior, para la Subcuenca de Tumaco durante el Oligoceno-Mioceno.

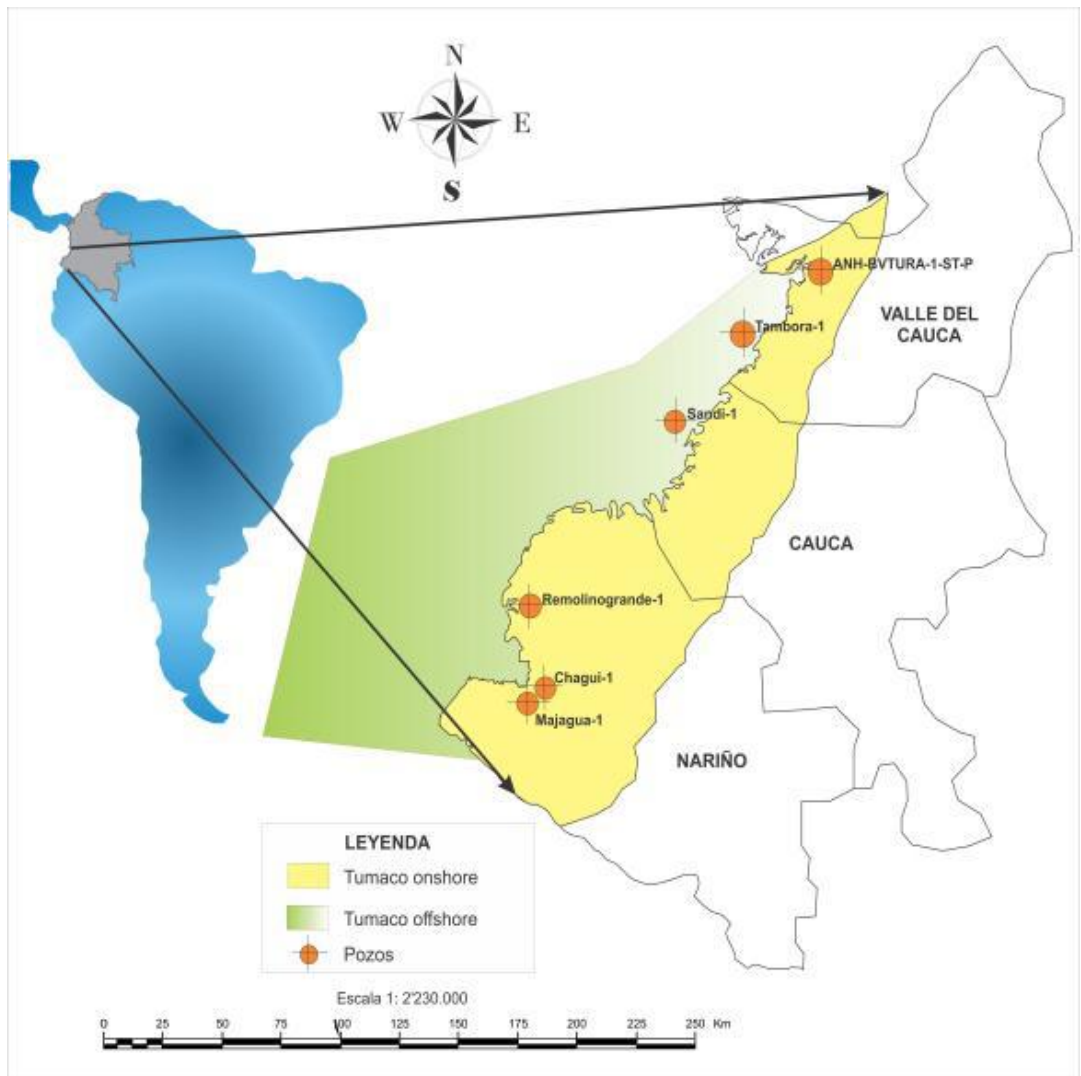
5. MARCO GEOLOGICO REGIONAL

5.1 LOCALIZACION Y GENERALIDADES DE LA CUENCA TUMACO

La Cuenca Tumaco está localizada al Suroccidente de Colombia, en la región pacífica y hace parte de la cuenca Pacífica del Norte de Ecuador y Suroccidente de Colombia. Su flanco Occidental está definido por un alto estructural que controla la geometría de la cuenca y que la separa en dos áreas; cuenca costa adentro (onshore) predominante y cuenca costa afuera (offshore). (Figura 2)

La Cuenca Tumaco (onshore) limita al Norte con el sistema de Fallas de Garrapatas, al Sur con la frontera Ecuatoriana (se prolonga al Sur de este límite), al Este con las rocas volcánicas de la cordillera Occidental y al Oeste con la línea de costa del océano pacífico. La prolongación de la cuenca en el Océano Pacífico (Tumaco offshore) limita al Norte también con el sistema de fallas de Garrapatas, al sur con Ecuador, al Este con la línea de costa del océano Pacífico y al Oeste con la fosa de subducción de Colombia en el Pacífico.

Figura 2. Ubicación geográfica de la cuenca Tumaco. Punto del pozo a perforar y los pozos perforados vecinos.



Fuente: Barrero, Pardo, Vargas, y Martínez, (2007) Tomado de Colombian Sedimentary basins, ANH.

La Cuenca Tumaco tiene una longitud aproximada de 150 kilómetros en su dimensión más extensa, orientada N-NE y tiene apenas 30 kilómetros de ancho en promedio.

A continuación la ficha técnica de la Cuenca Tumaco, donde se muestra el tipo de Cuenca, área total y el área disponible, pozos perforados, la cobertura productiva, roca reservorio, roca generadora y el tipo de hidrocarburo.

Tabla 3. Ficha técnica de la Cuenca Tumaco.

Cuenca	Tumaco Costa adentro y Costa afuera
Tipo de Cuenca	Arco frontal
Área de la cuenca	Tumaco costa adentro 23.732 Km ² /2373242 Ha Tumaco costa afuera 34553Km ² / 3455269 Ha
Área disponible	42971 Km ² /4297116 Ha
Pozos Perforados	Tumaco costa adentro 3 Tumaco costa afuera 2
Espesor max. Cobertura productiva	10800 m
Sísmica 2D	Pacífico -73, Pacífico- 82, Tumaco-91, Tumaco- 92, Sisteur- 2000
Roca Generadora	Limolitas y areniscas de grano fino del Oligoceno.
Roca Reservorio	Rocas calcáreas, areniscas y conglomerados del Mioceno
Roca Sello	Lodolitas del Mioceno Tardío
Tipo de Hidrocarburo	Potencialmente petróleo y gas.

Modificado de: Equipo de Geología UIS, Proyecto Pozos Profundos

5.2 EVOLUCION GEOLOGICA DE LA CUENCA TUMACO.

La Cuenca Tumaco se presenta como una Cuenca de Ante arco (forearc basin) asociada al sistema de subducción terciario (figura 3A). En la parte terrestre se tiene fallamiento inverso poco intenso y en la parte marina un estilo estructural de fallas extensionales. También se presentan diapirismo de lodo tanto en la parte terrestre como en la parte marina (Suarez, 1990).

La cuenca empieza su evolución en el Cretáceo tardío donde la Orogenia Calima (Barrero, 1979 según Suarez, 1990) produce un régimen compresivo que afecta la sección Cretácea produciendo un desplazamiento de la corteza oceánica en la zona de subducción y corteza continental debido al movimiento dextral de la placa a lo largo de la mega cizalla Tumbes-Guyana al Sur de Ecuador (figura 3 B). De esta manera la zona de subducción fue localizada a lo largo del lineamiento Dolores-Guayaquil. Se presentaron también levantamientos del basamento constituido por los grupos Dagua y Diabásico.

Posiblemente desde el paleoceno y hasta el mioceno temprano se presentaron depósitos en un ambiente marino profundo (mega secuencia pre-Tmm). Aún es incierto cuantos pulsos tectónicos se presentaron en este lapso de tiempo. (Suarez, 1990). En el Paleoceno/ Eoceno, se presenta una depositación constituida por sedimentos pelágicos intercalados con facies ofiolíticas (conjunto de rocas ultrabásicas, complejo de diques, lavas) que constituyen una corteza oceánica asociados a conglomerados volcanoclásticos. En esta misma época, la subducción de la placa pacífico bajo la placa suramericana se dio a lo largo de la alineación que sería la “mega-cizalla Dolores-Guayaquil, (fallas Romeral/ Palestina departamento del Cauca-Colombia). Probablemente a partir del Oligoceno, comenzó una transferencia de la zona de subducción de la placa Pacífico Caribe de su posición a lo largo de la mega cizalla Dolores-Guayaquil para la zona de trinchera de Colombia. Así mismo fue definida y denominada la micro placa de

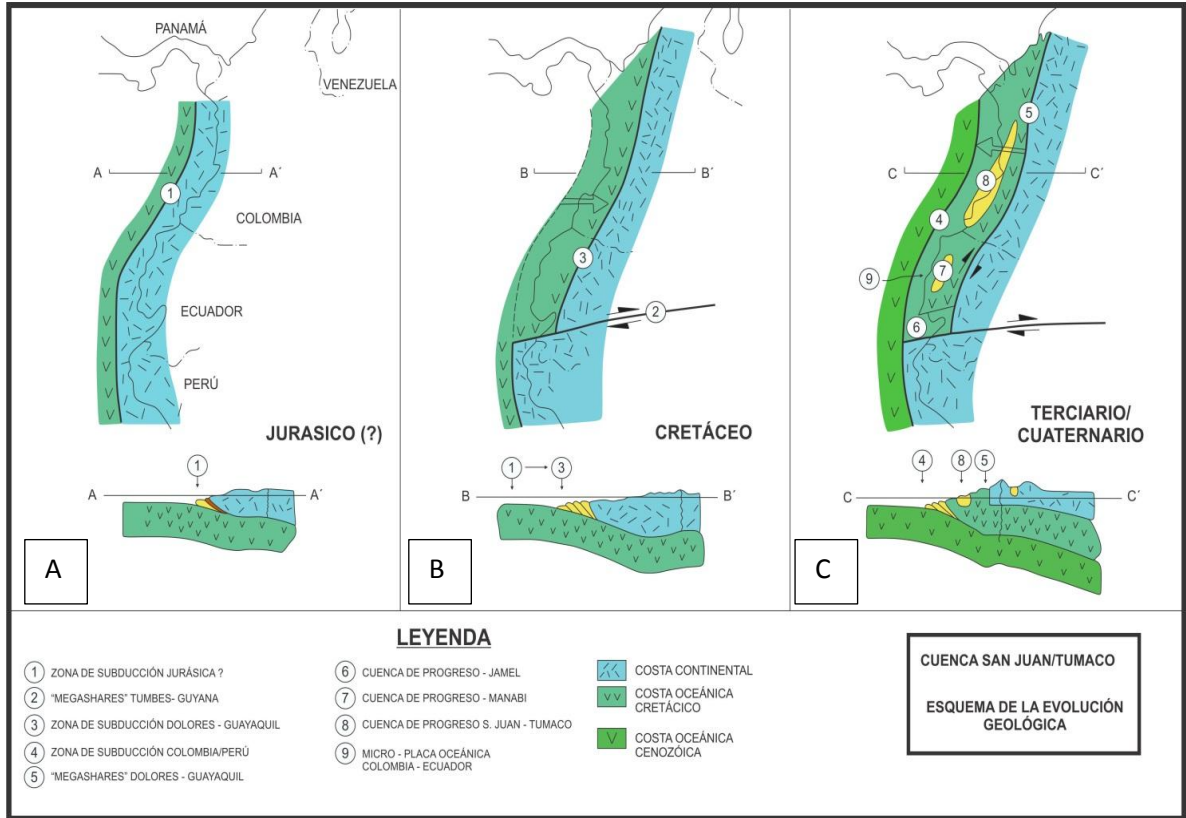
corteza oceánica Colombia-Ecuador entre ambas zonas de subducción (figura 3C).

Como resultado de este proceso se dio lugar probablemente a los siguientes eventos:

- La Fragmentación de la micro placa en flancos fallados y la formación de un paleoalto.
- El desarrollo de la cuenca “forearc”.
- La sedimentación de paquetes de Lutitas en aguas marinas profundas intercaladas con secuencias turbidíticas arenosas (Formación Capayas y Viche).

A finales del Mioceno temprano se presenta un pulso tectónico importante que queda registrado por las formaciones Viche y Angostura depositadas al Sur de la cuenca (Wainoco, 1980), y por la Formación Naya (Van Der Hammen, 1958 según Suarez, 1990) que se deposita al Norte de la misma; estas formaciones son de ambientes de turbiditas. A partir del Mioceno medio se inicia un proceso de diapirismo de lodo. A comienzos del Mioceno tardío ocurre otro pulso tectónico significativo que produce nuevamente depósitos turbidíticos en un ambiente batial, que se manifiestan Formación Chagüi, (Graves y LLOYD, 1980 según Suarez, 1990), y la Formación San Agustín, (Vargas, 1973 según Suarez, 1990). En el Plioceno se presenta el último pulso y el más intenso de la orogenia andina. Dicho pulso produce somerización de la cuenca teniéndose depósitos en un ambiente nerítico a continental, se registra en la Formación Guapi (Van Der Hammen, 1958 según Suarez, 1990).

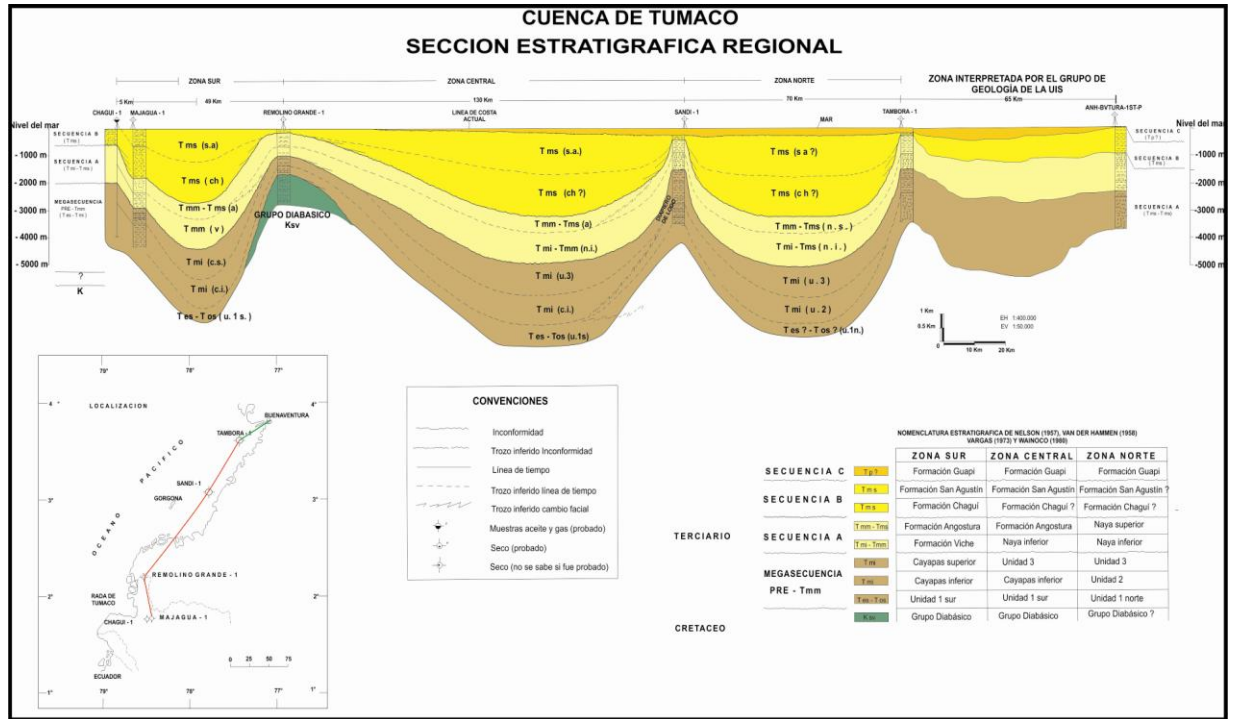
Figura 3. Evolución geológica de la cuenca Tumaco. 3A) Cuenca asociada al sistema de subducción terciario. 3B) Desplazamiento de la placa a lo largo de mega cizalla durante el cretáceo. 3C) Formación de la micro placa Colombia-Ecuador.



Fuente: Modificado de Petrobras 1987.

Como complemento a la información se anexa la Figura 4 que muestra el comportamiento de las capas en un corte realizado por ECOPETROL en el año de 1990 reuniendo las descripciones realizadas de los pozos perforados hasta el momento en la presente cuenca y que se ubican entre 65 Km y 281 Km del Pozo ANH-BVTURA-1-ST-P, (figura 5), el corte estratigráfico regional establece a partir de los pozos perforados en la cuenca y con las descripciones realizadas en cada uno de estos puntos da una idea de cómo se establecería la secuencia deposicional en el punto de perforación.

Figura 4. Corte estratigráfico regional de la cuenca Tumaco.



Fuente. Suarez, 1990. ECOPETROL.

sucedier considerando los espesores infrayacentes a rocas del Eoceno que muestra la información sísmica.

5.3.1 Estratigrafía de secuencias. Con base en la interpretación sísmica y en la información de pozo, se identificaron una megasecuencia y tres secuencias que ocurren a través de la Cuenca de Tumaco, perteneciente al sistema terciario y depositado sobre el Grupo Diabásico del Cretáceo superior (Nelson, 1962; Barrero, 1979 según Suarez, 1990).

5.3.1.1. Cretáceo superior: El basamento de la Cuenca Tumaco está constituido por el Grupo Diabásico que consta de basaltos toleíticos, diabasas, lavas almohadilladas con algunas intercalaciones de chert y algunos shales pelágicos (Nelson, 1962; Barrero, 1979 según Suarez, 1990) (figura 6).

5.3.1.2 Terciario

Megasecuencia Pre-Tmm (Paleoceno? – finales del Mioceno inferior)

Se define informalmente la “Megasecuencia pre-Tmm” para indicar la posible presencia de más de una secuencia en la misma.

A continuación se describen las unidades litoestratigráficas de esta parte de la Megasecuencia pre- Tmm, concebidas dentro de unidades cronoestratigráficas.

