



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
PROYECTO ESPECIAL DE GRADO



COMPARACIÓN E INTEGRACIÓN ESTRATIGRÁFICA Y SEDIMENTOLÓGICA DE LA
FORMACIÓN NARICUAL CON LOS YACIMIENTOS DE LOS CAMPOS CARITO Y EL
FURRIAL, NORTE DEL ESTADO MONAGAS

TUTORA ACADÉMICA: Profesora Carolina Machillanda M.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Br. Díaz G., Alejandra V.
para optar al Título de Ingeniero Geólogo

2023



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
PROYECTO ESPECIAL DE GRADO



COMPARACIÓN E INTEGRACIÓN ESTRATIGRÁFICA Y SEDIMENTOLÓGICA DE LA
FORMACIÓN NARICUAL CON LOS YACIMIENTOS DE LOS CAMPOS CARITO Y EL
FURRIAL, NORTE DEL ESTADO MONAGAS

TUTORA ACADÉMICA: Profesora Carolina Machillanda M.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la Br. Díaz G., Alejandra V.
para optar al Título de Ingeniero Geólogo

2023

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi madre *Isabel Gómez* y mi linaje materno (abuela *Carmen Dominga*, tía *Violeta*, tía *Mariela*, tía *Rosalía* y *Keylita*) ustedes son mi mejor ejemplo de mujeres valientes, justas y amorosas, gracias por cada abrazo, cada plato de comida, cada palabra de aliento y cada oración en mi nombre para ayudarme a seguir adelante en mi camino.

A mi padre *Rubén Díaz*, gracias por enseñarme el valor del trabajo, por permitirme que me dedique exclusivamente a la tesis durante estos meses y demostrarme lo importante que es apoyarse como familia en todo momento. Gracias pa.

El 2022 fue un año difícil, me hizo entender que la vida es un ratito y nada te prepara para las malas noticias por lo que quisiera darle las gracias en especial a mi tía *Mariela* y mi hermana *Daniela*, quienes desde su nuevo hogar me acompañan a todos lados, gracias por siempre haber tenido fe en mí, este triunfo también es suyo.

La escuela de geología me permitió coincidir con personas maravillosas a nivel personal, académico y profesional como *Eduardo González* y *Katheanny Larez*, si alguien merece un apartado especial son ustedes dos, mi hermana de vida y mi amor más bonito.

Gracias mi *Edu*, por tu paciencia y entrega en nuestra relación, atesoró cada palabra y cada momento que hemos vivido. Estos meses te convertiste en mi motor principal, me regalaste una nueva familia y la oportunidad de construir una vida a tu lado, TE AMO.

A ti *Kathe*, gracias por estar conmigo en los momentos buenos y en los no tan buenos, por ser mi amiga fiel e incondicional durante estos años, te considero mi mejor amiga la que mejor me conoce y no me juzga, gracias por eso. Eres de esas personas que no se sueltan. Te llevaré siempre conmigo a cada lugar que vaya.

Agradezco a los profesores *María Lorente*, *Lenin González*, *Mauricio Hernández*, *Ruthman Hurtado*, *Ricardo Alezones* y *Carolina Machillanda* quienes no solo formaron parte de mi formación académica sino que su apoyo durante la realización de este trabajo fue fundamental para su desenlace, gracias a todos por sus sabias palabras y por compartir su tiempo y energía conmigo.

Otra persona a quien quiero agradecer es a *Daniel Melendres*, por ser un excelente compañero de trabajo y amigo. Dani gracias por siempre tener buena vibra ante mis crisis y gracias por cubrirme los meses que no estuve trabajando, tu apoyo ha sido muy valioso.

Por último, Gracias Dios y Vallita por siempre guiar mis pasos y colocar en mi camino a las personas correctas para mi evolución.

DÍAZ GOMEZ, ALEJANDRA V.

COMPARACIÓN E INTEGRACIÓN ESTRATIGRÁFICA Y SEDIMENTOLÓGICA DE LA FORMACIÓN NARICUAL CON LOS YACIMIENTOS DE LOS CAMPOS CARITO Y EL FURRIAL, NORTE DEL ESTADO MONAGAS

Tutor Académico: Profesora Carolina Machillanda. Tesis, Caracas U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología. Año 2023, 123p.

Palabras Claves: Formación Naricual, Campo Carito, Campo El Furrial, Modelo sedimentológico, Paleoambiente, Cuenca Oriental.

Resumen

El objetivo principal de la presente investigación consistió en comparar la unidad estratigráfica formal denominada Formación Naricual en su localidad tipo, con las unidades operacionales que reciben el mismo nombre en los campos Carito y El Furrial.

Para determinar el ambiente de sedimentación de la Formación Naricual en su localidad tipo, se realizó el análisis individual de tres (3) publicaciones en dos zonas cercanas que cuentan con datos litológicos, reportes de bioestratigrafía e icnología. Esta información fue obtenida a través de núcleos de dieciséis (16) sondeos exploratorios realizados en las cercanías de las quebradas Santa María, Nuevo Mundo y Cerro grande, así como de los socavones de las minas Santa María y Nuevo Mundo; también constó de estudios de geología de superficie a lo largo de las quebradas La Haciendita, El Chaure, Elauterio, La Matute, Las Lisas, El agua, Nuevo Mundo y Cerro Grande.

Se estableció como criterio único con la intención de unificar la información, las descripciones litológicas de estos estudios a partir de las cuales se codificaron diez (10) facies sedimentarias, siendo cinco (5) de carácter arenoso, dos (2) carbonosas y tres (3) facies arcillosas. Se procedió a rehacer las columnas litoestratigráficas para cada zona de trabajo lo que permitió definir las asociaciones verticales de facies. Por medio de esta interpretación se determinó que la sedimentación de la secuencia estudiada para la Formación Naricual en su localidad tipo se define dentro de un ambiente próximo costero donde se aprecian como

principales sistemas y depósitos: sistema de isla de barrera con depósitos de lavado o *washover* asociados, barras de playas, laguna costera asociada a planicie de marea y zona de manglar, donde se condensan los mayores espesores de carbones de hasta 3.5 m.

Para la Formación Naricual en subsuelo en los campos Carito y El Furrial se procedió a validar la información con base a las asociaciones de facies sedimentarias, la icnología reportada e información bioestratigráfica obtenida previamente a partir del análisis de núcleos. En el campo Carito con núcleos de los pozos MUC-10 y MUC-11, se determinó que para la secuencia estudiada el ambiente depositacional es deltaico con desarrollo de depósitos de llanuras y bahías interdistributaria, canales distributarios y barras de desembocadura.

En el campo el Furrial con núcleos de los pozos FUL-12 y FUL-13, se observó coincidencia con respecto a los principales elementos arquitecturales del ambiente de depositación interpretado en la localidad tipo y donde los procesos de sedimentación permitieron el desarrollo de depósitos arcillosos de laguna o bahía costera y de cuerpos arenosos como el de isla de barreras, barras costeras y barras sublitorales, lo que resultó de una sedimentación en un ambiente próximo costero.

Así mismo, tanto en el campo Carito como El Furrial se identificó únicamente correspondencia en edad al denominado miembro operacional Naricual Superior con la localidad tipo de la Formación Naricual en superficie.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	14
INTRODUCCIÓN	14
1.1 GENERALIDADES.....	14
1.2 UBICACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	14
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.4 OBJETIVO GENERAL	17
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.6 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.7 ALCANCE	18
1.8 LIMITACIONES	19
1.9 ANTECEDENTES	19
CAPÍTULO 2	22
MARCO METODOLÓGICO Y TEÓRICO	22
2.1 METODOLOGÍA.....	22
2.1.1 ETAPA 1: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1.2 ETAPA 2: COMPILACIÓN DE DATOS SEDIMENTOLÓGICOS Y ESTRATIGRÁFICOS EN LA ZONA	23
2.1.3 ETAPA 3: VALIDACIÓN Y ELABORACIÓN DE LAS COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS, Y VALIDACIÓN DE MODELOS SEDIMENTOLÓGICOS EN SUBSUELO Y SUPERFICIE.....	23
2.1.4 ETAPA 4: INTEGRACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	24
2.1.5 ETAPA 5: ELABORACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL INFORME FINAL	24
2.2 MARCO TEÓRICO	24
2.2.1 FACIES SEDIMENTARIAS.....	24
2.2.1.1 ASOCIACIÓN DE FACIES SEDIMENTARIAS.....	25
2.2.1.2 FACIES FLUVIALES.....	25
2.2.2 BIOESTRATIGRAFÍA	27
2.2.3 CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA	28
2.2.4 REGISTRO DE POZOS	28
2.2.5 DELTAS.....	29
2.2.6 ESTUARIOS.....	30
2.2.7 SISTEMA DE ISLAS DE BARRERAS.....	32
2.2.8 CARBÓN MINERAL.....	33

2.2.8.1 CLASIFICACIÓN DEL CARBÓN	33
2.2.8.2 AMBIENTES DE FORMACIÓN DEL CARBÓN	34
CAPÍTULO 3	36
MARCO GEOLÓGICO	36
3.1 GEOLOGIA REGIONAL – CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA.....	36
3.2 EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA	40
3.3 SUBCUENCA DE MATURIN	42
3.4 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL	44
3.4.1 FORMACIÓN NARICUAL	44
3.4.2 CAMPO CARITO	45
3.4.3 CAMPO EL FURRIAL.....	47
CAPÍTULO 4	50
CARACTERIZACIÓN DE LA FORMACIÓN NARICUAL EN SU LOCALIDAD TIPO	50
4.1 ANÁLISIS DE LA ZONA A – ESTUDIO DE BELLIZZIA Y MARTIN (1954)	52
4.1.1 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	54
4.1.2 CONSIDERACIONES PALEONTOLOGICAS.....	58
4.1.3 ASOCIACIÓN DE LITOFACIES EN LA ZONA A.....	62
4.2 ANÁLISIS DE LA ZONA C - ESTUDIO DE SOCAS (1990)	68
4.2.1 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	69
4.2.2 CONSIDERACIONES PALEONTOLOGICAS.....	73
4.2.3 ASOCIACIÓN DE LITOFACIES EN LA ZONA C.....	81
4.3 ANÁLISIS DE LOS CARBONES	86
4.4 INTERPRETACIÓN AMBIENTAL PARA LA FORMACIÓN NARICUAL EN SUPERFICIE	91
CAPÍTULO 5	100
CARACTERIZACIÓN DE LA FORMACIÓN NARICUAL EN SUBSUELO	100
5.1 ANÁLISIS DEL CAMPO CARITO.....	102
5.1.1 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	103
5.1.2 CONSIDERACIONES PALEONTOLÓGICAS.....	105
5.1.3 ASOCIACIÓN DE LITOFACIES EN CAMPO CARITO	107
5.2 ANÁLISIS DEL CAMPO EL FURRIAL.....	108
5.2.1 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	109
5.2.2 CONSIDERACIONES PALEONTOLOGICAS.....	112
5.2.3 ASOCIACIÓN DE LITOFACIES EN CAMPO EL FURRIAL	113
5.3 INTERPRETACIÓN AMBIENTAL PARA LOS CAMPOS CARITO Y EL FURRIAL.....	114
CAPÍTULO 6	118

COMPARACIÓN DE LA FORMACIÓN NARICUAL EN SUPERFICIE CON SUBSUELO	118
CONCLUSIONES.....	122
RECOMENDACIONES.....	124
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1— MAPA DE CUENCA ORIENTAL Y SU DIVISIÓN EN SUBCUENCA DE GUÁRICO Y SUBCUENCA DE MATURÍN.....	15
FIGURA 2- MAPA DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE INTERÉS.	16
FIGURA 3- FLUJOGRAMA DE LA METODOLOGÍA.....	22
FIGURA 4— PERFIL DE UN POZO.....	29
FIGURA 5 — CLASIFICACIÓN DE LOS DELTAS	30
FIGURA 6- CLASIFICACIÓN EVOLUTIVA DE LOS PRINCIPALES MEDIOS SEDIMENTARIOS COSTEROS.	31
FIGURA 7— SISTEMA DE ISLAS DE BARRERA.)	32
FIGURA 8 - MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE LAS CUENCAS PETROLÍFERAS DE VENEZUELA.	36
FIGURA 9- CORTE GEOLÓGICO CONCEPTUAL NORTE-SUR DESDE EL CINTURÓN DE DEFORMACIÓN DEL CARIBE EN CURAZAO HASTA EL RÍO ORINOCO.	37
FIGURA 10- CORTE GEOLÓGICO CONCEPTUAL NOROESTE-SURESTE DESDE LA PLATAFORMA MARGARITA-LOS TESTIGOS HASTA EL RÍO ORINOCO.	37
FIGURA 11— TABLA DE CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA DE LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA.....	39
FIGURA 12- COLUMNA INTEGRADA (EN TIEMPO) DE LA SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA EN LA SERRANÍA DEL INTERIOR.....	43
FIGURA 13— UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CAMPO CARITO.	46
FIGURA 14— MAPA ESTRUCTURAL DEL CAMPO CARITO.	46
FIGURA 15— UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CAMPO EL FURRIAL.	48
FIGURA 16— MAPA ESTRUCTURAL DEL CAMPO EL FURRIAL.	48
FIGURA 17— MAPA DE LAS ZONA DE ESTUDIO	51
FIGURA 18— SECCIÓN TRANSVERSAL DE SONDEO EXPLORATORIO EN LA QUEBRADA SANTA MARÍA.....	53
FIGURA 19— COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DE LOS SONDEOS EXPLORATORIOS T5, T6 Y T19.	53
FIGURA 20- DISTRIBUCIÓN DE LITOFACIES EN LA LOCALIDAD TIPO DE LA FORMACIÓN NARICUAL PARA LA ZONA A.....	56
FIGURA 21— SECUENCIA RÍTMICA DE ARENISCA Y LUTITA. UNIDAD MALLORQUÍN.	57
FIGURA 22— SECUENCIAS RÍTMICAS DE ARENISCA Y LUTITA. (A) TALADRO S8 (B) TALADRO S5	57
FIGURA 23— ICNOFÓSIL DE TIPO TEICHICHNUS ISP., EN BASE DE ARENISCA UNIDAD SANTA MARÍA.	60
FIGURA 24— RIZADURA DE CORRIENTE ASIMÉTRICA EN CAPA DE ARENISCA EN CARRETERA NARICUAL — EL TIGRE.	61
FIGURA 25— ESTRUCTURA DE ALMOHADILLA EN CORTE DE CARRETERA VÍA AL POLVORÍN DE MINA EN LA UNIDAD SANTA MARÍA. 62	
FIGURA 26— COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA PARA LA ZONA A.....	64
FIGURA 27- DISTRIBUCIÓN DE LITOFACIES EN LA LOCALIDAD TIPO DE LA FORMACIÓN NARICUAL EN LA ZONA C.....	71
FIGURA 28— SECUENCIA RÍTMICA DE ARENISCA Y LUTITA. CAMINO HACIA EL POLVORÍN DE LA MINA.....	72
FIGURA 29— SECCIÓN DE CONGLOMERADO EN MUESTRA DE MANO. SECTOR LAS LISAS.....	72
FIGURA 30— AMBIENTES DE LOS FORAMINÍFEROS BÉNTICOS SEGÚN ABUNDANCIA DE SUS SUBÓRDENES.	75

FIGURA 31– FAUNAS MODERNAS DE FORAMINÍFEROS BENTÓNICOS MONO ESPECÍFICOS QUE HABITAN EN ESTUARIO Y LAGUNAS PROTEGIDAS EN NUEVA ZELANDA.	77
FIGURA 32– ICNOFÓSIL DE TIPO THALASSINOIDES ISP., QUEBRADA ELAUTERIO.....	78
FIGURA 33– ICNOFÓSIL DE TIPO MONOCRATEIRON ISP., QUEBRADA ARAGÜITA.....	79
FIGURA 34– ESTRATIFICACIÓN CRUZADA Y LAMINACIÓN PARALELA EN CAPA DE ARENISCA EN EL SECTOR LAS LISAS	80
FIGURA 35– BASE DE ARENISCA CONGLOMERÁTICA CON GRADACIÓN NORMAL EN EL SECTOR LAS LISAS.....	80
FIGURA 36– COLUMNA ESTRATIGRAFICA GENERALIZADA PARA LA ZONA C	82
FIGURA 37– VALORACIÓN DEL GRADO DE MADUREZ MEDIDO EN RO.	88
FIGURA 38- DIAGRAMA TERNARIO DE DISTRIBUCIÓN DE LOS MACERALES ORGÁNICOS MAYORITARIOS.....	90
FIGURA 39– MODELO IDEALIZADO DE LAGUNA COSTERA CON SUS DEPÓSITOS MÁS IMPORTANTES.....	92
FIGURA 40– DISTRIBUCIÓN DE LOS COMPONENTES MORFOLÓGICOS INTERPRETADOS PARA EL AMBIENTE DE SEDIMENTACIÓN DE LA FORMACIÓN NARICUAL EN LOCALIDAD TIPO	94
FIGURA 41– DISTRIBUCIÓN DE LOS COMPONENTES MORFOLÓGICOS INTERPRETADOS PARA EL AMBIENTE DE SEDIMENTACIÓN DE LA FORMACIÓN NARICUAL EN LOCALIDAD TIPO.	95
FIGURA 42– CANALES OBSERVADOS EN LA ENTRADA A LA MINA SANTA MARÍA.....	98
FIGURA 43– MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LOS CAMPOS CARITO Y EL FURRIAL.....	100
FIGURA 44– MAPA ÍNDICE DE POZOS EN LOS CAMPOS CARITO Y EL FURRIAL	101
FIGURA 45– DISTRIBUCIÓN DE LITOFACIES EN LOS POZOS MUC-10 Y MUC-11	105
FIGURA 46– DISTRIBUCIÓN DE LITOFACIES EN EL POZO FUL-13	111
FIGURA 47– SECCIÓN CRONOESTRATIGRÁFICA DEL CRETÁCICO Y TERCIARIO GENERADA POR EL PINM.	117

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1- CLASIFICACIÓN DE FACIES DETRÍTICAS FLUVIALES.	26
TABLA 2- CLASIFICACIÓN DEL CARBÓN SEGÚN LA NORMA ASTM D388.	34
TABLA 3- DISTRIBUCIÓN APROXIMADA DE LAS LITOFACIES EN LA LOCALIDAD TIPO DE LA FORMACIÓN NARICUAL.	55
TABLA 4- MACROFÓSILES REPORTADOS POR MACSOTAY (1978) EN LA LOCALIDAD TIPO DE LA FORMACIÓN NARICUAL.	58
TABLA 5- ICNOLOGÍA REPORTADA POR MACSOTAY (1978) EN LA LOCALIDAD TIPO DE LA FORMACIÓN NARICUAL.	60
TABLA 6- ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS REPORTADOS POR MACSOTAY (1978) EN LA LOCALIDAD TIPO DE LA FORMACIÓN NARICUAL.	61
TABLA 7- NOMENCLATURA DE LAS PRINCIPALES LITOFACIES EN LA LOCALIDAD TIPO DE LA FORMACIÓN NARICUAL DE LA ZONA A. 63	
TABLA 8- ASOCIACIÓN DE FACIES EN LA UNIDAD INFORMAL SANTA MARÍA, ZONA A.	65
TABLA 9- ASOCIACIÓN DE FACIES EN LA UNIDAD INFORMAL MALLORQUÍN, ZONA A.	66
TABLA 10- ASOCIACIÓN DE FACIES EN LA UNIDAD INFORMAL ARAGÜITA, ZONA A.	68
TABLA 11- DISTRIBUCIÓN APROXIMADA DE LAS LITOFACIES EN LA LOCALIDAD TIPO DE LA FORMACIÓN NARICUAL DE LA ZONA C. 69	
TABLA 12 - MACROFÓSILES REPORTADOS POR SOCAS (1990) EN LA LOCALIDAD TIPO DE LA FORMACIÓN NARICUAL.	73
TABLA 13- FORAMINÍFEROS REPORTADOS POR SOCAS (1990) EN LA LOCALIDAD TIPO DE LA FORMACIÓN NARICUAL.	74
TABLA 14- PALINOMORFOS E IMPRESIÓN DE PLANTAS REPORTADOS POR SOCAS (1990) EN LA LOCALIDAD TIPO DE LA FORMACIÓN NARICUAL.	74
TABLA 15- ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS PRESENTES EN CADA MIEMBRO INFORMAL DE LA FORMACIÓN NARICUAL EN SU LOCALIDAD TIPO Y SU GRADO DE OCURRENCIA.	79
TABLA 16- NOMENCLATURA DE LAS PRINCIPALES LITOFACIES EN LA LOCALIDAD TIPO DE LA FORMACIÓN NARICUAL EN LA ZONA C81	
TABLA 17- ASOCIACIÓN DE FACIES EN LA UNIDAD INFORMAL I.	83
TABLA 18- ASOCIACIÓN DE FACIES EN LA UNIDAD INFORMAL II.	83
TABLA 19- ASOCIACIÓN DE FACIES EN LA UNIDAD INFORMAL III.	84
TABLA 20- ASOCIACIÓN DE FACIES EN LA UNIDAD INFORMAL IV.	85
TABLA 21- ASOCIACIÓN DE FACIES EN LA UNIDAD INFORMAL V.	85
TABLA 22- ANÁLISIS INMEDIATO, REFLECTANCIA DE VITRINITA, PODER CALÓRICO Y CLASIFICACIÓN SEGÚN ASTM DE LOS CARBONES DE NARICUAL SEGÚN RESULTADOS DE DISTINTOS AUTORES.	87
TABLA 23- ANÁLISIS MACEROLÓGICO PETROGRÁFICO CUANTITATIVO DE LOS CARBONES DE LA FORMACIÓN NARICUAL SEGÚN RESULTADOS DE DISTINTOS AUTORES.	90
TABLA 24- POZOS ESTUDIADOS POR DISTINTOS AUTORES EN EL CAMPO CARITO.	102
TABLA 25- CUADRO RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS PARA LAS FACIES SEDIMENTARIAS EN EL CAMPO CARITO.	103
TABLA 26- ICNOLOGÍA REPORTADA EN EL CAMPO CARITO.	106
TABLA 27- CUADRO RESUMEN DE ESTUDIOS BIOESTRATIGRÁFICOS EN EL CAMPO CARITO.	106

TABLA 28—ASOCIACIÓN DE FACIES EN EL CAMPO CARITO	107
TABLA 29— POZOS ESTUDIADOS POR DISTINTOS AUTORES EN EL CAMPO EL FURRIAL	109
TABLA 30— CUADRO RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS PARA LAS FACIES SEDIMENTARIAS EN EL CAMPO EL FURRIAL	110
TABLA 31— ICNOLOGÍA REPORTADA EN EL CAMPO EL FURRIAL.	113
TABLA 32—ASOCIACIÓN DE FACIES EN FUL-13.....	113
TABLA 33 —ASOCIACIÓN DE FACIES EN FUL-12.....	114
TABLA 34- TABLA COMPARATIVA DE LA FORMACIÓN NARICUAL EN SUPERFICIE CON SUBSUELO SEGÚN LOS DIFERENTES AUTORES INCLUYENDO ESTE ESTUDIO (DÍAZ 2023)	121

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Comúnmente en la industria petrolera se suele llamar a los yacimientos del subsuelo en correspondencia a los equivalentes de rocas ya estudiadas en afloramientos y con la nomenclatura estratigráfica de unidades formales, esto de acuerdo a las similitudes de características tales como su litología, edad, espesor, entre otras. Los yacimientos que se encuentran en los campos de producción, suelen ser unidades informales económicamente rentables, que pueden variar por cambios de facies mayormente laterales, por las propiedades inherentes a la roca, por correlación estratigráfica, deformación estructural, entre otros factores.

Esto representa el punto de inicio para esta investigación, la que surge producto de la necesidad de esclarecer la correcta denominación que tienen ciertas formaciones que componen la Cuenca Oriental de Venezuela, su relación con unidades formales en afloramientos y la de los campos petroleros que allí se encuentran.

Para ello, se pretende comparar lo que existe ya definido de la unidad formal descrita en afloramientos de la Formación Naricual, con relación a lo que está presente en su subsuelo para los yacimientos de los campos Carito y El Furrial, localizados al norte del estado Monagas; y así compilar la mayor cantidad de información presente en investigaciones previas sobre la unidad.

1.2 UBICACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Cuenca Oriental de Venezuela se caracteriza por extensas llanuras que comprenden los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro, con un área total aproximada de 200.000 km² (Figura 1). Se encuentra localizada en el noreste del país entre las coordenadas 8° - 11° de latitud norte y 61° - 66° de longitud oeste.

Topográficamente, se encuentra delimitada al oeste por la elevación de El Baúl, al norte por la línea que demarca el piedemonte meridional de la Serranía del Interior, al sur por el río Orinoco y al este por el Atlántico (González de Juana *et al.*, 1980).

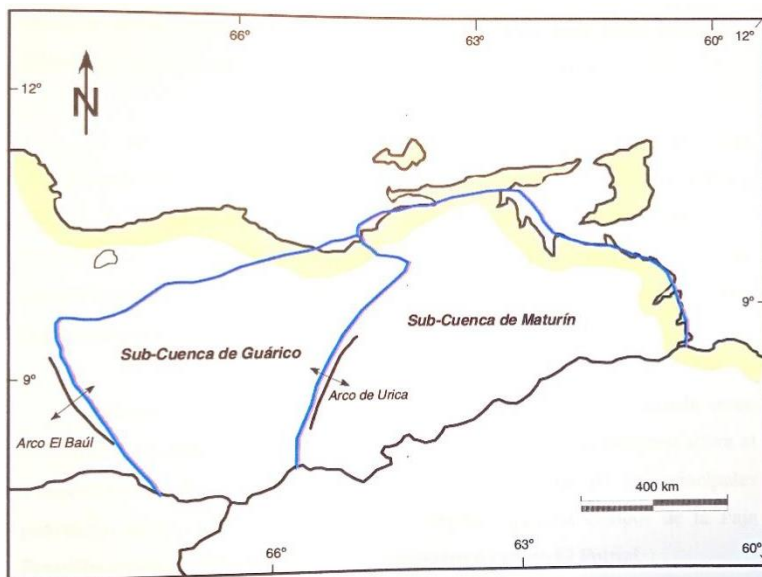


Figura 1– Mapa de Cuenca Oriental y su división en subcuenca de Guárico y subcuenca de Maturín.

Tomado de Erlich y Barret (1992)

En tal sentido, el área de estudio comprende la zona norte de los estados Anzoátegui y Monagas, localizados dentro del contexto geológico de la subcuenca de Guárico (Formación Naricual) y de la subcuenca de Maturín, lugar donde se encuentran los campos Carito y El Furrial, tal como se visualiza en la Figura 2.

La Formación Naricual se encuentra ubicada al sureste del pueblo de Naricual en el estado Anzoátegui. Por otro lado el campo El Furrial abarca un área de aproximadamente 108 km² y está limitado al norte por el campo Jusepin, hacia el sur por el corrimiento del Furrial (subsuelo), hacia el este por el campo Corozo y hacia el oeste limita con el campo Carito, siendo este también objeto de interés; ambos campos se localizan en el estado Monagas.

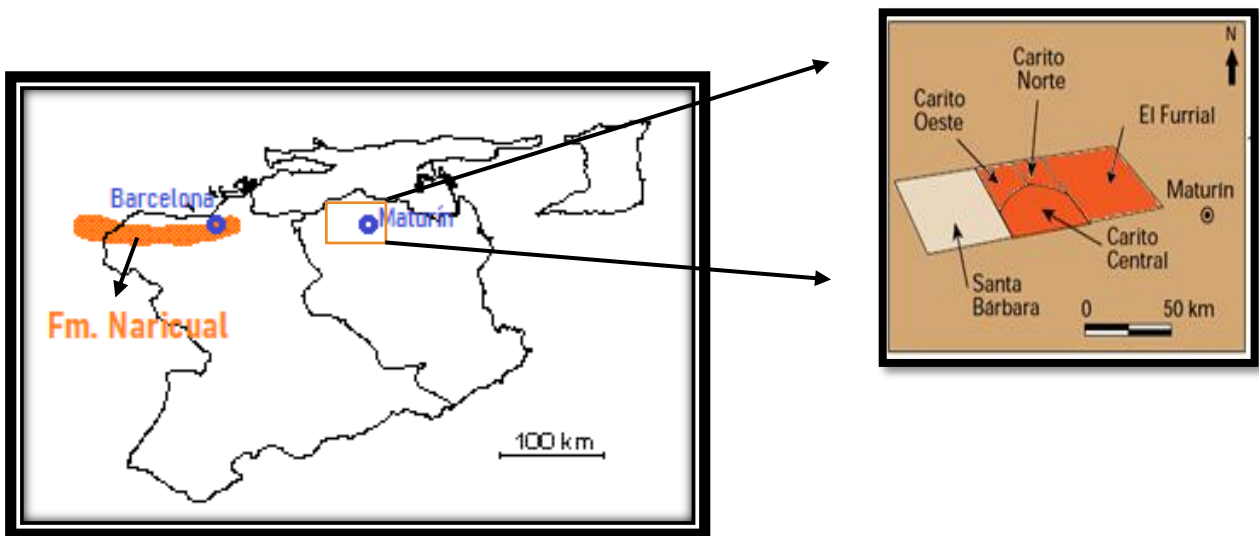


Figura 2- Mapa de ubicación de la zona de interés. Tomado y modificado C.V.E (1970); Yoris y Ostos (1997).

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La exploración petrolera en Venezuela se remonta a las primeras décadas del siglo XX, época durante la cual, el método para la localización de pozos más empleado, era la geología de superficie sustentada en la observación directa, lo que permitió identificar grandes manaderos de hidrocarburos, entre los cuales destacó, el de Guanoco en 1913, situado al oriente del país y Mene Grande en el occidente para el año 1914.

Además, en la medida que aumentó la actividad de geología de superficie aunada al auge de las nuevas tecnologías de exploración y producción, surgió la necesidad de estudiar con detenimiento el origen y evolución las cuencas petrolíferas en el país. Tales estudios, permitieron definir cinco grandes cuencas petroleras o lo que PDVSA denominó “Zonas potenciales petroleras de Venezuela”: Cuenca de Maracaibo, Cuenca Barinas-Apure, Cuenca de Falcón, Cuenca Tuy-Cariaco y Cuenca de Oriente; siendo esta última, una de las áreas con mayor interés económico actual ya que en ella se localiza la Faja Petrolífera del Orinoco “Hugo Chávez” (FPOHCh), reservorio donde se encuentran las mayores reservas de nuestro país, principalmente crudos pesados (10-20° API) y extra pesados (°API < 10).

Por otro lado, en la Cuenca Oriental de Venezuela destacan, por su carácter de roca madre la Formación Querecual y de roca yacimiento las formaciones Merecure, La Pica, Carapita, Naricual y Oficina.

Por ello, es conveniente estudiar la localidad tipo de la Formación Naricual y sus afloramientos, en conjunto con aquellos posibles miembros informales denominados equivalentes que se localizan en los yacimientos que conforman los campos Carito y El Furrial, ambos pertenecientes a la subcuenca de Maturín al norte de estado Monagas y conocidos localmente como “Arenas de Naricual”, mediante una comparación estratigráfica y sedimentológica.

De acuerdo a este planteamiento, el siguiente trabajo de investigación establecería las similitudes o diferencias entre la unidad estratigráfica formal y los miembros informales mencionados, lo cual permitiría aclarar las inconsistencias o validaciones, según sea el caso, con el fin de ejecutar correctamente el nombramiento de dichas unidades.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Comparar la unidad estratigráfica formal denominada Formación Naricual en su localidad tipo, con los yacimientos del mismo nombre en los campos Carito y El Furrial localizados en la Subcuenca de Maturín, al norte del estado Monagas e integrar la información existente.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un análisis crítico y comparativo de las unidades en superficie y subsuelo de la Formación Naricual, a partir de compilación geológica en su localidad tipo y la información disponible de los yacimientos de los campos Carito y El Furrial, subcuenca de Maturín.
- Unificar las asociaciones de facies sedimentarias de los campos Carito y El Furrial a partir de la validación previa de las hojas sedimentológicas de los núcleos de ambos campos.
- Establecer, de ser posible, la correspondencia entre las unidades definidas en los campos Carito y El Furrial, con la Formación Naricual en superficie; de no

corresponder, caracterizar y proponer la unidad más adecuada de acuerdo a las similitudes sedimentológicas y estratigráficas.

1.6 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Los diversos estilos estructurales presentes en la Cuenca Oriental de Venezuela, permitieron el entrapamiento de hidrocarburos en la zona presentando para el año 2010 la cantidad de reservas comprobadas que ascienden a 275.240 MMb, según el Informe de Gestión Anual de PDVSA, y actualizado a 303.805.745 millones de barriles para el año 2019 según la Resolución No. 043 del Ministerio del Poder Popular de Petróleo, publicada en Gaceta Oficial No. 41.648, de fecha 5 de junio de 2019.

Debido al interés económico comprobado de la Cuenca Oriental de Venezuela, a la complejidad estructural y estratigráfica, existen un gran número de estudios geológicos y geofísicos realizados en los distintos campos petroleros existentes en el área. No obstante, aún existen campos de los cuales no se tiene suficiente definición estratigráfica con respecto a las unidades formales, siendo los yacimientos de los campos Carito y El Furrial uno de ellos, y que se han considerado como equivalentes a la Formación Naricual en superficie, lo cual ha sido mencionado en las unidades informales de ambos campos.

En tal sentido, con este estudio se pretende realizar una comparación de la unidad formal de la Formación Naricual con los yacimientos bajo el mismo nombre en los campos Carito y El Furrial, localizados en subcuenca de Maturín al norte de Monagas, lo que permitirá comprobar si está bien sustentado el hecho de denominarlas de igual forma. En el caso de no corresponder proponer la unidad más adecuada de acuerdo a las similitudes sedimentológicas y estratigráficas.

1.7 ALCANCE

Considerando que Venezuela constituye una nación clave en el mundo petrolero y que, pese a su acelerado crecimiento, en ciertas oportunidades se ha visto obligada a deducir apresuradamente la información de los campos petroleros con el propósito fundamental de

ingresar con rapidez en la etapa de producción; es por ello que, la revisión y optimización de la información geológica se hace fundamental para los planes económicos del país, en tal sentido, este estudio se circunscribe en verificar las similitudes o inconsistencias que resultan de comparar la Formación Naricual con los yacimientos que reciben el mismo nombre en los campos Carito y El Furrial, localizados en la subcuenca de Maturín al norte del estado Monagas.

1.8 LIMITACIONES

Los datos sedimentológicos asociados a los campos Carito y El Furrial se centran en proyectos con acceso restringido dentro de PDVSA, por lo que la cantidad de información existente del área de estudio (subsuelo) no es de libre acceso o se encuentra limitada a la colaboración que pueda prestar dicha institución; sin embargo existen trabajos que sirven de sustento para cumplir con los objetivos planteados.

1.9 ANTECEDENTES

El área donde se desarrolla esta investigación cuenta con diversos estudios que se han sustentado en la interrelación de disciplinas tales como geofísica, geología (estratigrafía y sedimentología), petrofísica e ingeniería de petróleo, cuyo objetivo es el aporte de los hallazgos en base a las nuevas interpretaciones, con el propósito de optimizar y mejorar la explotación de hidrocarburos en la zona a través de las caracterizaciones que de ello se deriven.

Para el año 1938, González de Juana y Agueverre publicaron en el Boletín N°2 de Geología y Minería un informe geológico de parte de los depósitos de carbón en las cercanías del río Naricual, este estudio se basó en observaciones de campo con la intención de proyectar a futuro sondeos exploratorios que permitan ampliar la información del yacimiento.

En los años 1952 y 1954, la Dirección de Geología del Ministerio de Minas e Hidrocarburos encargó a los geólogos Alirio Bellizzia y Cecilia Martin Bellizzia realizar un

estudio detallado de toda la cuenca carbonífera de Naricual, el cual incluyó estudios geológicos de superficie, sondeos exploratorios y labores mineras, con el fin de calcular sus reservas brutas y explotables. Las zonas de estudio para el proyecto durante la fase de prospección geológica del subsuelo incluían desde el poblado de Naricual, pasando por la Quebrada de Cerro Grande hasta la Quebrada Los Catires. Dicho artículo se publicó en 1961 en el III Congreso Geológico Venezolano.

En agosto de 1978, Macsotay, realizó un estudio estratigráfico sobre la Formación Naricual, con breves referencias de formaciones infrayacentes como formaciones Los Jabillos y Areo, y la suprayacente Formación Capiricual, el cual fue publicado en el Boletín N°24 del Ministerio de Energía y Minas.

Una década más tarde en 1988, Subieta, Carnevali y Hunter, estudiaron en detalles la evolución estratigráfica de la subcuenca de Maturín. Estudio que fue presentado en el III Simposio Bolivariano de la Sociedad Venezolana de Geólogos y planteó entre otros aspectos, los regímenes a los cuales estuvo sometido la Cuenca Oriental de Venezuela, sus paleoambientes y su relación con la Serranía del Interior.

Para el año 1989, Gutiérrez y Salazar, plantearon un estudio completo con sísmica y geología de superficie, donde expusieron las principales características del campo El Furrial, sus expectativas y resultados de producción. Entre los hallazgos arrojados en esta investigación destacó, que dicho campo petrolero se localiza sobre un pliegue anticlinal de aproximadamente 10 km de longitud con eje de dirección NE-SW, y que las areniscas de la Formación Naricual descritas en el subsuelo se subdividen en 3 miembros informales: superior, medio e inferior.

Socas (1990), presentó en su trabajo especial de grado un estudio sedimentológico detallado de la Formación Naricual en su localidad tipo, su principal objetivo fue establecer las características genéticas de la formación en superficie así como caracterizar los carbones presentes en ella.

Isea *et al.*, con el apoyo de PDVSA Intevep, LAGOVEN S.A y CORPOVEN S.A, en 1992 realizaron un estudio bioestratigráfico en muestras seleccionadas de 16 pozos ubicados en los campos Carito y El Furrial, sus resultados aportaron datos cronoestratigráficos y

paleoambientales que ayudaron a complementar la información sedimentológica disponible; el informe técnico forma parte del Proyecto Integrado Norte de Monagas (PINM).

En el año 1993, Escobar y Martínez analizaron las muestras más representativas de yacimientos y manifestaciones carboníferas en distintos lugares de Venezuela (incluyendo las minas de Naricual) con el propósito de caracterizarlos utilizando las normas ASTM. Este análisis global de las características geoquímicas y petrográficas de dichos yacimientos aportó información valiosa sobre el grado de madurez alcanzado, posible correlación entre yacimientos, así como la presencia y cuantificación de azufre y otros componentes tóxicos y contaminantes.

Para finales de la década en 1999, Di Croce *et al.*, realizaron un trabajo sobre la secuencia estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela basados en el análisis secuencial y estructural de la cuenca, lo que permitió definir su evolución.

Angulo y Rodríguez, en 2001, realizaron un estudio sedimentológico de la Formación Naricual en el Campo Carito (Carito norte y oeste), ubicados al norte del estado Monagas, el análisis de estos núcleos permitió construir secciones estratigráficas, así como definir los ambientes depositacionales de los yacimientos.

En este orden de ideas, en el 2002, Márquez *et al.*, junto a PDVSA Intevep, desarrollaron un proyecto que consistía en realizar un modelo estructural en profundidad del norte del estado Monagas, integrando los modelos geológicos de los campos El Furrial, Carito y Santa Bárbara, con la finalidad de optimizar los planes de desarrollo, al conocer las diferencias y similitudes entre los diferentes yacimientos de la zona de estudio, aportando valiosa información dentro del Proyecto Integrado Norte de Monagas (PINM).

Kabbabe publicó en la convención anual de la AAPG del año 2003 un estudio que mejora las descripciones previas del campo Carito en Naricual Superior, definiendo 16 facies sedimentarias a partir de la composición dominante, estructuras sedimentarias y textura de la roca. Su análisis se centra en la importancia de definir correctamente controles estratigráficos y sedimentológicos de un yacimiento unificando la información litológica y los atributos petrofísicos para el reconocimiento de patrones.

CAPÍTULO 2

MARCO METODOLÓGICO Y TEÓRICO

2.1 METODOLOGÍA

Con el propósito fundamental de cumplir efectivamente con cada uno de los objetivos planteados en esta investigación, seguidamente se presenta el conjunto de actividades que se llevarán a cabo en cada una de las etapas del proyecto:

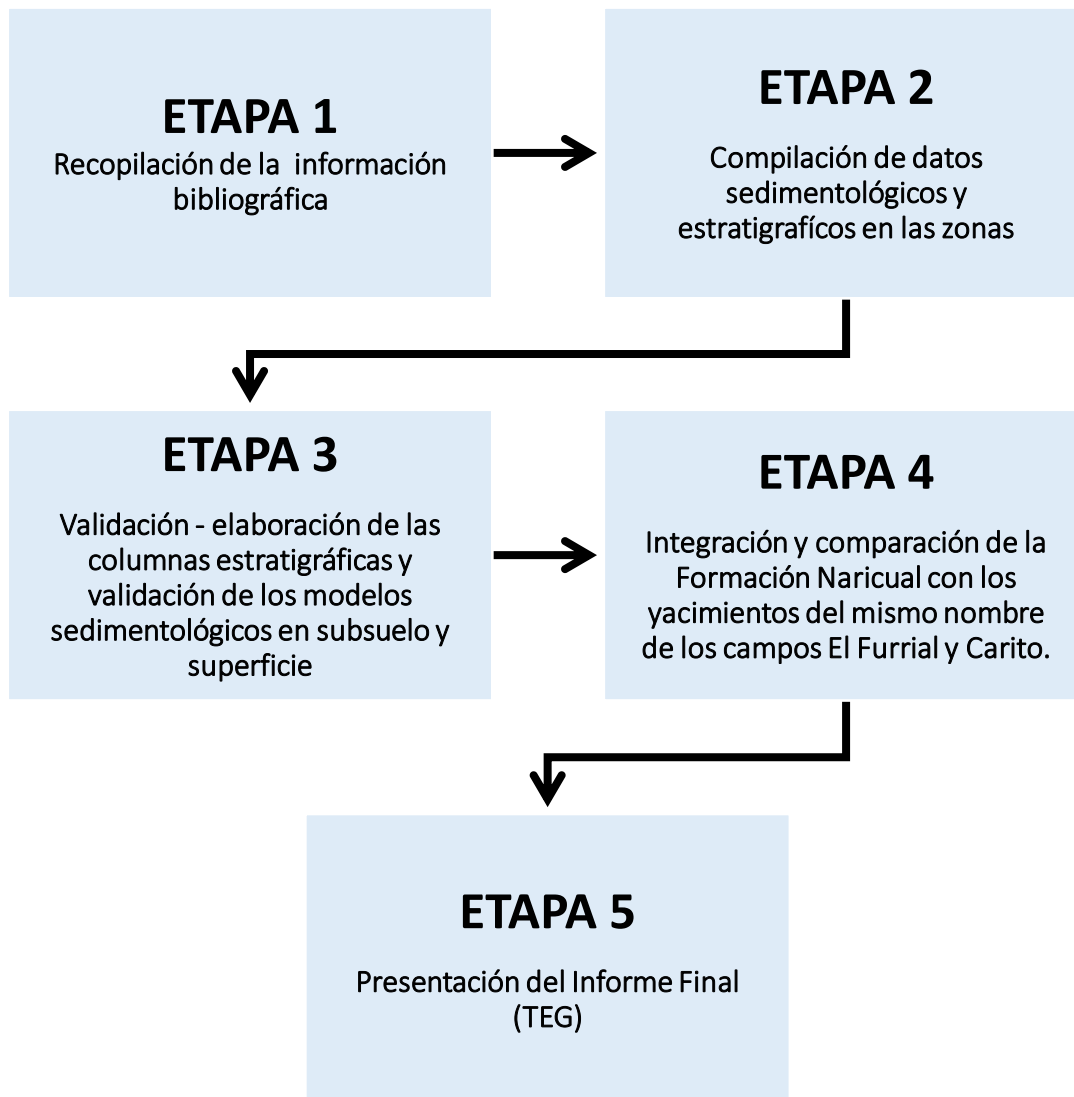


Figura 3- Flujograma de la metodología.

2.1.1 ETAPA 1: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Esta etapa se refiere a la búsqueda y recopilación de estudios previos cuyos contenidos están vinculados con información sedimentológica, estratigráfica y sísmica perteneciente a la Cuenca Oriental de Venezuela, puntualmente con la subcuenca de Maturín y los campos petroleros de interés Carito y El Furrial, así como información de la Formación Naricual en afloramiento, datos que sustentan esta investigación.

2.1.2 ETAPA 2: COMPILACIÓN DE DATOS SEDIMENTOLÓGICOS Y ESTRATIGRÁFICOS EN LA ZONA

En ésta etapa, se pretende compilar los datos geológicos de la zona de interés. Ésta información será de tipo sedimentológica, estratigráfica, sísmica y de pozos de los campos Carito y El Furrial, con la finalidad de unificar toda la información necesaria.

2.1.3 ETAPA 3: VALIDACIÓN Y ELABORACIÓN DE LAS COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS, Y VALIDACIÓN DE MODELOS SEDIMENTOLÓGICOS EN SUBSUELO Y SUPERFICIE.

Esta etapa se fundamenta en el análisis detallado de la información, donde se especifica cada facies observada, esto con la finalidad de determinar las más representativas y la asociación que existe entre éstas, lo que permitirá reconstruir el ambiente depositacional, definir el tipo de depósito sedimentario y su edad, con el fin de determinar semejanzas o diferencias entre los pozos y las formaciones.

Es importante señalar, que durante el desarrollo de esta fase se trabajará en base la información bibliográfica existente de los núcleos de los pozos Carito y El Furrial, así como de la Formación Naricual en su localidad tipo, la cual será validada y descrita mediante columnas estratigráficas utilizando como herramienta digital el software *AppleCORE 10*.

2.1.4 ETAPA 4: INTEGRACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Representa la compilación final del proyecto y se sustenta en las interpretaciones y validaciones de las asociaciones de facies de las etapas anteriores. Se procede a visualizar las variaciones verticales de los resultados obtenidos con la finalidad de presentar así un estudio integrado y multidisciplinario que permita cumplir los objetivos planteados.

2.1.5 ETAPA 5: ELABORACIÓN Y PRESENTACIÓN DEL INFORME FINAL

Una vez integrados los resultados como producto de la recolección de la información requerida para dar respuesta a cada uno de los objetivos planteados en el estudio, se procede a la elaboración y presentación del informe final o del Trabajo Especial de Grado (T.E.G.).

2.2 MARCO TEÓRICO

2.2.1 FACIES SEDIMENTARIAS

Amanz Gressly (1838) hizo contribuciones fundamentales en tres áreas de la estratigrafía: concepto de facies y aplicaciones, correlación estratigráfica y reconstrucción paleogeográfica; él señala que las facies son el compendio total de los aspectos litológicos y paleontológicos que se puedan encontrar en una unidad estratigráfica. De esta manera podemos entender que las facies sedimentarias son definidas como un cuerpo de roca caracterizado por la combinación particular de litologías, estructuras sedimentarias y presencia de fósiles, que registran las condiciones de sedimentación de los estratos, las cuales le otorgan un carácter que difiere de los cuerpos de roca adyacentes.

En tal sentido, esta suma de las características observables de una unidad sedimentaria, que incluyen las dimensiones, estructuras sedimentarias, tamaños y tipos de grano, color y contenido biogénico de una roca sedimentaria, le ha permitido constituirse en pilar fundamental en el marco de la estratigrafía moderna, en virtud de que, permite

clasificar y describir cada unidad de roca, tanto a pequeña escala, donde éstas unidades poseen pocos metros de espesor y la diferencia entre las facies son sutiles; como a gran escala, cuyo objetivo implica mayor detalle en los cambios y diferencias de estructuras sedimentarias, abundancia relativa y diversidad de fósiles y cambios en las proporciones de litología, lo que resulta una gran ventaja al realizar interpretaciones ya que se pueden combinar facies que se relacionen genéticamente entre sí (Walker y James, 1992).

Dado a la diversidad de los aspectos observables en las rocas (o conjuntos de rocas) se puede hablar de varios tipos de facies. Para ello se usan términos restrictivos según el tipo de propiedades descrita (litofacies y biofacies) o de la escala de observación (micro facies). Actualmente, el uso del término facies se ha extendido también a los conjuntos de rocas diferenciables por sus propiedades medidas en digrafías (electro facies) o en perfiles sísmicos (facies sísmicas).

2.2.1.1 ASOCIACIÓN DE FACIES SEDIMENTARIAS

La delimitación de las facies y el estudio de sus asociaciones constituyen dos aspectos fundamentales del análisis sedimentológico y estratigráfico, ya que en sentido interpretativo asocia grupos de rocas que se infieren han sido formadas bajo condiciones similares, lo que permite deducir su genética.

Basando sus análisis de características de la roca y su comparación con ambientes actuales, autores como Miall (1990), Wilson (1975) y Bouma (1962) proponen respectivamente una clasificación normalizada para las facies más abundantes denominadas detríticas fluviales, turbidítica y carbonatada.

2.2.1.2 FACIES FLUVIALES

Según Miall (1990), el término facies es utilizado actualmente en un sentido tanto descriptivo como interpretativo, por lo que su interpretación parte de reconocimiento

simple de las asociaciones de propiedades que están repetidas a lo largo de la sección (o partes de la cuenca completa).

El autor establece distintos los códigos para litofacies observadas que consisten en dos partes: una letra mayúscula para el tamaño de grano modal (G, grava; S, arena; F, finos), y una o varias letras minúsculas escogidas como nemónicas de una textura o estructura distintiva de cada litofacies, así como los elementos arquitecturales asociados y su interpretación, tal como se expresa en la tabla 1.

Tabla 1- Clasificación de facies detríticas fluviales. Tomado y modificado de Miall (1990)

CODIGO DE FACIES	FACIES	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	INTERPRETACIÓN
Gmm	Grava masiva, soportada por matriz	Gradación débil	Flujo plástico de detritos (alta potencia, viscosos)
Gmg	Grava soportada por matriz	Gradación normal a inversa	Flujo pseudoplástico de detritos (baja potencia, viscosos)
Gci	Grava soportada por clastos	Gradación inversa	Flujo de detritos rico en clastos (altapotencia), o flujo pseudoplástico de detritos (baja potencia)
Gcm	Grava soportada por clastos, masiva		Flujo pseudoplástico de detritos (acarreo inercial, flujo turbulento)
Gh	Grava soportada por clastos, pobremente estratificada	Estratificación horizontal, imbricación	Formas de fondo (barras) longitudinales, depósitos aislados, depósitos cribosos
Gt	Grava estratificada	Estratificación cruzada festoneada	Rellenos menores de canal
Gp	Grava estratificada	Estratificación cruzada planar	Barras transversales, crecimientos deltaicos a partir de antiguas barras remanentes
St	Arena, fina a muy gruesa, a veces con cantos	Estratificación cruzada festoneada	Dunas lingüiformes con crestas sinuosas (3-D)
Sp	Arena, fina a muy gruesa, a veces con cantos	Estratificación cruzada planar, solitaria o agrupada	Barras lingüiformes transversales (dunas 2-D)

Sr	Arena, muy fina a gruesa	Laminación cruzada de rizadura	Rizaduras (régimen de flujo bajo)
Sh	Arena, muy fina a gruesa, a veces con cantos	Laminación horizontal, alineación dividida o creciente	Flujo de lecho plano (flujo crítico)
Sl	Arena, muy fina a gruesa, a veces con cantos	Estratificación cruzada de bajo ángulo (< 15º)	Relleno de cavidades erosivas, dunas lavadas, antidunas
Ss	Arena, fina a muy gruesa, a veces con cantos	Bases erosivas someras y anchas	Relleno de cavidad erosiva
Sm	Arena, fina a gruesa	Masiva o pobremente laminada	Depósitos de sedimentos de flujos gravitacionales
Fl	Arena, limo, arcilla	Laminación fina, rizaduras muy pequeñas	Depósitos de inundación, de desbordamiento o de canal abandonado
Fsm	Limo, arcilla	Masiva	Depósitos de pantano o de canal abandonado
Fm	Arcilla, limo	Masiva, grietas de desecación	Depósito de inundación, de canal abandonado o revestidos
Fr	Arcilla, limo	Masiva, raíces, bioturbaciones	Capas con raíces, suelo incipiente
C	Carbón, lodo carbonáceo	Plantas, laminillas de arcilla	Depósitos de pantano vegetado
P	Paleosol carbonatado (calcita, siderita)	Características pedogénicas	Suelo con precipitación química

2.2.2 BIOESTRATIGRAFÍA

La abundancia en el registro fósil de los foraminíferos a lo largo del tiempo geológico, así como su evolución, complejidad y tamaño los convierte en un instrumento privilegiado para estudiar el presente y pasado de la Tierra (Arenillas *et al.*, 2000). Para ello se usa la bioestratigrafía como herramienta que permite identificar el contenido fósil presente en un elemento rocoso y, a partir de dicha identificación se puede obtener: edad, ambiente y condiciones paleoecológicas que ocurrieron durante la depositación. En este sentido Arenillas *et al.*, (2000), plantean que los foraminíferos son considerados como uno de los grupos de microfósiles más importantes debido a su abundancia en los sedimentos marinos, su gran diversidad de especies, así como su utilidad en estudios bioestratigráficos, paleoambientales y paleoceanográficos, ya que los mismos pueden vivir tanto en el fondo

marino, (foraminíferos bentónicos), así como flotando en la columna de agua (foraminíferos planctónicos).

2.2.3 CORRELACIÓN ESTRATIGRÁFICA

Se refiere a una técnica que consiste en comparar dos o más secciones estratigráficas con un intervalo de tiempo semejante y estableciendo la equivalencia entre los niveles de estratificación reconocibles en cada una de ellas (Vera, 1994).

El mismo autor, también plantea que la correlación según los objetivos del estudio, puede responder a varios tipos. Se dice que es local, cuando las secciones estratigráficas son relativamente cercanas entre sí, o de tipo regional, al ser éstas distantes pero localizadas dentro de la misma cuenca sedimentaria. Para lograr esta corrección, se suelen aplicar distintos métodos, que van desde la observación directa de núcleos, ripios o muestras de laboratorio hasta el análisis del perfil sísmico del pozo.

Las correlaciones estratigráficas nos permiten observar los cambios más significativos dentro de una secuencia sedimentaria para posteriormente establecer la correspondencia entre distintas unidades y poder ampliar la visión de la historia geológica de un área.

2.2.4 REGISTRO DE POZOS

Es un método de correlación donde se utilizan técnicas geofísicas. Se aplica a las paredes de una perforación, generalmente antes de su entubación, y son un gran complemento de las muestras de núcleo extraídas del mismo pozo. Sin embargo, es común que en pozos cercanos a veces se prescindiera de la toma de muestras, aun cuando esta constituye, normalmente la técnica de correlación con mayor precisión por lo que los registros de pozos constituyen la técnica de correlación más precisa y utilizada (Vera, 1994).

Al respecto, este mismo autor hace referencia al fundamento básico de un registro de pozo el cual consiste en medir en función de la profundidad las variaciones de una o distintas propiedades físicas de los cuerpos de rocas atravesadas durante la perforación; estas propiedades van a depender de los instrumentos introducidos en el pozo, y midiendo comúnmente la resistividad, radioactividad, densidad y conductividad.

En la Figura 4 se muestra una imagen de un perfil de un pozo con los principales parámetros que se obtienen a partir del método de sondeo el un hoyo de un pozo: Porosidad, Densidad, Resistividad, Rayos Gamma, Diámetro del agujero, entre otros según Gardueza (2019).

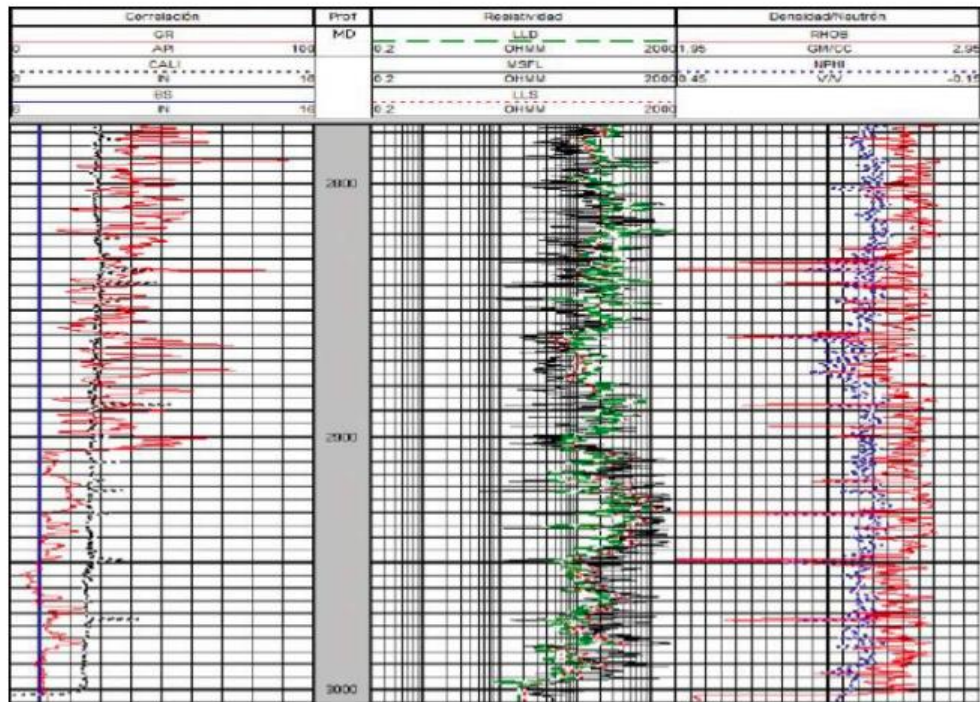


Figura 4– Perfil de un pozo. Tomado de Gardueza (2019)

2.2.5 DELTAS

Pemberton *et al.* 2008, definieron a los deltas como “protuberancias costeras discretas” que se forman donde los ríos entran en océanos, mares semicerrados, lagos o lagunas (cuerpos de aguas tranquilas) y el aporte de sedimentos es mayor a lo que puede ser redistribuido por los procesos que intervienen en la cuenca (mareas, oleajes).

Los mismos autores plantean que los deltas pueden ser clasificados según distintos parámetros, siendo el más común, en función al régimen dominante en el frente deltaico y diferenciados por el dominio del tamaño de grano. Esta clasificación es: delta dominado por ríos, delta dominado por mareas y delta dominado por oleaje.

Los factores principales que controlan la morfología de un delta son:

- Dominio de aporte de sedimentos por el río, energía de las olas o mareas.
- Densidad del influjo del río con relación a la cuenca receptora.
- A su vez influyen otros factores, tal como la geometría de la cuenca, área de la fuente, marco tectónico, entre otros.

En la Figura 5 se muestra la clasificación de los deltas según Galloway (1978) indicando las principales influencias (ríos, mareas y olas).

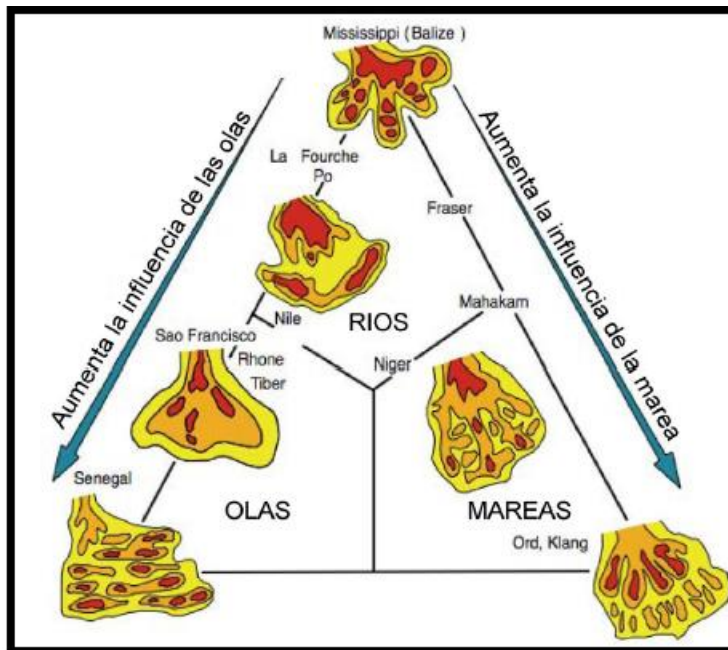


Figura 5 – Clasificación de los deltas. Tomado y modificado de Galloway (1978)

2.2.6 ESTUARIOS

Se identifican como ambientes marinos costeros marginales y Dalrymple *et al.*, (1992) lo definen a menudo como el sector del valle de un río inundado, localizado hacia el mar, cuyo aporte de sedimentos es tanto de origen fluvial como marino y, que además, contiene facies influenciadas por procesos de oleaje, de mareas y fluviales.

Los mismos autores plantean que las principales características que definen un estuario son:

- Se forman durante subidas del nivel del mar, por lo que representan sistemas costeros transgresivos.
- Reciben sedimentos de fuentes fluviales y marinas, ya que reflejan la interacción de ambos procesos.
- Es una boca de mar, la cual penetra en el curso o valle de un río en su desembocadura.
- Se clasifican en función al proceso o régimen dominante: olas o mareas.
- Presentan secuencias de grano grueso a fino intercalados.

Para definir si es un ambiente depositacional estuarinos o deltaico, ya que ambos representan sistemas costeros con características muy similares, se valida su diferencia principal, y es que los delta forman condiciones regresivas mientras que los estuarios condiciones transgresivas.

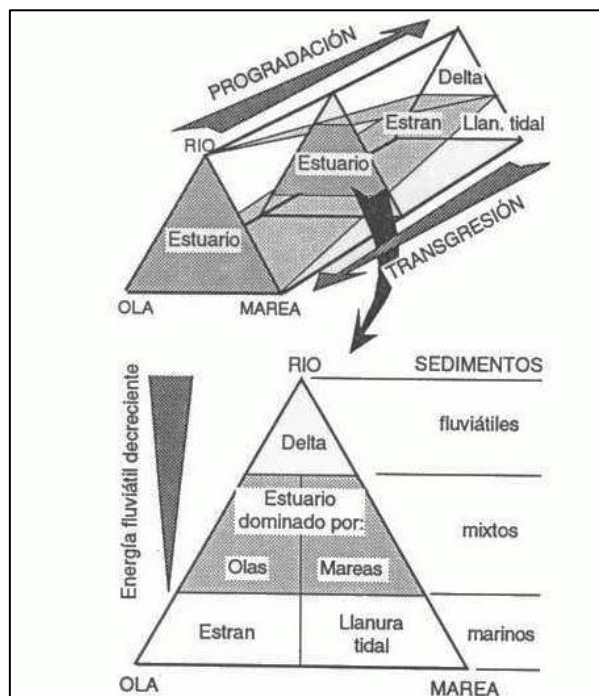


Figura 6- Clasificación evolutiva de los principales medios sedimentarios costeros. Tomado y modificado de Dalrymple et al. (1992).