(Figura 6)

Eoceno Superior – Oligoceno

Dentro de este intervalo se definieron las unidades informales “1 sur” y “1 norte” para las mismas zonas de la cuenca respectivamente. La unidad 1 sur consiste en una alternancia de lodolitas, arenitas y calizas de ambiente batial superior. La unidad 1 Norte corresponde a conglomerados y arenitas de ambiente marino

profundo (batial a abisal) y probablemente representa abanicos submarinos, rellenos de canales y cañones submarinos. (Figura 6).

Mioceno inferior

Esta serie se encuentra representada en la parte sur de la cuenca por la Formación Cayapas (Schwinfurth, según Wainoco, 1980b), la cual se divide informalmente en las unidades Cayapas inferior y Cayapas superior; y hacia el norte por las unidades informales 2 y 3 (figura 6). La unidad Cayapas inferior consiste en arcillolitas, arcillolitas limosas y arcillolitas fisiles (Shales) con frecuencia niveles delgados de arenita, en un ambiente abisal a batial. La unidad Cayapas superior está constituida por una alternancia de arcillolitas grises, arenitas piroclásticas y calizas representa un ambiente batial. La unidad 2 consta de arcillolitas fisiles (shales), lodolitas y arcillolitas con niveles delgados de caliza hacia la parte inferior; se depositó en un ambiente talud inferior. La unidad 3 también es lodosa pero con intercalaciones de niveles de arenita hacia la parte superior y representa un ambiente batial medio a inferior. Es importante anotar que todas las unidades presente en este intervalo de tiempo son pelíticas y constituyen los diapiros de lodo existentes en la cuenca.

Secuencia A (Mioceno medio – comienzos Mioceno superior).

Está representada por las formaciones Viche y Angostura (Wainoco, 1980) al sur de la cuenca y por la Formación Naya (Van Der Hammen, 1958 según Suarez, 1990) al norte. (Figura 6). La Formación Viche tiene una facies arcillosa con niveles calcáreos y algunos niveles de arenita y se formó en un ambiente batial medio por procesos turbidíticos. La Formación Angostura contiene arenitas, arenitas conglomeráticas y conglomerados con matriz areno-arcillosa; y representa un ambiente batial medio superior. La Formación Naya se divide informalmente en las unidades Naya inferior y Naya Superior. La unidad Naya inferior con un conglomerado basal y en general con intercalaciones de niveles de conglomerado y arcillolita. La base de esta unidad representa un evento de alta

energía con presencia de abanicos submarinos, rellenos de cañones y de canales submarinos favorable para la formación de facies clásticas gruesas. La unidad Naya superior consiste primordialmente de arcillolitas, lodolitas y arcillolitas fisiles (shales) con menores intercalaciones delgadas de arenita, arenita conglomerática y pocos conglomerados.

Secuencia B (Mioceno superior)

Se encuentra representada por las Formaciones Chagüí (Graves y Llydy, en Wainoco, 1980b) y San Agustín (Vargas, 1973). (Figura 6). La Formación Chagüí consiste en una alternancia de conjuntos muy gruesos de arcillolitas, arcillolitas fisiles (Shales), limolitas y lodolitas localmente calcáreas con conjuntos muy gruesos de arenitas y arenitas conglomeráticas con fragmentos tobáceos y de rocas máfica. Se formó en un ambiente batial medio a superior y podría representar olistostromas y relleno de cañones submarinos interdigitos con depósitos a partir de corrientes de turbidez. La Formación San Agustín está constituida predominantemente por arcillolitas, limolitas y limolitas arcillosas en conjuntos muy gruesos con frecuentes intercalaciones de arenitas tobáceas en conjuntos muy gruesos. Esta facies más lodosa representa posiblemente depósitos neríticos de plataforma externa.

Secuencia C (Plioceno? – Cuaternario)

Corresponde a la secuencia más reciente. Presenta un conglomerado basal delgado perteneciente a la Formación Guapi (Van Der Hammen, 1958). (Figura 6). Esta secuencia también incluye los sedimentos cuaternarios. El límite inferior de esta secuencia corresponde a una inconformidad angular contra la cual se truncan las anteriores secuencias, evidenciando que ésta fue producida por un pulso tectónico mayor, el cual podría corresponder a la última fase de la Orogenia Andina durante el Mioceno más superior a Plioceno. Es decir que las rocas de esta secuencia serían post-Mioceno superior.

5.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el sector sur terrestre de la Cuenca Tumaco (Dpto. de Nariño) se tiene al oriente un tren regional de N25°E a N35°E, pero en la parte axial y occidental el rumbo es de N5°E a N15°E. Esta área presenta poca perturbación tectónica teniéndose solo algunos pliegues suaves asociados a diapirismo de lodo y fallamiento poco intenso. Desde el límite con el Dpto. del Cauca y hasta la Bahía de Buenaventura el rumbo regional es aproximadamente N30°E. Costa afuera la cuenca se encuentra altamente tectonizada con plegamientos estrechos, fallas normales y diapirismo de lodo. En general los pliegues y fallas presentan altos buzamientos. Paralelamente al Dpto. de Nariño el rumbo regional es de N30°E a N40°E pero a partir del límite con el Dpto. del Cauca y hasta la Bahía de Buenaventura es de N45°E a N50°E (Ojeda y Calife, 1987; García y Prince, 1982 según Suarez, 1990).

La Cuenca de Tumaco es una cuenca de antearco (forearc basin) asociada al sistema de subducción terciario. Está ubicada entre la Cordillera Occidental y el arco externo acrecionario; el depósito fue limitado por dicho arco y se produjo en una depresión paralela a la línea de costa ancestral.

Esta cuenca presenta dos depocentros debido a la existencia de un paleoalto de basamento, siendo más profundo el depocentro de la parte terrestre. El paleoalto de basamento separa dos zonas que presentan diferentes estilos estructurales. Costa adentro se tiene fallamiento inverso poco intenso y poca deformación. Costa afuera el estilo estructural es de fallas extensionales (extensional normal faults) con la mayoría de fallas de ángulo alto.

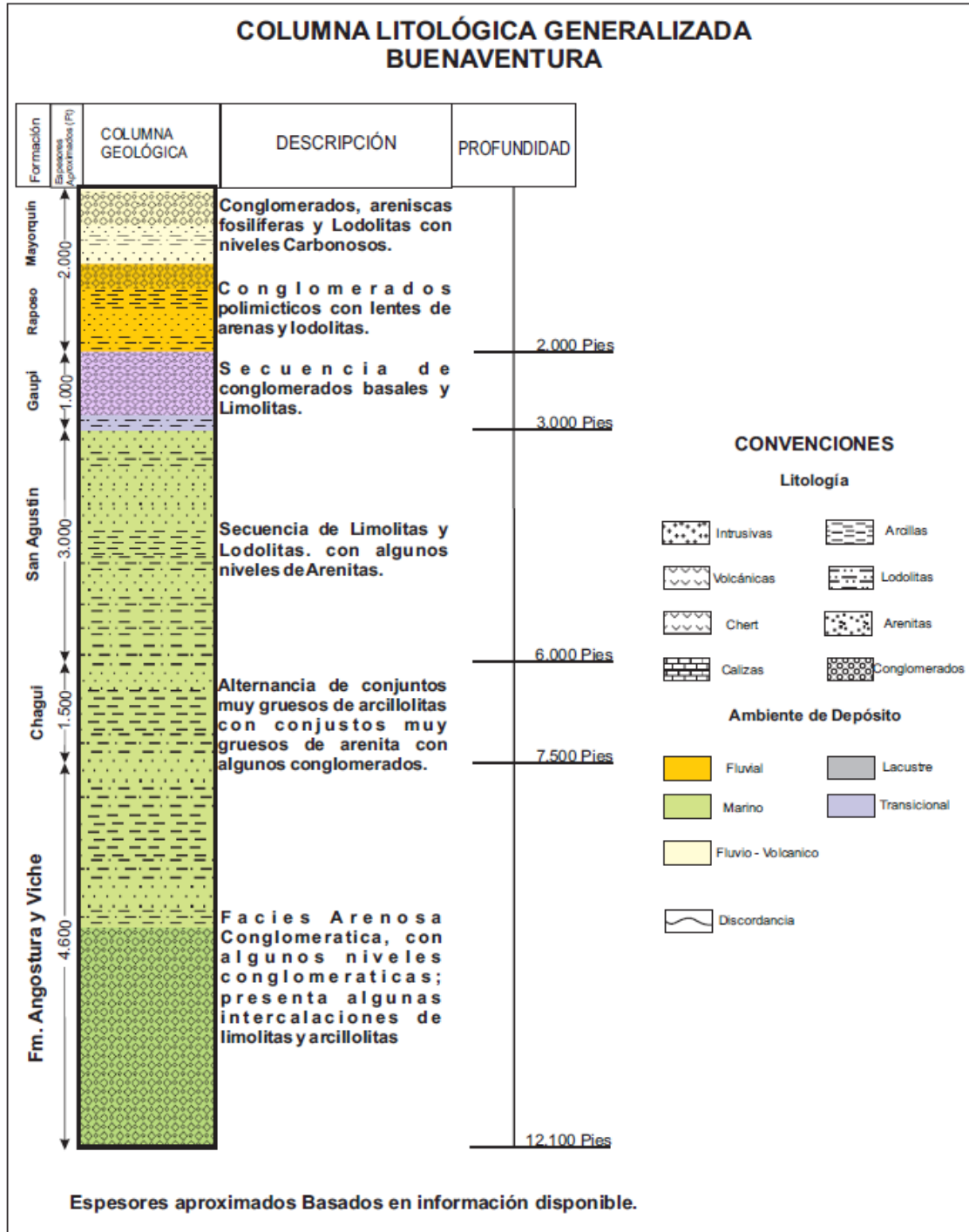
Otro estilo estructural presente en esta cuenca es el de estructuras de lodo (shale structures) debido a la presencia de un evento de diapirismo que ocurrió desde el Mioceno medio hasta el Mioceno superior.

5.5 PROGNOSIS DEL POZO ANH-BVTURA-1-ST-P.

Existe información previa compilada de la Cuenca Tumaco, realizado por ECOPETROL entre otros, donde se resume la información estratigráfica general de la Cuenca (figura 6).

Con las descripciones realizadas por diferentes autores se estima de una forma muy general la situación litológica presente en el pozo estratigráfico ANH-BVTURA-1-ST-P y que se compila en la columna estratigráfica (figura 7). En ésta se describen los espesores aproximados que se encontrarán en la perforación para las diferentes unidades litoestratigráficas; esta propuesta se basa en recopilación bibliográfica y descripciones de pozos cercanos (tabla 4).

Figura 7. Columna estratigráfica esperada en el pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.



Fuente: Equipo de Geología UIS 2012 Proyecto Pozos Profundos.

Formaciones geológicas esperadas

Se presentan a continuación los espesores de las unidades litoestratigráficas esperadas.

Tabla 4. Espesores y profundidades estimadas en la prognosis para las formaciones del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.

FORMACIÓN	PROF. APROX. (TOPES, PÍES)	ELEVACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR		ESPESOR (pies)
		m	pies	
Mayorquín	0	20,40	67	900
Raposo	-900	-254	-833	1.100
Guapi	-2.000	-589	-1.933	1.000
San Agustín	-3.000	-918	-2.933	3.000
Chagüí	-6.000	-1.808	-5.933	1.500
Angostura y Viche	-7.500	-2.265	-7.433	4.600

Fuente: Tomado del Taller de Geología UIS del proyecto "Pozo Profundos".

Adicionalmente a esta información se le incorpora la descripción realizada por la Universidad EAFIT en el año 2007 donde interpreta la línea sísmica TB-1991-1130 que se encuentra en cercanías al pozo. (Figura 8-9-10).

Figura 9. Interpretación de la línea sísmica TB-1991-1130 por la Universidad EAFIT, 2007.

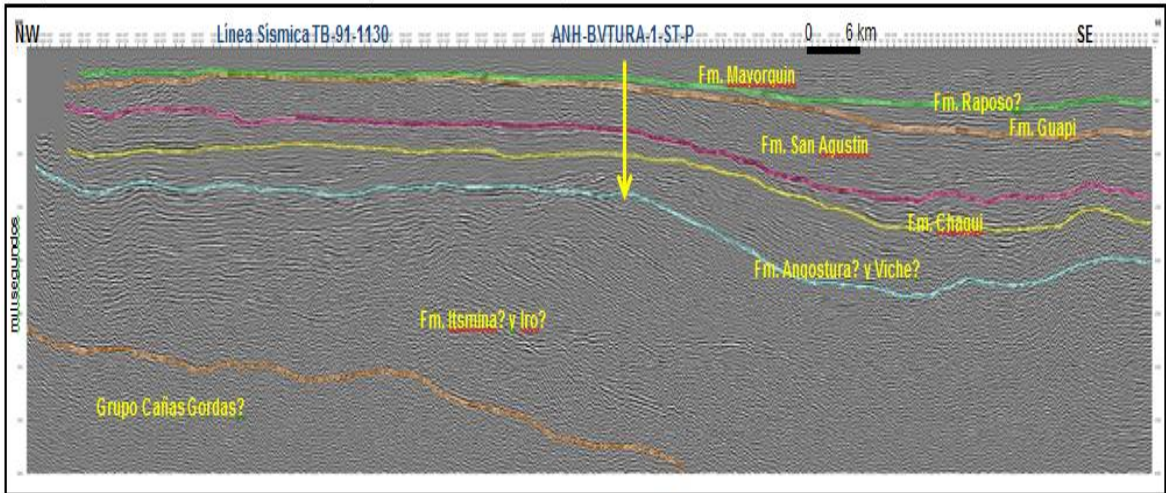
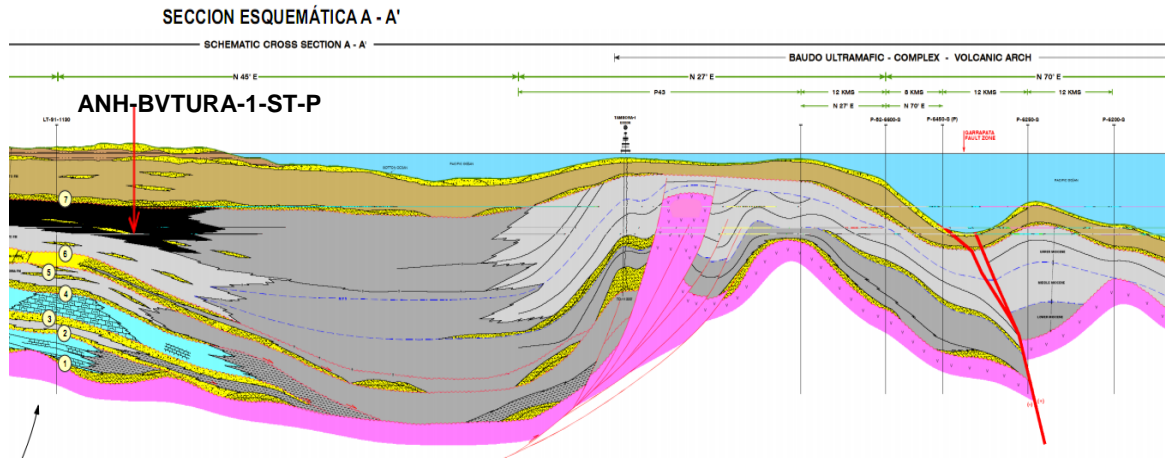


Figura 10. Sección esquemática de la Cuenca Tumaco, Universidad EAFIT, 2007.

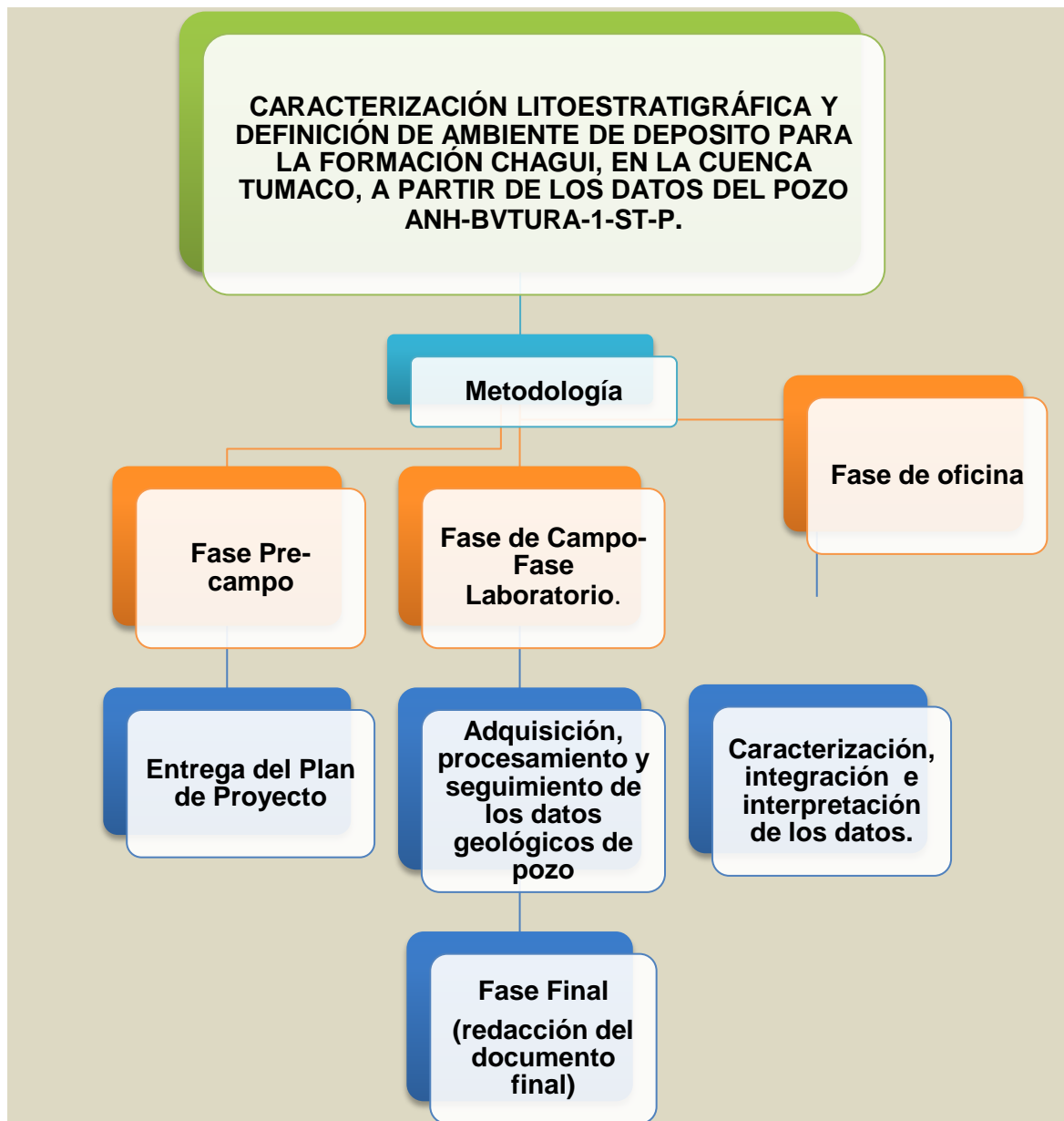


Fuente: Informe ANH-UNIVERSIDAD EAFIT, 2007.

6. METODOLOGIA

La metodología para el desarrollo del presente trabajo incluyó las siguientes etapas. (Figura 11).

Figura 11. Metodología planteada para el desarrollo del proyecto.



6.1 FASE DE PRE-CAMPO.

6.1.1 Recopilación Bibliográfica. Se centra en la recopilación integral del material bibliográfico de interés con el fin de adquirir, mediante el análisis de esta información, una idea más estructurada de los aspectos geológicos de la zona de estudio, como son la estratigrafía, bioestratigrafía, geofísica, geología estructural, cartografía, etc.

Luego de recopilar la información se procede a filtrar y clasificar el material, teniendo en cuenta los elementos de mayor importancia, a saber aquellos que contribuyan a alcanzar los objetivos propuestos, para así lograr presentar los resultados de la información adquirida del pozo en un marco de información previa objetiva y relevante del área de estudio y de la formación de interés.

Se realiza una interpretación y análisis de todos los documentos recopilados, presentado una síntesis de los aspectos geológicos referentes a la zona donde se desarrolló la perforación del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.

6.1.2 Elaboración de formatos para la adquisición y seguimiento de los datos geológicos de pozo. Conjunto con el equipo de geología – UIS del proyecto ANH-BVTURA-1-ST-P, se elaboró un formato de reporte diario geológico, un formato reporte diario acumulado (muestra de zanja y corazonamiento), y un inventario de núcleos para la adquisición y tratamiento de los datos de pozo, donde se registra diariamente la información adquirida.

6.2 FASE DE CAMPO.

Esta fase consta de dos etapas el corazonamiento y muestras de zanja y la adquisición de registros eléctricos:

6.2.1 Corazonamiento y muestras de zanja. Con los elementos obtenidos en las dos primeras fases; información detallada de la cuenca y la generación de formatos; se hace control a las dos siguientes etapas: corazonamiento y recolección de muestras de zanja:

6.2.1.1 Corazonamiento: Se realizó un procedimiento de manejo y preservación de núcleos, iniciando desde la pesca del barril corazonador por la técnica de wire-line, la extracción del núcleo del barril corazonador sobre una canaleta tipo media luna de aluminio o PVC, extraído mecánicamente o mediante el uso de un pistón de fluido evitando la alteración de las propiedades de la roca, o como última instancia mediante el corte del barril corazonador en media luna. Posteriormente se hizo la descripción macroscópica pie a pie de los núcleos de roca recuperados, describiendo la mineralogía, textura, composición y se establece el respectivo nombre textural-composicional de la roca, para esto lo cual se empleó elementos como son: lupas de mano, lupa electrónica, tablas de granulometría, tablas de color, rayadores, ácido clorhídrico, cámara fotográfica, entre otros materiales utilizados para la preservación, y medición del núcleo. Luego se realizó la orientación y marcado pie a pie del corazón, finalizando con la preservación de los núcleos en canaletas de aluminio y el empaque y almacenamiento en cajas. Este proceso de adquisición y descripción de corazones de roca se ajusta a los lineamientos establecidos por un protocolo generado por la Escuela de Ingeniería de Petróleos UIS, basado en la norma API RP 40, donde se muestra el proceso a seguir desde la extracción del núcleo hasta la preservación y del mismo.(figura12).

Figura 12 Proceso de corazonamiento. a. Pesca del barril. b. Salida del núcleo. c. Descripción del núcleo. d. Medición, orientación y marcación del núcleo. e. Preservación de los núcleos. f. Empaque y almacenamiento.



6.2.1.2 Muestras de zanja Húmeda y Seca. Inicialmente se toma una muestra abundante de roca de la zaranda vibratoria, que corresponda a la totalidad del intervalo a muestrear (cada 20 pies), luego se procede a lavar y tamizar la

muestra recuperada con tamices de calibre 40, 80 y 200, se pesa la cantidad necesaria de muestra (húmeda 2000 gramos, posteriormente secamos 500 gramos de muestra en el horno, a una temperatura inferior a 90° C, durante 3 horas), se empaca en una bolsa de polietileno de alta densidad. La descripción microscópica de muestras de zanja cada 20 pies, teniendo en cuenta las características texturales y composicionales de la roca, fue llevada a cabo por la Unidad de Mud logging de la empresa Petrosystems, proporcionando diariamente registros continuos de la litología y los parámetros de perforación (Master Log, Composite Log u otro), y con supervisión continua del Equipo de Geología-UIS. Se finaliza con la adquisición del registro fotográfico de la muestra de zanja seca y el almacenamiento de las muestras en las respectivas cajas (plástica para la muestra seca y de madera para las húmedas) debidamente rotuladas. (Figura 13)

Figura 13. Proceso de recolección de muestras de ripios. a. Toma de muestra de la zaranda vibratoria. b. Lavado y tamizado de la muestra recuperada. c. Peso de la muestra de zanja. d. Secado de la muestra en el horno. e. Plantillas para fotografías de muestras de zanja. f. Bolsa de cierre hermético para la preservación de muestras de zanja. g. Almacenamiento de cajas. h. Laboratorio para análisis de muestras. i. Visualización de la master (Drill monitor) j. Cromatografía y pantalla de transmisión de datos en tiempo real.



6.2.2 Adquisición de registros eléctricos. Se hizo acompañamiento a la empresa Weatherford durante la toma de registros eléctricos desde la superficie hasta la profundidad de 12.100 pies. Se tomaron los siguientes registros para evaluación litológica y propiedades de la roca.

- Rayos Gamma (GR) espectrales (Th, U, K)
- Densidad de dos detectores con factor fotoeléctrico
- Porosidad Neutrónica (Neutrones)
- Potencial Espontáneo (SP)
- Resistivos
- Medida del Buzamiento (Dipmeter)
- Registro de Verticalidad del pozo (Verticality)
- Registro Laterolog de largo y corto alcance
- Acústicos (Sónico y VSP)
- Calibrados del hoyo (Caliper)
- Imágenes de Pared de Pozo
- Medidor de presiones
- Gradiente Térmico.

6.3 FASE DE LABORATORIO

Durante esta fase se realiza la descripción y análisis microscópicos de (2) secciones delgadas adquiridas de los núcleos de roca correspondientes a la Formación Chagüí en el pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.

Se utilizó microscopios de luz transmitida de marca *NIKON Eclipse E200* Y *NIKON Alphaphot -2 YS2*, disponibles en los laboratorios de microscopia óptica de la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS). Se hizo un análisis minucioso de la mineralogía, las características texturales y

composicionales de las rocas de la formación de interés, basándose en las clasificación de las rocas sedimentarias terrígenas según Folk (1968) y el Manual de Petrografía Sedimentaria de la Universidad Industrial de Santander, y se elaboró un registro fotográfico con el fin de tener una evidencia de los rasgos petrográficos sobresalientes de la Formación Chagüí.

6.4 FASE DE OFICINA

Esta etapa consistió en la integración y procesamiento de toda la información adquirida hasta esta fase, a saber de los datos obtenidos de la revisión bibliográfica, la información suministrada por los núcleos, ripios y registros eléctricos, y la descripción microscópica de secciones delgadas, para llevar a cabo la definición de litofacies y electrofacies, que permitan establecer el ambiente de depósito de la Formación Chagüí. Adicionalmente, en esta fase se realiza una interpretación básica de los registros adquiridos y se establece una correlación entre esta interpretación y la columna litológica obtenida de la descripción de núcleos y ripios de perforación.

6.5 FASE FINAL

En esta última etapa fueron compilados y redactados los datos tomados e interpretaciones realizadas durante las fases previas en un documento final, que incluye: la interpretación estratigráfica del área de estudio, la discusión de los resultados, la generación de un modelo geológico de depositación, la concepción de conclusiones, la redacción y edición del documento final.

7. RESULTADOS

Con base en los resultados derivados de las descripciones de muestras de zanja y corazones de roca obtenidos en la perforación del pozo, se establecen los topes formacionales de la sección estratigráfica perforada y se comparan con los topes preestablecidos en la prognosis (tabla 5).

Tabla 5. Correlación de los topes formacionales estimados y medidos en el pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.

FORMACION	TOPE SEGUN PROGNOSIS (ft)		TOPE SEGÚN MUESTRA (ft)		DIF. PV (ft)
	PM	PV	PM	PV	
MAYORQUIN	Sup	Sup	Sup	Sup	
RAPOSO	900	900	920	920	+20
GUAPI	2000	2000	2100	2100	+100
SAN AGUSTIN	3000	3000	4340	4340	+1340
CHAGUI	6000	6000	5720	5720	+280
ANGOSTURA-VICHE	7500	7500	7333	7333	+167
PROFUNDIDAD FINAL	12100	12100			

Fuente: Equipo de Geología UIS, Proyecto Pozos Profundos.

Se presenta a continuación los espesores de las diferentes unidades litoestratigráficas y la cantidad de pies perforados - pies corazonados para cada una de ellas (Tabla 6).

Tabla 6. Relación de pies perforados – pies corazonados para cada formación del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.

FORMACION	PROF. MEDIDA DEL TOPE SEGÚN MUESTRA (ft)	ESPESOR (ft)	% PERFORACION	PIES CORAZONADOS	% CORAZONAMIENTO
MAYORQUIN	0	920	7,48	0	0
RAPOSO	920	1180	9.72	0	0
GUAPI	2100	2240	18.46	720	43,53
SAN AGUSTIN	4340	1380	11.37	722	43,65
CHAGUI	5720	1613	13,29	212	12,81
ANGOSTURA-VICHE	7333	4804	39,58	0	0
		TOTAL PERFORADOS	12137	TOTAL CORAZONADOS	1654

Fuente: Equipo de Geología UIS, Proyecto Pozos Profundos.

A continuación se presenta el análisis litoestratigráfica de la Formación Chagüí basada en el análisis de muestras de zanja, corazones de roca.

7.1 ANÁLISIS LITOESTRATIGRÁFICO DE LA FORMACIÓN CHAGÜÍ.

7.1.1 Muestras de zanja.

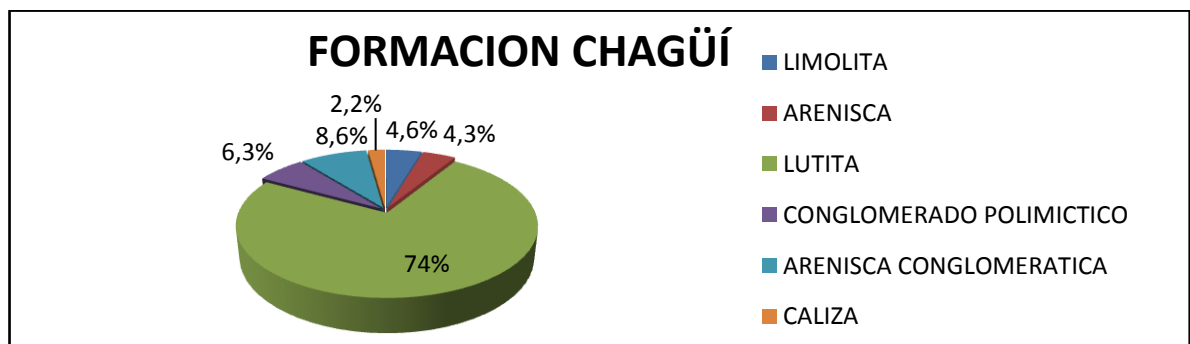
5720 pies- 7333 pies PM (5719.69 pies - 7331.9 pies PV)

Espesor aparente: 1612.21 pies PV.

El tope de la Formación Chagüí fue definido por incrementos en el porcentaje de arenisca, la cual se caracteriza por ser de grano fino a muy fino, moderadamente seleccionada, con clastos de forma subredondeada a subangular, muy friable, de matriz arcillosa. La arenisca es seguida por bancos de conglomerado polimictico compuesto principalmente por fragmentos de tamaño de arena muy gruesa a guijo, de cuarzo, chert gris oscuro y, basalto, con clastos de forma subangular, a subredondeados y con presencia de venillas de cuarzo.

La distribución porcentual de las litologías presentes en la Formación Chagüí se expone en el grafico a continuación. (Figura 14).

Figura14. Modelo litológico porcentual de la formación Chagüí a partir de los datos de muestra de zanja del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.



Fuente: Equipo de Geología UIS, Proyecto Pozos Profundos.

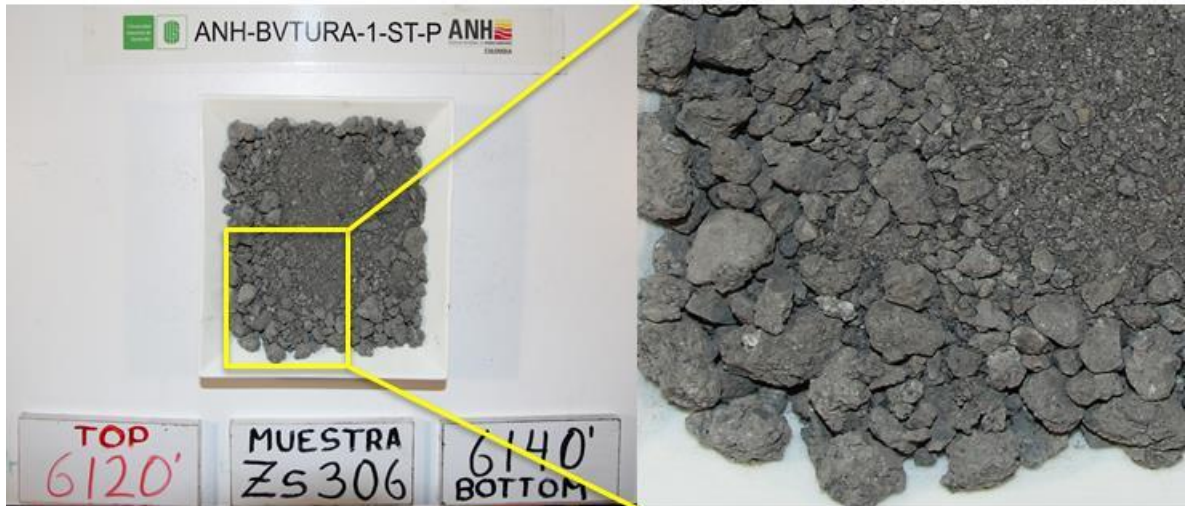
Se diferenciaron los siguientes intervalos en base a su litología registrada por muestras de zanja.

5720 pies – 6160 pies

Este intervalo de 320 pies se caracteriza por una intercalación de lutitas, areniscas y conglomerados polimícticos, con esporádicos niveles delgados de limolitas y calizas tipo Wackstone. El intervalo muestra una tendencia granodecreciente, hacia la base con un banco de unos 60 pies de espesor, de conglomerado polimictico constituido principalmente por clastos tamaño arena gruesa a guijo, subangulares, de cuarzo, chert y basalto (figura 15), presenta una matriz arcillo-arenosa, de pobre selección.

También se presentan capas de hasta 30 pies de espesor de lutitas color gris oliva a gris medio, arcillosa, muy hidratable, plástica, blanda, en parte subblocosa, que se alternan con capas muy delgadas (<3ft de espesor) de limolitas color gris claro, friable, arcillosa, calcárea, y capas de arenisca de grano fino a muy fino moderadamente seleccionada Y en menor cantidad, caliza tipo Wackstone (granular), arcillosa, pardo amarillento pálido y ocasionales cintas de carbón.

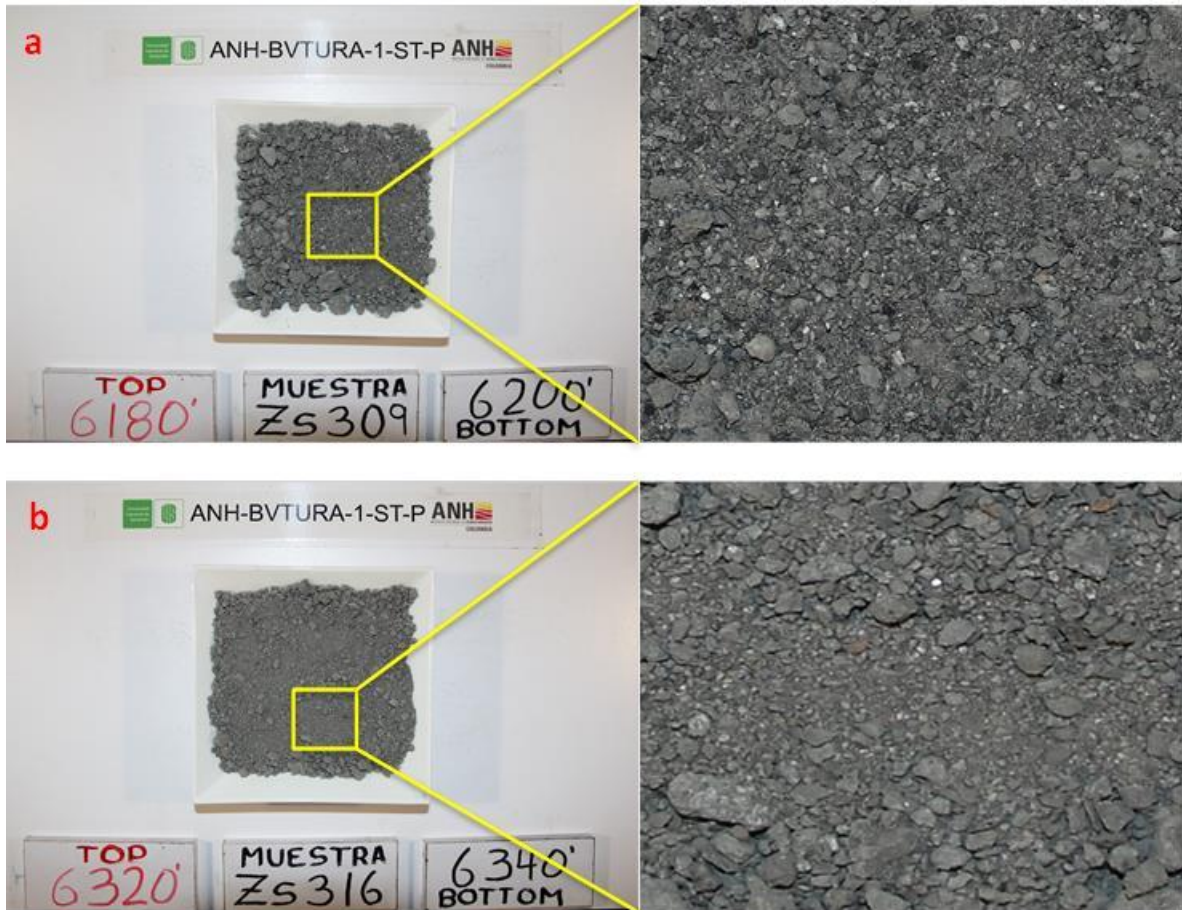
Figura 15. Fotografía de la muestra de zanja correspondiente a la Formación Chagüí. Donde se observa Conglomerado polimíctico compuesto principalmente por fragmentos de basalto, diabasa, andesita, cuarzo, chert y otros líticos volcánicos diferenciados, granos gruesos, en parte guijos, en menor proporción subangular matriz silíceosa de pobre selección.