2.2.7 SISTEMA DE ISLAS DE BARRERAS

En el sentido más simple, Walker y James (1992) indican que consisten en cuerpos de arena largos y angostos que se depositan a lo largo de la línea de costa, los cuales se encuentran total o parcialmente separados del continente por una laguna o pantano, por lo que tienden a comunicar los sedimentos marino costeros con los sedimentos fangosos lagunares. Los autores también explican que son sistemas que rara vez conservan su geometría y facies iniciales, ya que se ven altamente influenciados por las fluctuaciones del nivel del mar, sin embargo, estas condiciones dan como resultado la apreciación de características de lagunas, depósitos de barrera trasera, sucesiones de barras en la costa, así como, algunas veces, de estuarios. Por lo tanto, las islas de barreras son sistemas compuestos que resultan de la combinación de distintos ambientes depositacionales que van desde la línea de costa hasta la llanura costera.

La figura 7 muestra los principales elementos geomorfológicos de un sistema de islas de barreras.

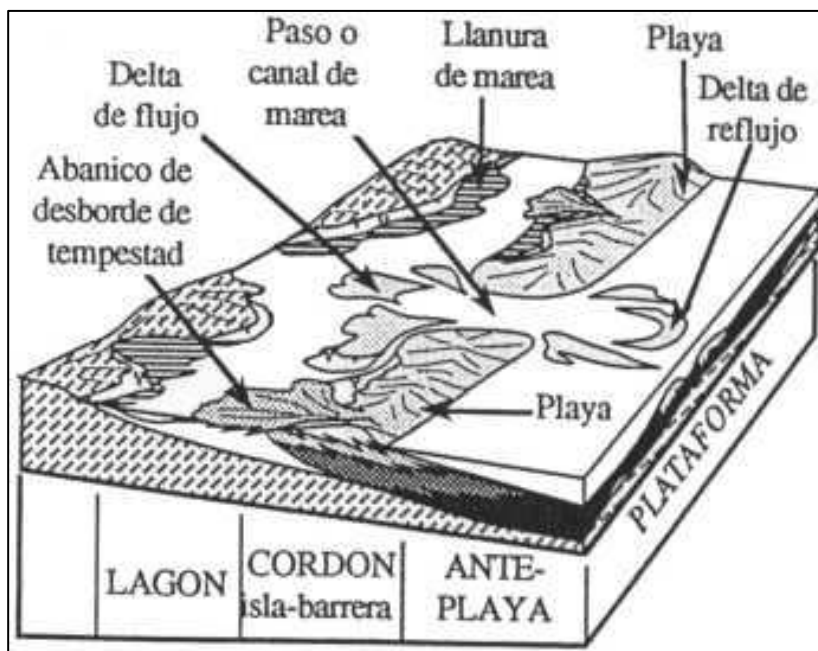


Figura 7— Sistema de islas de barrera. Tomado de Walker y James (1992)

2.2.8 CARBÓN MINERAL

Actualmente es uno de los combustibles fósiles más utilizados. Schopf (1956) describe al carbón como una roca sedimentaria fácilmente combustible que contiene más de 50 % en peso y 70 % en volumen de material carbonáceo, permitiendo diferenciar al carbón de otras sustancias naturales como la turba o lutitas ricas en materia orgánica.

De acuerdo a su origen, el carbón se define como una roca sedimentaria de tipo orgánica formada a partir de restos vegetales que fueron acumulados en cuencas restringidas bajo condiciones fisicoquímicas adecuadas para su preservación y sedimentación (O'Keefe *et al.*, 2013).

2.2.8.1 CLASIFICACIÓN DEL CARBÓN

Existen diversas formas de clasificar al carbón, una de ellas es a partir del constituyente vegetal o materia orgánica que le dió origen y de sus propiedades texturales. De esta forma, los carbones son usualmente clasificados como húmicos o sapropélicos (O'Keefe *et al.*, 2013). Los mismos autores plantean que los carbones húmicos son formados principalmente por restos de plantas vasculares (troncos, raíces, tallos, hojas) de tipo autóctona en ambientes depositacionales con presencia de oxígeno. Por su parte, los carbones sapropélicos se desarrollan por la acumulación preferencial de material alóctono de tipo vegetal no vascular como algas, esporas, polen, cutículas, entre otros, en ambientes pantanosos de poca profundidad y carentes de oxígeno.

La clasificación basada en el rango y más ampliamente utilizada es la propuesta por *American Society for Testing and Materials* (ASTM) para carbones húmicos. La norma ASTM emplea parámetros generales como carbono fijo, materia volátil y poder calórico, los cuales indican en orden creciente el grado de madurez del carbón, tal como se observa en la tabla 2 a continuación.

Tabla 2– Clasificación del carbón según la norma ASTM D388.
Tomado y modificado de *American Society for Testing Materials*

RANGO	CLASE	GRUPO	% CARBONO FIJO	% MATERIA VOLATIL	PODER CALORÍFICO BTU/lb		CARÁCTER AGLOMERANTE
Alto	Antracita	1. Meta Antracita	≥ 98	< 2	Agglomerante
		2. Antracita	97-92	2-7			
		3. Semi Antracita	91-86	8-13			
Medio	Bituminoso	1. Bituminoso medio volátil	85-78	14-21			Comúnmente aglomerante
		2. Bituminoso bajo volátil	77-69	22-30			
		3. Bituminoso alto volátil A	< 69	≥ 31	≥ 14000		Agglomerante
		4. Bituminoso alto volátil B			13000	14000	
		5. Bituminoso alto volátil C			11500	13000	
Bajo	Sub - bituminoso	1. Sub bituminoso A			10500	11500	No aglomerante
		2. Sub bituminoso B			9500	10500	
		3. Sub bituminoso C			8300	9500	
	Lignita	1. Lignita A			6300	8300	
2. Lignita B					< 6300		

2.2.8.2 AMBIENTES DE FORMACIÓN DEL CARBÓN

Para la adecuada formación y preservación de carbones, Teichmüller (1989) plantea que los ambientes sedimentarios deben reunir un conjunto de condiciones especiales tales como abundante desarrollo de vegetación, baja energía del medio de transporte con aporte mínimo de sedimentos clásticos, condiciones tectónicas que favorezcan el equilibrio entre el aporte de materia orgánica y la tasa de subsidencia, condiciones lo más reductoras posibles garantizando que los restos vegetales no sufran combustión y por el contrario se preserven, entre otras.

Una vez establecidas estas condiciones en la cuenca de sedimentación deben ocurrir una serie de procesos para garantizar la generación del carbón, estos procesos puede dividirse en dos fases:

- Turbificación (etapa bioquímica en el desarrollo del carbón), durante esta etapa los restos vegetales son parcialmente descompuestos y su fin es la generación de nuevas estructuras complejas llamadas sustancias húmicas y posteriormente la turba (Estéves y Martínez, 1997).
- Carbonificación (etapa bioquímica y geoquímica), consta de períodos de tiempo más extensos y de mayores profundidades de soterramiento del material generado en la etapa anterior, por lo que continúan las transformaciones físicas y químicas lo que lleva a la consolidación de la turba y posterior generación del carbón mineral de distintos rangos.

De esto se sigue que los ambientes sedimentarios comunes para la generación de carbón pueden ser de tipo continental como: lagos, meandros abandonados, pantanos en medios fluviales, abanicos de rotura, etc., o de tipo transicional como: marismas, lagunas, bahías y llanuras deltaicas. Estos ambientes de sedimentación van a definir las características geométricas y morfológicas del carbón en cuanto a espesor, continuidad de capas, así como también la calidad: niveles de concentración de azufre, cenizas y tipo de material predominante (Martínez, 2001).

CAPÍTULO 3

MARCO GEOLÓGICO

3.1 GEOLOGIA REGIONAL – CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA

La Cuenca Oriental de Venezuela, es una depresión estructural situada en la región noreste del país, limitada al oeste por el Arco de El Baúl, al norte por el cinturón de plegamiento de la Serranía del Interior y la Falla El Pilar, hacia el este continúa por debajo del Golfo de Paria y se hunde en el Atlántico en la costa del delta del río Orinoco y al sur por las rocas precámbricas del Escudo de Guayana (Figura 8). La cuenca tiene una longitud de más de 800 km en dirección este-oeste, con un ancho promedio de 200 km en dirección norte-sur (González de Juana *et al.*, 1980).

De acuerdo con sus características sedimentológicas, tectónicas y estratigráficas bien diferenciadas, se encuentra subdividida en dos subcuencas: la subcuenca de Guárico al oeste y la subcuenca de Maturín al este (Figura 8), las cuales están separadas por la Falla de Urica (Roure *et al.*, 1994).

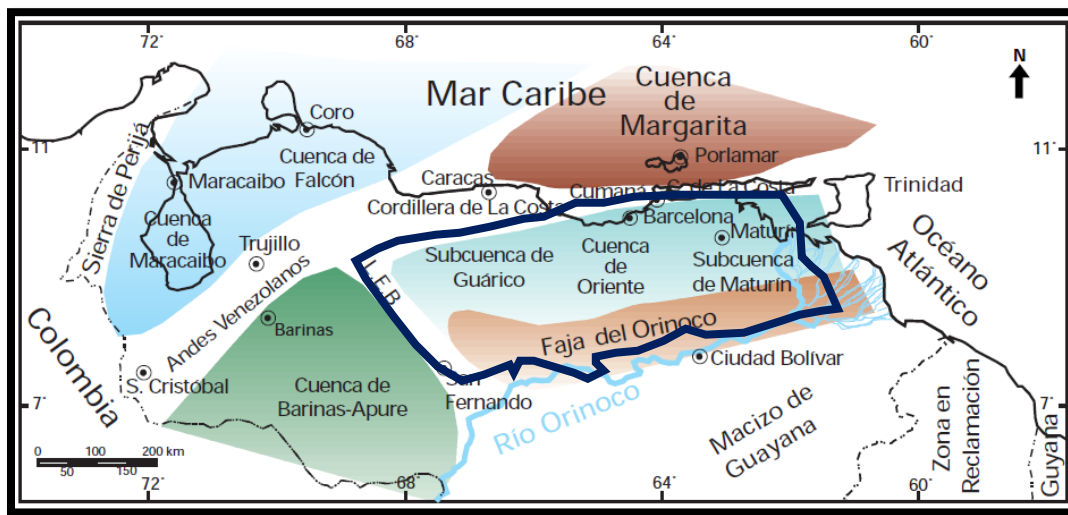


Figura 8 - Mapa de distribución de las Cuenas Petrolíferas de Venezuela. Se remarca en color azul la Cuenca Oriental y sus subcuencas. Tomado de Yoris y Ostos (1997)

Cabe destacar, que es una cuenca antepaís (*foreland*) que se desarrolló en el neógeno sobre un margen pasivo mesozoico del cratón de Sudamérica. Es, además, una cuenca asimétrica donde su flanco norte se encuentra conectado a una zona plegada y fallada que representa el flanco meridional de la Serranía del Interior y el Sistema de Fallas de Guárico, por lo que sus buzamientos presentan mayor magnitud a diferencia de su flanco sur, el cual se encuentra buzando suavemente hacia el norte (Figuras 9 y 10).

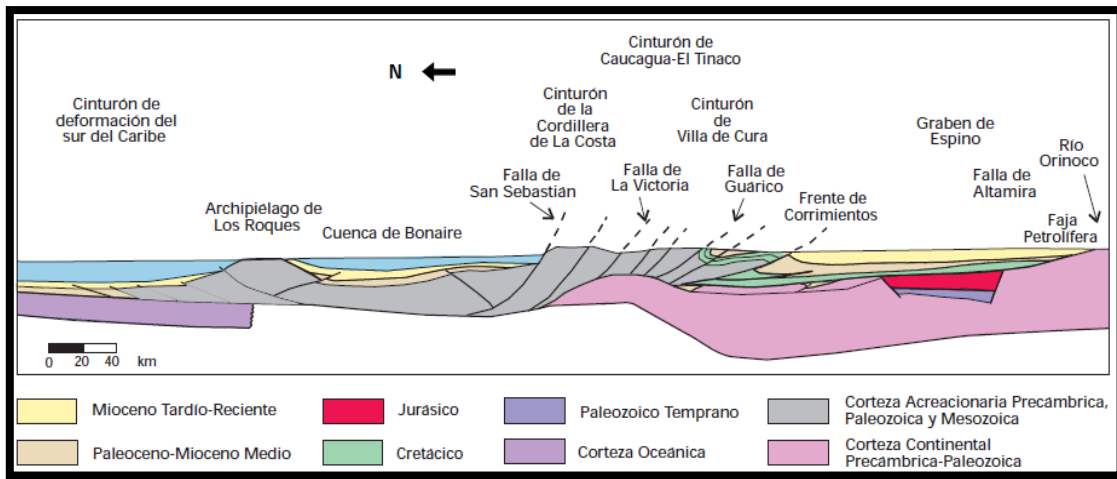


Figura 9- Corte geológico conceptual norte-Sur desde el cinturón de deformación del Caribe en Curazao hasta el Río Orinoco. El Sector de la Cuenca Oriental que muestra el corte pertenece a la subcuenca de Guárico. Tomado de Yoris y Ostos (1997)

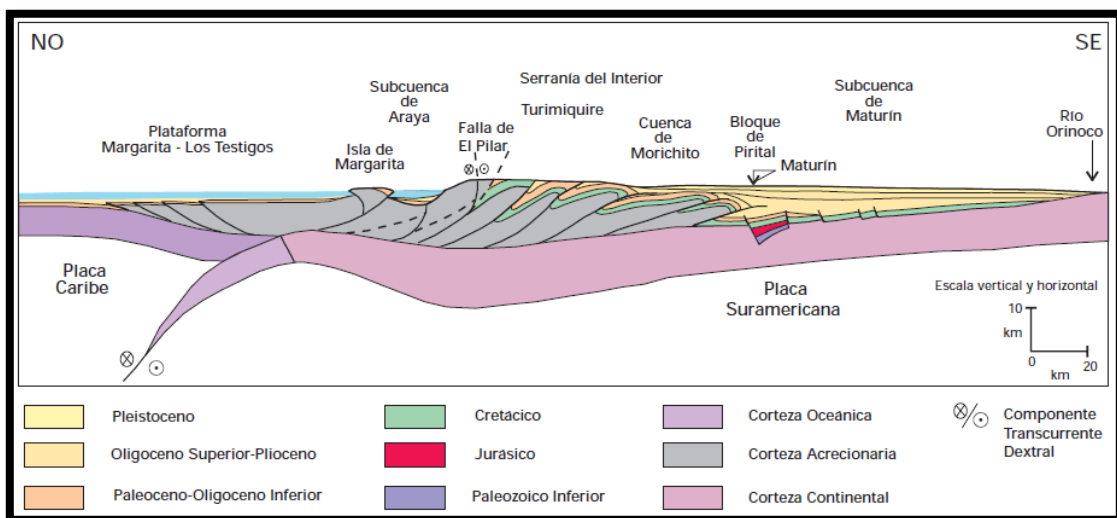


Figura 10- Corte geológico conceptual noroeste-sureste desde la Plataforma Margarita-Los Testigos hasta el Río Orinoco. El flanco norte de la subcuenca de Maturín. Tomado de Yoris y Ostos (1997)

En este orden de ideas, la Cuenca Oriental de Venezuela es actualmente el área de mayor producción de hidrocarburos, ya que contiene a la bien reconocida Faja Petrolífera del Orinoco (FPO). Los campos petroleros más significativos dentro de la subcuenca de Guárico son: Las Mercedes, Yucal - El Placer, El Jobal y Socorro, pertenecientes a la División Junín y Boyacá dentro de la FPO, mientras que al norte de Monagas destacan los campos del Área Mayor de Oficina, Jusepín, El Furrrial, Orocuál, Boquerón, Quiriquire y Pedernales. Para esta última zona, los yacimientos más importantes están constituidos por las formaciones Carapita, Naricual, Los Jabillos y Caratas, La Pica y Las Piedras-Quiriquire.

Seguidamente en la figura 11, se muestra una imagen de la tabla de correlación estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela.

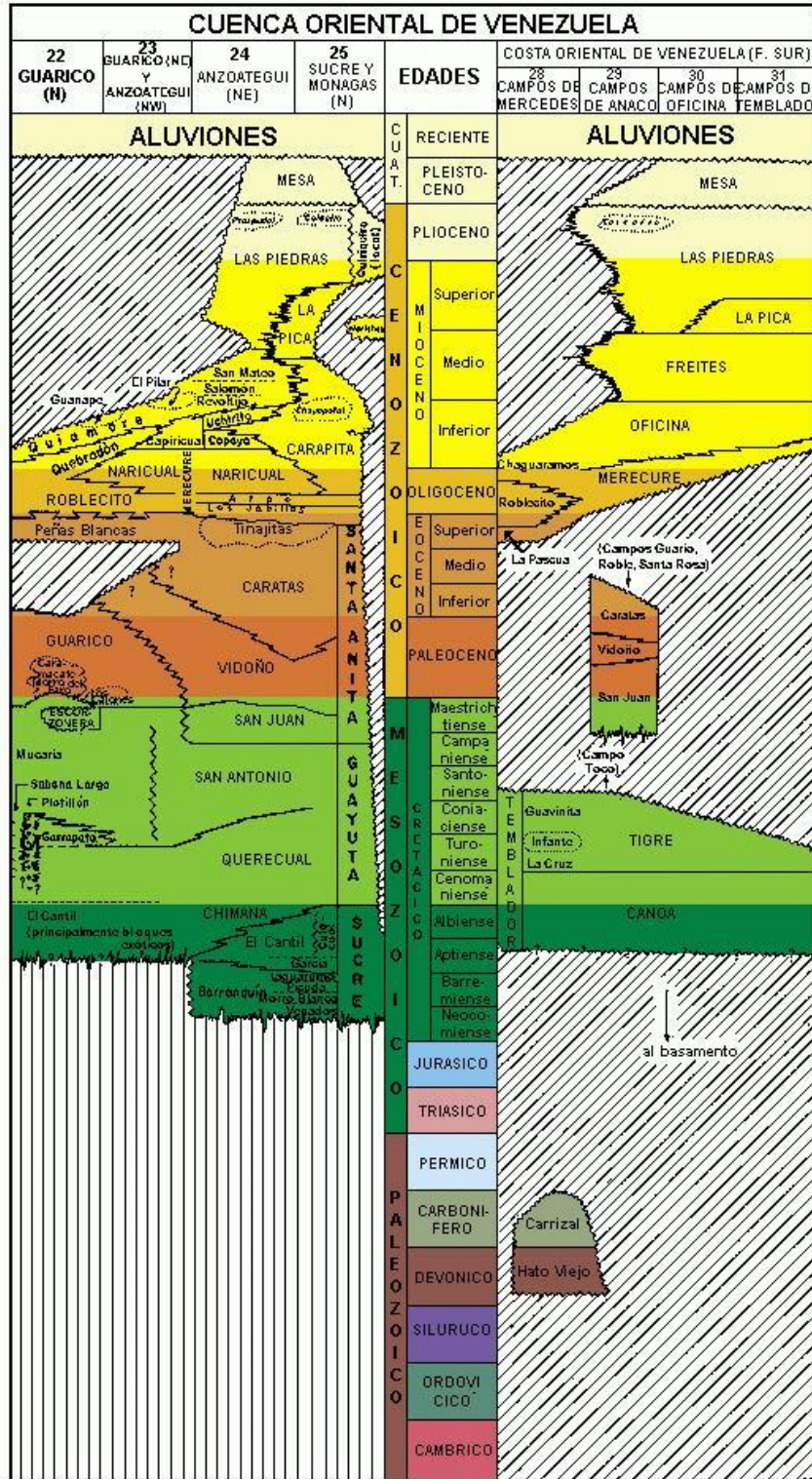


Figura 11– Tabla de correlación estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela. Tomado y modificado del Léxico Estratigráfico de Venezuela (1970)

3.2 EVOLUCIÓN TECTÓNICA DE LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA

Bajo el contexto de tectónica de placas, la Cuenca Oriental de Venezuela se formó como resultado de la convergencia oblicua de la placa del Caribe, con un movimiento relativo hacia el este contra la placa Suramericana, la cual presenta un movimiento relativo hacia el noroeste (Di Croce *et al.*, 1999). Esta interacción entre las placas de Suramérica y el Caribe dio origen a una región estratigráficamente compleja, donde se distinguen dos principales ciclos sedimentarios (González, 2011).

Es así, como el primer ciclo comprende el Cretácico-Paleógeno y representa el margen pasivo continental localizado al norte de la placa Suramericana. Se caracteriza por una continua e interrumpida sedimentación marina al norte y otra continental al sur, sobre una plataforma estable, lo cual corresponde a una sedimentación siliciclástica y carbonática respectivamente. La sedimentación del Cretácico-Paleógeno, está influenciada por la subsidencia tectónica de la cuenca y a variaciones globales en el nivel eustático (González de Juana *et al.*, 1980).

Es importante señalar, que los sedimentos del Cretácico se depositaron sobre una superficie relativamente estable proporcionada conformada por rocas graníticas, metamórficas y sedimentarias de edades Paleozoico y Jurásico. Durante el Barremiense se inició una transgresión en sentido norte-sur, la cual alcanzó su máximo durante el Turoniense dando origen a la Formación Querecual. Durante el Cenomaniense-Santoniense se depositan sedimentos en ambientes batiales, los cuales contribuyen al hundimiento del borde continental. Se inicia una regresión en el Santoniense-Maestrictiense que originó la sedimentación de las formaciones San Antonio, San Juan y Vidoño.

Así mismo, antes de iniciarse el segundo ciclo sedimentario Eoceno-Mioceno Inferior, la cuenca alcanzó su máximo desarrollo, debido al efecto del emplazamiento y cabalgamiento hacia el sur-sureste de las napas del Caribe; y es en esta dirección donde la secuencia alcanzó los mayores espesores. El período que comprende el Oligoceno-Mioceno se caracterizó por una marcada actividad compresiva al norte de la cuenca Oriental (levantamiento de la Serranía del Interior) lo que produjo cambios importantes en su forma

y la distribución de los sedimentos y, además, controló la sedimentación de la Formación Carapita (González de Juana *et al.*, 1980).

Para el Mioceno tardío-Plioceno los ambientes marinos continuaban retrocediendo hacia el este. De allí que extensos ambientes fluvio-deltaicos se establecieron en gran parte de la cuenca, sedimentándose la Formación Las Piedras. El episodio final de esta evolución está representada por la Formación Mesa de ambiente continental (González de Juana *et al.*, 1980).

En tal sentido, la evolución geodinámica de la cuenca puede dividirse en cuatro eventos principales (Parnaud *et al.*, 1995):

(a) Fase *pre-rift* en el Paleozoico.

(b) Fase de *rifting* y *drifting* durante el Jurásico y el Cretácico Temprano. Está relacionada con la separación de Pangea por lo que durante esta fase se desarrollan estructuras tipo graben (Gaben de Espino-San Fernando) y se sedimentan las capas rojas y basaltos de la Formación La Quinta en la zona de la Cuenca de Maracaibo y rocas equivalentes en el oriente del país.

(c) Período de margen pasivo durante el Cretácico-Paleógeno. Durante este periodo se desarrolla una continua sedimentación de depósitos clásticos marinos sobre una plataforma que se profundiza hacia el norte, mientras que hacia el sur ocurre una densa sedimentación carbonática. Durante esta fase se distinguen tres eventos transgresivos mayores (Turonense, Paleoceno-Eoceno y Oligoceno) los cuales coinciden con los cambios eustáticos a nivel global.

(d) Fase final de colisión oblicua en el Neógeno y Cuaternario. Durante esta etapa, se desarrolla un fuerte régimen compresivo-transgresivo, donde la colisión de la Placa Caribe contra la placa Suramericana migra progresivamente hacia el este, originando el levantamiento de la Serranía del Interior y la transformación de la cuenca de margen pasivo en una cuenca de tipo antepaís (*foreland*). En esta fase la sedimentación progresa de marino profundo a deltaica y marino somero, formando las principales rocas reservorio de la zona,

además, la inversión de fallas, la carga flexural y su interacción con la sedimentación genera abundantes trampas estructurales y estratigráficas.

3.3 SUBCUENCA DE MATURIN

La subcuenca de Maturín presenta asimetría y elongación con dirección ENE, siendo paralela a la Serranía del Interior, cuenta con más de 30.000 pies de relleno sedimentario depositado cuyo origen es principalmente marino y continental (Aymard *et al.*, 1990). Constituye la segunda unidad petrolífera de la Cuenca Oriental de Venezuela y posee dos flancos: el flanco norte que corresponde a un régimen compresivo, originado por la colisión oblicua de la Placa Caribe con la Placa Suramericana, y el flanco sur, de régimen extensivo (Subieta *et al.*, 1988).

En relación con el flanco norte de la subcuenca de Maturín, este se encuentra bien representado por la estratigrafía de la Serranía del Interior Oriental: una espesa y compleja secuencia sedimentaria que abarca desde el Cretácico Inferior hasta el Pleistoceno (Figura 10). El flanco sur, en cambio, presenta una estratigrafía más sencilla, semejante a la estratigrafía de la subcuenca de Guárico, donde en su parte inferior la litología indica la alternancia de ambientes fluvio - deltaicos y marinos someros, hasta su relleno final de ambientes continentales (Subieta *et al.*, 1988).

En la Figura 12 se muestra un columna integrada (en tiempo) de la secuencia estratigráfica en la Serranía del Interior (flanco norte de la subcuenca de Maturín) Yoris (1992).

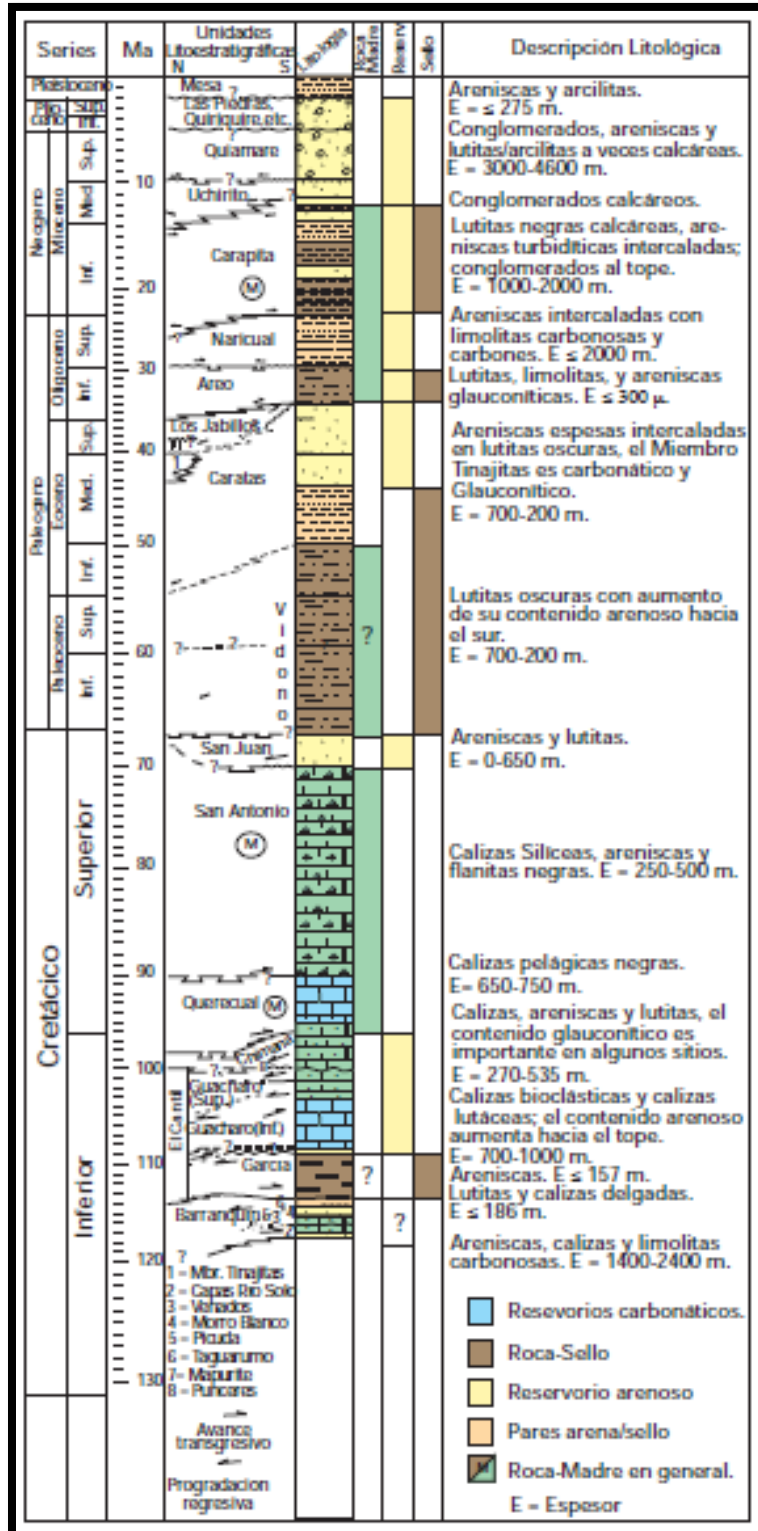


Figura 12- Columna integrada (en tiempo) de la secuencia estratigráfica en la Serranía del Interior (flanco norte de la subcuenca de Maturín). Tomado de Yoris y Ostos (1997)

Por su parte, para los campos del norte de Monagas, la roca madre por excelencia es de edad Cretácica Grupo Guayuta (formaciones Querecual y San Antonio), aunque no se descarta el aporte de secuencias más jóvenes, con materia orgánica de afinidad continental. Los yacimientos más importantes son de edad terciaria y los campos del norte del estado Monagas están constituidos por las formaciones Caratas, Los Jabillos, Naricual y Carapita, aunque también se han encontrado buenos yacimientos en las areniscas de la Formación San Juan (Cretácico Tardío) y en unidades tan jóvenes como las formaciones La Pica (Mioceno) y Mesa-Las Piedras (Mioceno - Plioceno). Los principales campos petroleros de la zona norte son Jusepín, Santa Bárbara, Carito y El Furrial, siendo los dos últimos el foco para este estudio.

3.4 ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

3.4.1 FORMACIÓN NARICUAL

La Formación Naricual tiene un espesor promedio de 1700 m y aflora en las montañas al sureste de Barcelona en el estado Anzoátegui, y a lo largo del frente de montañas de Guárico; mientras que en el subsuelo se extiende hacia el este en los campos petrolíferos de Santa Bárbara-Jusepín, estado Monagas (Lamb y De Sisto, 1963). El yacimiento que es de edad Oligoceno tardío y comprende una gran diversidad de depósitos, los cuales están bastante relacionados con la calidad de roca.