6160 pies- 6530 pies.

Este intervalo de 370 pies se identificó una secuencia granocreciente definida por la presencia hacia el tope de niveles de arenisca conglomerática compuesta principalmente por granos gruesos de basalto, cuarzo, chert y otros líticos volcánicos de forma subangular, en matriz arenosa de pobre selección. (figura 16 a), Alternada con las capas de arenisca conglomerática se presentan capas de lutita cuyo espesor aumenta hacia la base donde aparecen pequeños niveles de caliza y trazas de conchas calcáreas (figura 16 b) color gris oliva, gris medio claro, arcillosa, muy hidratable, plástica, blanda, en parte subblocosa, en menor proporción amorfa, heterogénea, con microinclusiones de líticos, micropiritas y caliza tipo Wackstone (granular), arcillosa, pardo amarillento pálido amorfa, suave. Se evidenció trazas de Conglomerado, limolitas, conchas calcáreas, micropirita, magnetita.

Figura 16. Fotografía de la muestra de zanja correspondiente a la Formación Chagüí. Donde se observa a. Arenisca conglomerática compuesta principalmente por granos gruesos de cuarzo, basalto, y otros líticos volcánicos. b. Lutita de color gris oliva, arcillosa, muy hidratable.



6530 pies- 6720 pies

Este intervalo de 190 pies se constituye en un 95% de lutitas color gris oscuro a medio, subblockosa, en parte tabular, arcillosa, muy hidratable, plástica, blanda, amorfa, presenta microinclusiones de líticos, en parte calcárea. (Figura 17). Hacia el Tope se observa algunas capas delgadas (<5 pies) de arenisca de grano fino y hacia la base capas de hasta de 15 pies de espesor de limolitas gris oliva a oscuro con microinclusiones de líticos y carbonosas. Se identificó una capa de 5 pies de

espesor aproximadamente de Carbón color negro, laminar, brillo vítreo, micropirítico y una capa de caliza granular tipo wackstone.

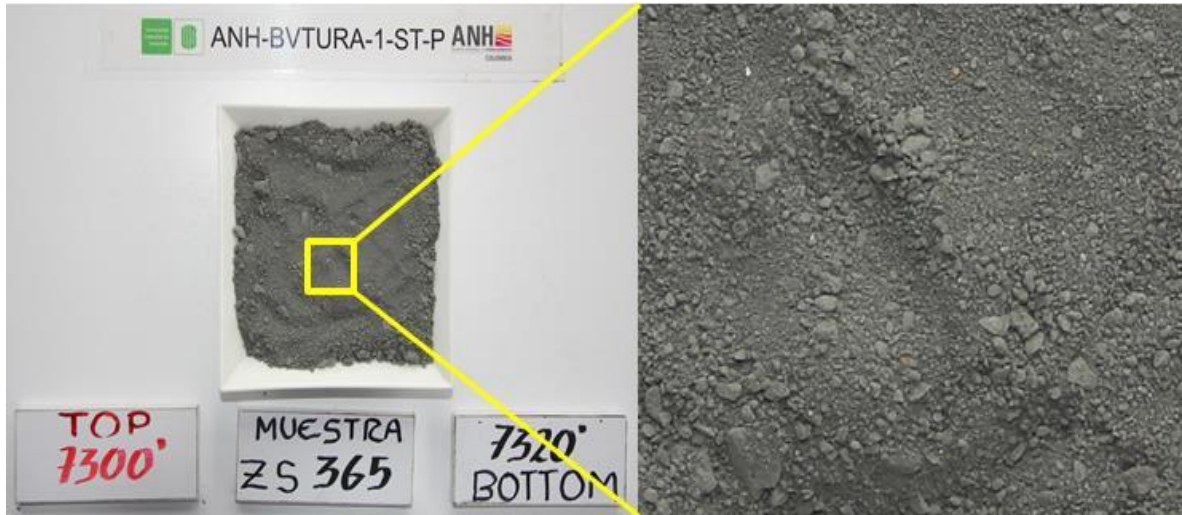
Figura 17. Fotografía de la muestra de zanja correspondiente a la Formación Chagüí. Donde se observa Lutita gris medio oscuro, subblocosa en parte tabular, arcillosa, muy hidratable, plástica, blanda, amorfa, heterogénea, microinclusiones de líticos, en parte calcárea.



6720 pies- 7333 pies

Este intervalo de 560 pies se compone en su totalidad de lutitas gris oscuro, gris oliva, subblocosa, en parte tabular, arcillosa, hidratable, plástica, blanda, microcarbonosa, se observa microinclusiones de líticos, ocasionalmente calcárea. Se presentan trazas de limolita, partículas de líticos, caliza tipo mudstone asociada a concreciones, carbón micropirítico y fragmentos de concha.

Figura 18. Fotografía de la muestra de zanja correspondiente a la Formación Chagüí. Donde se observa Lutita.



7.1.2 Núcleos de roca. En la perforación del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P se realizaron tres intervalos de corazonamiento donde la Formación Chagüí hace parte del tercer intervalo, comprendida entre 7.060 a 7.272 pies de profundidad (tabla 7).

Este intervalo de corazonamiento está conformado litológicamente por lutitas y se describe a continuación:

Tabla 7. Resumen del tercer intervalo de corazonamiento del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.

FECHA	CORE	TOPE (ft)	BASE (ft)	PIES PERFORADOS	PIES RECUPERADOS	% DE RECUPERACIÓN	FORMACIÓN	LITOLOGÍA
14/11/2012	34	7060,00	7103,00	43,00	42,50	98,8	CHAGUI	100% LUTITA
15/11/2012	35	7103,00	7134,00	31,00	29,00	93,5	CHAGUI	100% LUTITA
	36	7134,00	7159,00	25,00	24,00	96,0	CHAGUI	100% LUTITA
16/11/2012	37	7159,00	7182,00	23,00	23,00	100,0	CHAGUI	100% LUTITA
18/11/2012	38	7182,00	7198,00	16,00	15,00	93,8	CHAGUI	100% LUTITA
	39	7198,00	7228,00	30,00	30,00	100,0	CHAGUI	100% LUTITA
19/11/2012	40	7228,00	7258,00	30,00	29,00	96,7	CHAGUI	100% LUTITA
	41	7258,00	7272,00	14,00	13,58	97,0	CHAGUI	100% LUTITA
RESUMEN PARCIAL	8	7060,00	7272,00	212,00	206,08	97,2%	CHAGUI	100% LUTITS

Fuente: Equipo de Geología UIS, Proyecto Pozos Profundos.

La lutita se presenta; ocasionalmente limosa, en general de superficie cerosa, muy fracturada (fracturas longitudinales y transversales cuyo ángulo varía desde muy bajo hasta los 45°), con variación en la consolidación a lo largo de todo el intervalo, evidenciando segmentos físilos; la muestra presenta contenido moderado de micronódulos, fragmentos fósiles y venillas calcáreas. La lutita es ligeramente hidratable; localmente presenta superficie carbonosa, trazas y láminas de materia orgánica de coloración parda oscura, (figura 19).

Figura 19. a. Fotografía de núcleo perteneciente a la Formación Chagüí. b y c. fragmentos de fósiles visibles en la formación.



Figura 20 Fotografía de núcleo correspondiente a la formación Chagüi con fragmentos de fósiles (conchas calcáreas).



7.1.3 Petrografía. La clasificación empleada para el análisis petrográfico corresponde a la nomenclatura de Folk 1974, en la descripción del tamaño de grano se empleó la clasificación granulométrica de Wentworth 1922 (según Cruz, 1991). Para las rocas calcáreas se emplearon las clasificaciones de Folk, 1962 Dunham, 1962 y Embry y Klovan, 1971 (según Cruz, 1991).

Se seleccionaron 2 secciones delgadas de la Formación Chagüí (tabla 8) para determinar los patrones texturales y composicionales, que contribuyan, en conjunto con las descripciones macroscópicas de las muestras de zanja y núcleos de roca, a la identificación facial y del ambiente de depósito de dicha formación.

La petrografía se lleva a cabo en un microscopio marca Nikon disponibles en los laboratorios de óptica de la escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

Tabla 8. Profundidades de secciones tomadas de la formación Chagüí

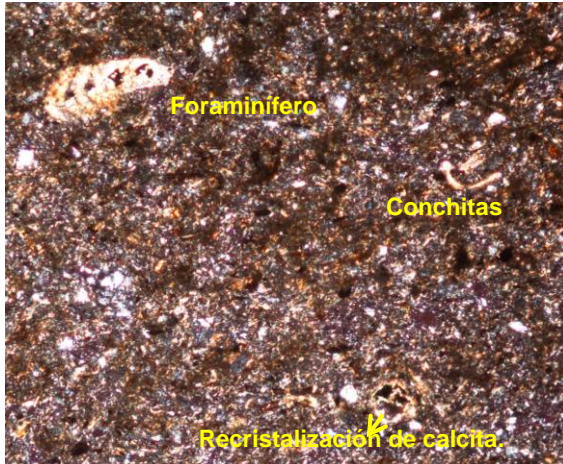
No DE SECCIÓN DELGADA	PROFUNDIDAD PIES	FORMACIÓN.
1	7.172	Chagüí
2	7.165	Chagüí

Fuente: Equipo de Geología UIS, Proyecto Pozos Profundos.

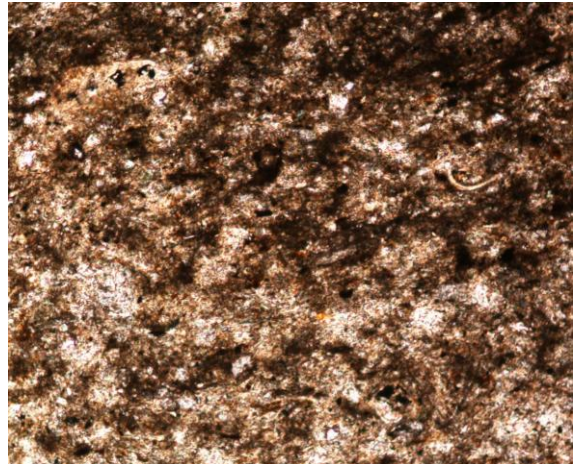
7.1.3.1 Muestra C-1-7172': La muestra corresponde a una lodolita calcárea. Conformado por cemento de calcita tipo esparita (30%) y 4% de poros. La roca está constituido principalmente por micrita (27%), y material terrígeno, a saber, filosilicatos (10%), cuarzo (3%), minerales opacos (materia orgánica? (6%), fósiles de foraminíferos primordialmente conchas trocoespirales delgadas (5%) con relleno de material orgánico, presenta alteración dolomítica (13%), como accesorio fragmentos de ópalo y partículas de Circón (1%). Se observa recristalización de calcita en los bordes de los foraminíferos. (Figura 21).

Figura 21. a) y b). Microfotografía de la muestra C-1-7172, corresponde a una Lodolita calcárea, puede apreciarse los foraminíferos y conchas. C) y d) muestran la recristalización al borde de los foraminíferos.

Nicoles cruzados (Lente-10X)



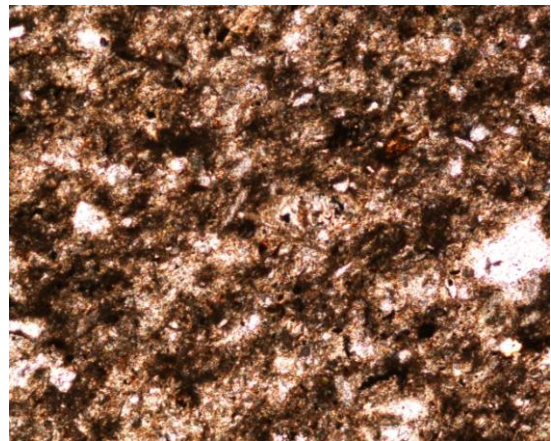
Nicoles paralelos



Nicoles cruzados (Lente-10X)



Nicoles paralelos



7.1.3.2 Muestra C-2-7165: La muestra corresponde a una lodolita calcárea. Conformado por cemento de calcita tipo esparita (26%) y 4% de poros. El armazón se compone tanto de material ortoquímico (micrita (35%)), aloquímicos (5%), principalmente conchas de foraminíferos, como también de componentes terrígenos a saber cuarzo (6%), albita (4%), clorita (3%), y micas (10%), presenta minerales opacos (6%) y accesorios de ópalo y Circón (1%).

Figura 22. Microfotografía de la muestra C-2-7165, corresponde a una Lodolita calcárea, a) Nicoles cruzados lente 10X se aprecia foraminíferos. b) nicoles cruzados lente 20X presenta en los bordes de los foraminíferos calcita. c) nicoles paralelos lente 20X. d) Nicoles cruzados Lente-10X se observa albita e) nicoles paralelos lente 10X.

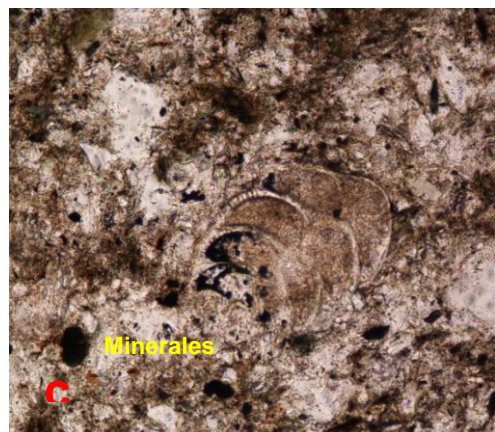
Nicoles cruzados (Lente-10X)



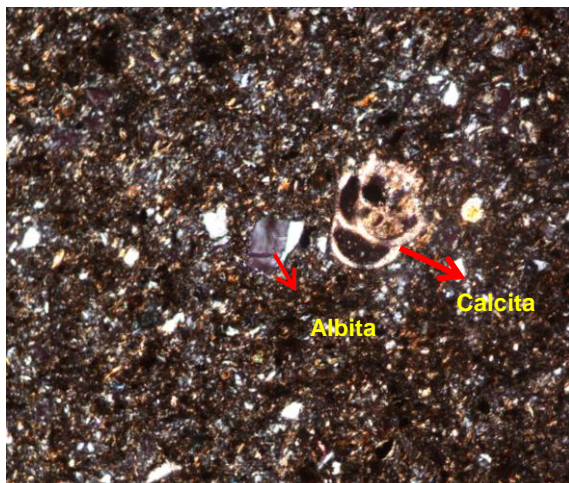
Nicoles cruzados (Lente-20X)



Nicoles paralelos



Nicoles cruzados (Lente-10X)



Nicoles paralelos



7.1.4 Análisis de microscopía electrónica de barrido (MEB). El microscopio electrónico de barrido es otra técnica de análisis instrumental de gran utilidad cuando se requiere de revisar superficies a alto aumento. Brinda la posibilidad de tener una resolución excelente a grandes aumentos sin destruir la muestra. Actualmente, el MEB es reconocido como un instrumento importante en estudios sedimentológicos, ya que proporciona información e ilustración de superficies en tercera dimensión y a una escala del orden de unas cuantas micras.

La principal contribución del MEB para este trabajo es la identificación de minerales por su morfología.

Las muestras que se utilizó para este tipo de análisis son las mismas que se usaron para el análisis petrográfico (tabla 8).

Tipo de Análisis: Análisis superficial. El análisis superficial se realizó con un Microscopio Electrónico Quanta FEG 650 ambiental (ESEM), trabajando en el modo bajo vacío utilizando el Detector de Electrones Secundarios "Large Field

Detector” (LFD) y el detector de electrones retrodispersados “Backscater Electrón Detector” (BSED). **Análisis de químico.** Los análisis puntuales, fueron realizados gracias a que este instrumento está acoplado a un detector SDD APOLO X que tiene una resolución de 126.1 eV (en. Mn K α) para realizar análisis EDS (Energy-Dispersive Spectroscopy), proporcionando información cualitativa y semi-cuantitativa de los elementos químicos presentes en los materiales. Los elementos químicos detectados mediante el EDS se rastrearon en los puntos de interés, revelando las posibles concentraciones elementales.

Experimental: Las muestras suministradas fueron montadas en el porta-muestras e insertadas en un Quanta 650 FEG SEM ambiental (ESEM) (Microscopio Electrónico de Barrido).

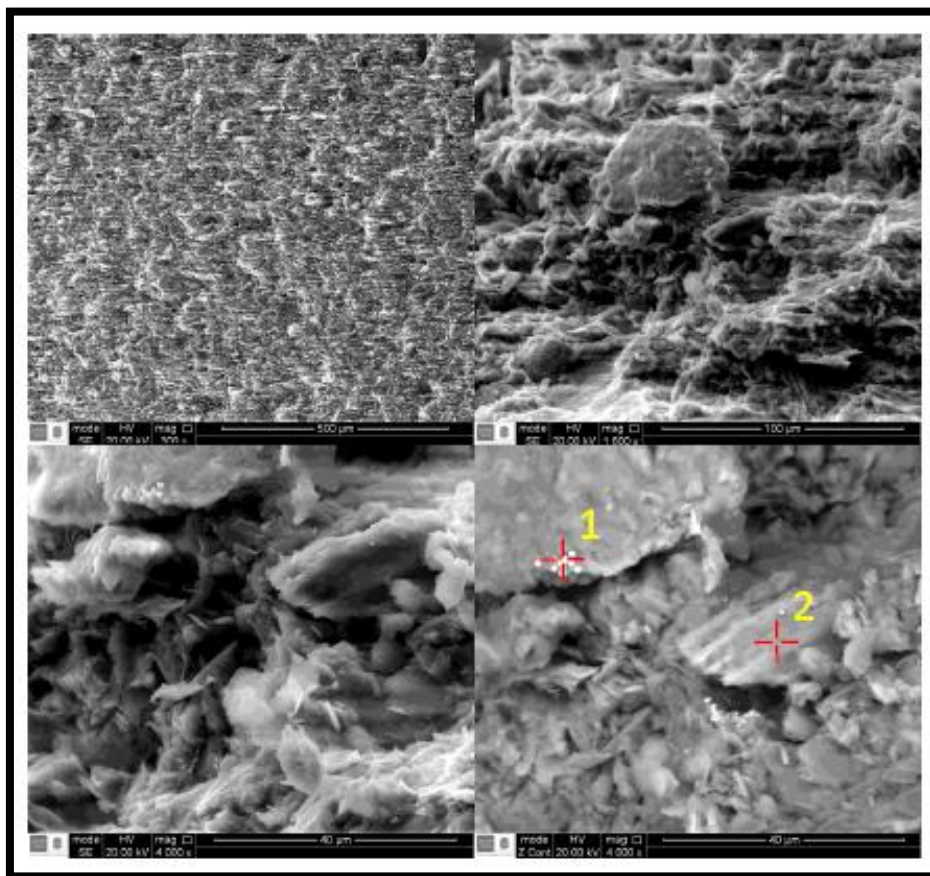
A continuación se presenta una selección de las imágenes adquiridas, La microestructura de las muestras de shale, así como el estilo y el grado de alineación de los granos individuales que comprenden las muestras son documentados. Las imágenes al SEM son además de gran utilidad en la observación de la porosidad de las rocas, y la espectroscopía de energía dispersiva (EDS) se utilizó para investigar la mineralogía de las rocas analizadas.

Muestra C-1-7172’.

La muestra se caracteriza por la presencia principalmente de minerales del grupo de las arcillas y micas, que presentan una morfología hojosa (brindan un alto grado de alineamiento de granos individuales que constituyen el shale), cuarzo y feldespatos (morfología en bloques), y diminutos cristales de pirita (cristales cúbicos de aspecto framboidal) de aproximadamente 5 μm de diámetro, así como de ilmenita. Los filosilicatos revelan la presencia de escasos poros triangulares, aunque sin presencia de poros lineales.

Las imágenes dadas a continuación corresponden a la señal de electrones secundarios adquiridas a diferente magnificación: 300X (izquierda), 1600X (derecha) y 4000X (abajo izquierda) y la señal de electrones retrodispersados a 4000X (abajo derecha). (Figura 23)

Figura 23. Señal de electrones secundarios. Adquiridas a diferente magnificación: 300X (izquierda), 1600X (derecha) y 4000X (abajo izquierda) y la señal de electrones retrodispersados a 4000X (abajo derecha)



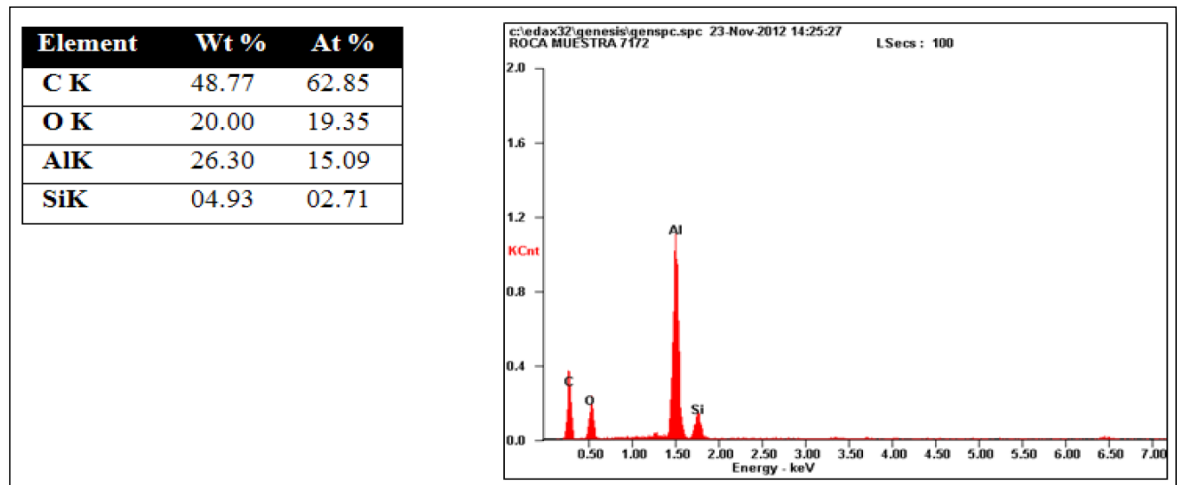
El análisis EDS se realizó en los puntos indicados por cruces rojas en la micrografía anterior (figura 23). Los resultados constan de una imagen correspondiente al espectro de rayos X detectados identificando los elementos

presentes y una tabla (tabla 9) que muestra el porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%) de los elementos identificados.

Punto 1 (tabla 9) aunque parece corresponder a pirita, la presencia de una fase mineral rica en Al y carbonato.

Resultado EDS punto 1:

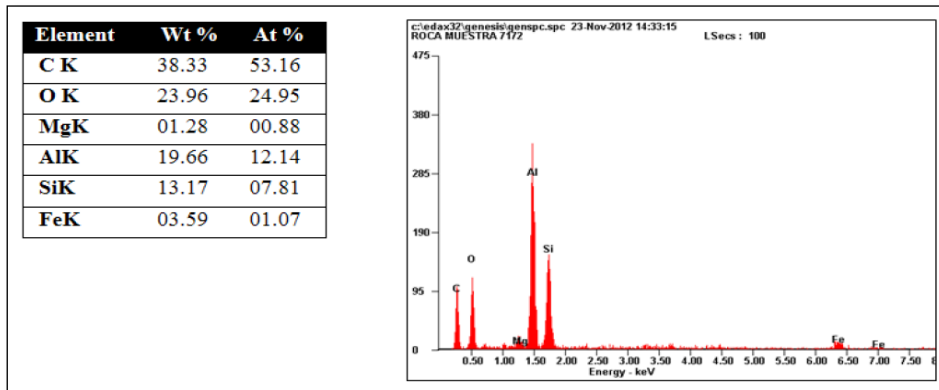
Tabla 9. Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 1.



Punto 2 (tabla 10) muestra la presencia de aluminosilicatos (feldespatos) y probablemente carbonato de Fe.

Resultados EDS punto 2

Tabla 10 Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 2.

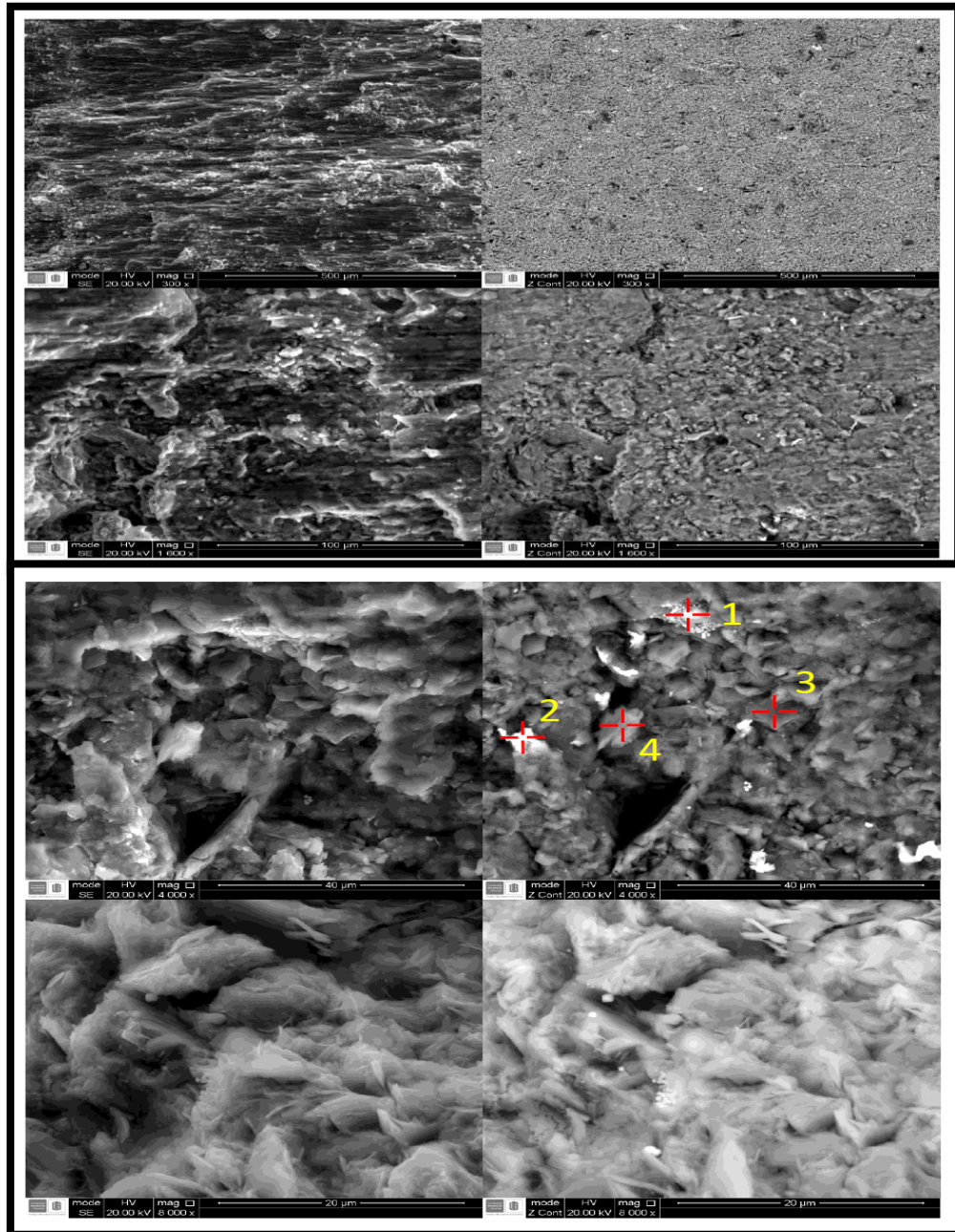


Muestra C-2-7165

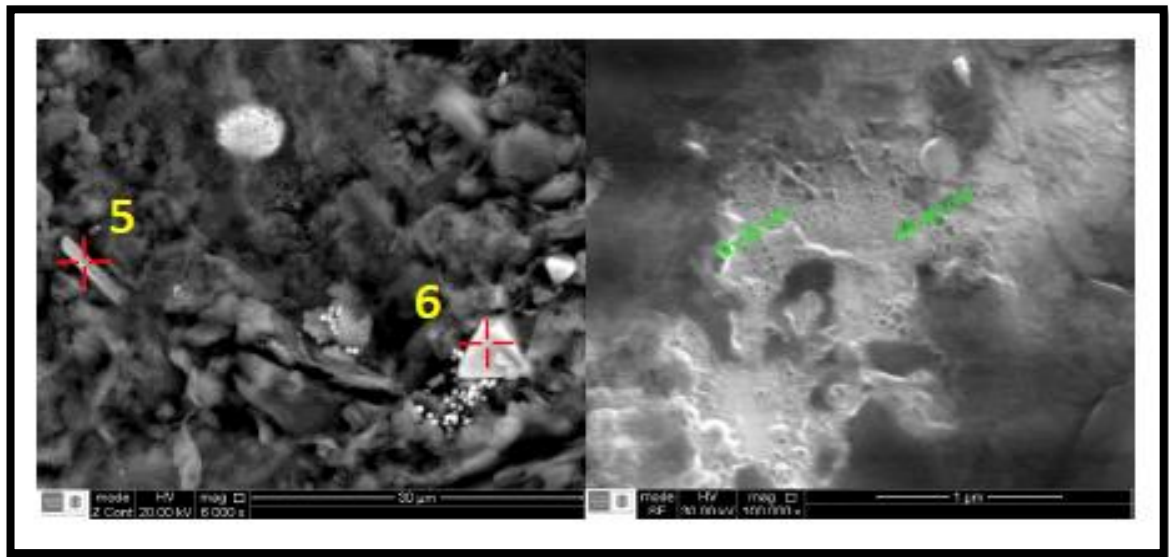
La muestra se caracteriza por la presencia principalmente de minerales del grupo de las arcillas y micas, que presentan una morfología hojosa (brindan un alto grado de alineamiento de granos individuales que constituyen el shale), cuarzo y feldespatos (morfología en bloques), y diminutos cristales de pirita (cristales cúbicos de aspecto framboidal), así como de ilmenita. Algunos carbonatos también ocurren. Los filosilicatos revelan la presencia de escasos poros de tamaño micrométrico y forma irregular, aunque algunas veces triangular, sin parecer tener conectividad. No se observaron poros lineales, de gran importancia como quiera que estos proporcionen vías de migración para moléculas de hidrocarburos. Poca porosidad se observa alrededor de granos de cuarzo y feldespato, y quizás en framboides de pirita.

Las imágenes dadas a continuación corresponden a una serie de imágenes adquiridas a diferente magnificación: 300, 1600, 4000 y 8000X; a la izquierda se encuentran las imágenes de electrones secundarios y a la derecha sus correspondientes imágenes de electrones retrodispersados. (Figura 24)

Figura 24. Señal de electrones secundarios. Adquiridas a diferente magnificación: 300, 1600, 4000 y 8000X; a la izquierda se encuentran las imágenes de electrones secundarios y a la derecha sus correspondientes imágenes de electrones retrodispersados.



Las imágenes a continuación corresponden a la señal de electrones secundarios, la imagen de la izquierda adquirida con una magnificación de 6000X permite identificar las diferentes morfologías presentes en la muestra y establecer puntos para la realización de una análisis EDS y la imagen de la derecha adquirida a una magnificación de 100000X evidencia la presencia de porosidad con diámetro de poro inferior a 1 μm . (Figura 25).

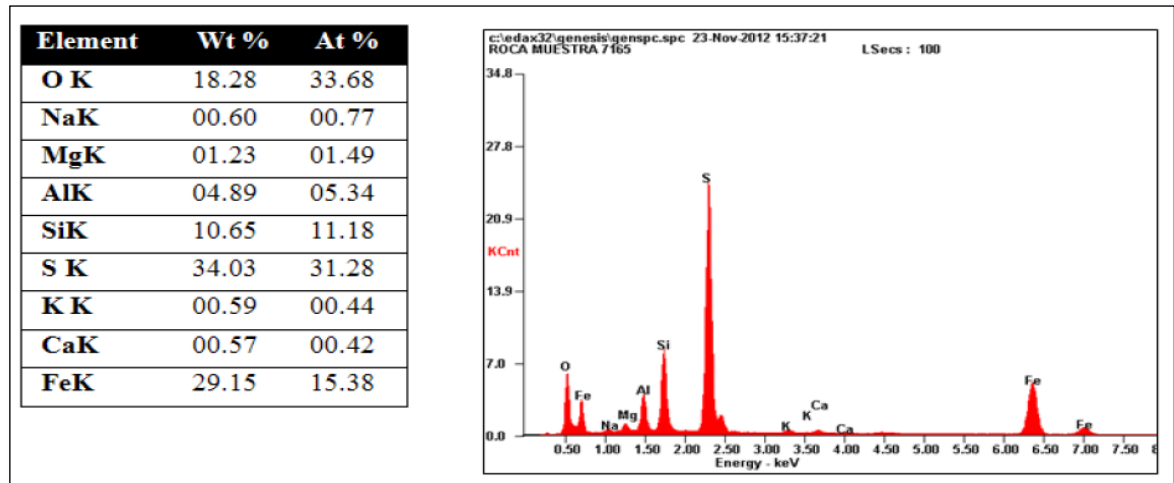


Utilizando el detector SDD Apollo X se realizó un análisis del contenido elemental en los puntos mostrados en las imágenes anteriores, (figura 25) identificando el contenido elemental tanto del material irregular como de los cristales presentes, los resultados se presentan a continuación. La imagen muestra el espectro de rayos X detectados identificando los elementos presentes, la tabla 11 muestra el porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%) de los elementos identificados.

Punto 1 (tabla 11) muestra la presencia de Fe y S, lo cual revela la presencia de sulfuro tipo pirita acompañado de aluminosilicatos (micas o feldespatos).⁰

Resultado EDS punto 1

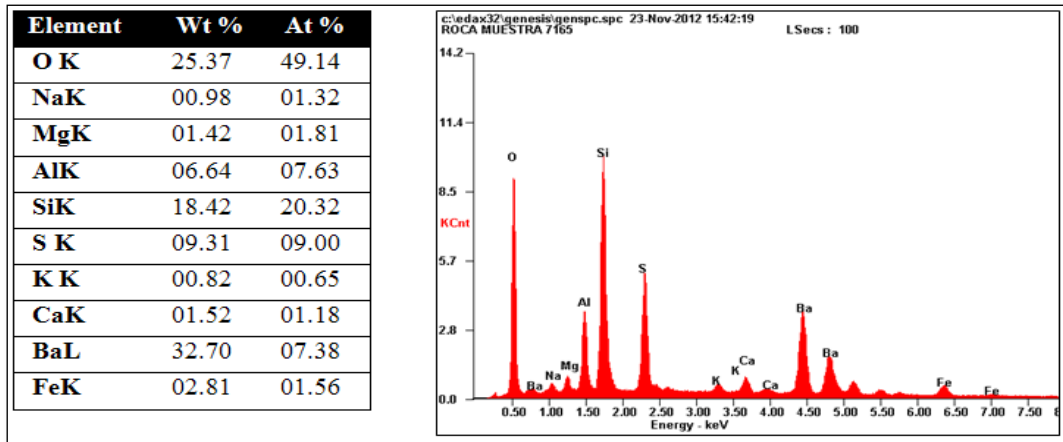
Tabla 11. Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 1 de la figura 24.