Esta se caracteriza por ser una secuencia de areniscas, lutitas carbonáceas y capas de carbón (Chevalier, 1995) cuyo espesor aumenta hacia el suroeste mientras que al este y sureste, la unidad se adelgaza exhibiendo solo 44 m de areniscas conglomeráticas.

Es relevante destacar, que la Formación Naricual yace concordantemente y encima de las areniscas de la Formación Los Jabillos; hacia el este gradan a la Formación Areo, la cual infrayace a la Formación Naricual con un contacto concordante y diacrónico, mientras que en subsuelo y hacia el sur la Formación Areo desaparece por acuífero y la Formación Naricual se hace arenosa e indistinguible de la Formación Los Jabillos.

Hacia el oeste, en la subcuenca de Guárico, la Formación Naricual suprayace a las lutitas de la Formación Roblecito. Mientras que las unidades suprayacentes a dicha formación, presentan un contacto concordante y en parte transicional y diacrónico, y son de oeste a este, las formaciones Quebradón, Capiricual, Capaya y Carapita. En la región tipo la formación se divide en tres unidades estratigráficas diferentes, separados por capas lutíticas de gran extensión: Naricual Superior, Naricual Medio y Naricual Inferior.

3.4.2 CAMPO CARITO

El campo Carito también recibe el nombre de Mulata, y está ubicado a 40 km al oeste de Maturín estado Monagas. Este se encuentra subdividido en tres áreas según las distintas características de producción, porosidad, permeabilidad y presión del hidrocarburo que allí se genera, las cuales reciben el nombre de: Carito Norte, Carito Oeste y Carito Central (Figura 13). De estos yacimientos, Carito Central presenta mayor extensión, número de pozos y volumen de petróleo en sitio, mientras que Carito Oeste es la zona más somera del norte de Monagas, a una profundidad de 12.000 pies, Yoris y Ostos (1997).

Este, se define como un anticlinal corto (Figura 14) con orientación en sentido suroeste-noreste, que se encuentra limitado por fallas inversas con desplazamientos entre 800-1.000 pies, producto del Corrimiento de El Furrial, Carito y Santa Bárbara Yoris y Ostos (1997).

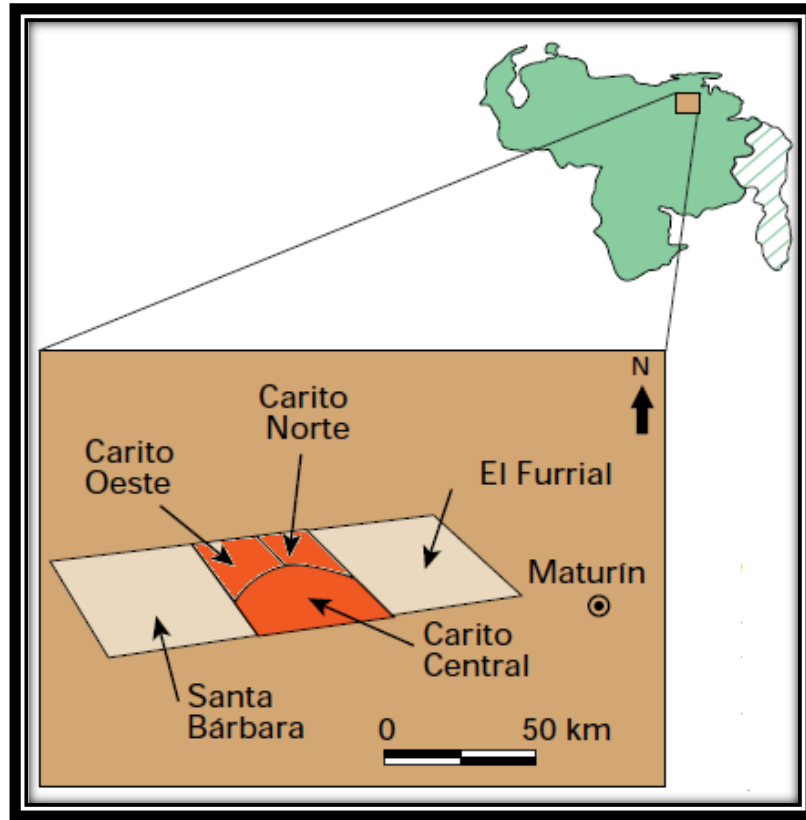


Figura 13– Ubicación geográfica del Campo Carito. Tomado de Yoris y Ostos (1997)

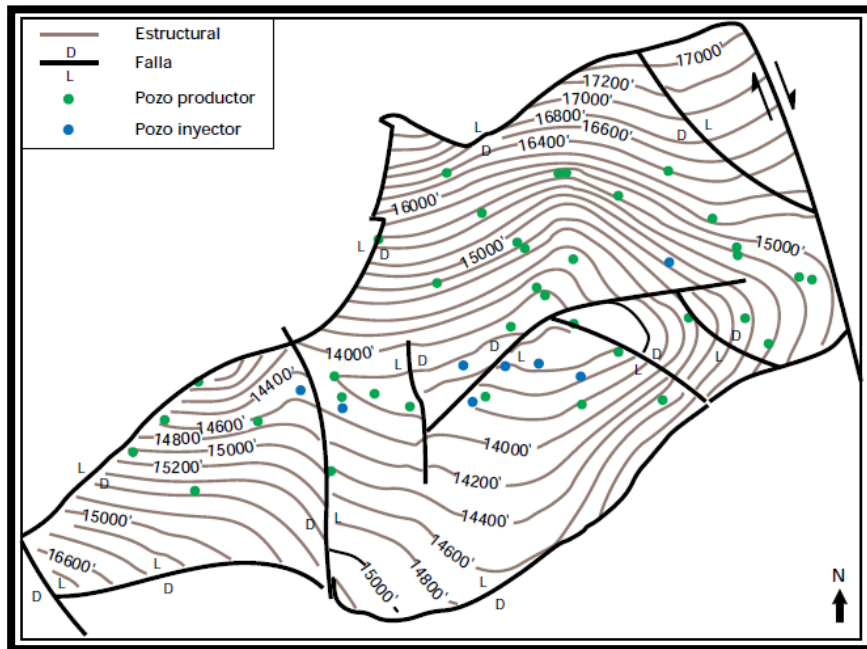


Figura 14– Mapa estructural del Campo Carito. Tomado de Yoris y Ostos (1997)

Es conveniente señalar, que la estratigrafía del área se encuentra en revisión, sin embargo localmente la sección de cuerpos arenosos intercalados con lentes de lutita de espesores variables de este yacimiento recibe el nombre informal de Areniscas de Naricual y han sido subdivididas en unidades de nombre Superior, Medio e Inferior; donde las dos primeras contemplan espesores aproximados de 400 pies y la última de 700 pies, Yoris y Ostos (1997).

En esta misma línea, Naricual Superior presenta un espesor promedio desde 700 pies hasta 900 pies hacia el norte y comprende depósitos de barras costeras en la base a depósitos más marinos, de plataforma interna, en la parte superior. Las arenas que conforman el yacimiento Naricual Superior son de granulometría variable de media a gruesa, limpias, con cemento arcilloso silicio y a veces carbonático. Desde un punto de vista genérico son arenas subarcóicas que se pueden desarrollar en niveles individuales cuyos espesores abarcan desde unos pies hasta 120-150 pies.

En la zona media se interpretan depósitos próximos costeros con influencia de mareas, por lo que contienen mayor cantidad de areniscas resistentes que forman lomas, y mantiene un espesor de 400 pies. Mientras que, la parte inferior, de espesor entre 500 y 800 pies, se compone predominantemente de lutitas carbonáceas y limolíticas. De base a tope comienza con un apilamiento de arenas finas con cierta influencia de mareas, interpretadas como depósitos de barras y canales probablemente estuarios. Esta secuencia transgresiva indica un nivel glauconítico por encima del cual se localiza un sistema de barras de anteplaya. (Figueroa, 2005).

3.4.3 CAMPO EL FURRIAL

El campo El Furrial, se encuentra situado geográficamente a 25 km al noroeste de Maturín, estado Monagas (Figura 15), y se extiende en un área aproximada de 127 km². Estructuralmente se describe como un anticlinal ligeramente asimétrico de extensión 10 km de ancho por 8 km de largo (Figura 16) y se encuentra orientado hacia el norte con 70° al

este, con buzamiento variable entre 16°-21° en su flanco sur y 18°-25° en el flanco norte (Figueroa, 2005).

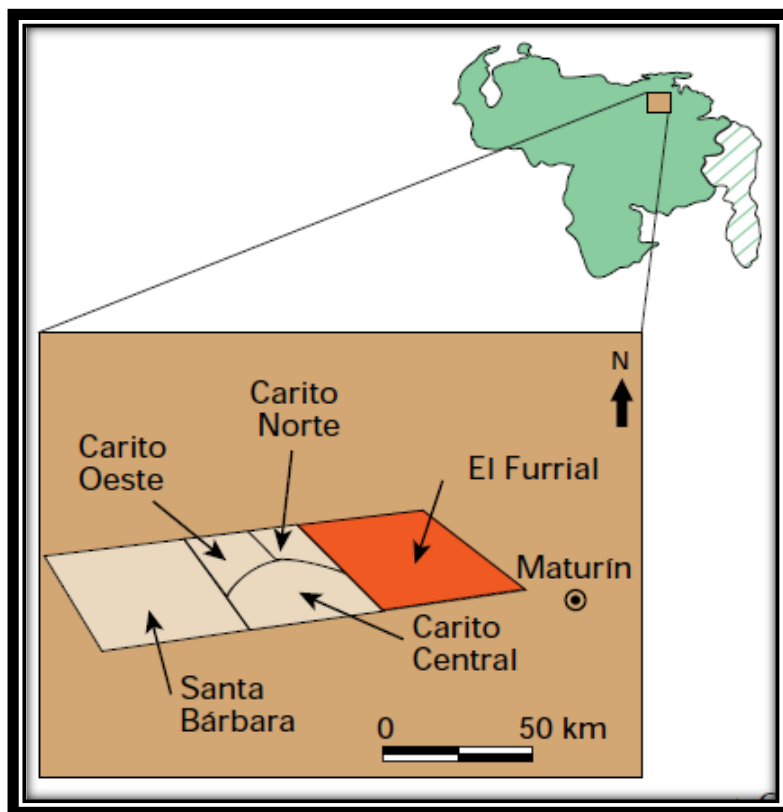


Figura 15– Ubicación geográfica del Campo El Furrial. Tomado Yoris y Ostos (1997)

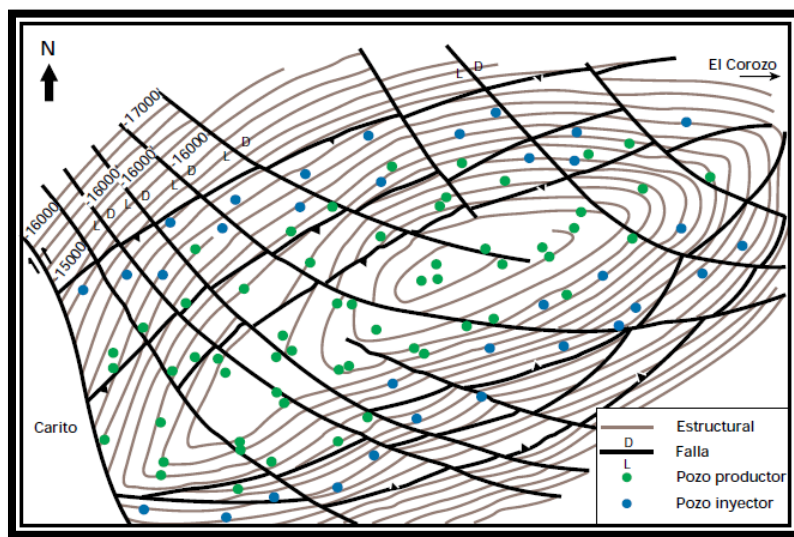


Figura 16– Mapa estructural del Campo El Furrial. Tomado de Yoris y Ostos (1997)

Es de suma relevancia acotar, que la estratigrafía del campo El Furrial se caracteriza por ser una densa columna de sedimentos de más de 16.000 pies de espesor y cuyas edades van desde el Cretácico Superior hasta el Reciente, siendo fundamentalmente una secuencia siliciclástica de la cual se reconocen las formaciones La Mesa, Las Piedras, La Pica, Carapita, Areo, Los Jabillos y Naricual.

Sin embargo, por razones operacionales, su yacimiento, al igual que en el campo El Carito se encuentra determinado por las areniscas conocidas localmente como Formación Naricual, las cuales están identificadas informalmente como yacimientos Naricual Inferior y Naricual Superior; esta suposición, así como la nomenclatura litoestratigráfica del área, se encuentran en proceso de revisión (Figuroa, 2005).

CAPÍTULO 4

CARACTERIZACIÓN DE LA FORMACIÓN NARICUAL EN SU LOCALIDAD TIPO

La zona de interés en este estudio cuenta con diversas publicaciones, sin embargo dos de ellas resultan de principal interés debido a su análisis detallado a los márgenes del río Naricual en el estado Anzoátegui, lo que permite construir e interpretar columnas estratigráficas en la localidad tipo definida para la Formación Naricual.

La primera publicación, realizada por Bellizzia y Martin (1954) consta de 16 perforaciones de sondeos exploratorios en la denominada zona A del tramo carbonífero de la Formación Naricual, el segundo estudio a considerar es autoría de Socas (1990) quien realizó su recorrido en superficie y detalló mediante afloramientos en la zona C.

Convencionalmente Bellizzia y Martin (1954) dividieron al área de estudio en 3 zonas: A, B y C. Se reconoce A como la zona más occidental y cuenta con una extensión de 5,2 km que va desde la localidad de Naricual hasta la quebrada Corteses, fue definida por Bellizzia y Martin (1954) como área de explotación inmediata ya que contiene las reservas probadas y probables de carbón. La zona B, por su parte, se refiere únicamente a las reservas probables y con una longitud de 2,5 km se delimita desde la localidad de Las Tomas Nuevas hasta la quebrada Los Catires. Por último, la zona C es la única donde no se han efectuado labores mineras ni estudios de subsuelo, su extensión de 5,4 km va desde la quebrada Los Catires hasta el caserío La Unión y se define como el área de reservas posibles.

De esta manera se observa que geográficamente la distancia entre los estudios de Bellizzia y Martin (1954) y Socas (1994) resulta de 5 a 7 km. A continuación, en la figura 17 se presenta el mapa geológico de la zona de interés, donde se demarcan las zonas estudiadas por ambos autores siendo señalada en color verde la zona A realizada por Bellizzia y Martin (1954) y en color morado el área de Socas (1990) en la zona C. Se identifica además en la parte superior la extensión de las zonas A, B y C definidas por Bellizzia y Martin (1954).



MAPA DE UBICACIÓN DE LAS ZONAS ESTUDIADAS POR BELLIZIA Y MARTIN (1954) Y SOCAS (1990)

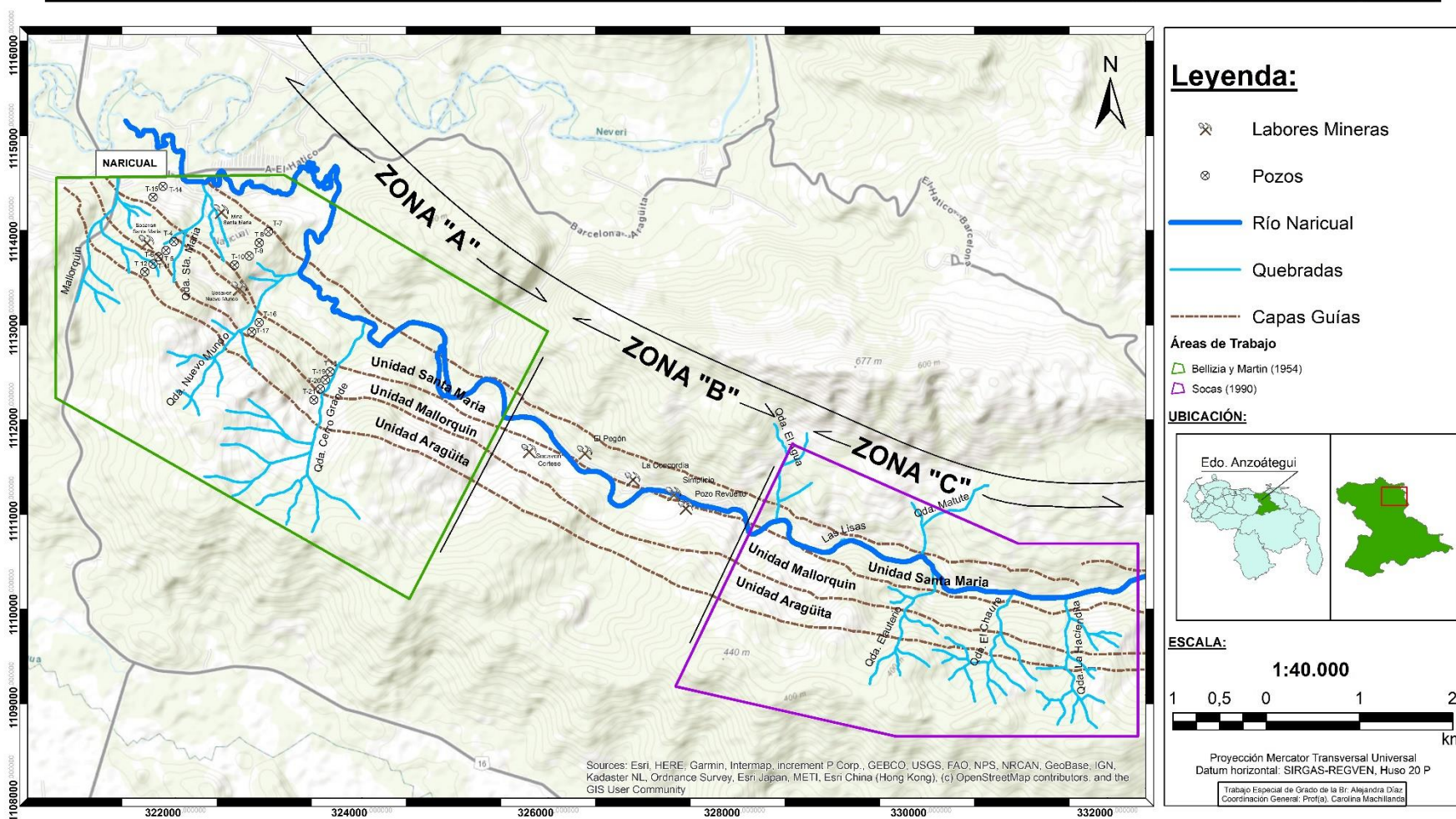


Figura 17– Mapa de las zona de estudio

Este trabajo se fundamenta en el análisis individual de las publicaciones, con el fin de facilitar la comprensión de los procesos y la interpretación de las condiciones del ambiente de sedimentación. Por tanto, para la unificar la información se toma como criterio único las descripciones litológicas de cada estudio, ya que esta resulta ser la herramienta común entre ellos.

Como parte de la unificación de criterios se procede a rehacer las columnas estratigráficas en cada zona de trabajo, para así facilitar la labor de comparar la unidad estratigráfica formal con subsuelo, estas columnas pueden apreciarse en los anexos 1.1 y 1.2 de este trabajo.

4.1 ANÁLISIS DE LA ZONA A – ESTUDIO DE BELLIZZIA Y MARTIN (1954)

Bellizzia y Martin (1954) estudian la zona A, siendo esta el área más próxima a la población de Naricual y la más occidental en la localidad tipo. Comprende la primera etapa del programa de rehabilitación total de las minas de Naricual por parte del Ministerio de Minas e Hidrocarburos, iniciando así un ciclo de perforaciones sucesivas dirigido por la compañía PEMOC en los años 1957 y 1958.

En la primera etapa del proyecto se efectuaron dieciséis (16) sondeos exploratorios denominados T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T14, T15, T16, T17, T18, T19, T20 y T21, en las cercanías de las quebradas Santa María, Nuevo Mundo y Cerro grande, así como de los socavones de las minas Santa María y Nuevo Mundo; estas perforaciones se realizaron convenientemente perpendiculares a las trazas de las capas, lo que permite reconocer que los espesores obtenidos se consideran como los espesores reales de las litologías descritas por los mismos.

La figura 18 se toma como ejemplo de lo mencionado anteriormente ya que muestra la sección transversal en la quebrada Santa María que corresponde a las perforaciones T4, T5, T6 y T11 respectivamente y su relación con las capas.

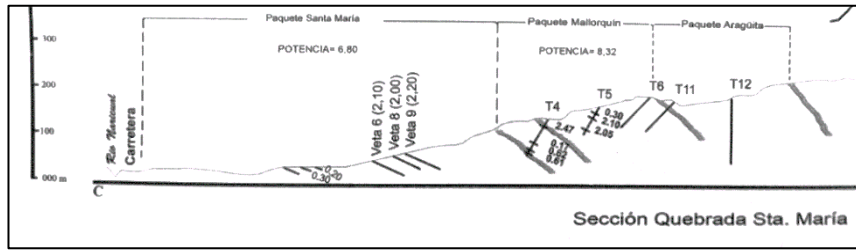


Figura 18– Sección transversal de sondeo exploratorio en la quebrada Santa María. Tomado de Bellizzia y Martin (1954)

A partir de cada perforación los autores generan columnas estratigráficas en las cuales reportan únicamente descripciones litológicas y espesores correspondientes, estos reportes carecen de observaciones detalladas de estructuras sedimentarias primarias o biogénicas, así como de estudios bioestratigráficos, tal como se aprecia en la figura 19 que muestra a las columnas estratigráficas de la perforación de los taladros T5 y T6 en la quebrada Santa María y T19 en la quebrada Cerro Grande.

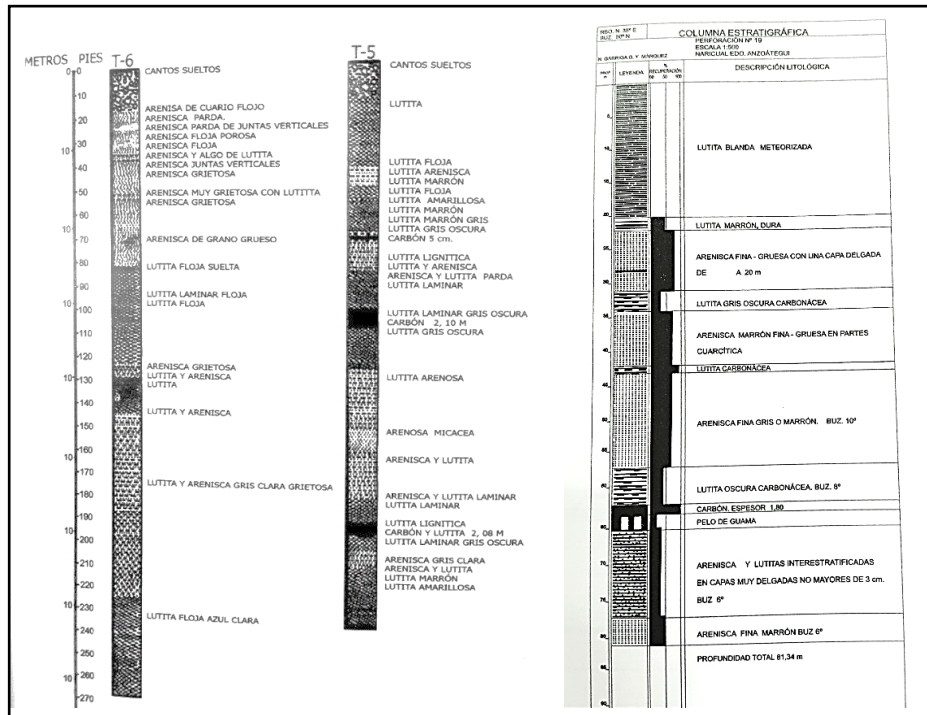


Figura 19– Columna estratigráfica de los sondeos exploratorios T5, T6 y T19. Tomado de Bellizzia y Martin (1954)

Otro aspecto a resaltar de este trabajo es que los autores mantienen la división informal dentro del tramo carbonífero propuesta por González de Juana y Agueverre (1938), quienes delimitan tres (3) paquetes, que de ahora en adelante se considerarán como unidades informales, y de base al tope se denominan Santa María, Mallorcaín y Aragüita respectivamente, cuyos límites están representados en la figura 17.

Con el fin de obtener la mejor secuencia que permita construir la columna estratigráfica generalizada en la zona A, se utilizó como metodología de trabajo la sumatoria de los espesores obtenidos en las perforaciones, para ello se conservó el orden de las tres (3) unidades informales mencionadas con anterioridad manteniendo la continuidad de las capas, en vista que los buzamientos se mantienen similares a lo largo del área de interés.

De esto se tiene que el espesor total de la columna generalizada es de 1596.3 m, donde la unidad Santa María alcanza 687.3 m, la unidad Mallorcaín 828.6 m y por último, la unidad Aragüita 68.5m, estos valores se asemejan a los espesores reportados en el léxico estratigráfico de Venezuela para la Formación Naricual en su tramo carbonífero.

El Anexo 1.1 contiene la columna generalizada de la Formación Naricual generada a partir de sumatoria total de los dieciséis (16) sondeos exploratorios realizados por Bellizzia y Martin (1954), esto se realizó utilizando el *software Apple Core* y se describe a detalle en los próximos apartados.

4.1.1 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

En la tabla 3 se reporta el porcentaje de ocurrencia de las litofacies localizadas en campo y descritas por Bellizzia y Martin (1954) por cada unidad informal de la zona A.

Tabla 3– Distribución aproximada de las litofacies en la localidad tipo de la Formación Naricual.
Tomado y modificado de Bellizzia y Martin (1954)

LITOFACIES	% DE OCURRENCIA EN UNIDAD INFORMAL			% TOTAL
	SANTA MARÍA	MALLORQUIN	ARAGÜITA	
Arenisca de grano fino	35.5	26.4	9.2	29.7
Arenisca de grano medio	0	2.4	17	1.8
Arenisca de grano grueso	0	3.1	10	2.3
Arenisca arcillosa	0.4	1.1	24.9	2
Lutita	44.5	52.6	32.3	47.9
Limolita	4.6	5.8	0	5.1
Lutita carbonosa	13	5.8	3.6	8.8
Carbón	2	2.8	3	2.4

En este sentido la distribución general de las litofacies contenidas en las unidades Santa María y Mallorca es dominada por lutitas y seguida por areniscas de grano fino, siendo estas en su mayoría cuarzosas. Mientras que hacia el tope de la columna, en la unidad Aragüita, destaca la similitud de valores de ocurrencia entre areniscas de distinta granulometría y lutitas, con porcentajes cercanos al 33 % respectivamente, sin embargo al ser esta la unidad con menor espesor, aproximadamente 68.5 m no es considerada como la unidad más representativa de la columna estratigráfica.

Si bien el carbón constituye menos del 3 % total de las litofacies observadas en la formación, es un rasgo característico de la misma por lo que se estudia a detalle más adelante en su respectivo apartado.

Tomando como consideración las litofacies descritas en la Formación Naricual por Bellizzia y Martin (1954), se tienen las siguientes características litológicas:

- Areniscas: granulometría variada de grano fino a grano grueso. Color fresco blanco grisáceo, blanco amarillento y gris oscuro. Algunas descritas como cuarzosas y de espesores variables.
- Arenisca arcillosa: color grisáceo, finamente arcilloso y friable.
- Lutita: laminares de color gris oscuro a marrón claro, meteorizando al mismo color.
- Limolita: carácter blando y de color marrón. Considerada por los autores como lutita arenosa y para este trabajo ha sido reinterpretada como limolita.

- Lutita carbonosa: son de color marrón muy oscuro con abundante contenido de materia orgánica.
- Carbón: color negro. Se presentan en espesores variables desde 40 cm hasta un máximo de 3,5 m y luego disminuyendo hasta su ausencia en el intervalo superior.
- Heterolítica: alternancia areniscas de grano fino y lutitas. Para fines de este trabajo, se tomará en consideración como facies heterolítica aquellas descripciones donde el porcentaje de areniscas es menor o igual al 50 %.

A partir del registro de ocurrencia de cada litofacies descrito en la tabla 3, se logra constituir un gráfico de totalización (figura 20) que permite visualizar la frecuencia con la que ocurre cada una, dependiendo de la unidad informal en que se encuentran.

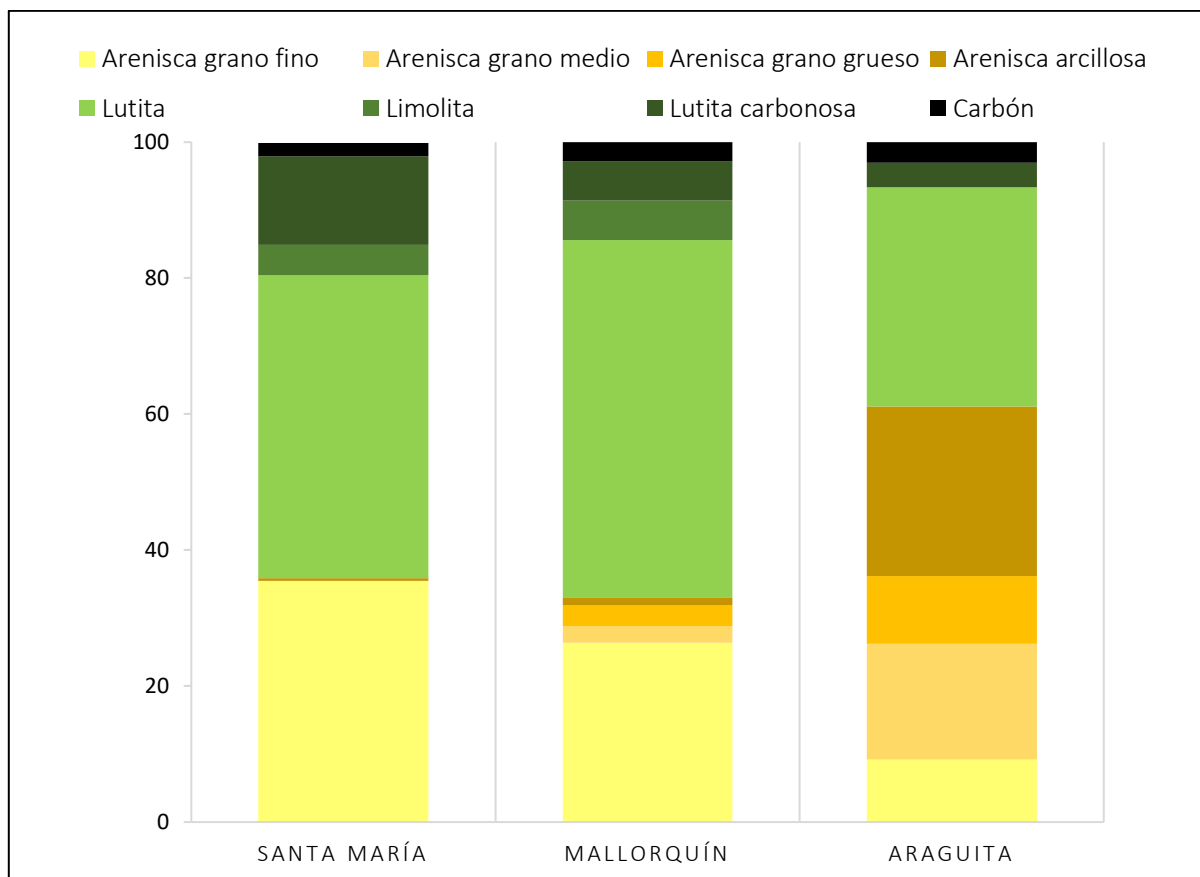


Figura 20- Distribución de litofacies en la localidad tipo de la Formación Naricual para la Zona A

Macsotay (1978) realiza un estudio bioestratigráfico en la zona A, basado también en sondeos exploratorios, en el cual recopila y documenta información de las litofacies detalladas en núcleos y en superficie. En este trabajo se evidencia similitud de litologías con respecto al estudio de Bellizzia y Martin (1954), con la excepción de una capa que define como arenisca cuarzosa mal escogida con abundantes restos fósiles, la cual plantea no se repite en el área. En las figuras 21 y 22 se observan algunas de las litofacies descritas por Macsotay (1978).