Punto 2 (tabla 12) revela una alta concentración de Ba, el cual generalmente está asociado con diferentes fases presentes en sedimentos marinos, incluyendo carbonatos, materia orgánica, ópalo, silicatos y barita. No obstante, la concentración de Ba reportada aquí es elevada debido probablemente a contaminación del lodo de perforación el cual también contiene Ba.

Resultado EDS punto 2:

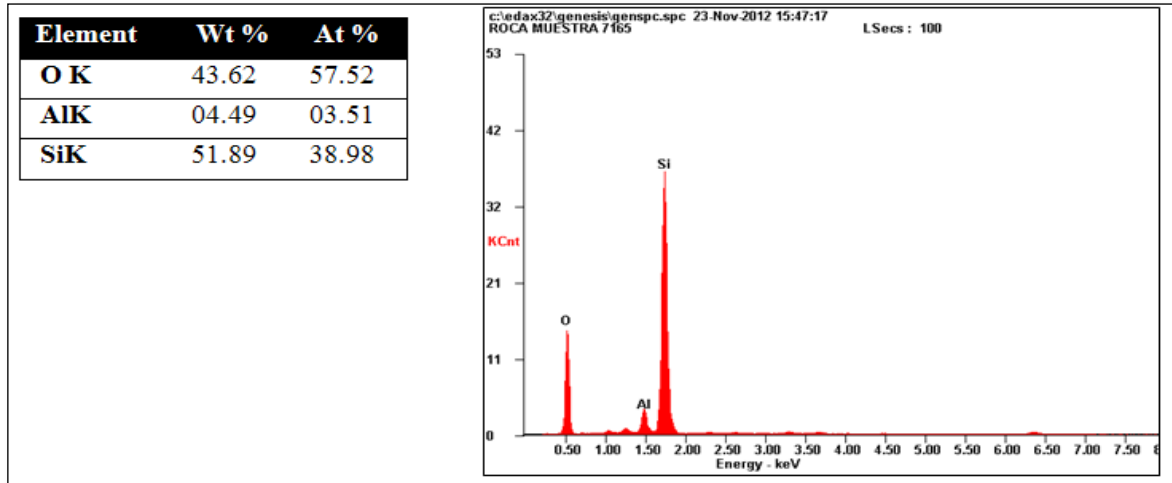
Tabla 12. Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 2 de la figura 24



Punto 3 (tabla 13) muestra la presencia de SiO₂ (cuarzo).

Resultado EDS punto 3:

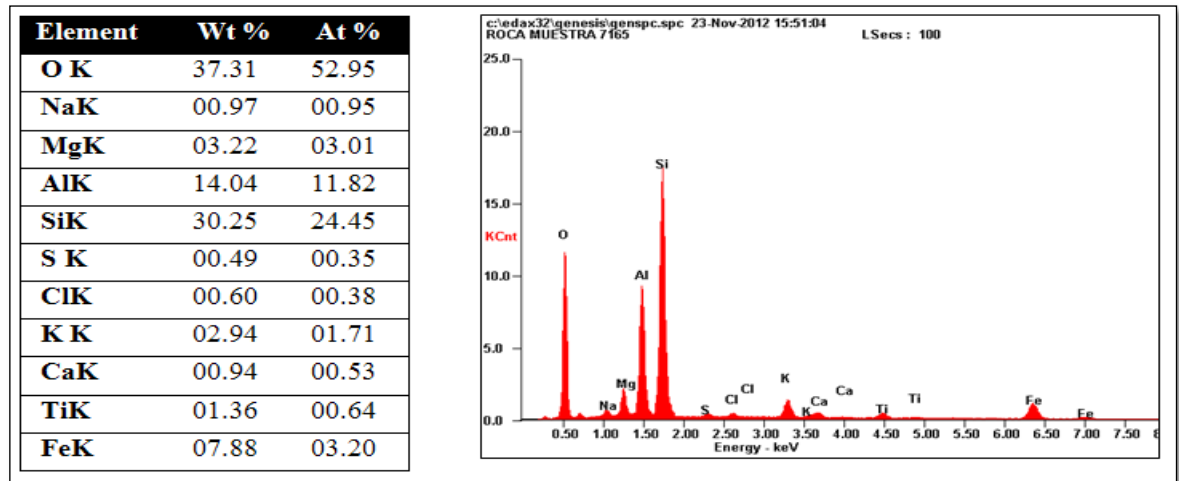
Tabla 13. Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 3 de la figura 24



Punto 4 (tabla 14) muestra la presencia de fases de aluminosilicatos (micas o feldespatos).

Resultados EDS punto 4

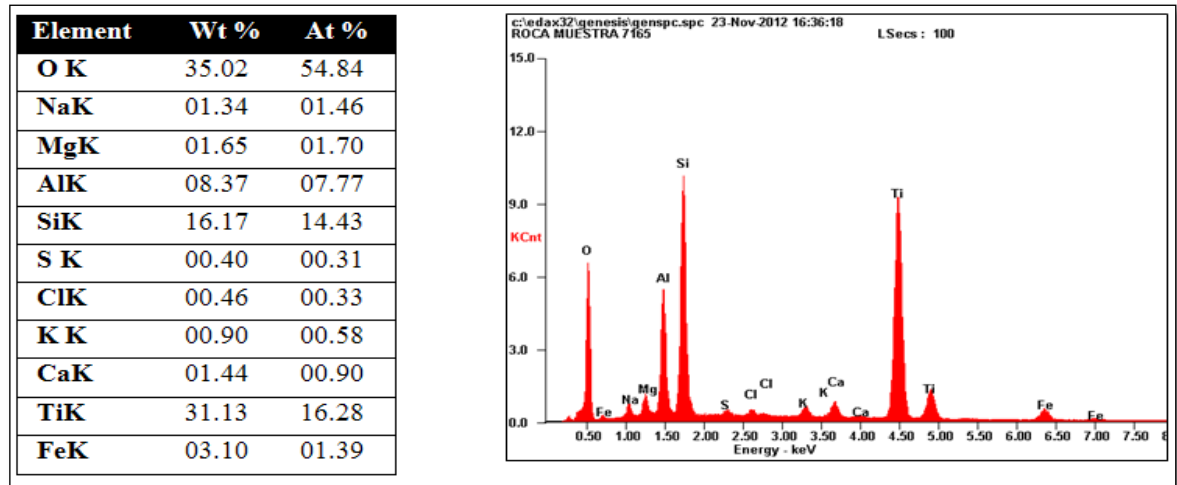
Tabla 14. Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 4 de la figura 24



Punto 5 (tabla 15) muestra la presencia de Fe, Ti y O, lo cual revela la presencia de ilmenita acompañada de aluminosilicatos (micas o feldespatos) y probablemente carbonato.

Resultados EDS punto 5

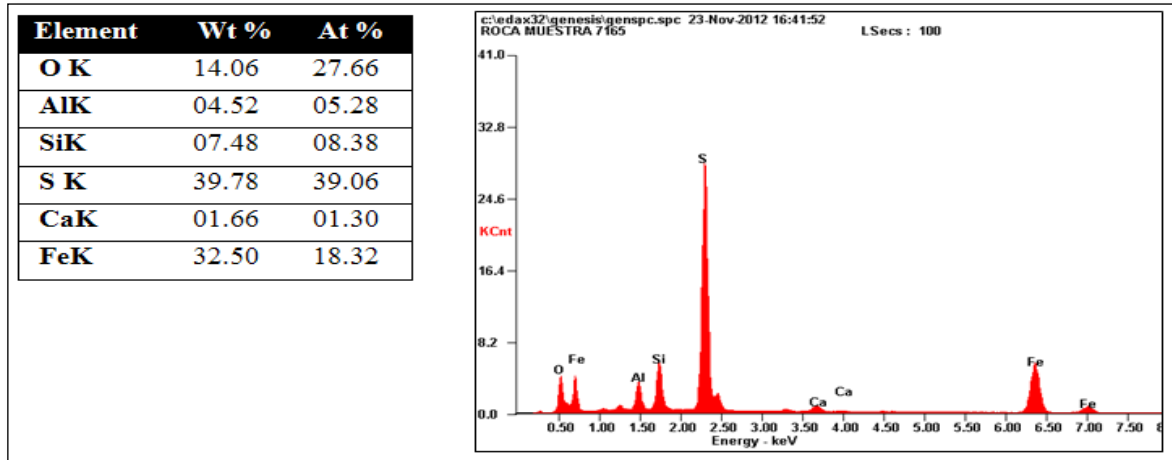
Tabla 15. Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 5 de la figura 25



Punto 6 (tabla 16) muestra la presencia de Fe y S, lo cual revela la presencia de pirita acompañada de aluminosilicatos (feldespatos) y probablemente carbonato.

Resultado EDS punto 6:

Tabla 16. Porcentaje en peso atómico (Wt%) y el porcentaje en número atómico (At%). del Punto 6 de la figura 26



7.2 ANALISIS FACIAL DE LA FORMACION CHAGÜÍ

La litología predominante de la Formación Chagüí es representada por lutitas gris medio a gris oliva, en general de superficie cerosa en parte hidratable, plástica, blanda.

También presentada conglomerados polimicticos compuesto principalmente por fragmentos de basalto, diabasa, andesita, cuarzo y otros líticos volcánicos, matriz silíceo de pobre selección. En menor proporción areniscas conglomeráticas, areniscas de grano fino a muy fino y limolita calcáreas. Ocasionalmente se observa caliza lodosa amarillento pálido, amorfa, suave de tipo mudstone.

7.2.1 Litofacies. A partir de un análisis litológico se lograron identificar 4 facies sedimentarias tomadas de los núcleos, muestra de zanja y el registro grafico MASTERLOG teniendo en cuenta características estructurales, texturales y

paleontológicas, las cuales se apreciaron a lo largo de la descripción en el pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.

En la siguiente tabla se muestran las 4 facies presentes para la Formación Chagüí con los códigos de clasificación según Miall (1996). De esta manera en el código de facies se utilizó una letra mayúscula para escribir la litología y una o más letras minúsculas para hacer referencia a las estructuras sedimentarias mecánicas.

Tabla 17. Facies identificadas para la formación Chagüí en el Pozo ANH-BVTURA-1-ST-P.

Sm	Facies de arenisca de grano fino a Conglomerática con laminacion masiva
Gmm	Facies Conglomerado Polimicticos matriz-soportados
Fsm	Facies de lutitas y limolitas Masivas
Fmd	Facies de caliza mudstone

Facies de arenisca (Sm): Esta facies está representada por areniscas de grano fino a conglomerática, con estructura interna masiva o poco clara. Selección moderada a pobre, con granos subangulares a subredondeados. Compuesta por

granos de cuarzo, y en los sectores conglomeráticos además por granos gruesos de basalto, diabasas y otros líticos volcánicos. Oscila entre clasto y matriz soportada. Matriz arcillosa. Friable. Esta facies se ubica en la mitad superior de la Formación Chagüí, usualmente en capas de hasta 10 pies de espesor intercaladas con paquetes de lutitas y limolitas, mostrando un aumento considerable en el espesor de hasta 20 pies hacia los 6100 pies de profundidad.

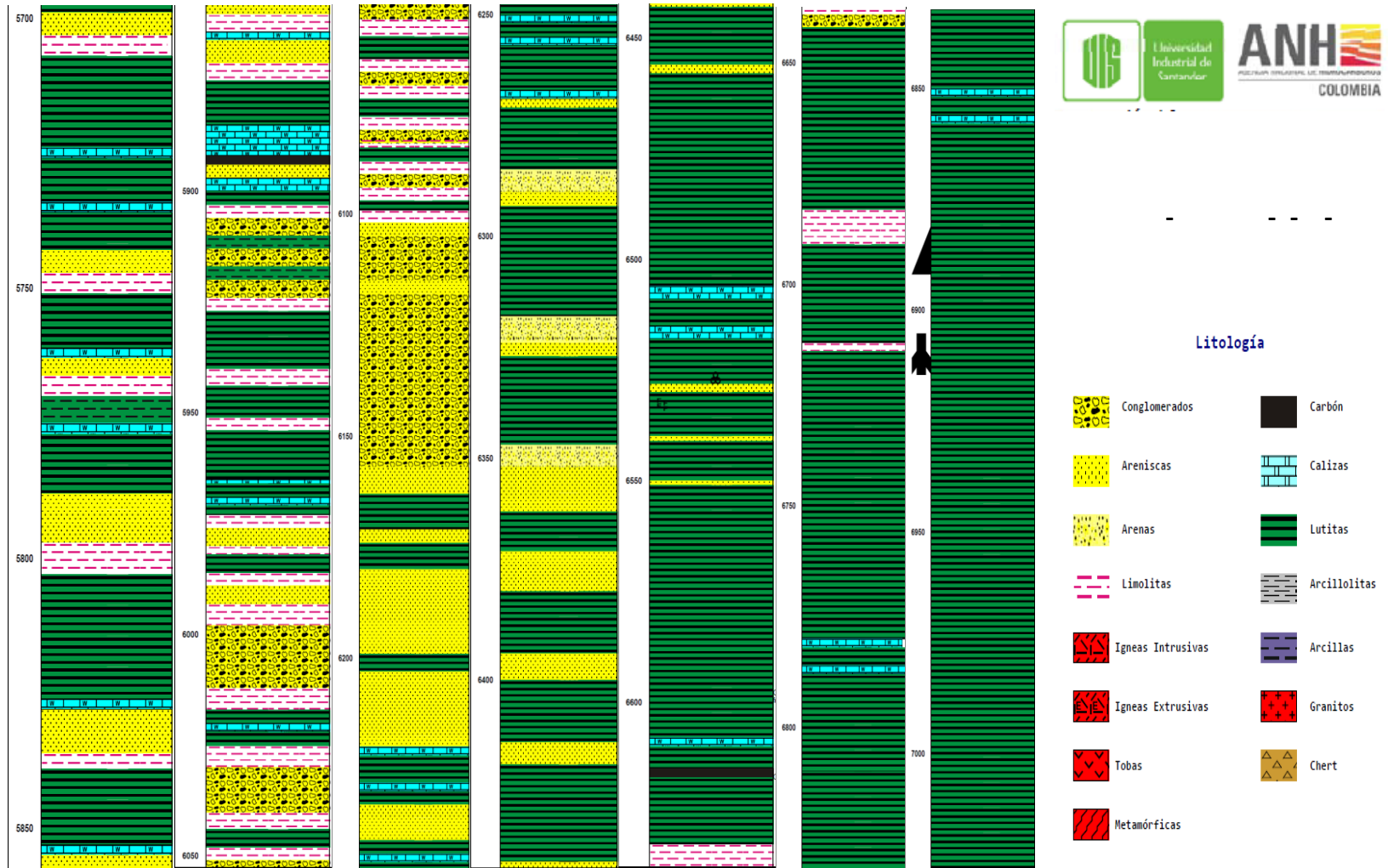
Facies de conglomerados Polimicticos matriz-soportados (Gmm): Esta facies está formado principalmente por clastos tamaño arena muy gruesa a guijo, de cuarzo, cuarzo lechoso, chert y basalto, ocasionalmente se observa diabasas gris verdoso. La forma de los clastos es subangular a subredondeado, de color gris medio a oscuro. La matriz es arcillo-arenosa, de muy pobre a pobre selección. Se presenta en un grueso banco de 40 pies de espesor aproximadamente, y en capas de 12 pies de espesor promedio, comúnmente interestratificados con capas de limolita.

Facies de lutitas y limolitas masivas (Fsm): Con un predominio en la mitad inferior de la formación de lutitas masivas con colores que varían entre gris medio a gris oliva, en general de superficie cerosa en parte hidratable, plástica, blanda, posee microinclusiones de líticos, ocasionalmente calcárea, presentan contenido moderado de fragmentos fósiles, microconchas, conchas y venillas calcáreas. Localmente presenta superficie carbonosa, trazas y láminas de materia orgánica de coloración parda oscura. En la mitad superior se observan con frecuencia capas de limolita gris claro intercaladas regularmente con lutitas, estas últimas en capas de mayor espesor.

Facies de caliza Mudstone (Fmd): De color pardo amarillento pálido a blanco, esta facies se presenta esporádicamente en capas de hasta 7 pies de espesor, a lo largo de toda la formación. Ocasionalmente granular, con microinclusiones líticas.

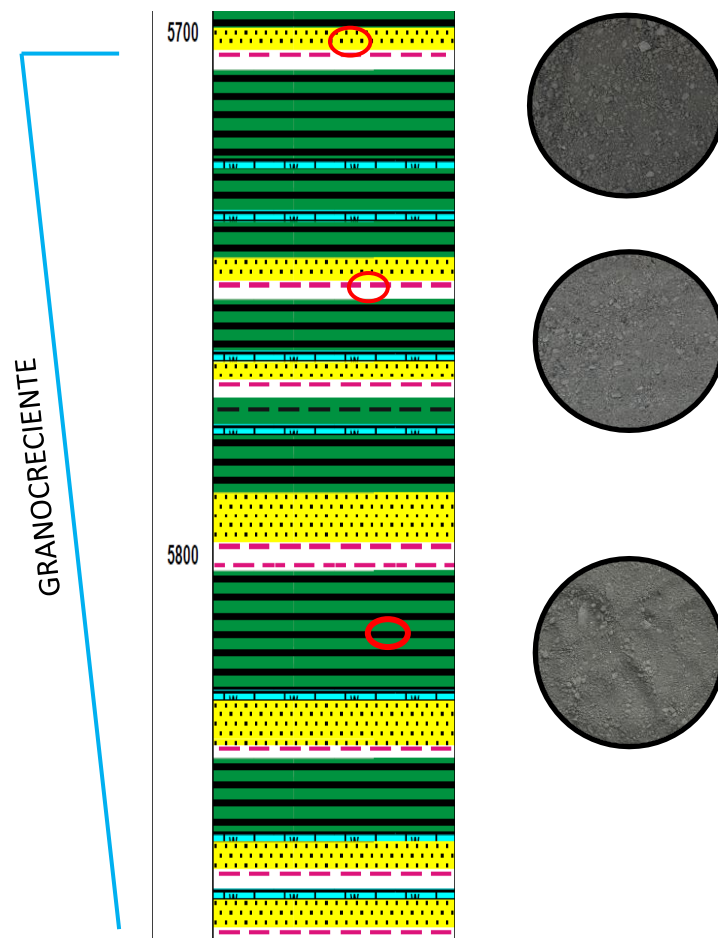
7.2.2 Asociación litofacial. La presencia de facies superpuestas en sentido vertical representa cambios en el tiempo de las condiciones de sedimentación, bien sea, cambios en el suministro del sedimento, en el poder de la corriente, en la subsidencia, en el nivel del mar, entre otros. Sin embargo, Walker (1984) señaló que “Las facies que se encuentran superpuestas en la vertical, se encuentran también yuxtapuestas de manera horizontal con la misma ordenación”. Lo anterior permite aplicar el concepto de asociación de facies como una herramienta para conocer los procesos sedimentarios involucrados en la depositación y por tanto definir el ambiente de depositación de una determinada unidad o secuencia sedimentaria. El presente trabajo, en vista de que no se poseen datos de pozos cercanos con los cuales establecer correlaciones laterales de las facies, se limita al análisis de las relaciones verticales de las facies encontradas para la Formación Chagüí en el pozo ANH-BVTURA-1-ST-P, las cuales se exponen a continuación

Figura 26. Columna Litoestratigráfica del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P correspondiente a la formación Chagüí.



7.2.2.1 Asociación de facies de areniscas y limolitas-lutitas (Sm-Fsm): Esta asociación facial está representada principalmente por arenisca de grano fino con estructura masiva, y capas de limolitas y lutitas grises, en alternancias rítmicas (ABC-ABC) de hasta 35 pies de espesor y de tendencia granocreciente hacia el tope (Figura 27). Esta relación se presenta desde el tope de la formación (5720 pies) hasta los 6000 pies de profundidad.

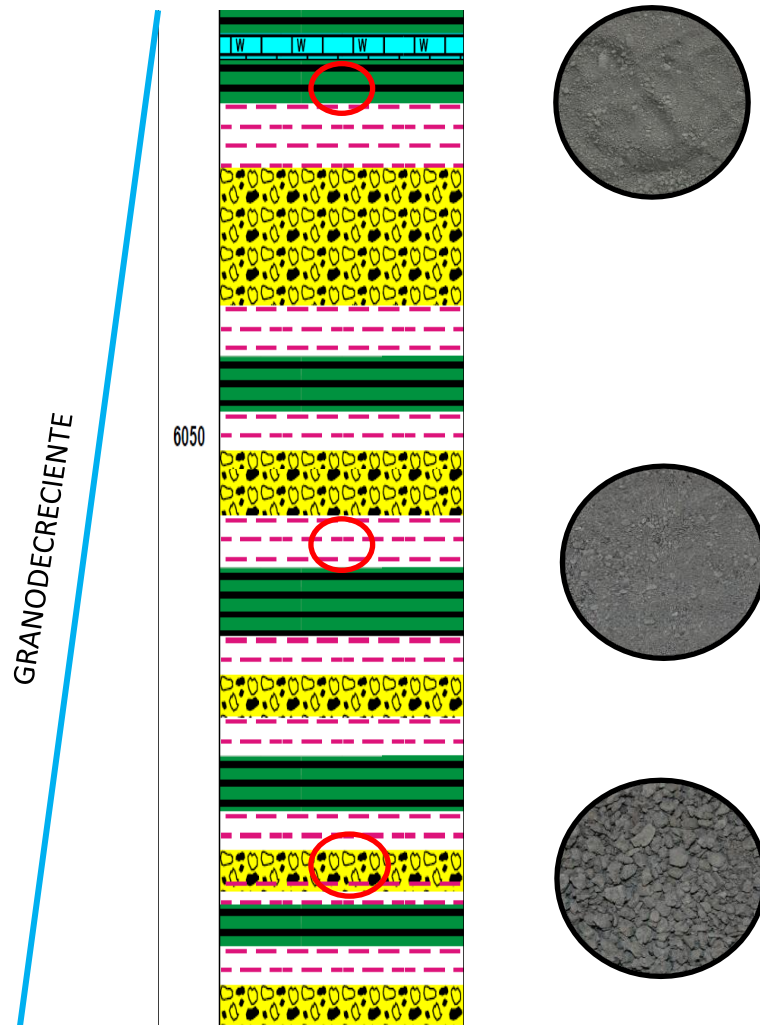
Figura 27. Asociación de facies de arenisca y limolitas-lutitas (Fim-Fsm).



7.2.2.2 Asociación de facies de conglomerados polimicticos (Gmm),y limolitas-lutitas (Fsm): Esta asociación ocurre hacia el centro de la formación Chagüí (entre 5900 a 6100 pies de profundidad), se presenta como una interestratificación de capas medianas (3 a 15 pies de espesor), de conglomerado

polimicticos, conformados principalmente por fragmentos de basalto andesita, cuarzo; y capas delgadas (< 4 pies de espesor) de limolitas y lutitas color gris medio a gris oliva. (Figura 28). La estratificación es cíclica (ABCBA) en secuencias granodecrecientes hacia el tope.

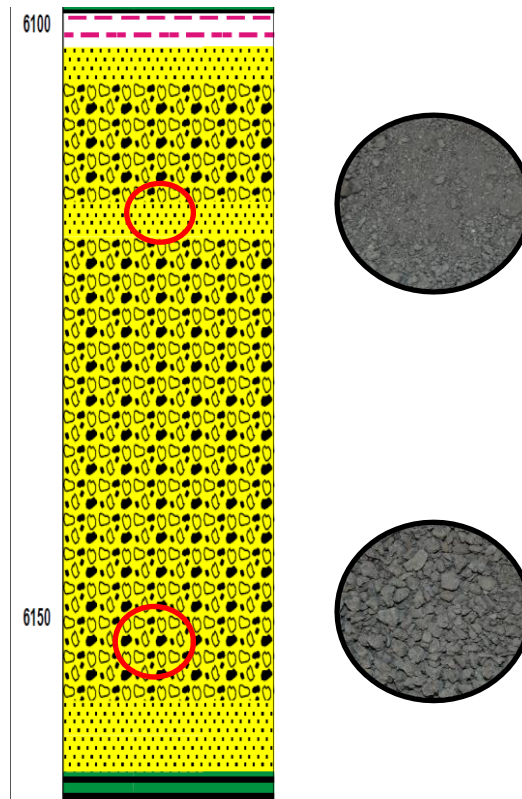
Figura 28. Asociación de facies de conglomerados polimicticos (Gmm).y limolitas-lutitas (Fsm).



7.2.2.3 Asociación de facies de conglomerados polimicticos (Gmm) y arenisca (Sm): Esta asociación se presenta en el intervalo de 6100 a 6170 pies de profundidad, definida por paquetes de 40 pies de espesor de conglomerados

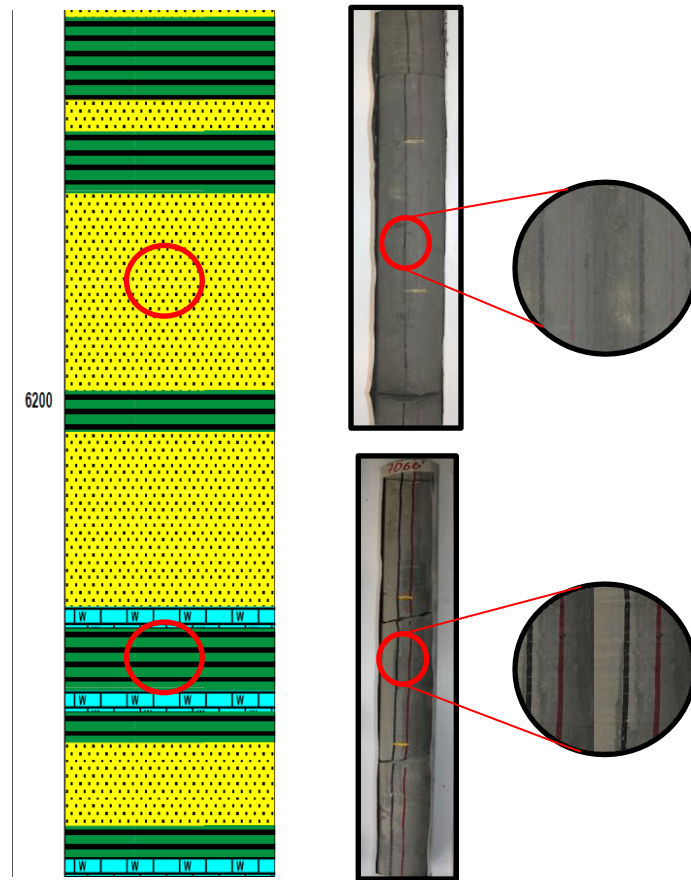
polimicticos con clastos subangulares tamaño muy grueso a guijo, intercalados con paquetes delgados (<5 pies) de arenisca de grano fino a muy fino de matriz arcillosa. (Figura 29).

Figura 29. Asociación de facies de conglomerados polimicticos (Gmm) y arenisca (Sm).



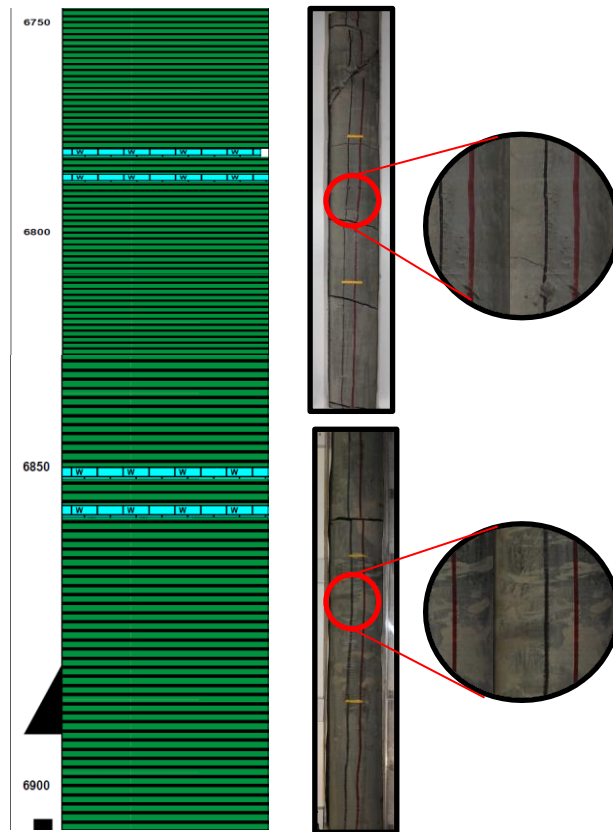
7.2.2.4. Asociación de facies de arenisca (Sm) y lutita (Fsm): Esta asociación se observa a partir de los 6170 pies de profundidad, la arenisca se presenta en capas de 20 pies de espesor interestratificados con paquetes de lutitas de color gris medio a gris oliva, de superficie cerosa con contenido moderado de fósiles. Ocasionalmente la arenisca se torna conglomerática, con clastos tamaño arena muy gruesa a guijo de cuarzo, basalto, diabasa, chert y líticos volcánicos. (Figura 30).

Figura 30. Asociación de facies de arenisca (Sm) y lutita (Fsm)



7.2.2.5 Asociación de facies de lutitas con niveles calcáreos (Fsm-Fmd): Esta asociación se evidenció con reiteración a lo largo de la formación Chagüí, a manera de espesos niveles lutíticos. Interestratificados con delgadas capas de caliza tipo mudstone, ocasionalmente wackstone en delgadas capas discretas. (Figura 31).

Figura 31. Asociación de facies de lutitas con niveles calcáreos (Fsm-Fmd).



7.3 ANÁLISIS DE REGISTROS ELÉCTRICOS

Para el caso de estudio, además, puesto que gran parte de la columna litoestratigráfica propuesta para la Formación Chagüí en el pozo ANH-BVTURA-1-ST-P se ha realizado con base únicamente en la descripción litológica porcentual de las muestras de zanja, la comparación de la respuesta que ofrecen los registros eléctricos con las asociaciones faciales, permiten entender mejor las relaciones litoestratigráficas de la secuencia estudiada.

7.3.1 Electrofacies de la Formación Chagüí. Las siguientes electrofacies fueron definidas para la Formación Chagüí, utilizando los registros eléctricos de potencial espontáneo (SP), Gamma Ray (GR) y Resistivos somero y profundo, y comparando sus respuestas con las asociaciones de facies previamente definidas.

7.3.1.1 Electrofacies de Canal: Los depósitos de canal, representados por gruesos paquetes de conglomerados polimicticos con ocasionales intercalaciones de lutita y limolita (litofacies Gmm y Fsm respectivamente), muestran en el registro Gamma Ray electroformas de tipo “campana” (Figura 32), la cual indica una tendencia granodecreciente hacia el tope. Donde los paquetes de conglomerados polimicticos alcanzan grandes espesores la tendencia del registro Gamma Ray tiende a ser de cilindro (Figura 33). El aspecto aserrado de las electroformas de canal es el resultado del contenido de arcilla en la matriz del conglomerado.

Figura 32. Electroforma en forma de campana.

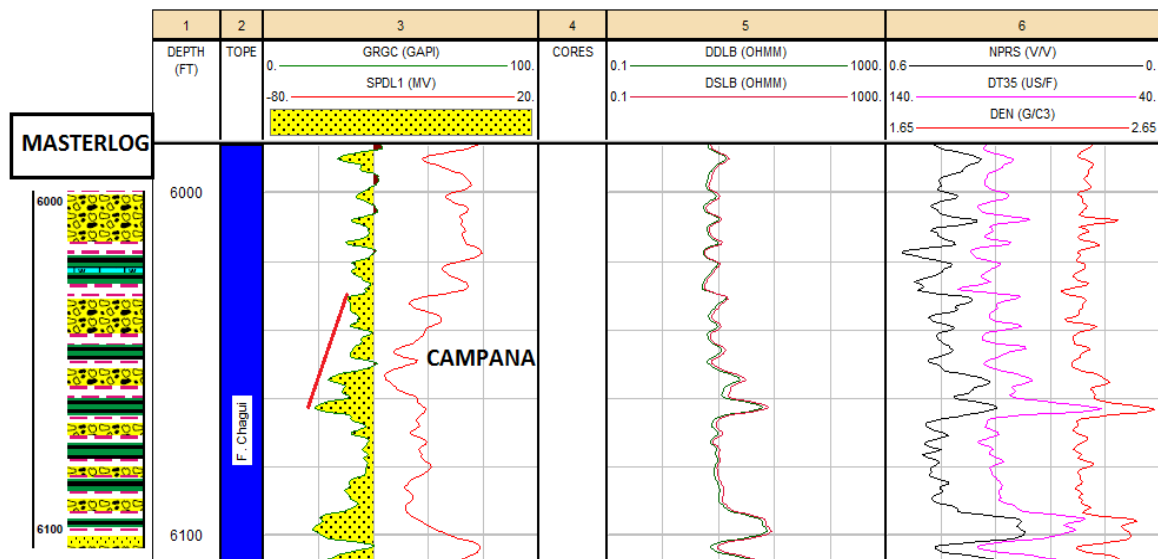
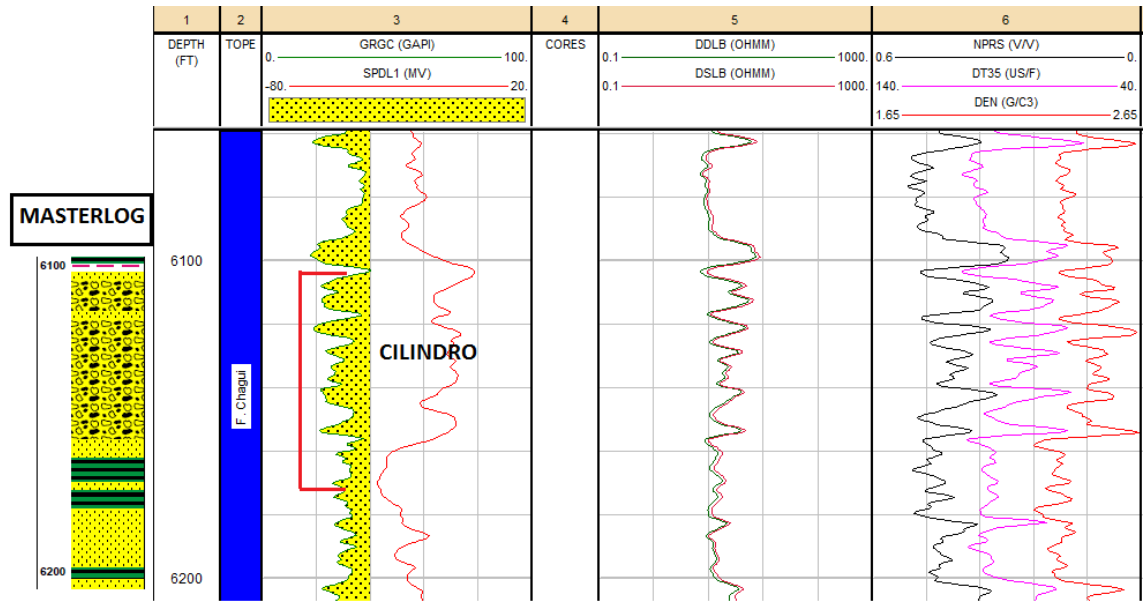
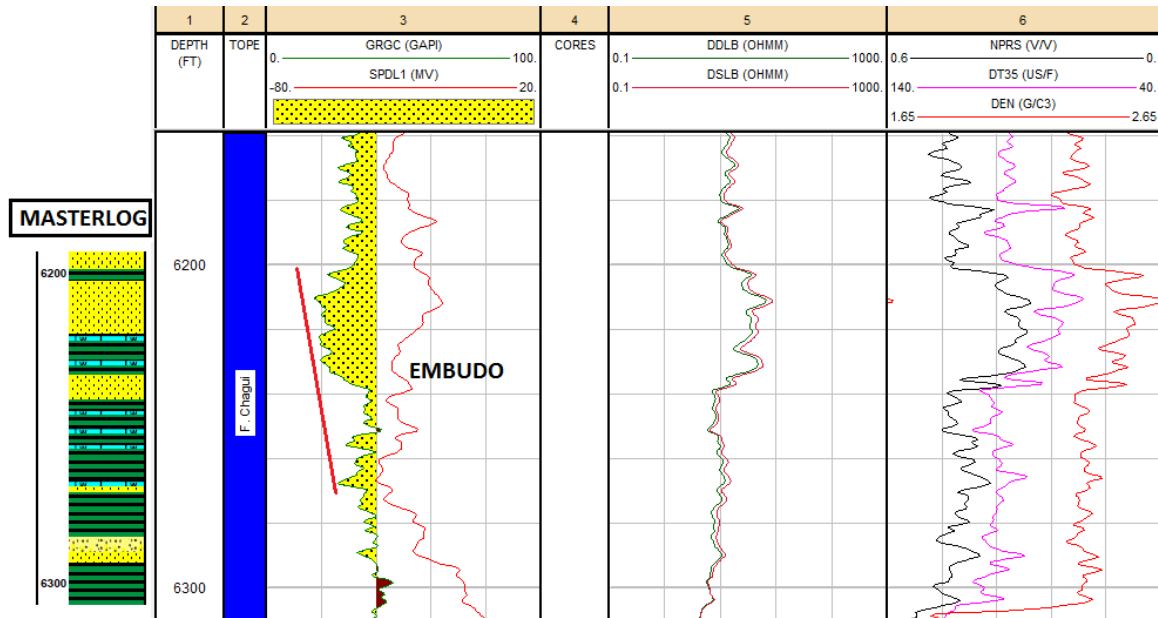


Figura 33. Electroforma en forma de cilindro



7.3.1.2 Electroforma de desborde: En la (Figura 34) se observa claramente la configuración de tipo embudo para estos depósitos, representados por gruesos paquetes de lutitas, que constituyen la llanura de inundación, con intercalaciones de areniscas hacia el tope (litofacies Fsm y Sm respectivamente), generadas por el desbordamiento sobre las áreas adyacentes al canal submarino. La geoforma de embudo presenta un cambio súbito en su margen superior y gradual en su margen inferior.