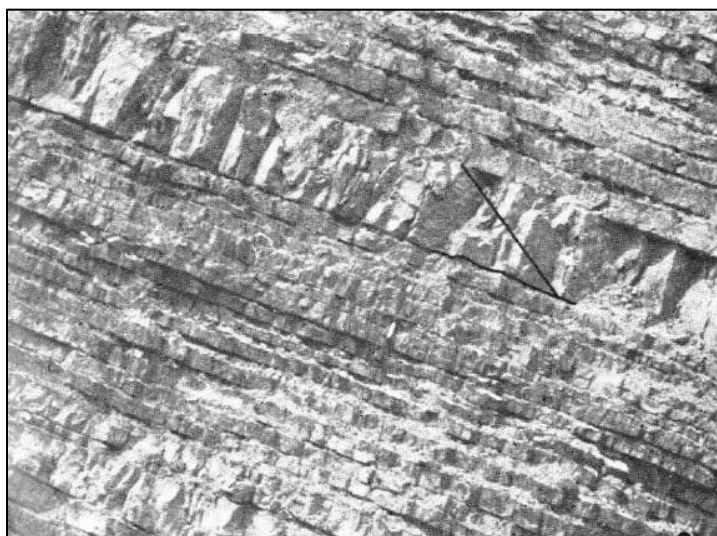


Figura 21– Secuencia rítmica de arenisca y lutita. Unidad Mallorquín. Tomado de Macsotay (1978)

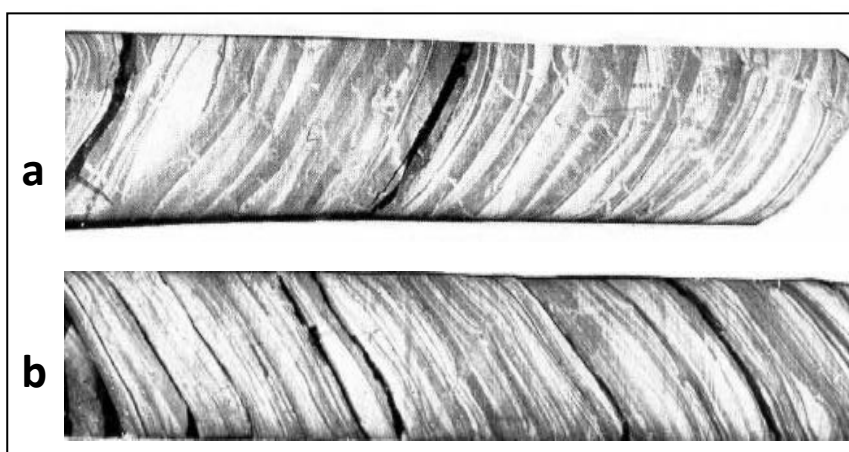


Figura 22– Secuencias rítmicas de arenisca y lutita. (a) Taladro S8 (b) Taladro S5 Tomado de Macsotay (1978)

4.1.2 CONSIDERACIONES PALEONTOLOGICAS

Con la intención de contribuir con la información paleontológica de la formación y respaldar el estudio de Bellizzia y Martin (1954), se trae a consideración la publicación realizada por Macsotay (1978), la cual parte de la necesidad de someter la zona interés a estudios paleoambientales. Para ello el autor realiza geología de superficie en los frentes de extracción y parte de las galerías de las minas así como la perforación de 12 taladros nombrados ordenadamente desde S1 hasta S12.

Macsotay (1978), indica la poca evidencia fósil y de bioturbación en sus muestras de campo, sin embargo explica que es común encontrar algunas impresiones enteras de hojas y restos de tallos de angiospermas dicotiledóneas, así como de las siguientes especies: *Inga sp.*, *Cassia sp.*, y *Rhizophora premangle*. El autor reporta también la presencia de macrofósiles en los taladros S2, S7 y S11, donde el primero se localiza en la quebrada Nuevo Mundo, mientras que el taladro S7 está al oeste en la quebrada Santa María y la perforación S11 al este en la quebrada Cerro Grande. La tabla 4 indica la fauna recolectada por Macsotay (1987) en la localidad tipo.

Tabla 4– Macrofósiles reportados por Macsotay (1978) en la localidad tipo de la Formación Naricual

MACROFÓSILES	TALADRO	UNIDAD INFORMAL
<i>Alabina (caloosalba) + turbatrix</i>	S7	Mallorquín
<i>Epitonium (asperiscala) cf. gabbi</i>		
<i>Nassarius (uzita) cercadensis</i>		
<i>Periploma cf. caribana +</i>	S2	Mallorquín
<i>Thyasira sp.</i>		
<i>Angulus sp.</i>	S2 y S11	Mallorquín y Aragüita
<i>Dentalium (Laevidentalium) sp.</i>	S2	Aragüita
<i>Olivella sp. cf. callianax tapira</i>		
<i>Saccella saibana</i>		

+: Especie extinta

Se observa en la tabla 4 que la fauna reportada por Macsotay (1978) pertenece en su totalidad al phylum Mollusca, siendo en su gran mayoría de clase bivalvos seguidos en menor proporción por gasterópodos y escafópodos respectivamente. Estos ejemplares se encontraron principalmente en capas de lutitas de la unidad Mallorquín y más del 60 % de las muestras consiste en valvas separadas y aplastadas lateralmente (posiblemente por compactación), el restante conserva su convexidad original con excepción de una pequeña parte observada solo en una capa de arenisca cuarzosa de 10 cm de espesor de la unidad Aragüita donde se encuentran fragmentados y sin dirección de preferencia.

Los sondeos exploratorios de Macsotay (1978) en la unidad Mallorquín detallan ejemplares de bivalvos *Periploma* cf. *Caribana* y *Thyasira* sp., que son característicos de ambientes marino costero litoral. La presencia de especímenes pequeños de los siguientes gasterópodos: *Nassarius (uzita) c.*, *Alabina (caloosalba) t.* y *Epitonium asperiscala*; donde los dos primeros ejemplares se caracterizan por habitar en aguas marinas someras y costeras de fondos limosos con presencia de materia orgánica y arena cuarzosa mostrando preferencias en ambientes de manglares, y algunas especies actuales de *Epitonium asperiscala* pueden llegar a encontrarse en la plataforma continental con profundidades de hasta 150 m. Dentro de este grupo de fósiles, la especie *Alabina (caloosalba) t.* permite establecer un rango de edad Mioceno temprano (de 20,43 a 15,97 Ma).

Por su parte, las plantas fósiles encontradas en algunas de las lutitas carbonosas de las unidades Santa María y Mallorquín no permiten acotar una edad en la formación, ya que su rango abarca desde el Cretácico hasta el Plioceno, sin embargo la tolerancia de salinidad que posee la especie *Inga* sp., le permite habitar en los límites de agua dulce y agua salobre, por lo que la pueden desarrollarse en entornos de lagunas costeras y manglares.

Otro taxón reportado como lo es *Rhizophora premangle* fue considerado por Rull (1998) como uno de los más abundantes y determinantes de la fisionomía de los manglares del Caribe, que resultó de la evolución del género *Rhizophora* sp., como consecuencia de las condiciones ambientales después del Eoceno.

En cuanto a la icnología, Macsotay (1978) no reporta su abundancia, sin embargo indica una breve diferenciación y descripción de las trazas fósiles encontradas en las unidades informales, la cual se detalla en la tabla 5.

Tabla 5– Icnología reportada por Macsotay (1978) en la localidad tipo de la Formación Naricual

TRAZA FÓSIL	OBSERVACIONES	UNIDAD INFORMAL
<i>Thalassinoides</i>	Galerías ramificadas con trazado vertical o sinusoidal de diámetro entre 1 a 4 cm	Santa María y Mallorquín
<i>Planolites</i>	Cilindros de corta longitud en direcciones irregulares, de aproximadamente 1 cm de grosor y rellenos por arena mal escogida	Santa María, Mallorquín y Aragüita
<i>Skolithos</i>	En forma de escasos tubos dispersos	Santa María y Aragüita
<i>Saportia</i>	Ramificaciones tipo abanico a partir de un ramal común, poseen pocos centímetros de longitud	Aragüita
<i>Rhizocorallium</i>	-	Aragüita
<i>Teichichnus</i>	-	Santa María

Como evidencia de la actividad biológica de los organismos en las unidades mencionadas, se presenta en la figura 23 evidencia de *Teichichnus* isp., en capa de arenisca en la carretera vía al Polvorín de la mina.

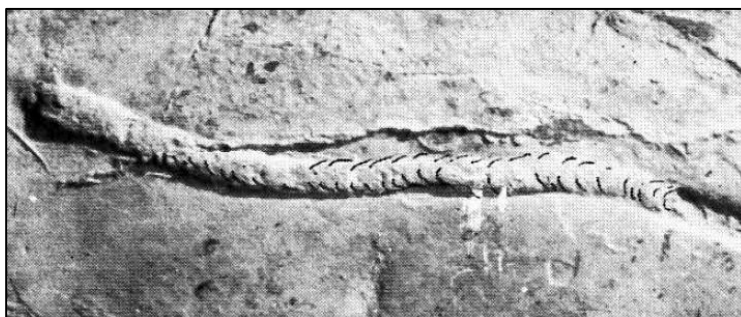


Figura 23– Icnofósil de tipo *Teichichnus* isp., en base de arenisca Unidad Santa María. Tomado de Macsotay (1978)

Macsotay (1978), reporta además poca bioturbación e indica la presencia sin diferenciar de las estructuras sedimentarias descritas en la tabla 6 como resultado de los procesos involucrados durante la depositación de las unidades sedimentarias estudiadas. Así mismo, las figuras 24 y 25 exhiben parte de las estructuras observadas por el autor durante su trabajo de campo.

Tabla 6– Estructuras sedimentarias reportados por Macsotay (1978) en la localidad tipo de la Formación Naricual

ESTRUCTURA SEDIMENTARIA	OBSERVACIONES	UNIDAD
Estructuras de carga	Visibles en el interior de las minas.	Sin diferenciar
Estructura de almohadilla	Almohadillas de areniscas rodeadas de lutitas. Diámetros de 0,1 a 0,5 m máximo.	Santa María y Mallorquín
Rizaduras de corriente	Comúnmente asimétricas con crestas paralelas	Mallorquín

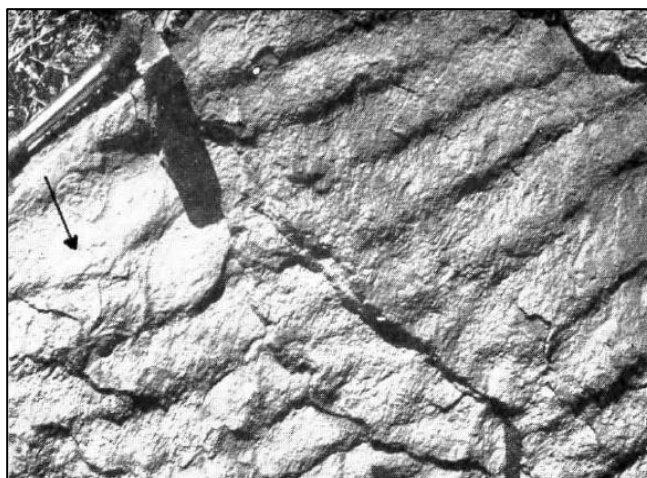


Figura 24– Rizadura de corriente asimétrica en capa de arenisca en Carretera Naricual – El tigre. Flecha indica dirección de paleo corriente, SE. Tomado de Macsotay (1978)

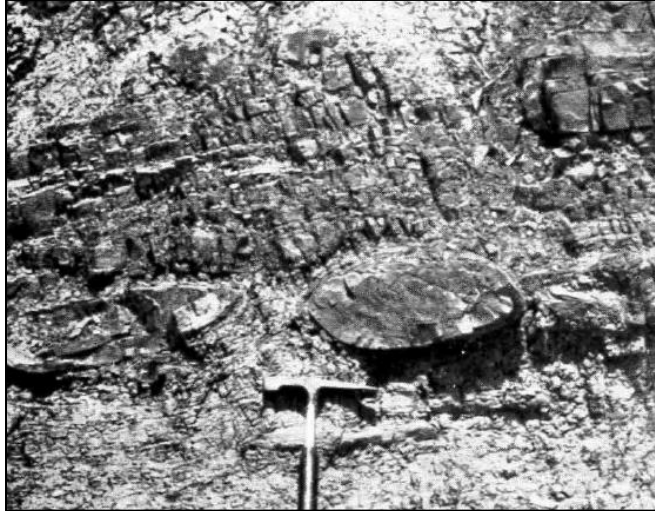


Figura 25– Estructura de almohadilla en corte de carretera vía al polvorín de mina en la Unidad Santa María. Tomado de Macsotay (1978)

El mismo autor reporta la presencia de estructuras post y sin sedimentarias que se evidencian como deformaciones en el techo de varias chimeneas de la mina o interrupciones en la continuidad de las capas de carbón. Se las atribuye a fallas de crecimiento, presencia de fallas transcurrentes de poco desplazamiento y fallas de estratificación, las cuales plantea resultaron ser responsables del acuñamiento de la mayoría de las capas de carbón en la mina de Naricual y Socavón Nuevo mundo.

4.1.3 ASOCIACIÓN DE LITOFACIES EN LA ZONA A

Tomando como base la codificación de facies propuesta por Miall (1990) utilizada muy frecuentemente por autores más recientes, la nomenclatura propone usar rasgos distintivos de una roca, donde se asigna una letra inicial que corresponde a la litología, seguido de otra que representa la estructura sedimentaria primaria o la diferenciación en el tamaño del grano. Para este estudio, el primer carácter del código de facies corresponde a la inicial de la litología expresada en mayúscula, mientras que el segundo corresponde al tamaño de grano con una letra en minúsculas o en el caso particular del carbón al espesor de la capa indicado por un número.

La ausencia de descripción de estructuras sedimentarias en el trabajo de Bellizzia y Martin (1954) no permite su vinculación en las asociaciones de litofacies por lo que solamente se utiliza el criterio litológico.

La tabla 7 condensa la nomenclatura de litofacies propuesta para este estudio, siendo modificada de Bellizzia y Martin (1954) y donde se hace diferencia en el espesor de las capas de carbones hallados, los cuales de ahora en adelante se denominaran C₁, C₂ y C₃ de acuerdo a este criterio.

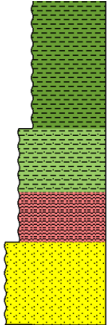
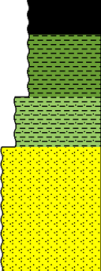
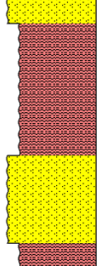
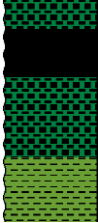
Tabla 7– Nomenclatura de las principales litofacies en la localidad tipo de la Formación Naricual de la zona A

LITOFACIES	CÓDIGO
Arenisca arcillosa	Aa
Arenisca de grano fino	Af
Arenisca de grano medio	Am
Arenisca de grano grueso	Ag
Lutita	L
Limolita	Lm
Lutita carbonosa	Lc
Carbón – espesor ≤ 1 m	C ₁
Carbón – espesor 1-3 m	C ₂
Carbón – espesor ≥ 3 m	C ₃

Con la intención de definir los sub-ambientes de sedimentación en la zona A, descrita por Bellizzia y Martin (1954), se realiza el análisis detallado en las unidades informales denominadas de base a tope Santa María, Mallorquín y Aragüita, donde la columna estratigráfica generada para la sección tipo en la zona A se aprecia a continuación en la figura 26 y a mayor detalle en el anexo 1.1.

A partir de las observaciones pertinentes realizadas en la columna estratigráfica de la zona A, se presentan a continuación en las tablas 8, 9 y 10 las principales asociaciones de facies que reúne la zona A, descritas en función de cada unidad reconocida por Bellizzia y Martin (1954) como unidades informales Santa María, Mallorquín y Araguita.

Tabla 8–Asociación de facies en la unidad informal Santa María, zona A

ASOCIACIÓN DE FACIES	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	DEPÓSITOS
Af, H Lm, L o Af, Lc, L	Secuencia grano decreciente de arenisca de grano fino, seguida facies heterolítica o arcillosa		Depósito de canal distributivo
Af, L, Lm, C ₂ o Af, Lc, C ₁ o Af, H, C ₁	Secuencia grano decreciente de arenisca fina, lutitas y carbón al tope C ₁ o C ₂ .		Depósito de canal abandonado
Af, H	Cuerpos arenosos de grano fino de hasta 12 m de espesor seguido de facies heterolítica hasta 6 m		Depósito de lavado (H), junto a isla de barrera (Af)
L, Lc, Lm, H, C ₁ , C ₂ , C ₃	Sucesión de facies arcillosa con carbones de variados espesores (C ₁ , C ₂ , C ₃).		Depósito de laguna costera con zona de manglares

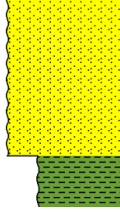
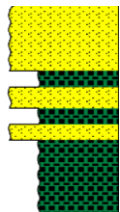
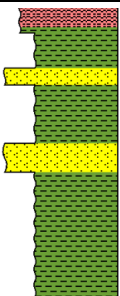
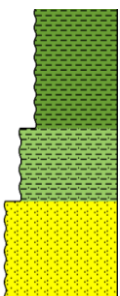
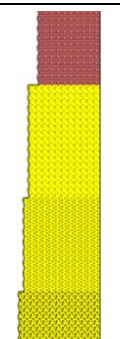
L, Af	Secuencias grano creciente de lutita de espesor 2 m seguida de arenisca de grano fino de espesor hasta 7 m.		Depósito de isla de barrera
Af, Lc	Secuencias de arenisca de grano fino y lutitas carbonosas.		Depósito de barra de playa
L, Af o L, H	Secuencias grano creciente de lutita de espesor 10 m seguida de arenisca de grano fino de espesor menor a 2 m. A veces heterolíticas.		Depósito de barra de frente deltaico estuarino

Tabla 9—Asociación de facies en la unidad informal Mallorquín, zona A

ASOCIACIÓN DE FACIES	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	DEPÓSITOS
Af, Lm, L	Secuencia grano decreciente de arenisca de grano fino, seguida de lutita arenosa y lutita.		Depósito de canal distributivo
Ag, Am, Af, H o Ag, Am, Af, L	Secuencias grano decreciente de arenisca de grano grueso medio fino, espesor de 20 m, seguida de heterolítica o lutita con espesor hasta 7 m.		Depósito del canal principal estuarino

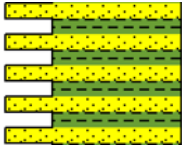
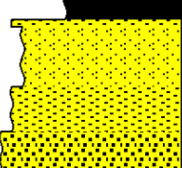
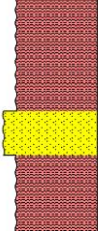
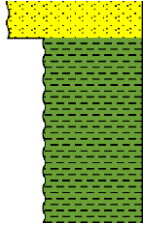
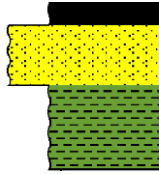

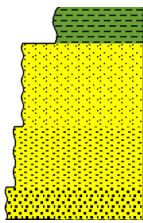
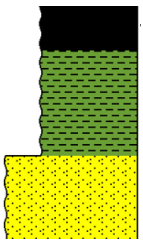
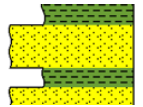
Af, L	Secuencia rítmica de 7 m de espesor con 50 % arenisca de grano fino y 50 % lutita.		Depósito de planicie de marea
Ag, Am, Af, C ₂ o Af, H, C ₁ o Af, L, C ₂	Secuencia grano decreciente de arenisca de grano variable, a veces seguida de facies arcillosa o heterolítica, y carbón al tope C ₁ o C ₂ .		Depósito de canal abandonado
Af, H	Cuerpos arenosos de grano fino de hasta 3 m de espesor seguido de facies heterolítica hasta 8 m		Depósito de lavado (H), junto a isla de barrera (Af)
L, Af	Secuencias grano creciente de lutita de espesor 10 m seguida de arenisca de grano fino de espesor menor a 2 m.		Depósito de barra de frente deltaico estuarinos
L, Af, C ₁	Secuencias de facies arcillosa L seguida de arenisca de grano fino y carbones C ₁ .		Depósito de barras de playa asociado a facies de laguna costera
L, Af, H	Sucesión de facies arcillosa, de lutitas y heterolítica de espesores mayores a 13 m y arenisca de grano fino hasta 7m. En la sucesión se observa junto a la asociación de canal distributivo.		Depósito asociado a la zona de la boca del estuario / Canal

Tabla 10–Asociación de facies en la unidad informal Aragüita, zona A

ASOCIACIÓN DE FACIES	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	DEPÓSITOS
Ag, Am, Af, L o Ag, Am, Lm, L	Secuencias grano decreciente de arenisca de grano variable con espesores de 3-15 m, seguida de lutita con espesor hasta 4 m.		Depósito del canal principal estuarino
Af, Aa, L, C ₁	Secuencia de arenisca de grano fino, seguida de facies arcillosa hasta 4 m de espesor y carbón al tope C ₁ .		Depósito de canal abandonado
Aa, L	Secuencia grano decreciente de arenisca arcillosa, seguida de lutita.		Depósito de canal distributivo

4.2 ANÁLISIS DE LA ZONA C - ESTUDIO DE SOCAS (1990)

Socas (1990) estudió la zona más oriental de la región y describe cinco secciones compuestas que resultaron de la unión de distintos tramos en quebradas y afloramientos cercanos. Durante su recorrido de este a oeste, detalló las quebradas La Haciendita, El Chaure, Elauterio, La Matute, Las Lisas, El agua, Nuevo Mundo y Cerro Grande, lo que permitió construir cinco columnas estratigráficas compuestas con observaciones litológicas, espesores, estructuras sedimentarias primarias y biogénicas, así como información bioestratigráfica.

En este sentido, construyó una columna generalizada que refleja el orden atribuido a cada sección estudiada tras subdividirla en cinco unidades informales denominadas de base a tope: I, II, III, IV y V, donde interpreta además el ambiente de sedimentación para cada sección sugiriendo marino próximo costero y deltaico.

El Anexo 1.2 muestra la columna generalizada para la zona C, construida a partir de las secciones compuestas definidas por Socas (1990) y utilizando el *software Apple Core*, de manera similar al procedimiento que se utilizó para el trabajo de Bellizzia y Martin (1954) en la zona A.

4.2.1 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Hacia la base de la primera secuencia definida por Socas (1990) con un espesor estimado de 274.5 m se observa una secuencia con ausencia de carbones en todo su desarrollo, donde predominan litologías de tipo lutitas, areniscas de grano medio gradadas y niveles conglomeráticos hacia el tope, que está contenida en la unidad informal I. Suprayacente a esta, se encuentra otra secuencia que se caracteriza por la presencia de carbones y condensa, además, grandes espesores individuales y de alternancias correspondientes a lutitas y areniscas de grano fino a medio, con un espesor de aproximadamente 492.5 m incluye las unidades informales II, III, IV y V. El porcentaje de ocurrencia de las litofacies descritas por Socas (1990) se reportan por cada unidad informal y se muestra a continuación en la tabla 11.

Tabla 11– Distribución aproximada de las litofacies en la localidad tipo de la Formación Naricual de la zona C

LITOFACIES	% DE OCURRENCIA EN UNIDAD					% TOTAL
	I	II	III	IV	V	
Arenisca de grano fino	21.4	47.3	55.1	23.1	12.8	28.8
Arenisca de grano medio	6.3	0	2	0	13.7	5.9
Arenisca de grano grueso	14.8	0	2	0	4.5	6.2
Conglomerado	7.5	0	0	0	0	2.7
Lutita	48.1	29.7	22.2	61.1	19.7	36.5
Lutita carbonosa	1.9	4.1	6.9	2.8	0	2.6
Carbón	0	3	8.3	3.5	0.9	2.3
Heterolítica	0	15.9	3.5	9.5	48.4	15

Al observar la Tabla 11, se puede apreciar que en el miembro basal denominado unidad informal I predominan lutitas. En las unidades informales siguientes II y III predominan principalmente las areniscas de grano fino. La unidad informal IV está caracterizada por la mayor presencia de lutita reportada en todas las unidades y en el miembro superior en la unidad informal V es dominada por la facies heterolítica.

Las litofacies definidas en la Formación Naricual por Socas (1990) poseen las siguientes características litológicas:

- Areniscas: color fresco blanco grisáceo, blanco amarillento y pardo claro, meteorizando a marrón oscuro y, algunas veces a gris verdoso. Son cuarzosas a subarcosas, de grano fino a grano grueso, con escogimiento y espesores variables. Algunas areniscas son de carácter arcillosas. Los principales constituyentes son cuarzo, feldespatos (esencialmente ortosa y oligoclasa) y fragmentos de roca.
- Conglomerado: se observan solamente hacia el tope de la Unidad I. Son de color pardo, con granos sub-redondeados y mal escogimiento. Se aprecian en niveles de 1 a 8 cm dentro de las capas de areniscas. Socas (1990), define 10 secuencias donde se evidencia la gradación normal de conglomerados hasta arenisca conglomerática. Cada ritmo tiene un espesor aproximado de 2 m y en la base de cada uno se observa cantos de hasta 7 cm de longitud.
- Lutita: de color gris oscuro casi negro y fisiles, meteorizando al mismo color. Algunas con presencia de granos de muscovita lo que permite nombrarlas como lodolitas por su aspecto laminado.
- Lutita carbonosa: son de color marrón muy oscuro a negro con abundante contenido de materia orgánica, con restos fragmentados de impresiones de plantas fósiles. Comúnmente infrayacentes a las areniscas o carbones.
- Carbón: color negro, brillo metálico a sub-metálico, fractura irregular y con geometría lenticular, excepto en algunos casos hacia el este de la formación donde exhiben mayor continuidad lateral. Muestran apreciable contenido de pirita y muscovita. Se presentan en espesores variables aumentando desde 50 cm hasta un máximo de 3 m

y luego disminuyendo hasta su ausencia en el intervalo superior. Su contacto inferior es comúnmente areniscas de granos finos o lutitas carbonosas.

- Heterolítica: alternancia areniscas de grano fino y lutitas. En su descripción, Socas (1990) se refiere a capas de arenisca de 10 a 20 cm de grosor. Aumentan su abundancia hacia el tope de la formación. Para fines de este estudio, y con la intención de unificar los trabajos, se tomará en consideración como facies heterolítica aquellas descripciones a nivel de laminaciones.

A partir de la ocurrencia registrada de las litofacies descritas en campo y expresado en la tabla 11, se logra constituir el gráfico de barras (figura 27) que permite visualizar la frecuencia con la que ocurren, dependiendo de la unidad informal en que se encuentran.

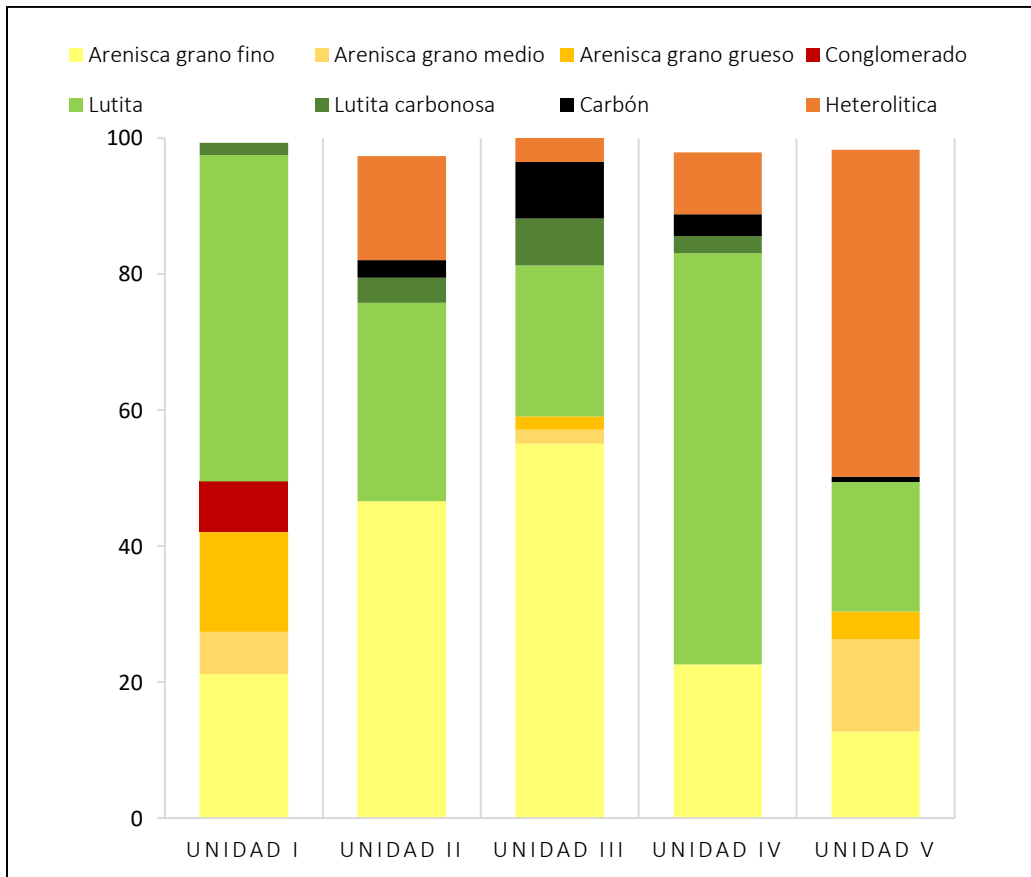


Figura 27- Distribución de litofacies en la localidad tipo de la Formación Naricual en la zona C

Las figuras 28 y 29 muestran algunas de las litofacias observadas y descritas en campo por Socas (1990).