Figura 34. Electroforma en forma de embudo.

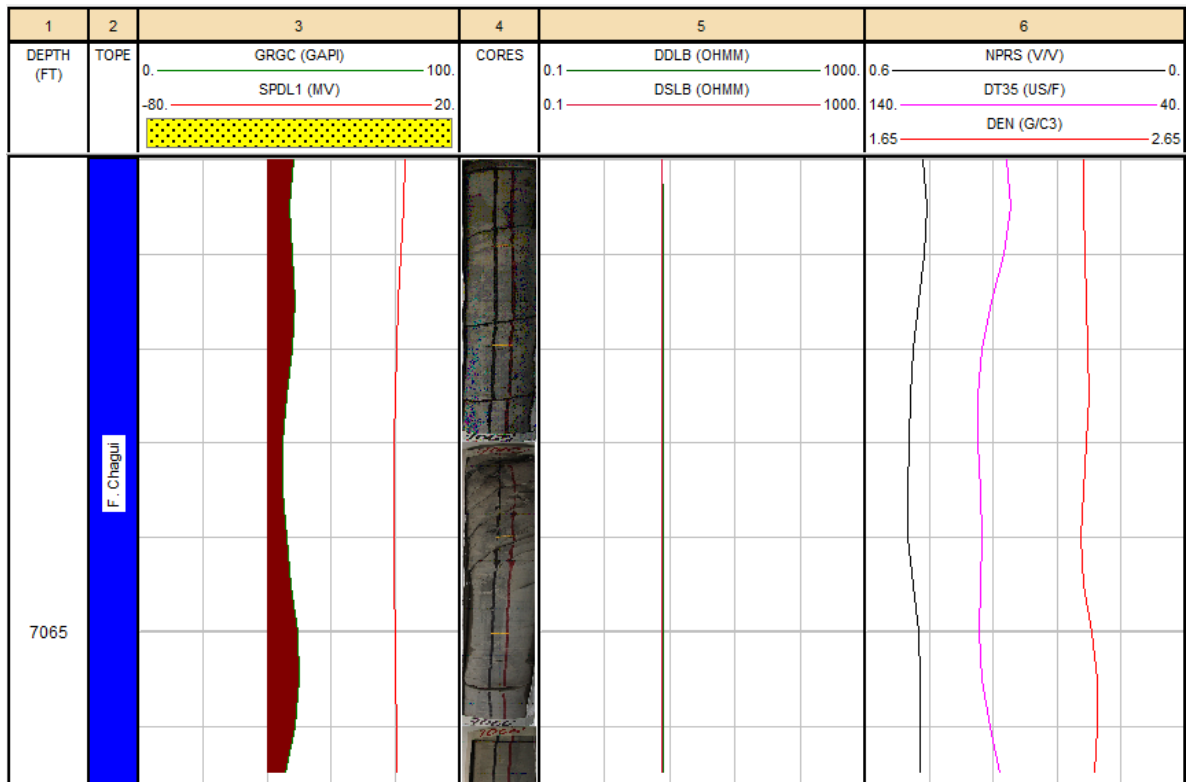


7.3.2 Comparación roca – registro. Se realizó una comparación entre los núcleos perforados y los registros tomados en el pozo ANH-BVTURA-1-ST-P, en el intervalo 7.060 - 7.272 pies correspondientes a la Formación Chagüí, para poder dar por hecho que los registros eléctricos sí estuvieron bien tomados y por lo tanto la información interpretada a partir de ellos es correcta. Lastimosamente en este pozo no se realizó Gamma-core para cada corazón, de tal manera que no se puede saber con certeza si la profundidad de cada corazón corresponde exactamente a la profundidad del registro, pero si es muy aproximada y nos da la idea de si la información es correcta o incorrecta.

Como podemos observar la figura 35 El core 34 está ubicado en el software en la profundidad que le corresponde junto con los registros. La litología de este core son lutitas masivas de color grisáceo interestratificado con capas de limolita. A partir de los registros se observan valores altos para el registro Gamma Ray y SP (+), valores muy bajos para los resistivos y estos se comportan de manera muy homogénea, los registros sísmico y neutrón están separados y el registro de densidad tiene valores altos. Todas estas observaciones mencionadas son

características de las lutitas y otras rocas de grano fino y muy fino. Demostrándonos que los registros eléctricos estudiados si corresponden a los núcleos de roca obtenidos.

Figura 35. Comparaciones roca – registro.



7.4. CONSIDERACIONES AMBIENTALES GENERALES.

Con base en el análisis de la información adquirida del pozo ANH-BVTURA-1-ST-P, a saber, descripciones macro y microscópicas de núcleos y ripios de perforación, y de registros eléctricos, se estimó de manera aproximada y en concordancia con la revisión bibliográfica, que la formación Chagüí fue depositada en un ambiente marino profundo entre cañones y abanicos submarinos.

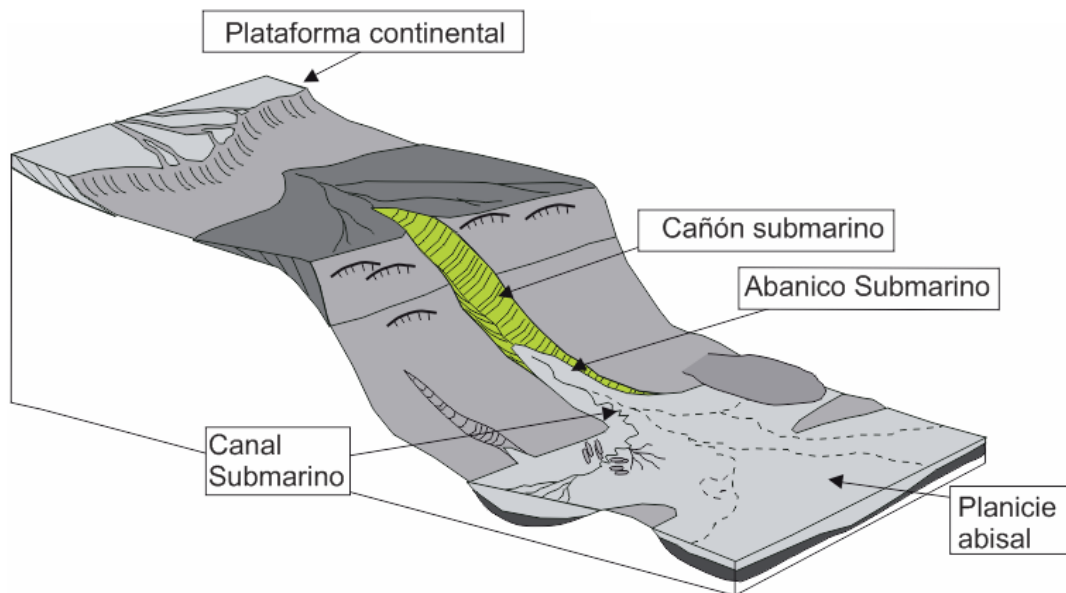
Los procesos sedimentarios que dieron origen a los depósitos de la formación Chagüí fueron flujos de gravedad, que transportaron los sedimentos terrígenos depositados previamente sobre la plataforma continental hasta la planicie abisal (ver figura 36) por medio de corrientes de turbidez que descienden periódicamente por los cañones submarinos.

Una posible evidencia de flujos turbidíticos puede estar en la mezcla de sedimentos terrígenos (cuarzo, micas, fragmentos líticos) y químicos (aloquímicos y ortoquímicos) observados en las secciones delgadas de los núcleos de lutitas (ver figura 22), además de secuencias superpuestas predominantemente granodecipientes, típicas de estos ambientes, más evidentes hacia el tope de la formación.

Los depósitos proximales de la Formación Chagüí están dominados por sedimentos de granulometría gruesa, tal como los pertenecientes a las facies de conglomerados polimicticos matriz-soportados (Gmm) y areniscas de grano fino a conglomeraticas masivas (Sm), los cuales serían depositados como relleno de cañón submarino y en el abanico interno o proximal (ver figura 36). Estos depósitos proximales se presentan hacia la parte media de la columna litoestratigráfica (ver figura 26) y se caracterizan además por una baja relación de arena/lutita, con estratos arenosos y de conglomerados de gran espesor, y delgadas y escasas intercalaciones de capas lutíticas y de mudstone. Son comunes las electroformas campana y cilindro (ver figuras 32 y 33), indicando secuencias granodecipientes en relleno de canales y cañones submarinos, aunque también pueden presentarse electroformas tipo embudo (ver figura 34), representando secuencias granocrecientes locales asociadas a depósitos de desborde del canal submarino (ver figura 36).

Por otra parte, los depósitos distales presentes corriente abajo en la secuencia turbidítica están dominados por sedimentos de grano fino, como lutitas y limolitas (facies Fsm), con capas delgadas y poco frecuentes de areniscas de grano fino (facies Sm), mostrando una baja relación arena/lutita. Estos sedimentos serían depositados en la parte media a distal del abanico submarino y/o sobre la planicie abisal (ver figura 36). Son comunes las intercalaciones de mudstone (facies Fmd). Estos depósitos de abanicos submarinos distales están presentes hacia la base de la columna litoestratigráfica (ver figura 26).

Figura 36. Esquema de ambiente de depósito.



Fuente: modificado de Posamentier y Walker 2006.

8. DISCUSIÓN

La Formación Chagüí consiste en una alternancia de conjuntos muy gruesos de lutitas, limolitas y lodolitas localmente calcáreas con niveles gruesos de areniscas de grano fino a conglomerática y conglomerados polimicticos.

Hacia el tope de la formación está definida por la presencia de niveles de conglomerados polimicticos que se alternan con capas de arenisca de grano fino a muy fino, también se presentan capas de hasta 30 pies de espesor de lutitas. Hacia la base se compone en su totalidad de lutitas. Se logró identificar 4 facies sedimentarias para la Formación Chagüí 1) Sm: Arenisca de grano fino a Conglomerática con laminación masiva. 2) Gmm: Conglomerado polimicticos matriz-soportados. 3) Fsm: Lutitas y limolitas masivas. 4) Fmd: caliza mudstone.

Con base en la información de registros eléctricos y facies previamente definidas se identificaron las electrofacies para la Formación Chagüí.

- Electrofacies de Canal, representados por gruesos paquetes de conglomerados polimicticos con ocasionales intercalaciones de lutita y limolita (litofacies Gmm y Fsm).
- Electrofacies de desborde, representados por gruesos paquetes de lutitas, que constituyen la llanura de inundación, con intercalaciones de areniscas hacia el tope (litofacies Fsm y Sm).

Según el análisis de los resultados la Formación Chagüí fue depositada en un ambiente marino profundo entre cañones y abanicos submarinos. Los procesos sedimentarios que dieron origen a los depósitos de la formación Chagüí fueron flujos turbidíticos que se evidencian en la mezcla de sedimentos terrígenos (cuarzo, micas, fragmentos líticos) y químicos (aloquímicos y ortoquímicos) observados en las secciones delgadas de los núcleos de lutitas, depositados

previamente sobre la plataforma continental hasta la planicie abisal descendiendo por los cañones submarino.

9. CONCLUSIONES

- La descripción petrográfica corresponde a una lodolita calcárea. Conformado por cemento de calcita tipo esparita. La roca está constituido principalmente por micrita y material terrígeno, a saber, filosilicatos cuarzo minerales opacos (materia orgánica?) fósiles de foraminíferos primordialmente conchas trocoespirales delgadas con relleno de material orgánico, como accesorio fragmentos de ópalo y partículas de Circón.
- Para la Formación Chagüí en el Pozo ANH-BVTURA-1-ST-P se adquirieron 212 pies de corazones de roca cuyo análisis macropetrográfico permitió la diferenciación de 4 litofacies: 1) Sm: Arenisca de grano fino a Conglomerática con laminación masiva. 2) Gmm: Conglomerado polimícticos matriz-soportados. 3) Fsm: Lutitas y limolitas masivas. 4) Fmd: caliza mudstone.
- Por medio del análisis de las asociaciones verticales de las facies anteriormente descritas se reconocieron las siguientes asociaciones faciales 1) Arenisca y limolitas- lutitas (Sm- Fsm). 2) Conglomerado polimicticos y Limolitas-Lutitas (Gmm-Fsm). 3) Conglomerado polimícticos y Arenisca (Gmm- Sm). 4) Arenisca y Lutita (Sm-Fsm).
- La Formación Chagüí se considera que es depositada en un ambiente marino profundo entre cañones y abanicos submarinos según las interpretaciones de litofacies y electrofacies.

10. RECOMENDACIONES

- Es necesario disponer de más información referente al subsuelo de la Cuenca Tumaco, para poder definir con mayor precisión el ambiente y las relaciones geométricas y faciales de la Formación Chagüí.
- Muchas de las estructuras no pudieron ser reconocidas puesto que gran parte de la Formación Chagüí fue estudiada a partir de muestras de zanja, lo cual no permite caracterizar a detalle las diferentes tipos de estructuras que sirven de diagnóstico para la caracterización facial y la determinación del ambiente de depósito.

BIBLIOGRAFÍA

- BARRERO, D., PARDO, A., VARGAS, C. A., y MARTÍNEZ, J. F., (2007). Colombian Sedimentary Basin, ANH. Edited and compiled by: ANH and B&M Exploration Ltda. 92 Pag.
- BEDOYA, E. L. (2010). Bioestratigrafía mediante nanofósiles calcáreos para las secuencias neógenas de la Bahía de Tumaco (sector Pacífico Colombiano). Proyecto de grado Maestría en Ciencias de la Tierra, Universidad de Caldas.
- BOGGS, S. (2001), Principles of sedimentology and stratigraphy. Upper Saddle River, N. J. Prentice Hall. 726 Pag.
- Contrato Interadministrativo N° 07 UIS-ANH. Aspectos Geológicos del Pozo ANH-BVTURA-1-ST-P. “Proyecto Pozos Profundos”.
- CORRALES I, ROSELL J, SÁNCHEZ L, VERA, J, y VILAS L, (1977). Estratigrafía Ed. Rueda. Madrid, España. 717 Pag.
- CRUZ, L., (1991) Curso de petrología sedimentaria: Guías de laboratorio. Bucaramanga: UIS. Departamento de Geología.
- ESCOVAR, R. GÓMEZ, L. A. RAMÍREZ, J. R. (1992). Informe final proyecto Tumaco – 90. Empresa Colombiana de Petróleo, Bogotá- Colombia. 59 Pag
- FOLK, R. L., (1968) Petrology of sedimentary rocks. Hemphill publishing vol, Primera edición. Austin, TX.
- KRUMBEIN, W. C. y Sloss, L. L. (1963) Stratigraphy and Sedimentation. San Francisco: W. H. Freeman, 1951. 497 Pag.

- MIALL, A. (1996). The Geology of Fluvial Deposits. Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology. Springer. 582 Pag.
- POSAMENTIER, H. W., WALKER, R. G. (2006). Facies models revisited, society for sedimentary geology. Tulsa Oklahoma, 532 Pag.
- SÁNCHEZ, N. PEÑALOZA, E., (2006) Patronamiento Bioestratigráfico con base en foraminíferos planctónicos en el intervalo 2110 pies – 5620 pies del pozo Remolino Grande -1, subcuena de Tumaco, Pacífico Colombiano. Trabajo de Grado, Escuela de Geología, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- SERRA, O. Análisis de ambientes sedimentarios mediante perfiles de pozo. Reporte interno de Schlumberger. 271 Pág.
- SMITH, D. y PUNTMAN (1980). Anastomosed river deposits: modern and ancient examples in Alberta, Canada. Canadian Journal of Earth Sciences 17: 1396-1406.
- SUAREZ, M. (1990). Estudio Geológico regional e interpretación sísmica estratigráfica en la provincia sedimentaria de la Costa Pacífica. Publicación ECOPETROL. 152 Pag.
- Universidad EAFIT- ANH (2007). Geology and Hydrocarbon Potential Atrato and San Juan Basins (Chocó)-Tumaco Basin (Pacific Realm). Fondo Editorial Universidad EAFIT. Medellin, Colombia 172 Pág.
- VERA, T., (1994), Estratigrafía principios y métodos, Editorial Rueda, S. L., Madrid. pág. 136-194.

- Wainoco INT. INC. 1980: Tumaco Prospect, Colombia, South América, Ecopetrol: Internal Report, Bogotá.