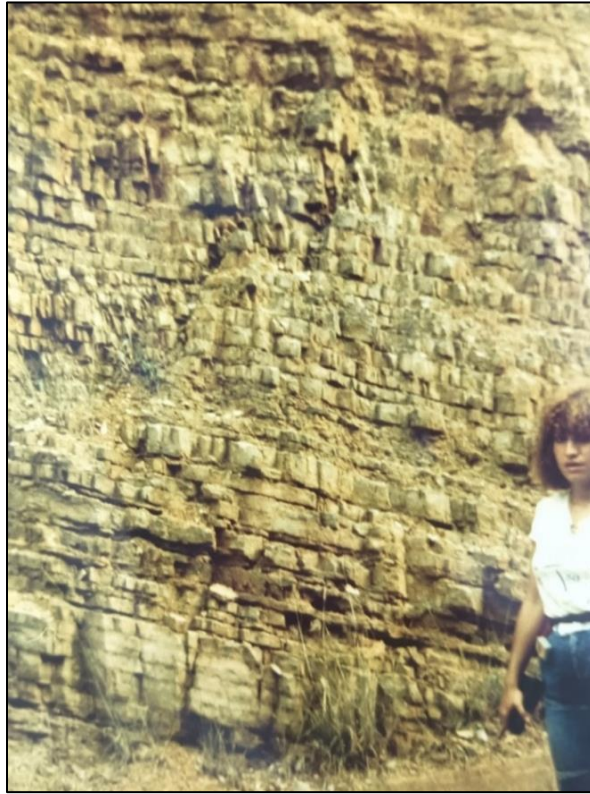


Figura 28– Secuencia rítmica de arenisca y lutita. Camino hacia el Polvorín de la mina. Tomado de Socas (1990)

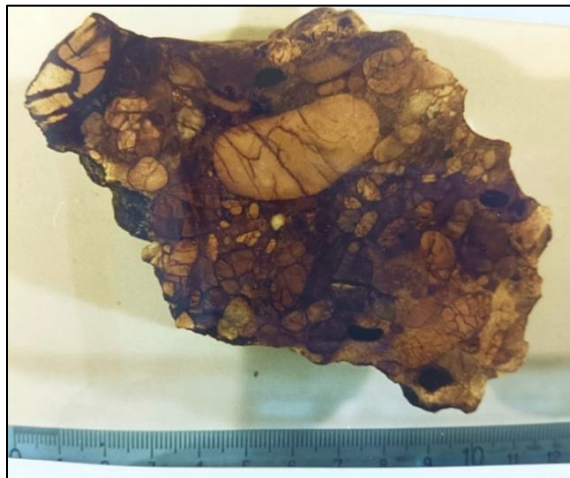


Figura 29– Sección de conglomerado en muestra de mano. Sector Las Lisas. Tomado de Socas (1990)

4.2.2 CONSIDERACIONES PALEONTOLOGICAS

La mayoría de las muestras estudiadas por Socas (1990) resultaron estériles, solo el 12 % de ellas arrojaron resultados que ayudaron a contribuir con la información paleontológica de la formación. En este sentido se entiende que el registro fósil resulta escaso y sin reporte detallado de frecuencia y abundancia, por lo que la tabla 12 indica solamente los macrofósiles observados en campo por Socas (1990) durante su recorrido en la zona C.

Tabla 12 – Macrofósiles reportados por Socas (1990) en la localidad tipo de la Formación Naricual

MACROFÓSILES	UNIDAD INFORMAL
<i>Bathyarca</i> ⁺ cf. <i>charanensis</i>	Sin diferenciar
<i>Chione (chamelea)</i> ⁺ cf. <i>nuciformis</i>	
<i>Donax</i> cf. <i>couvana</i>	
<i>Erycina indecisa</i> ⁺	
<i>Leptopecten</i> cf. <i>cercadica</i>	
<i>Mactra (Macromactra)</i> cf. <i>quirosana</i>	
<i>Tellidorella paphia</i> ⁺	

⁺: Especie extinta

Con respecto a los macrofósiles observados, se aprecian moldes externos completos de especies correspondientes a la clase bivalvo en capas de lutitas a lo largo de la columna sin diferenciar en el intervalo. La mayoría de los ejemplares identificados por Socas (1990) son característicos de ambientes marino someros, el resto corresponde a fauna de plataforma continental con fondos arenosos y profundidades de 25 a 75 m, destaca el espécimen *Bathyarca* sp., el cual ubica a la secuencia depositada en un ambiente transicional con rango de edad entre el Mioceno temprano y el Plioceno (13,65 a 2,58 Ma).

Por su parte, los microfósiles estudiados en la localidad tipo de la formación aportan evidencia de escasos foraminíferos (en su mayoría bénticos), palinomorfos (polen, algas y esporas) y algunas impresiones de plantas, sus respectivas especies se nombran a continuación en las tablas 13 y 14.

Tabla 13– Foraminíferos reportados por Socas (1990) en la localidad tipo de la Formación Naricual

FORAMINIFEROS		UNIDAD INFORMAL
<i>Ammobaculites</i> sp.	<i>Martinottiella (deformada)</i> ⁺	I Sin diferenciar
<i>Bathysiphon</i> ⁺	<i>Nonionella cf atlántica</i> ⁺	
<i>Bolivina</i> spp.	<i>Nonionoides grateloupi</i> ⁺	
<i>Cyclammina cancellata</i>	<i>Spiroloculina</i> sp.	
<i>Cyclammina</i> sp.	<i>Spiroplectammina</i> sp. ⁺	
<i>Elphidium</i> sp.	<i>Trochammina</i> sp. ⁺	
<i>Globigerina</i> sp.	Moldes de ostrácodos	
<i>Globobulimina pacifica</i> ⁺	-	
<i>Elphidium</i> sp.	<i>Rosalina</i> sp.	II, III, IV, V Sin diferenciar
<i>Haplophragmoides</i> sp.	<i>Textulariia</i> sp.	
<i>Miliammina</i> sp.	<i>Trochammina</i> sp. ⁺	

⁺: Especie extinta

Tabla 14– Palinomorfos e impresión de plantas reportados por Socas (1990) en la localidad tipo de la Formación Naricual

PALINOMORFOS		UNIDAD INFORMAL
<i>Bombacacidites bellus</i> ⁺	<i>Retitricolporites irregularis</i> ⁺	Sin diferenciar
<i>Botryococcus</i>	<i>Retitricolporites guianensis</i> ⁺	
<i>Deltoidospora</i> sp. ⁺	<i>Retitricolporites</i> sp. ⁺	
<i>Inaperturopollenites</i> sp. ⁺	<i>Retitricolpites amapaensis</i> ⁺	
<i>Jaundufouria seanrogiformes</i> ⁺	<i>Retitricolpites lewis</i> ⁺	
<i>Mauritiidites</i> sp. ⁺	<i>Rhizophora premangle</i>	
<i>Microthallites</i> sp. ⁺	<i>Striatricolpites</i> sp. ⁺	
<i>Monosulcites</i> sp. ⁺	<i>Tricolpites</i> sp.	
<i>Polypodiisporites usmensis</i> ⁺	<i>Tricolporites</i> sp.	
<i>Psilatricolporites pachydermatus</i> ⁺	<i>Zonocostites</i> sp.	
<i>Psilatricolporites triangularis</i>	Esporas de hongos	
IMPRESIÓN DE PLANTAS		UNIDAD
<i>Inga</i> sp.		II
<i>Cassia</i> sp.		Sin diferenciar

⁺: Especie extinta

La microfaua presente en las muestras está caracterizada por la abundancia de foraminíferos bentónicos, los cuales poseen rangos de existencia muy amplios señalando una zona que se extiende del Carbonífero al Reciente. Sin embargo, la presencia de las especies *Globobulimina pacífica* y *Nonionoides grateloupi* ayudan a restringir la edad de la formación en un rango de entre 23,06 y 15,97 Ma, es decir desde el Oligoceno tardío al Mioceno temprano, este valor coincide con el sugerido en las muestras de moluscos.

Del total de especies foraminíferas reportadas en la tabla 13 estas corresponden a 4 subórdenes donde su gran mayoría son *rotaliina* y *texturaliina*, valores que según Brasier y Armstrong (1980) son indicadores de ambientes de estuario, laguna salobre y plataforma, esta mezcla de fauna de ambientes distintos concuerda con la presencia de los especímenes bentónicos *Bolivina* spp., *Trochammina* sp., *Elphidium* sp., *Ammobaculites* sp., y *Bathysiphon* sp.

En la figura 30 se observan los ambientes propuestos por Brasier y Armstrong (1980) según la abundancia de los subórdenes *miliolina*, *rotaliina* y *texturaliina*, así como algunos taxones típicos.

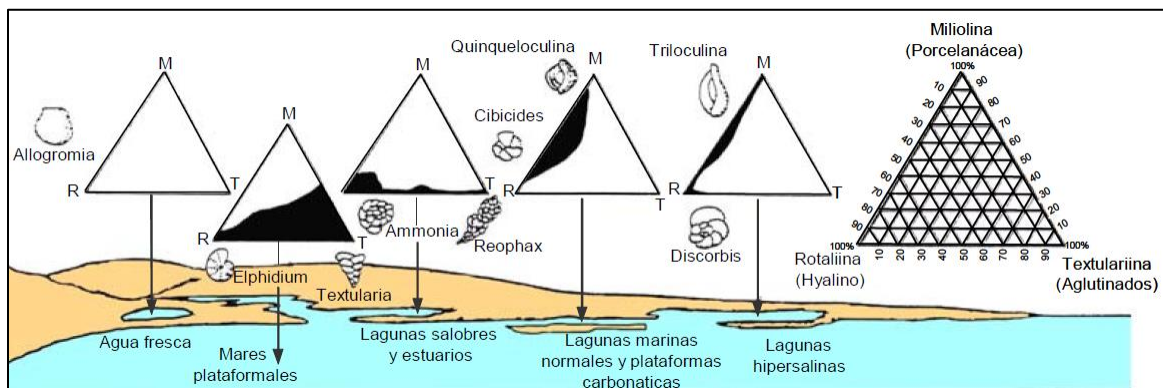


Figura 30– Ambientes de los foraminíferos bénticos según abundancia de sus subórdenes. Tomado y modificado de Brasier y Armstrong (1980)

Los mismos autores plantean que la *Bolivina* sp., es común en ambientes de baja energía con sustratos limosos, inundados y ricos en materia orgánica, por tanto esta especie es típica de lagunas salobres, mientras que el ambiente propuesto de la *Trochammina* sp.,

es marino marginal, siendo el más común aquel con condición de estuario: baja salinidad, alto contenido de materia orgánica y profundidades hasta los 25 m. Se conoce a *Elphidium* sp., como una de las formas bentónicas más pequeñas que vive sobre el sustrato y a pesar que se encuentra en la zona litoral y nerítica con ambientes de turbulencia de olas y una amplia fluctuación en la temperatura, es también característico de ambientes de baja salinidad como lagunas salobres y pantanos, por lo que son abundantes en depósitos someros de profundidades de 0 - 50 m y de hasta 200–300 m.

Por su parte el *Ammobaculites* sp., es también frecuente en ambientes de baja salinidad pero con profundidades menores a los 30 m y tiene una relación indirecta con la cantidad de carbón en el sustrato al igual que la *Nonionella atlántica*, aunque también puede habitar en la plataforma interna. Las especies *Bathysiphon* sp., y *Haplophragmoides* sp., se encuentran comúnmente en ambiente litoral o costero y su diversidad predomina en profundidades de 0 - 50 m; y por último, los ejemplares de *Rosalina* sp., *Spiroplectammina* sp., y *Cyclammina* sp., abundan en la zona batial superior de 200 a 500 m de profundidad, esta última ha sido reportada solo hacia la parte basal de la unidad informal I y la primera solo hacia el tope de la unidad informal V.

Hayward (2014) realiza un estudio sobre la ubicación ambiental idealizada de las especies actuales de foraminíferos bentónicos de fauna monoespecífica en estuarios y lagunas protegidos de Nueva Zelanda, en el cual se indica una asociación ambiental de los mismos por zonas. En la figura 31 se aprecia el modelo de la fauna monoespecífica propuesto por Hayward (2014) donde se observa una analogía con los géneros de foraminíferos que se resaltan en color amarillo, conteniendo estos a 5 especies sin especificar y reportados por Socas (1990), los cuales son: *Miliammina* sp., *Ammobaculites* sp., *Haplophragmoides* sp., *Elphidium* sp., y *Trochammina* sp.

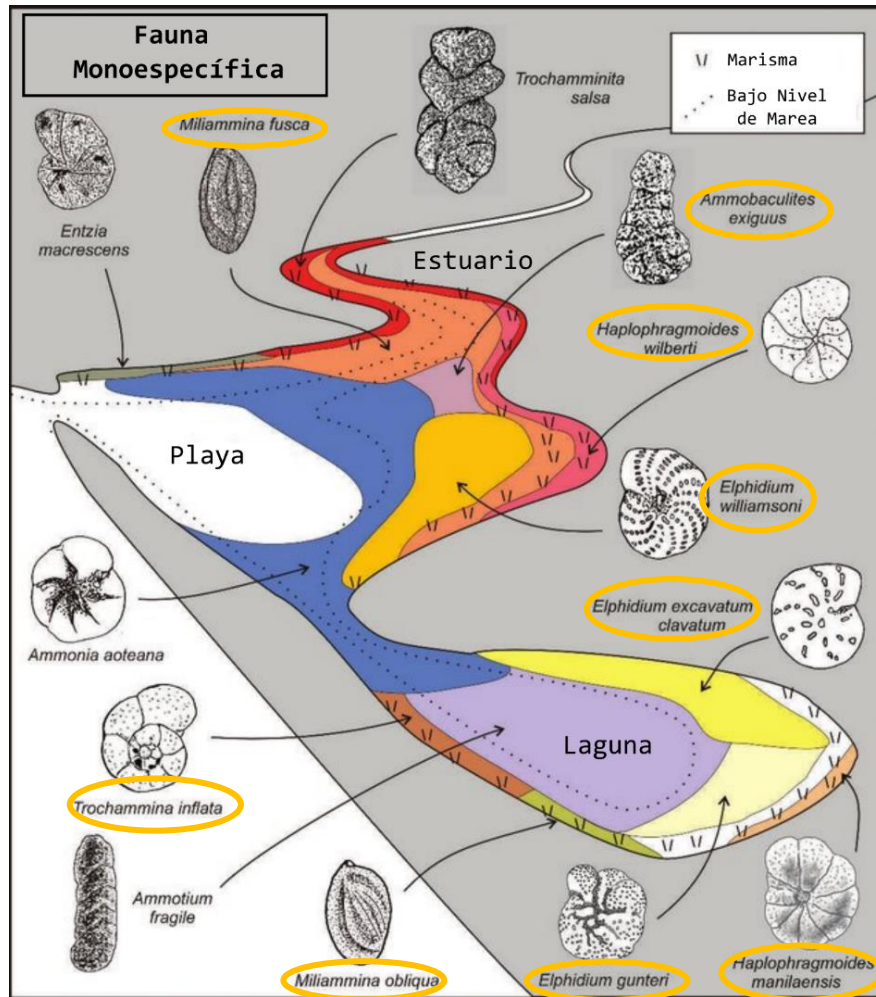


Figura 31– Faunas modernas de foraminíferos bentónicos mono específicos que habitan en estuario y lagunas protegidas en Nueva Zelanda. Tomado y modificado de Hayward (2014)

En otro orden de ideas, a través del estudio palinológico de las muestras pertenecientes a la zona C, se documentaron 21 especies de palinomorfos, en las cuales destacan las angiospermas *Zonocostites* sp., cuyo biocrón se extiende desde el Eoceno tardío hasta el Reciente y vive en ambientes marino salobre y marginal, este ejemplar fue descrito por Socas (1990) como polen de mangar y reportado en la unidad informal III.

También son observados y documentados especímenes de *Botryococcus* sp., y *Mauritiidites* sp., quienes presentan tolerancia a aguas salobres intermedias, por lo que Rull (1998) sugiere pueden encontrarse en manglares, estuarios, pantanos costeros y en

vegetación costera. Por último, el corto intervalo de tiempo de aparición del *Psilatricolporites pachydermatus* lo localiza únicamente en el Mioceno, señalando una vez más la importancia de esta edad en la Formación Naricual en su sección tipo.

Los restos de tallos e impresiones de hojas rotas de las plantas fósiles reportadas coinciden con el estudio de Macsotay (1978) y tal como se indica anteriormente, la especie *Inga* sp., definida en la unidad II posee tolerancia a la salinidad por lo que pueden habitar en agua dulce y agua salobre.

Las huellas fósiles creadas por la actividad biológica de los organismos que hacen vida en el ambiente de sedimentación de una cuenca pueden ser agrupadas en icnofacies, las cuales reflejan la interacción del conjunto de variaciones del medio y las estructuras recurrentes que pueden generarse bajo las condiciones de profundidad y energía del agua, aporte de alimentos, salinidad, entre otros. En cuanto a la icnología, Socas (1990) no reporta abundancia relativa ni diferenciación de trazas fósiles en las unidades, aunque si indica que se encuentran en su mayoría *Thalassinoides* isp., seguida de *Monocrateiron* isp., y *Planolites* isp.; las dos primeras pueden detallarse en las figuras 32 y 33..

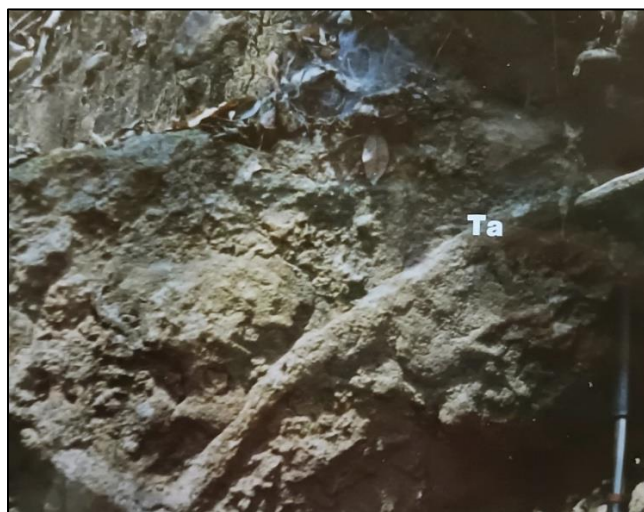


Figura 32– Icnofósil de tipo *Thalassinoides* isp., en base de arenisca en Quebrada Elauterio.
Tomado de Socas (1990)

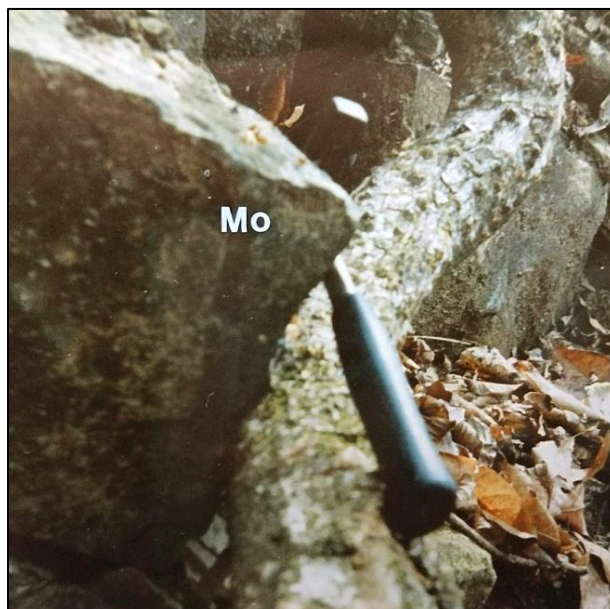


Figura 33– Icnofósil de tipo *Monocrateiron* isp., con desarrollo casi perpendicular a la secuencia de depositación en Quebrada Aragüita. Tomado de Socas (1990)

Socas (1990) reporta además poca bioturbación sin diferenciar e indica la presencia de las estructuras sedimentarias descritas en la tabla 15.

Tabla 15– Estructuras sedimentarias presentes en cada miembro informal de la Formación Naricual en su localidad tipo y su grado de ocurrencia

ESTRUCTURA SEDIMENTARIA	OBSERVACIONES	UNIDAD INFORMAL
Laminación paralela	Abunda en las areniscas de grano fino y medio. Presente en las capas de carbón.	I, II, III, V
Gradación normal e inversa	Algunas areniscas pueden presentar uno o varios ciclos de gradación en una capa.	I
Estratificación cruzada	Se aprecia en las areniscas de grano fino y medio en toda la formación.	I, II, III, V
Rizaduras de corriente	Comúnmente asimétricas con crestas paralelas y distancia entre ellas de varios metros, lo que sugiere corrientes de agua de fondo mono direccional.	II, III, V
Mega rizaduras		
Laminación flaser y festoneada	Observable en las secuencias de lutita-arenisca, en el intervalo medio pueden llegar a espesores de hasta 40 m.	III
Laminación lenticular	-	III

Estas estructuras sedimentarias observadas y descritas por Socas (1990) durante sus respectivos levantamientos de campo son, en su mayoría, producto de las fluctuaciones de las corrientes de agua en el ambiente de sedimentación.

Las figuras 34 y 35, son fotografías tomadas por Socas (1990) durante su investigación y exhiben dos de las estructuras sedimentarias más representativas en la unidad informal I.



Figura 34– Estratificación cruzada y Laminación paralela en capa de arenisca en el Sector Las Lisas, Formación Naricual. Tomado de Socas (1990)



Figura 35– Base de arenisca conglomerática con gradación normal en el sector Las Lisas, Formación Naricual. Tomado de Socas (1990)

4.2.3 ASOCIACIÓN DE LITOFACIES EN LA ZONA C

La nomenclatura de codificación para el estudio de las litofacies en la zona C consiste, al igual que en el trabajo de Bellizzia y Martin (1954), en utilizar una letra inicial en mayúscula que identifica a la litología (A = arenisca; L= lutita; C= carbón, etc.) seguida, si es necesario, de otra letra en minúscula que corresponde para las areniscas al tamaño de grano (f = fino), en el caso de dos características litológicas, la segunda letra corresponde a la segunda litología y referente a las capas de carbón, estas se discriminan según el espesor, siendo el segundo carácter el número que indica su rango de valores.

La tabla 16 condensa la nomenclatura de litofacies propuesta para este estudio con la intención de unificar los trabajos y así obtener la mejor comprensión e interpretación de los depósitos ambientales, por lo que se define un criterio de codificación por facies que resulta netamente litológico, esto se toma debido a la ausencia de identificación y descripción de las estructuras sedimentarias en unos de los trabajos, como se explicó en el apartado 4.1.3, lo que difiere del estudio en la zona C donde Socas (1990) no solo describe espesor y litología, sino que reporta, en algunos casos, dichas estructuras sedimentarias

Tabla 16– Nomenclatura de las principales litofacies en la localidad tipo de la Formación Naricual en la zona C

LITOFACIES	CÓDIGO
Arenisca de grano fino	Af
Arenisca de grano medio	Am
Arenisca de grano grueso	Ag
Conglomerado	Cg
Lutita	L
Lutita carbonosa	Lc
Carbón – espesor \leq 1 m	C ₁
Carbón – espesor 1-3 m	C ₂
Carbón – espesor \geq 3 m	C ₃
Heterolítica	H

En las tablas 17 a la 21 se condensan las asociaciones de litofacies más representativas de la zona C extraídas de la columna estratigráfica generalizada, donde se coloca la asociación, seguida de una breve descripción del intervalo o secuencia, luego la representación gráfica que se observa en la columna y por último la interpretación o la arquitectura del depósito.

Tabla 17–Asociación de facies en la unidad informal I

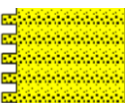
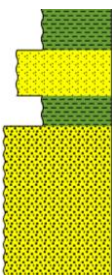


ASOCIACIÓN DE FACIES	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	DEPÓSITOS
Cg, Ag, Am, Af	10 ciclos grano decreciente de conglomerado a arenisca grano fino de espesor 2 m cada ciclo		Depósito de posible canal fluvial
Ag, L o Af, L	Secuencias grano decreciente de arenisca de grano grueso o fino con espesores de 2-16 m, seguida de lutita con espesor hasta 5 m		Depósito de canal distributivo estuarino
L, Af, Am, Ag o L, Af	Secuencias grano crecientes de facies arcillosa de espesores 11-20 m, seguida de arenisca de distinta granulometría y espesores variables de 1, 4, 6 y hasta 14 m		Depósito de barra de desembocadura

Tabla 18–Asociación de facies en la unidad informal II

ASOCIACIÓN DE FACIES	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	DEPÓSITOS
Af, L, C ₂ o Af, H, C ₁	Secuencia de arenisca de grano fino menor a 1 m, seguida de facies arcillosa o heterolítica hasta 1m de espesor y carbón al tope C ₁ o C ₂ .		Depósito de canal abandonado

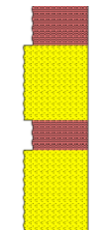
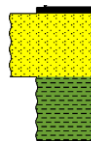
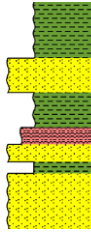
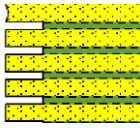
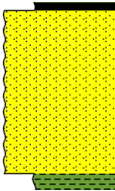
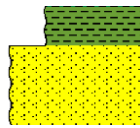
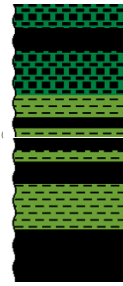
Af, H	Cuerpos arenosos de grano fino de hasta 8 m de espesor en la base, seguido de facies heterolítica de 3-6 m.		Depósito de lavado (H), junto a isla de barrera (Af)
L, Af, C ₁	Secuencias de lutitas seguido de arenisca de grano fino de hasta 3.8 m de espesor y carbones al tope C ₁ .		Depósito de barras de playa asociado a facies de laguna costera
Af, H, L o Af, L o Lc o Af, H, Lc	Secuencias grano decreciente de arenisca de grano fino, seguida de heterolítica, lutita o lutita carbonosa menor a 1 m.		Depósito de canal distributivo

Tabla 19–Asociación de facies en la unidad informal III

ASOCIACIÓN DE FACIES	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	DEPÓSITOS
Af, L	Secuencia rítmica de 4 a 8 m de espesor con 70 % arenisca de grano fino y 30 % lutita.		Depósito de planicie de marea
L, Af, C ₁ o L, H, C ₁	Secuencias de facies arcillosa L seguida de grandes espesores de arenisca de grano fino (aprox. 9 m) y carbones C ₁ .		Depósito de barras de playa asociado a facies de laguna costera
Af, L	Secuencia grano decreciente de arenisca de grano fino, seguida de lutita.		Depósito de canal distributivo
L, Lc, C ₁ , C ₂ , C ₃	Sucesión de facies arcillosa con carbones de variados espesores (C ₁ , C ₂ , C ₃).		Depósito de laguna costera con zona de manglares


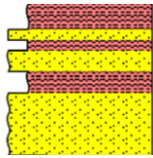
Af, L, C ₁	Arenisca de grano fino de 1.2 m de espesor, seguida de facies arcillosa y carbón C ₁ .		Depósito de canal abandonado
Af, H	Cuerpos arenosos de grano fino de hasta 3 m de espesor seguido de facies heterolítica hasta 3m.		Depósito de lavado (H), junto a isla de barrera (Af)

Tabla 20–Asociación de facies en la unidad informal IV

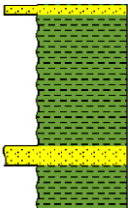
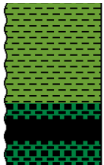
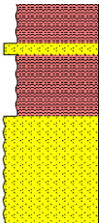
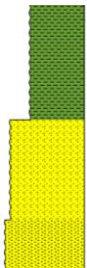
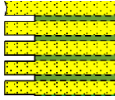
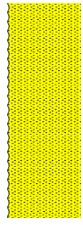

ASOCIACIÓN DE FACIES	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	DEPÓSITOS
L, Af	Secuencias grano creciente de lutita de espesores 7-14 m seguida de 0.8 m de arenisca de grano fino.		Depósito de barra estuarina
L, Lc, C ₁	Sucesión de facies arcillosa con carbones C ₁ .		Depósito de laguna costera con zona de manglar
Af, H	Cuerpos arenosos de grano fino de hasta 5 m de espesor seguido de facies heterolítica de 3-4 m.		Depósito de lavado (H), junto a isla de barrera (Af)

Tabla 21–Asociación de facies en la unidad informal V

ASOCIACIÓN DE FACIES	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	DEPÓSITOS
Ag, Am, Af, L	Secuencias grano decreciente de arenisca de distinta granulometría, seguida de lutita		Depósito del Canal principal estuarino

Af, L	Secuencia rítmica de 5 m de espesor con 80 % arenisca de grano fino y 20 % lutita.		Depósito de planicie de marea
Am	Cuerpo arenoso de 20 m de espesor al tope de la unidad.		Depósito de isla de barrera
L, H, Af o L, C ₁ , H	Sucesión de facies arcillosa, de lutitas y heterolítica de espesores mayores a 8 m, con arenisca de grano fino y a veces carbones C ₁ . En la sucesión se observa junto a la asociación de canal distributivo.		Depósito asociados a la zona de la boca del estuario / Canal

4.3 ANÁLISIS DE LOS CARBONES

González de Juana y Agueverre (1938) realizaron el estudio geológico en los depósitos de carbón del río Naricual, cuyo informe principal deriva inicialmente de las observaciones efectuadas en el terreno y en las minas.

Bellizzia y Martin (1954) llevaron a cabo 16 sondeos exploratorios en el transcurso de sus estudios de geología de superficie a lo largo del río Naricual y sus quebradas, permitiendo el análisis detallado del tramo carbonífero de la Formación Naricual.

Durante el levantamiento geológico de Socas (1990) de aproximadamente 50 km a lo largo del río Naricual en 11 de sus quebradas vertientes más prominentes y socavones de suelo de mina, se realizó la toma de 193 muestras totales, donde 8 de ellas son carbones. Dicho recorrido coincidió con el mencionado al comienzo en los trayectos de las quebradas Nuevo Mundo y Cerro Grande.

Por otro lado, Escobar y Martínez (1993) analizaron distintas muestras de carbones tomadas dentro de las minas de Naricual para finalmente escoger las más representativas de la zona.

Con la finalidad de caracterizar las muestras de carbón tomadas por los distintos autores para sus respectivos estudios y establecer similitudes o diferencias en las condiciones físico-químico de acumulación de la turba y posibles fuentes sedimentarias, fueron efectuados los análisis inmediatos de cada muestra siguiendo las normas ASTM para petrografía orgánica.

La tabla 22 condensa los resultados obtenidos con las características geoquímicas y petrográficas de los mantos de carbones analizados de la Formación Naricual en su localidad tipo.

Tabla 22– Análisis inmediato, reflectancia de vitrinita, poder calórico y clasificación según ASTM de los carbones de Naricual según resultados de distintos autores

AUTOR	% H	% MT	% CF	% C	% A	Ro	PODER CALÓRICO BTU/lb	CLASIFICACIÓN ASTM D388 (1997)
González de Juana y Agueverre (1938)	2.1	44.25	50.15	2.3	1.2	-	13712	Bituminoso alto volátil B
Bellizzia y Martin (1954)	4.53	39.5	57.9	2.62	1.09	-	13915	Bituminoso alto volátil B
Socas (1990)	2.0	44.25	50.1	2.3	1.35	0.55	13712	Bituminoso alto volátil B
Escobar y Martínez (1993)	3.7	42.9	54.0	3.1	2.2	0.64	13830	Bituminoso alto volátil B

H: humedad; MT: materia volátil; CF: carbono fijo; C: cenizas, A: azufre, Ro: reflectancia de vitrinita

De lo anterior se tiene que los carbones presentes en la Formación Naricual poseen un porcentaje de carbono fijo menor al 69 % y de acuerdo con la norma ASTM D388 para estos valores, los carbones se clasifican según su poder calórico y sus características físicas de aglomeración, dando como resultado la denominación a carbones de rango medio de tipo bituminoso alto en volátiles del grupo B con poder aglutinante variable desde poco a

moderado. Esta clasificación también puede señalarse en la literatura como carbones bituminosos pertenecientes al grupo 4B.

Otro parámetro petrográfico a analizar es la reflectancia de la vitrinita (R_o), que en la actualidad es uno de los métodos más empleados y confiables para determinar el grado de madurez térmica del carbón y el kerógeno. Este parámetro es fundamental para comprender la calidad del mismo y su potencial para generar hidrocarburos. El R_o es una medida obtenida en función de cuantificar la cantidad de luz reflejada por la vitrinita y se utiliza para inferir las condiciones de temperatura a las que se ha sometido el carbón durante su formación. Su rango de valores está representado en la figura 37 descrita a continuación.

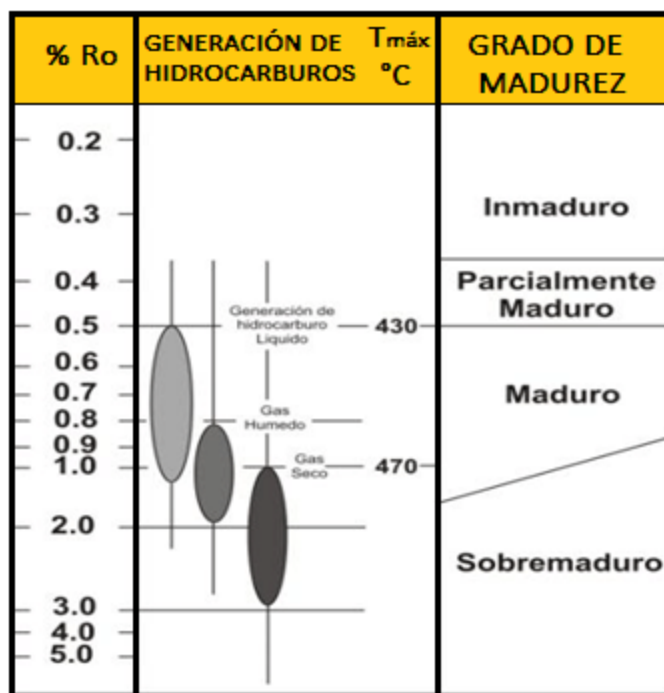


Figura 37– Valoración del grado de madurez medido en R_o . Tomado y modificado de Stevens et al. (2011)

El promedio de los valores de reflectancia de vitrinita reportada por los diferentes autores en la tabla 2, indican que los carbones de la Formación Naricual poseen un grado de madurez temprana. Al ser este valor mayor a 0.5 sugiere que los carbones fueron sometidos a temperaturas superiores a los 430 °C, lo que permitió el paso a la etapa de catagénesis o ventana de petróleo para la mayoría de ellos.

Sin embargo, Socas (1990) puntualiza las siguientes mediciones de reflectancia de vitrinita efectuadas en sus muestras de carbón:

Ro (mínima) → 0.42

Ro (máxima) → 0.64

Ubicando así algunas muestras como inmaduras. Es conveniente acotar que esta diferencia de los valores de Ro en los carbones se refiere a la ubicación de las muestras, ya que al ser tomadas de distintos mantos las condiciones de temperatura y presión a las cuales estuvieron sometidos durante la evolución de la cuenca lograron variar ligeramente su composición.

A través de la reflectancia de la vitrinita también se puede clasificar petrográficamente el carbón. En el caso de la Formación Naricual en su localidad tipo, los mantos de carbón presentan características como: bajo porcentaje de cenizas (raramente superior al 3 %) y una predominancia de vitrinita en su composición, por lo que el análisis inmediato y de petrografía orgánica indican que el carbón pertenece en rasgos generales al tipo sub bituminoso a bituminoso de alto contenido en volátiles, coincidiendo este último resultado con la clasificación obtenida según la norma ASTM D388.

Los constituyentes orgánicos individuales del carbón o macerales se distribuyen en tres grupos de acuerdo al tejido vegetal particular preservado en la cuenca de sedimentación, estos son nombrados vitrinita, liptinita o exinita y, por último inertinita. De forma general, la vitrinita es el maceral más común y tiene un origen terrestre a partir de tejidos leñosos o vasculares en ambientes reductores, la exinita por su parte se deriva de componentes botánicos específicos como esporas, polen, cutículas, resinas y algunas secreciones lipídicas, mientras que la inertinita mantiene el mismo origen que la vitrinita pero los tejidos se encuentran oxidados o intensamente degradados por microorganismos debido a la prolongada exposición subaérea antes del soterramiento.

En la tabla 23 se presentan los resultados del análisis macerológico petrográfico cuantitativo de las muestras de carbones en la Formación Naricual, según los distintos autores.

Tabla 23– Análisis macerológico petrográfico cuantitativo de los carbones de la Formación Naricual según resultados de distintos autores.

AUTOR	% VITRINITA	% EXINITA	% INERTINITA
Bellizzia y Martin (1954)	83.5	15.2	1.3
Socas (1990)	78.8	16.1	8.1
Escobar y Martínez (1993)	96.8	2.3	0.9

Los carbones de la Formación Naricual se componen esencialmente de vitrinita, aunque algunos pocos presentan alto contenido de exinita. La importancia del análisis de los grupos macerales del carbón es que los cambios en su composición petrográfica revelan condiciones del ambiente de depositación de la turba y permite inferir origen y condiciones de la cuenca, tal como se expresa a continuación en la figura 38 con el diagrama ternario que relaciona ambientes de depositación con los macerales mayoritarios, lo que contribuye a una mejor comprensión de la evolución geológica de la región.

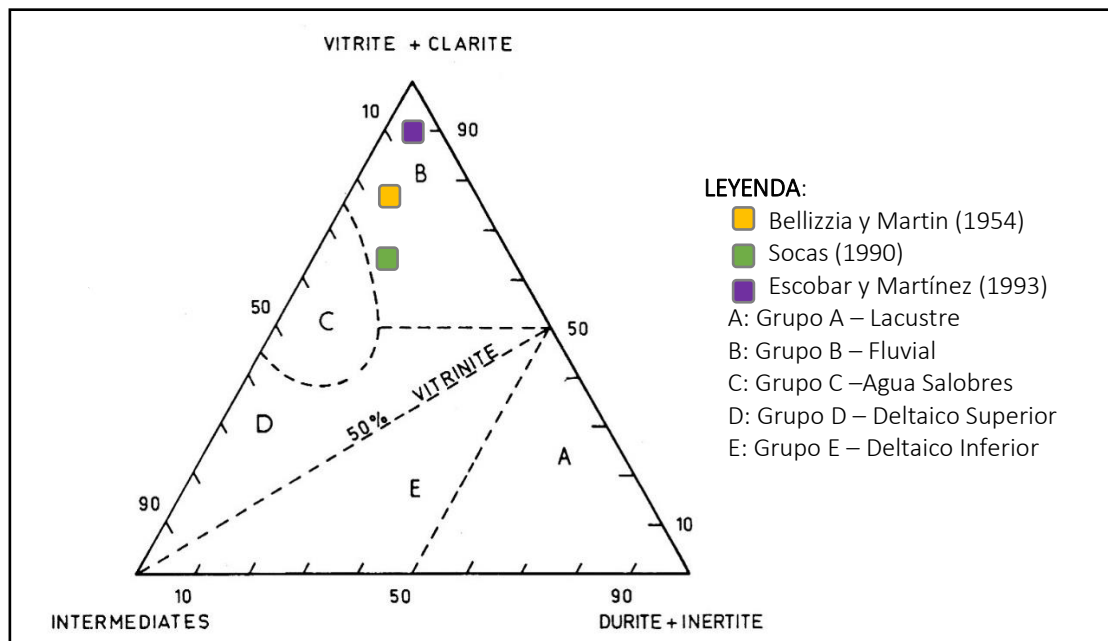


Figura 38- Diagrama ternario de distribución de los macerales orgánicos mayoritarios. Tomado y modificado de Sen et al., 2016

El análisis petrográfico de los mantos de carbón estudiados por los distintos autores indica que los mismos tienen su origen en un ambiente fluvial, esto se debe a la presencia de un alto contenido del grupo maceral vitrinita lo que sugiere que la acumulación de la materia orgánica se produjo en condiciones terrestres o continentales como llanuras deltaicas, lagos o pantanos de agua dulce.

Sin embargo, existen algunos pocos ejemplares de carbones como la muestra 83 de Socas (1993) y la M1 de Bellizzia y Martin (1954) donde el contenido de vitrinita disminuye hasta un 56 % y 61 % respectivamente, y a su vez, aumenta el maceral exinita aproximadamente a 37 %, de estos valores se deduce un origen en el grupo C, es decir, en ambiente de aguas salobres. Al ser la exinita un compuesto maceral poco común, su presencia determina la interacción de un medio lacustre o marino somero, por lo que estos mantos pudieron generarse en marismas, manglares, pantanos, llanuras de marea o lagunas costeras que sufrieron invasiones marinas ocasionales. En efecto, esta intervención de agua marina en forma intermitente se sustenta con el valor de azufre total obtenido en el análisis químico de los carbones estudiados y reflejado en la tabla 20, donde los procesos involucrados propiciaron la reducción de sulfatos a sulfuros, cuyo resultado al ser mayor al 1% se considera de forma general un valor alto.

4.4 INTERPRETACIÓN AMBIENTAL PARA LA FORMACIÓN NARICUAL EN SUPERFICIE

De acuerdo al análisis de los patrones de grano secuencias y las características de las asociaciones de facies que se observan en las columnas estratigráficas de los anexos 1.1 y 1.2, se hizo posible interpretar el ambiente de sedimentación para la Formación Naricual en superficie, el cual corresponde a un ambiente próximo costero con dominio del sistema de isla de barrera y laguna costera con complejo estuarino, del mismo modo se determinó la distribución ambiental de cada uno de los depósitos detallados en la secuencia.

En vista que el registro estratigráfico para ambientes estuarinos resulta complejo, ya que dependiendo de las condiciones de sedimentación pueden extenderse desde entornos marino costeros a marinos someros y marginales, la estrecha relación entre los ambientes

de islas de barreras, lagunas y estuarios ha sido estudiada a lo largo del tiempo por diversos autores, quienes han buscado crear modelos geológicos idealizados en estuarios modernos que puedan ser aplicados en depósitos estuarinos antiguos.

En consecuencia, para inferir el ambiente se consideraron dos posibles modelos ambientales que pueden estar coexistiendo.

El primer modelo de ambiente utilizado fue el propuesto por Anthony *et al.*, (2009) en su estudio sobre la incidencia del cambio climático global en las lagunas costeras de la costa atlántica y del golfo de EE. UU, este se refiere a isla de barrera con desarrollo de laguna costera o *lagoon* y complejo estuarino, este modelo se encuentra expresado en la figura 39, donde además se señalan sus principales depósitos o elementos arquitecturales.

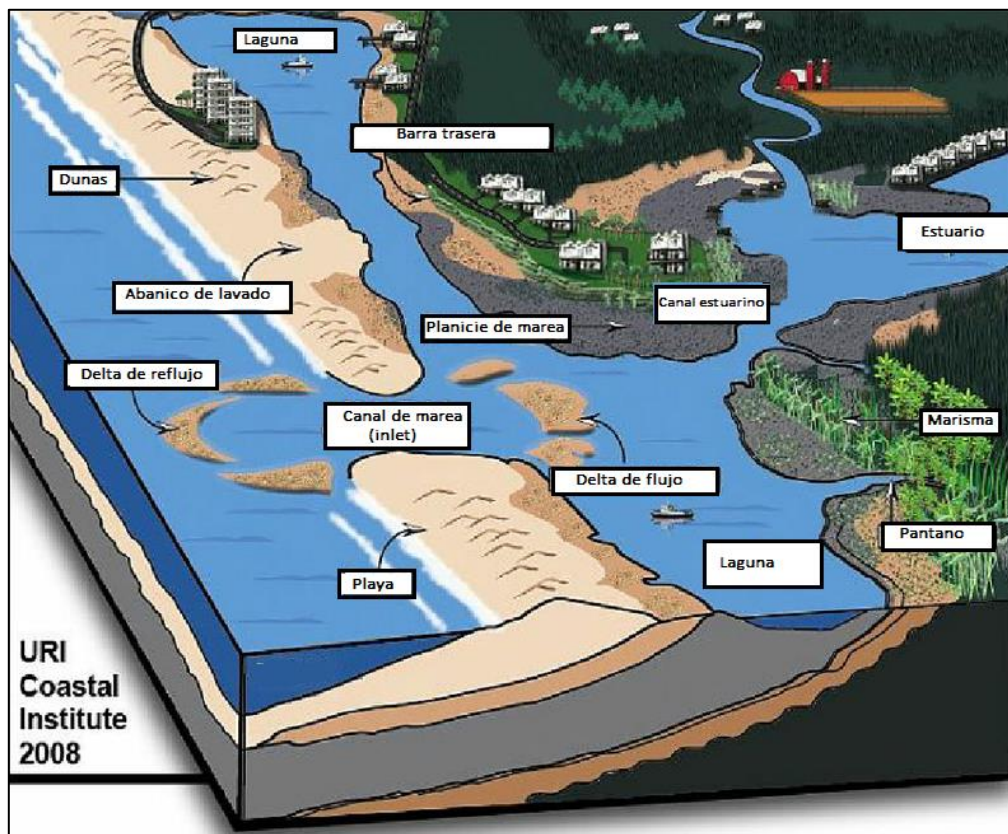


Figura 39– Modelo idealizado de laguna costera con sus depósitos más importantes.
Tomado y modificado de Anthony *et al.*, (2009)

A partir del análisis detallado de las litofacies definidas en este estudio, se logra diferenciar a grandes rasgos cuatro zonas, las cuales se definen a continuación:

- a. Zona de complejo de barras: se refiere principalmente a la línea de costa, de carácter arenosa y donde intervienen procesos de oleaje y mareas. Los depósitos interpretados y asociados al complejo de barras son isla de barrera, barras de playa asociado a facies de laguna costera, dunas y abanicos de lavado.
- b. Zona central de la cuenca estuarina: prevalecen las facies arcillosas asociadas a la confluencia de los depósitos de posible canal de marea, planicie de marea, laguna costera, manglar y del frente deltaico estuarino. Se caracteriza además por la presencia de barras estuarina y barras de desembocadura, según su ubicación.
- c. Zona superior del estuarino: similar comportamiento a un delta y se identificada con el desarrollo de depósitos de canal principal estuarino, canales distributarios y bahías interdistributaria.
- d. Zona fluvial: caracterizada por el desarrollo de depósitos de canales y barras de meandros en la llanura de inundación.

De la misma forma, en la figura 40 se indica la disposición ambiental de las zonas a, b, c, d, definidas anteriormente, así como la representación gráfica de sus depósitos característicos utilizando el modelo idealizado de estuario dominado por oleaje propuesto por Dalrymple *et al.*, (1992) en su trabajo sobre los modelos de facies estuarinos.

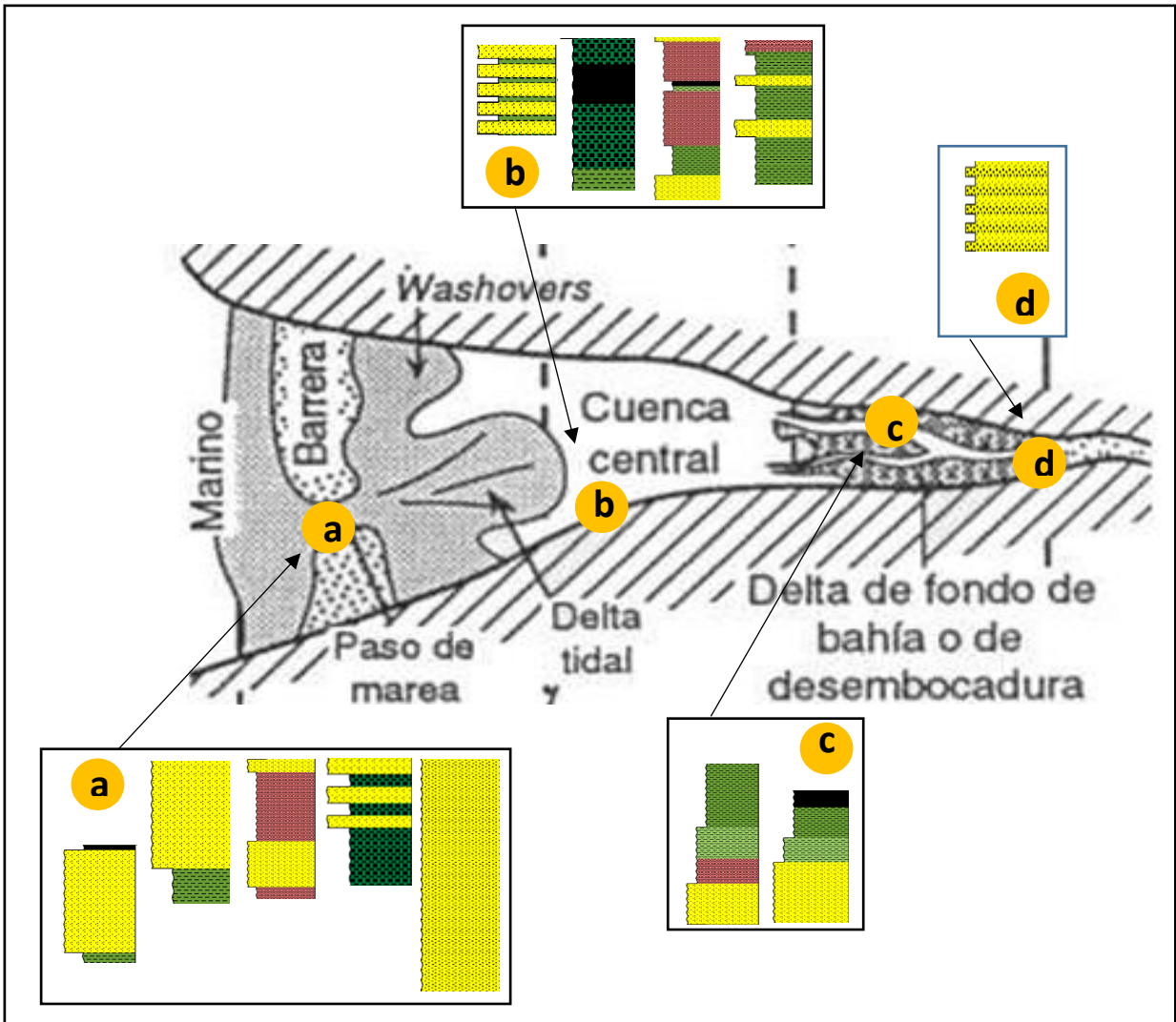


Figura 40– Distribución de los componentes morfológicos interpretados para el ambiente de sedimentación de la Formación Naricual en localidad tipo: estuario dominado por oleaje. Tomado y modificado de Dalrymple *et al.*, (1992)

Como se indicó anteriormente, en el ambiente propuesto se resalta el desarrollo de cuerpos de arena alargados que se depositaron a lo largo de la línea de costa, estas barras y barreras que se definen en la figura 40 en la zona a o complejo de barras, se encuentran total o parcialmente separados del continente por la laguna costera definida también en las columnas estratigráficas y en la zona b o cuenca central de la figura mencionada, por lo que al considerarse un sistemas de islas de barreras como un sistema compuesto que resulta de la combinación de distintos ambientes depositacionales que van desde la línea de costa hasta la llanura costera.

El segundo modelo idealizado se refiere a un sistema de isla de barrera con laguna costera o *lagoon*, fue propuesto por Walker y James (1992) y también muestra algunos de los principales elementos geomorfológicos definidos para la sección tipo de la Formación Naricual, los cuales son señalados a continuación en la figura 41 reconociéndose las zonas a, b y c, observando coincidencias entre ambos modelos.

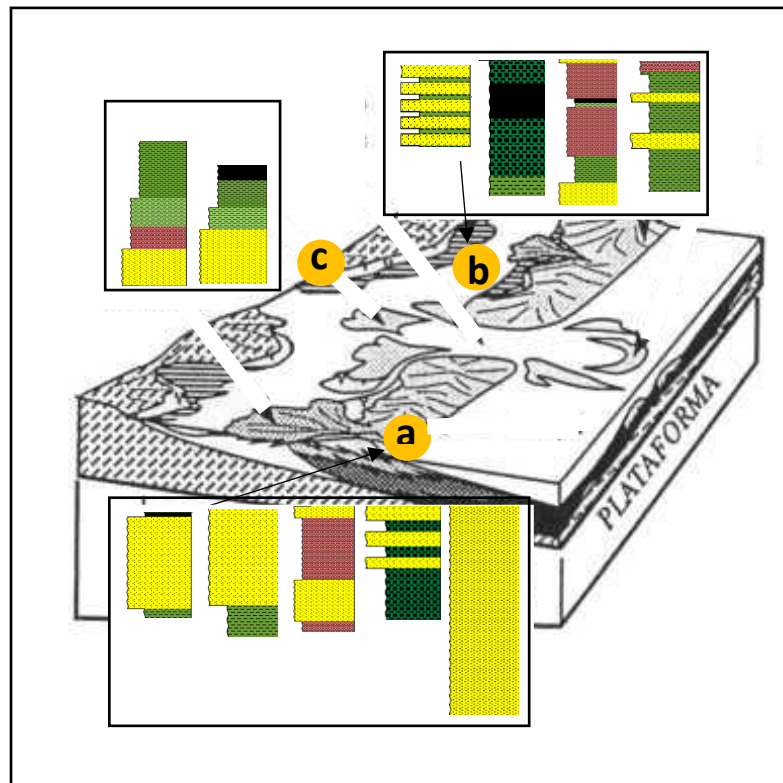


Figura 41– Distribución de los componentes morfológicos interpretados para el ambiente de sedimentación de la Formación Naricual en localidad tipo: isla de barrera con desarrollo de laguna costera. Tomado y modificado de Tomado de Walker y James (1992)

A continuación se describen ampliamente los depósitos precisados en el ambiente sedimentario propuesto.

- Zona de complejo de barras:

Los depósitos isla de barrera se refieren a la asociación de facies, de base a tope, de lutitas con espesor menor a 2 m y arenisca de grano fino a medio de hasta 20 m, estos

grandes cuerpos arenosos se desarrollan a lo largo de ambas columnas estratigráficas con excepción de algunos intervalos como el basal del anexo 1.2 y el tope del anexo 1.1, asociados a estos depósitos se definen secuencias rítmicas de areniscas de grano fino con litofacies heterolítica, a esta se le atribuyen depósitos de abanico de lavado o *washover fan* generados producto de las fluctuaciones del nivel del mar sobre el sistema de isla de barrera.

Las asociaciones de facies con lutitas a la base, seguida de arenisca de grano fino de espesores variables y carbón menor a 0.6 m de espesor al tope, se interpretan como depósitos de barras de playa asociados junto a la laguna. Esta asociación se desarrolla en las unidades centrales de las columnas estratigráficas del área de estudio y en algunas de estas barras se reportan mega rizaduras por lo que pueden atribuirse a posibles dunas que se encuentran a lo largo de la línea de costa.

- Laguna costera con zona de manglares.

Esta asociación se presenta en las diferentes columnas estratigráficas del área y se interpreta de las asociaciones de facies de lutitas, lutitas carbonosas y carbón, que en pocas ocasiones presentan heterolíticas.

Muchas de la lutitas carbonosas descritas presentan impresiones de hojas de las especies *Inga sp.*, y *Rhizophora premangle*, también se evidencian ejemplares de angiospermas *Zonocostites sp.*, así como de representantes de fauna de aguas salobre tales como *Elphidium sp.*, y *Haplophragmoides sp.* Todas las especies mencionadas son características de un ambiente salobre, en su mayoría manglar, pantano y laguna. En este sentido, Dalrymple *et al.*, (1992) plantea que la cuenca central de un estuario es una designación de facies arcillosas y por lo tanto es solo parcialmente equivalente al término geomorfológico laguna.

Como resultado del análisis petrográfico de los grupos macerales en los mantos de carbón estudiados por los distintos autores se sugiere que el origen de su mayoría, aquellos donde prevalece la vitrinita, es continental mientras que para aquellos con mayor porcentaje de exinita tendrían su origen en lagunas costeras, sin embargo ambos contaron con presencia de abundante material leñoso en las zonas de marismas, manglares, pantanos o lagunas costeras del medio, las cuales sufrieron invasiones marinas de forma periódica,

generando así un ambiente de carácter salobre durante su sedimentación, el cual propició la reducción de sulfatos a sulfuros.

Estos depósitos de carbón comprenden espesores que van desde 0.4 m a 3.5 m y se evidencia en las columnas estratigráficas anexos 1.1 y 1.2 que su mayor desarrollo se asocia a las lagunas costeras, destaca en la zona A espesores a partir de 1 m a 3.5 m, mientras que en la zona C prevalecen espesores de 0.4 m a 2.8 m.

- Frente deltaico estuarino:

Los depósitos del frente deltaico estuarino posiblemente puedan desarrollar asociaciones de barras proximales y de desembocadura respectivamente, esto debido al similar comportamiento entre la desembocadura del estuario hacia la zona central, también denominada cabecera del estuario, con un delta de influencia fluvial (Dalrymple *et al.*, 1992). Estas barras o cuerpos arenosos se caracterizan por patrones grano creciente y están conformados por lutitas de espesores entre 7 -20 m, y areniscas de distinta granulometría en el caso de la barra de desembocadura o solamente de grano fino cuando se refiere a barra estuarina, el espesor para la primera es variable hasta 20 m mientras que para la segunda es menor a 2 m.

- Canales distributarios:

La asociación de canales distributarios está caracterizada por patrones grano decrecientes, conformados por distintas combinaciones de las siguientes litofacies: Ag, Am, Af, Aa, H, La, Lc y L, donde las facies arcillosas pueden presentar espesores menores a 5 m. Socas (1990) describe procesos deltaicos bien definidos en la ahora denominada zona superior estuarina, con la presencia de canales que exhiben areniscas de grano grueso a medio en la base y afinándose al tope, estos se representan en la figura 42. La misma autora plantea que en el desarrollo de canales, su mayoría cortaron y erosionaron secuencias sedimentarias, y que algunos de ellos finalizaron con la deposición de un carbón representando así el abandono de canales.



Figura 42– Canales observados en la entrada a la mina Santa María. Para la autora representan estos canales apilados representan un lóbulo deltaico. Tomado de Socas (1990)

- Canal de marea:

Es considerado por Chapman (1960) como uno de los elementos más representativos dentro del sistema de islas de barrera, ya que ejercen un control fundamental sobre la dinámica hidráulica de las planicies determinando la cantidad de flujo que pueden alcanzar en los distintos lugares y masas de agua del sistema.

Macsoy (1978) menciona la presencia de una capa fosilífera de 10 cm de espesor constituida por arenisca calcárea cuarzosa que presenta granos de cuarzo mal escogidos y caracterizada por la presencia de conchas de moluscos enteros y fragmentados en posición multidireccional. En ese intervalo se reportan las especies *Dentalium (Laevidentalium) sp.*, *Olivella sp. cf. callianax tapira* y *Saccella saibana*, así como también los pelecípodos *Periploma cf. caribana* y *Thyasira sp.*, ligeramente aplastados y completos, que son característicos de un ambiente litoral marino costero.

Se evidencia que hacia el tope de las columnas estratigráficas de la zona A en anexos 1.1 y Zona C en anexos 1.2, existe un predominio de facies heteroíticas y de arenisca arcillosa lo

que puede dar indicios a la presencia de procesos de mareas para el momento de la sedimentación.

Bajo estas referencias y considerando el modelo conceptual del ambiente propuesto, las características mencionadas podrían ser asociadas a la base de un canal de mareas o *inlet*, respaldando la influencia de los procesos de marea dentro del sistema de isla de barreras. También se pueden considerar otros elementos descritos como son las estructuras sedimentarias lenticulares, de estratificación cruzada y laminaciones flaser y festoneada.

Producto de las corrientes de mareas en zonas resguardadas es posible encontrar, además, depósitos donde los patrones son rítmicos y mayoritariamente arenosos, y cuya expresión se denomina en este estudio como planicie de marea, los cuales están presentes en las unidades con mayor desarrollo del depósito de laguna y reportan, en promedio, espesores de 5 m.

CAPÍTULO 5

CARACTERIZACIÓN DE LA FORMACIÓN NARICUAL EN SUBSUELO

El área en estudio está enmarcada dentro de los límites de la Subcuenca de Maturín, específicamente en los campos Carito y El Furrial, quienes representan dos de los yacimientos petrolíferos más importantes al norte del estado Monagas. En general, esta zona posee diversos estilos estructurales y condiciones que facilitaron el entrapamiento de hidrocarburos, por lo que allí se genera el 30 % del total de la producción petrolera del país.

Desde 1987 se han realizado diversos estudios, con la intención de optimizar la explotación de hidrocarburos en el área, estos han permitido caracterizar los yacimientos, bien sea en su fase exploratoria o productiva, uno de ellos fue realizado por Guzmán *et al.* (2001) y consistió en definir un modelo estratigráfico para una de las áreas señaladas en la figura 40.

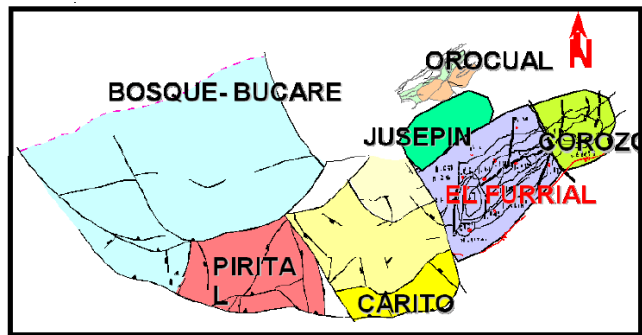


Figura 43– Mapa de localización de los campos Carito y El Furrial. Tomado de Guzmán et al. (2001)

El presente análisis se basa en la recopilación de la información sedimentológica y bioestratigráfica generada a partir de la evaluación geológica en los núcleos de los pozos MUC-10, MUC-11, FUL-12 y FUL-13, la cual ha sido publicada por distintos autores en informes técnicos, trabajos de grado y proyectos dirigidos por PDVSA – INTEVEP, lo que permite interpretar las condiciones del ambiente de sedimentación. La figura 44 muestra la distribución de los pozos en los campos Carito y El Furrial.

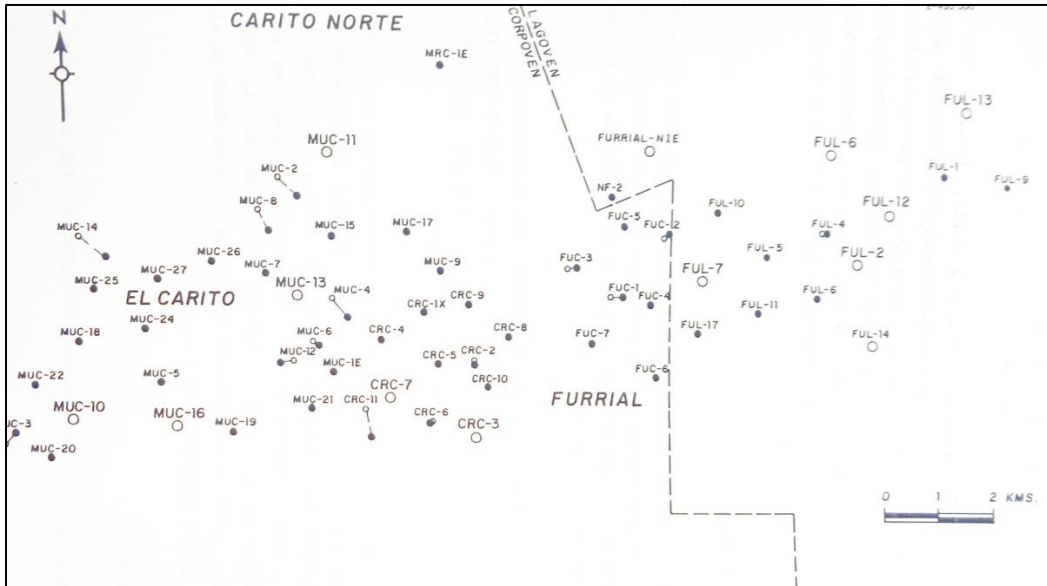


Figura 44– Mapa índice de pozos en los campos Carito y El Furrial. Tomado de Isea et al. (1992)

Para la unificación de criterios se utilizan las columnas estratigráficas descritas previamente por distintos autores en los pozos MUC-10, MUC-11, FUL-12 y FUL-13 en la secuencia terciaria de los yacimientos de interés, las cuales son validadas para este estudio. La importancia de estos pozos es que contienen, en su mayoría, niveles estratigráficos continuos que van desde el Cretácico tardío hasta el Oligoceno y parte del Mioceno inferior, dentro de los cuales por razones operacionales se identifican informalmente los yacimientos Narical Inferior y Narical Superior.

Figuroa (2005) estudió el flanco norte del campo El Furrial, específicamente en Narical Superior y define las siguientes características para los yacimientos informales:

- Narical Superior: su espesor varía desde 700 pies al Sur-Oeste, zona Oeste y área de Carito-Mulata, hasta 900 pies en el Norte. Se encuentra en contacto concordante con las lutitas basales, de edad Mioceno, correspondiente a la Formación Carapita, y su base coincide con el tope del yacimiento Narical Inferior.
- Narical Inferior: con respecto a su espesor, la tendencia general es incrementar hacia al norte entre 500 y 800 pies. Se le atribuye edad

Paleoceno a Eoceno. La sección de Naricual Inferior está asociada a un nivel de condensación caracterizado por la gran abundancia de glauconita.

Con la intención de unificar la información con el capítulo IV se toma como criterio único las descripciones litológicas de los núcleos, ya que esta resulta ser la herramienta común y así facilitar el trabajo al momento de comparar la formación en superficie con subsuelo.

5.1 ANÁLISIS DEL CAMPO CARITO

El campo Carito-Mulata tiene un área total de 200 Km² y ha sido subdividido en cuatro áreas: Carito Norte, Carito Sur, Carito Oeste y Carito Central, según las diferencias en características de producción, porosidad, permeabilidad y presión. En cuanto al número de pozos, el campo Carito está constituido por un total de 58. El área del estudio corresponde a los campos Carito Norte, Central y Oeste, cuya extensión es de aproximadamente 88 Km².

Isea *et al.* (1992) analizaron bioestratigráficamente seis muestras de núcleos. Por su parte, Angulo y Rodríguez (2001) durante su estudio sedimentológico de la Formación Naricual en dichos campos estudiaron seis núcleos de pozos localizados en Carito Norte y Oeste. Por último, Zambrano y Martínez (2004), analizaron petrofísicamente un total de siete pozos en las zonas. La tabla 24 indica los pozos estudiados por cada autor.

Tabla 24– Pozos estudiados por distintos autores en el Campo Carito

AUTOR	POZOS
Isea <i>et al.</i> (1992)	CRC-3, CRC-7, MUC-10, MUC-11, MUC-13, MUC-16
Angulo y Rodríguez (2001)	MUC-10, MUC-11, MUC-18, MUC-23, MUC-32, MUC-81
Zambrano y Martínez (2004)	MUC-11, MUC-22, MUC-24, MUC-32, MUC-39, MUC-47, MUC-72

Destaca la importancia que representan los pozos MUC-10 y MUC-11, donde la recuperación de sus núcleos permitió construir hojas sedimentológicas que poseen información continua con respecto al Terciario, así mismo el pozo MUC-11 ha sido estudiado en común por los autores referenciados.

5.1.1 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

Angulo y Rodríguez (2001), realizaron una codificación de 21 facies en base a la litología, las estructuras sedimentarias predominantes y a la textura. Donde la primera letra corresponde al carácter litológico: A o B = areniscas de granulometría y escogimiento variable, L= lutita o limolita, C= carbón, P= paleosuelo, H= heterolítica, HB= heterolítica bioturbada. En la tabla 25 se reporta el resumen de las características y el porcentaje de cada ocurrencia de las facies descritas por dichos autores.

Tabla 25– Cuadro resumen de características para las facies sedimentarias en el campo Carito

FACIES	LITOLÓGÍA	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	OCURRENCIA
A1	Arenisca de grano medio a grueso. Moderadamente a mal escogidas.	-	6
A2	Arenisca de grano fino a muy fino. Moderadamente a bien escogidas	-	5.1
A3	Arenisca de grano fino a medio. Moderadamente a bien escogidas	Estratificación cruzada planar	7.1
A4	Arenisca de grano fino a muy fino. Moderadamente a bien escogidas	Laminación cruzada y estratificación cruzada tipo hummocky	2.7
A41	Arenisca de grano medio a grueso. Moderadamente escogidas	Laminación paralela	3
A5	Arenisca de grano fino a muy fino. Bien escogidas	Estratificación cruzada tipo hummocky	0.8
A6	Arenisca de grano fino a muy fino. Bien escogidas	-	3.6
A7	Arenisca de grano fino a medio. Moderadamente a bien escogidas	Rizaduras de corriente	1.6
A8	Arenisca de grano fino a muy fino. Bien escogidas	-	17.4

A81	Arenisca de grano medio a grueso. Bien escogidas	Rizaduras de corriente y Estratificación cruzada planar	6.7
B1	Arenisca de grano fino a medio. Moderadamente a bien escogidas	-	0.3
B2	Arenisca de grano fino a muy fino. Moderadamente a mal escogidas	-	10.5
H	Secuencia rítmica de arenisca de grano fino a muy fino, bien escogidas, y proporciones variables de lutitas	En ocasiones estructuras de carga y/o rizaduras de corriente	1.6
HB	Secuencia rítmica de arenisca de grano fino a muy fino, moderadamente a mal escogidas, y proporciones variables de lutitas	En ocasiones estructuras de carga y/o rizaduras de corriente	0.3
L1	Lutitas de color gris oscuro a negro	Laminación paralela	11.1
L13	Lutitas, en ocasiones limosas, de color gris oscuro a negro con fragmentos de conchas de moluscos	-	5.9
L2	Lutitas de color gris oscuro a negro	Laminación paralela y en ocasiones estratificación cruzada tipo hummocky	6.5
L3	Limolitas y limolitas arenosas de color crema o gris oscuro a negro	-	1.6
L4	Mezcla caótica de lutita gris oscuro a negro con arenisca gruesa a conglomerática		0.4
L5	Lutita arenosa masiva de color gris oscuro a verdoso	-	1.6
C	Carbón y lutitas carbonosas de color gris oscuro a negro	Laminación paralela	1.7
P	Paleosuelo - Interpretativa		4.5

En la secuencia estratigráfica predominan las facies de arenisca con granulometría variable, que equivalen al 65 % de la misma y comprenden doce facies sedimentarias, seguidas en abundancia por seis facies arcillosas (27 %), mientras que tanto las facies carbonosa como heterolítica corresponden a menos del 2 % cada una. La facies interpretativa P, aparece identificada en las secuencias de seis pozos, entre ellos MUC-10 y MUC-11, se considera de esta manera ya que la litología puede ser variable, sin embargo se logró desarrollar vegetación para el momento de la depositación, lo que se evidencia como

abundantes restos de raíces y permite interpretarla como paleosuelo. Unificando la información del reporte de los núcleos de los pozos MUC-10 y MUC-11, en la figura 45 se representa la distribución de litofacies.

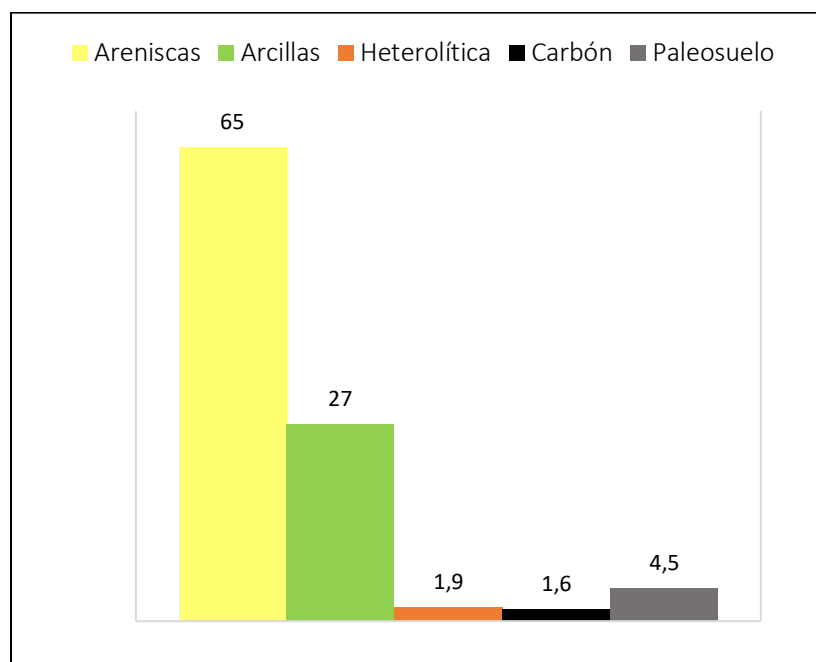


Figura 45– Distribución de litofacies en los pozos MUC-10 y MUC-11

5.1.2 CONSIDERACIONES PALEONTOLÓGICAS

Debido a la gran importancia de esta área en la exploración y producción de hidrocarburos, desde el año 1989 la Sección de Geología de INTEVEP cuenta con una gran cantidad de información bioestratigráfica obtenida a través del estudio de núcleos con la intención de establecer con mayor precisión el marco cronoestratigráfico correspondiente. La mayor parte de esta información ha sido publicada en informes técnicos individuales los cuales incluyen, para el campo Carito, el estudio de los núcleos en los pozos interés MUC-10 y MUC-11, por Sifontes *et al.* (1991) y Hernández *et al.* (1991) respectivamente. En las tablas 26 y 27 se muestran la recopilación de la información sobre icnología reportada y de bioestratigrafía respectivamente.

Tabla 26– Icnología reportada en el campo Carito. Tomado y modificado de Angulo y Rodríguez (2001)

ICNOLOGÍA	LITOFACIES PRESENTES
<i>Ophiomorpha</i> isp.	A1, A2, A3, A4, A41, A6, A7, A8, A81, B1, B2, HB,
<i>Thalassinoides</i> isp.	A1, A6, A8, B2, H, HB, L1, L13, L2, L3, L4
<i>Planolites</i> isp.	A2, A6, A7, A8, B2, H, HB, L1, L2, L3
<i>Chondrites</i> isp.	A6, B2, HB, L13, L3
<i>Teichichnus</i> isp.	A8, B2
<i>Asterosoma</i> isp.	A8, B2
<i>Macaronichnus</i> isp.	A81
<i>Arenicolites</i> isp.	A81

Tabla 27– Cuadro resumen de estudios bioestratigráficos en el campo Carito

POZO	AUTOR	INTERVALO MUESTRA (PIES)	TIPO DE ESTUDIO Y EJEMPLARES REPORTADOS	EDAD	AMBIENTE
MUC-11	Hernández et al. (1991)	15786'3" – 16411'9"	Foraminíferos: <i>Cassigerinella chipolensis</i> , <i>Globigerina praebulloides</i> . Palinomorfos: <i>Tuberculodinium vancampoae</i>	Oligoceno tardío – Mioceno	Transicional 15942' – 16531'
		16443'9" – 16597'6"	Foraminíferos: <i>Globigerina ciproensis</i> , <i>Globigerina leroyi</i> Palinomorfos: <i>Tuberculodinium vancampoae</i> , <i>Jandauforia seamrogiformis</i> , <i>Spirosyncolpites spiralis</i> , <i>Cicatricosisporites dorogensis</i>	Oligoceno tardío	
		16597'8" – 16600'8"	Foraminíferos: <i>Cassigerinella chipolensis</i> , <i>Globigerina ciproensis angulisutural</i> , <i>Globigerina leroyi</i>	Oligoceno medio - tardío	Nerítico interno 16531' – 16748'
		16600'8" – 16686'11"	Palinomorfos: <i>Polypodiisporites usmensis</i> , <i>Jandauforia seamrogiformis</i> , <i>Polysphaeridium zoharyi</i> ,	Oligoceno sin diferenciar	
	Sifontes et al. (1991)	16744' – 16747'10"	Datación Radiométrica	Paleoceno – Eoceno medio	-
MUC-10	Sifontes et al. (1991)	12465'8" – 12572'5"	Foraminíferos: <i>Cassigerinella chipolensis</i> , <i>Globigerina praebulloides</i> , <i>Globigerinoides primordius</i> , <i>Globigerina leroyi</i>		-

			Palinomorfos: <i>Polypodiisporites usmensis</i> , <i>Jandauforia seamrogiformis</i> , <i>Psilatricolporites triaungularis</i>	Oligoceno tardío – Mioceno temprano	-
		12635'10" - 12893'7"	Foraminíferos; <i>Globigerinoides</i> cf., <i>Globigerinoides primordius</i> , <i>Globigerina selli</i>	Oligoceno tardío	-


Para el campo Carito se procesaron un total de 259 muestras en ambos pozos y la selección de las muestras fue realizada de acuerdo a las litologías más apropiadas para la recuperación de microfósiles, especialmente lutitas y limolitas


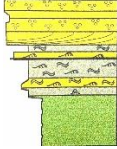


Las asociaciones de palinomorfos y foraminíferos planctónicos permitieron dividir la secuencia en varios intervalos de edad Eoceno medio – Oligoceno tardío – Mioceno temprano, sin embargo el análisis radiométrico efectuado en muestras seleccionadas de glauconita en el nivel de condensación contenido en el miembro operacional Naricual inferior, corroboran la edad de Eoceno medio para la base de este intervalo,

5.1.3 ASOCIACIÓN DE LITOFACIES EN CAMPO CARITO

A partir de la validación de las columnas estratigráficas de los pozos MUC-10, MUC-11 y MUC-18 realizadas por Angulo y Rodríguez (2001), se describen a continuación los depósitos sedimentarios propuestos tomando como base las asociaciones verticales de litofacies, estructuras sedimentarias e información bioestratigráfica reportada.

Tabla 28–Asociación de facies en el campo Carito. Tomado y modificado de Angulo y Rodríguez (2001)

ASOCIACIÓN DE FACIES	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	DEPÓSITO
H, A3, A1 L2 , L1, L13	Secuencia grano creciente de facies arcillosas de lutitas y hacia el tope facies arenosas		Depósito de posible barras de marea

H, L3, L1, L2, C A2, B1, B2 A81, A41, A1, A3	Secuencia grano decreciente de arenisca gruesa seguida de areniscas de menor granulometría y hacia el tope facies arcillosa o heterolíticas y en ocasiones carbón		Depósito de canales distributarios
A8, A2, B1, A3, A1 H, A6 L2, L1	Secuencia grano creciente de facies arcillosas de lutitas seguido de heterolíticas y facies arenosas		Depósito de barras de desembocaduras
A8, A5, A2 L1, L13	Sucesión de facies arcillosas con niveles arenosos de hasta 20'		Depósito de relleno de bahía
L2, L1 C, P	Sucesión de facies arcillosas con niveles limosos o arenosos con presencia de restos de raíces		Depósito de llanuras interdistributaria

5.2 ANÁLISIS DEL CAMPO EL FURRIAL

La zona del estudio se localiza al este del campo El Furrial, extendiéndose hasta el Campo Corozo y comprende un área de aproximadamente 38 Km². Para la caracterización geológica de los miembros informales inferior y superior de la Formación Naricual en el campo El Furrial, Figueroa (1999) consideró un total de 22 pozos, los cuales se representan en la tabla 29. Este autor se basó fundamentalmente en los estudios bioestratigráficos y descripciones litológica de los pozos COL-1X del campo Corozo y FUL-13 del campo El Furrial, realizadas por Isea *et al.* (1990) y Di Croce *et al.* (1990), quienes caracterizaron la sección del Oligoceno.

Para este estudio, se incluye además el análisis bioestratigráfico realizado por Isea *et al.*, (1992) en muestras de distintos núcleos del campo El Furrial y nombrados igualmente en la tabla 29.

Tabla 29– Pozos estudiados por distintos autores en el Campo El Furrial

AUTOR	POZOS
Isea <i>et. al.</i> , (1992)	FUL-1, FUL-2, FUL-5, FUL-6, FUL-7, FUL-12, FUL-13, FUL-14, FUL-N1, COL-1X
Figueroa (1999)	COL-1X, COL-2, COL-3, COL-4, COL-5X, FUL-3, FUL-9, FUL-13, FUL-16, FUL-32, FUL-36, FUL-41, FUL-44, FUL-49, FUL-54, FUL- 56, FUL-57, FUL-59, FUL-64, FUL-69, FUL-82, FN-9

El pozo FUL-13 es considerado pozo clave para el estudio sedimentológico y bioestratigráfico regional de las áreas mencionadas debido a que presenta núcleos continuos de 1470' de espesor, lo que permite alcanzar niveles tanto del Cretácico como Terciario, obteniendo así una amplia interpretación del campo.

5.2.1 DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA

En este análisis se utilizó la descripción de litofacies propuesta por Isea *et al.* (1990), la cual consiste en diez litofacies totales. Para la nomenclatura de codificación de facies sedimentarias se asigna una letra inicial que corresponde a la litología expresada en mayúscula, seguida en caso de ser necesario por un número con la intención de discriminarlas. La inicial para las facies arenosas es la letra A, las heterolíticas se refieren con la letra B, se tiene el código C para aquellas de carácter arcilloso como lutitas y limolitas, G para las facies con glauconita y L facies de caliza. La tabla 30 condensa la descripción detallada para cada una de las litofacies.

Tabla 30– Cuadro resumen de características para las facies sedimentarias en el campo El Furrial

FACIES	LITOLOGÍA	ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS	% OCURRENCIA
A1	Arenisca de grano grueso a muy grueso. Mal a muy mal escogidas	Estratificación cruzada planar	27
A2	Arenisca de grano fino a medio. Moderadamente a bien escogidas. En algunos niveles laminaciones carbonosas	Estratificación paralela, cruzada planar, de alto ángulo, festoneada.	18
A3	Arenisca con tamaño de grano variable, predominantemente de grano fino a medio. Comúnmente contienen restos de material carbonoso	-	4.5
A4	Arenisca de grano fino a muy fino. Zonas de concentración de minerales pesados	Laminación planar o rizaduras de corriente	8
B1	Secuencia rítmica de láminas de espesor menor a 5 cm de arenisca de grano fino y proporciones variables de lutitas	Rizaduras asimétricas, laminaciones onduladas y lenticulares, estructuras de carga	20
B2	Secuencia rítmica de láminas de espesor menor a 5 cm de arenisca de grano fino y proporciones variables de lutitas.	Muy bioturbada	2
C1	Lutitas masivas de color gris oscuro a negro. Contiene abundantes nódulos de siderita y/o pirita, y localmente presenta glauconita	-	4
C2	Limolitas masivas de color gris claro con laminaciones finas de arena y ocasionalmente lutitas. Ligeramente carbonosa	-	10
G1	Compuesta casi exclusivamente por glauconita con matriz de arcillas dispersas. Bajo contenido de clastos arenosos y limosos	-	6
G2	Compuesta por glauconita con más de 50 % contenido de clastos arenosos y limosos con matriz de arcillas dispersas	-	0.3
L	Caliza de color gris claro a marrón oscuro	-	0.2

Según los datos obtenidos de los núcleos del pozo FUL-13, el tope de la denominada unidad informal Naricual superior está representado por una mayor proporción de litofacies arenosas, donde predominan A1 y A2, mientras que en el miembro informal Naricual inferior las litofacies C1 y G1 son las más representativas, por lo que la unidad se considera principalmente arcillosa. Es importante señalar que esta unidad se caracteriza por la gran abundancia de glauconita, por lo que la litofacies G1 está limitada al intervalo donde ocurre el nivel de condensación. Así mismo, el único nivel carbonático presente en el núcleo está representado por la litofacies L únicamente en el cretácico, por lo que se excluye del análisis comparativo.

La figura 46 representa la distribución de las litofacies en el pozo FUL-13 del campo El Furrial, donde se observa una proporción mayor de areniscas por sobre las litofacies heterolíticas en segundo lugar, en el tercero lutitas, seguido de lutitas y glauconita.

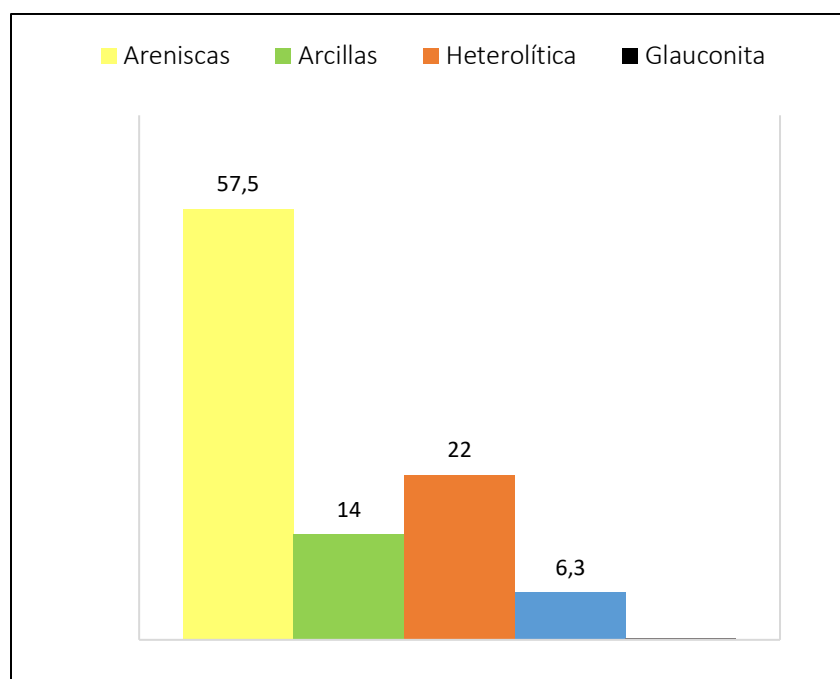


Figura 46– Distribución de litofacies en el pozo FUL-13

5.2.2 CONSIDERACIONES PALEONTOLOGICAS

Los estudios bioestratigráficos realizados en los núcleos continuos del pozo FUL-13 determinaron asociaciones de foraminíferos y palinomorfos que permitieron definir un intervalo de edad Cretácico - Paleoceno hacia la base del núcleo, seguido por un nivel de condensación a 15515' que corrobora la edad de Eoceno medio para esa profundidad. En este nivel, el estudio micropaleontológico realizado por Isea *et al.* (1990) indica que la diversidad de especies como *Polysphaeridium zoharyi*, *Globigerina ciperoensis*, *Globorotalia* sp., *Bolivina amazonenses*, *Globigerina praebulloides* y *Eponides* sp., es mayor que en otros niveles de la secuencia. Inmediatamente sobre esta sección glauconítica se encuentran abundantes palinomorfos y foraminíferos del terciario.

A partir de este intervalo, se agrega también el análisis bioestratigráfico el pozo FUL-12 realizado por Bauduhin *et al.* (1990) donde las asociaciones de palinomorfos y foraminíferos estudiadas siguieren una edad Oligoceno – Mioceno para la secuencia estudiada, así como un ambiente próximo costero a nerítico para ambos pozos. En esta secuencia se reportan ejemplares de, *Spirosyncolpites spiralis*, *Globigerina ciperoensis*, *Globigerina praebulloides*, *Criboperidinium tenuitabulatum*, *Psilatricolporites crassus*, *Psilatricolporites triangularis*, *Jaundufouria seamrogiformis*, *Polypodiisporites usmensis* y *Tuberculodinium vancampoeae*.

Para la selección de las muestras en el campo El Furrial se procesaron un total de 345 muestras en ambos pozos, perteneciendo 117 al FUL-12 y 228 al FUL-13. Como parte del análisis bioestratigráfico de los núcleos en el pozo FUL-13 y con el propósito de establecer un marco ambiental Isea *et al.* (1990) también reporta la icnología presente, en la tabla 31 se muestra la recopilación de esta.

Tabla 31– Icnología reportada en el campo El Furrial. Tomado y modificado de Isea et al. (1990)

ICNOLOGÍA	LITOFACIES PRESENTES
<i>Ophiomorpha isp.</i>	A1, A2, A3
<i>Planolites isp.</i>	A3, B, C1
<i>Chondrites isp.</i>	A2, A3
Paleo raíces	A2, C2

5.2.3 ASOCIACIÓN DE LITOFACIES EN CAMPO EL FURRIAL

Con la intención de comprender los sub-ambientes de sedimentación, se validaron las columnas estratigráficas de los pozos COL-1X, FUL-12 y FUL-13 realizadas por Isea *et al.* (1990) y Figueroa (1999), las tablas 32 y 33 condensan los principales depósitos interpretados y validados según las asociaciones verticales de facies y las estructuras sedimentarias observadas en los núcleos de cada pozo.

Tabla 32–Asociación de facies en FUL-13. Tomado y modificado de Figueroa (1999)

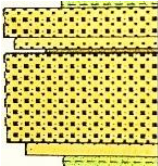
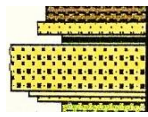
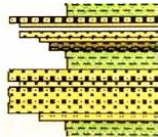

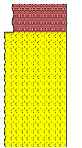

ASOCIACIÓN DE FACIES	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	DEPÓSITO
A3 A2, A1	Secuencia grano creciente de facies lutitas seguida al tope de areniscas de variable granulometría		Depósito de posible barrera (reinterpretado)
A2, A1 A4 C1	Secuencia grano creciente de facies arcillosas de lutitas seguido de facies arenosas de grano grueso al tope		Depósito de barras costeras
A4, A3 o A1 o B1 C1, C2	Secuencia grano creciente de facies arcillosas alternadas con facies arenosas		Depósito de barras sublitorales

Tabla 33 –Asociación de facies en FUL-12. Tomado y modificado de Isea et al. (1990)

ASOCIACIÓN DE FACIES	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	DEPÓSITO
A1, A2	Cuerpo arenoso de hasta 70' (21 m) al tope y a la base de la secuencia		Depósito de isla de barrera (reinterpretado)
A1, A2, A4, B1, B2	Cuerpos arenosos de grano grueso a fino, seguido de facies heterolítica		Depósito de lavado (H), junto a isla de barrera (Af) (reinterpretado)
A4, B2, C1, C2	Secuencia de facies arcillosas de lutita, limolita, heterolíticas y facies arenosas de grano fino a muy fino y presencia de carbones		Depósito de laguna o bahía costera. Marismas

5.3 INTERPRETACIÓN AMBIENTAL PARA LOS CAMPOS CARITO Y EL FURRIAL

En base a los reportes finales de las evaluaciones geológicas en los núcleos de los pozos MUC-10, MUC-11, FUL-12 y FUL-13, la revisión y validación de las columnas estratigráficas existentes permitió focalizar la información sedimentológica e hizo posible interpretar el ambiente de sedimentación para los campos Carito y El Furrial a través del análisis de los patrones de grano secuencias, las características de las asociaciones de facies que se definen y la fauna reportada.

Los yacimientos de los campos Carito Norte, Central y Oeste resultan heterogéneos, tanto vertical como lateralmente, de acuerdo al conjunto de subambientes definidos para los pozos MUC-10 y MUC-11 como resultado de la interacción del conjunto de procesos dinámicos se determina un ambiente sedimentario deltaico, pudiéndose apreciar depósitos de canales distributarios, barras de desembocadura, barras de mareas, relleno de bahía y llanura interdistributaria, siendo estos característicos de la llanura deltaica inferior y el frente

deltaico, donde la influencia fluvial se hace evidente debido a la presencia de depósitos de llanuras de inundación, sin embargo el análisis de las estructuras sedimentarias e icnología presente permite interpretar que el delta se ha formado bajo condiciones de baja energía de oleaje .

Para el campo El Furrial, el análisis de las litofacies en conjunto con los estudios bioestratigráficos permitió interpretar el ambiente de sedimentación en la secuencia del Terciario, el cual se define como un complejo próximo costero que presenta depósitos de barras y barreras para el FUL-13, añadiendo depósitos de laguna y marismas para FUL-12.

La presencia de palinomorfos terrestres y la poca abundancia de trazas fósiles y foraminíferos planctónicos corroboran que la secuencia sedimentaria se depositó en un ambiente próximo costero, específicamente en un sistema de isla de barrera, el cual se caracteriza por la presencia de carbones y paleosuelos de mayor espesor y extensión lateral con respecto al campo Carito, donde los intervalos con paleosuelos son generalmente limolitas o areniscas muy finas, esto fortalece su importancia como marcadores regionales de correlación; otro marcador estratigráfico importante en los yacimientos estudiados es el nivel de glauconita, el cual puede evidenciarse en distintos pozos de los campos del norte de Monagas, destacando en el FUL-13, es conveniente señalar que aun cuando estratigráficamente este marcador no corresponda con la edad de la Formación Naricual en superficie, nos permite reconocer que la secuencia deseada se debe encontrar suprayacente al mismo.

En la figura 47 se muestra el modelo estratigráfico por secuencias desarrollado en el Proyecto Integrado Norte de Monagas (PINM) por Guzmán *et al.* (2001) a nivel subregional para los yacimientos profundos de edad Terciario y Cretácico de los campos estudiados. Este modelo presenta siete secuencias para el Terciario y tres para el Cretácico, donde la secuencia T1 contiene la sección condensada presente en los campos El Furrial y Corozo, la cual se asocia a un fuerte evento de profundización marina bajo condiciones restringidas, compuesto por lutita y glauconita depositadas por encima de una plataforma carbonática.

Proponen de igual forma para los yacimientos en la secuencia T1 sean ubicados dentro del sistema de bajo nivel (LST) con relleno fluvial y transgresivo (TST) con relleno estuarino, probablemente en comunicación vertical con los yacimientos del Cretácico infrayacentes y separados de la secuencia T2 suprayacente por el intervalo de condensación.

Los resultados de bioestratigrafía permitieron diferenciar tres secuencias estratigráficas bien definidas: Maastrichtiense – Paleoceno, Eoceno medio – Oligoceno temprano y Oligoceno tardío-Mioceno temprano, también aportaron datos paleoambientales, los cuales se complementaron con la información sedimentológica disponible, y confirman las interpretaciones sedimentológicas, donde en la secuencia se estableció de manera general, ambiente de sedimentación nerítico interno a fluvio-deltaico para el campo Carito y nerítico interno a próximo costero con desarrollo de isla de barrera para el campo El Furrial.

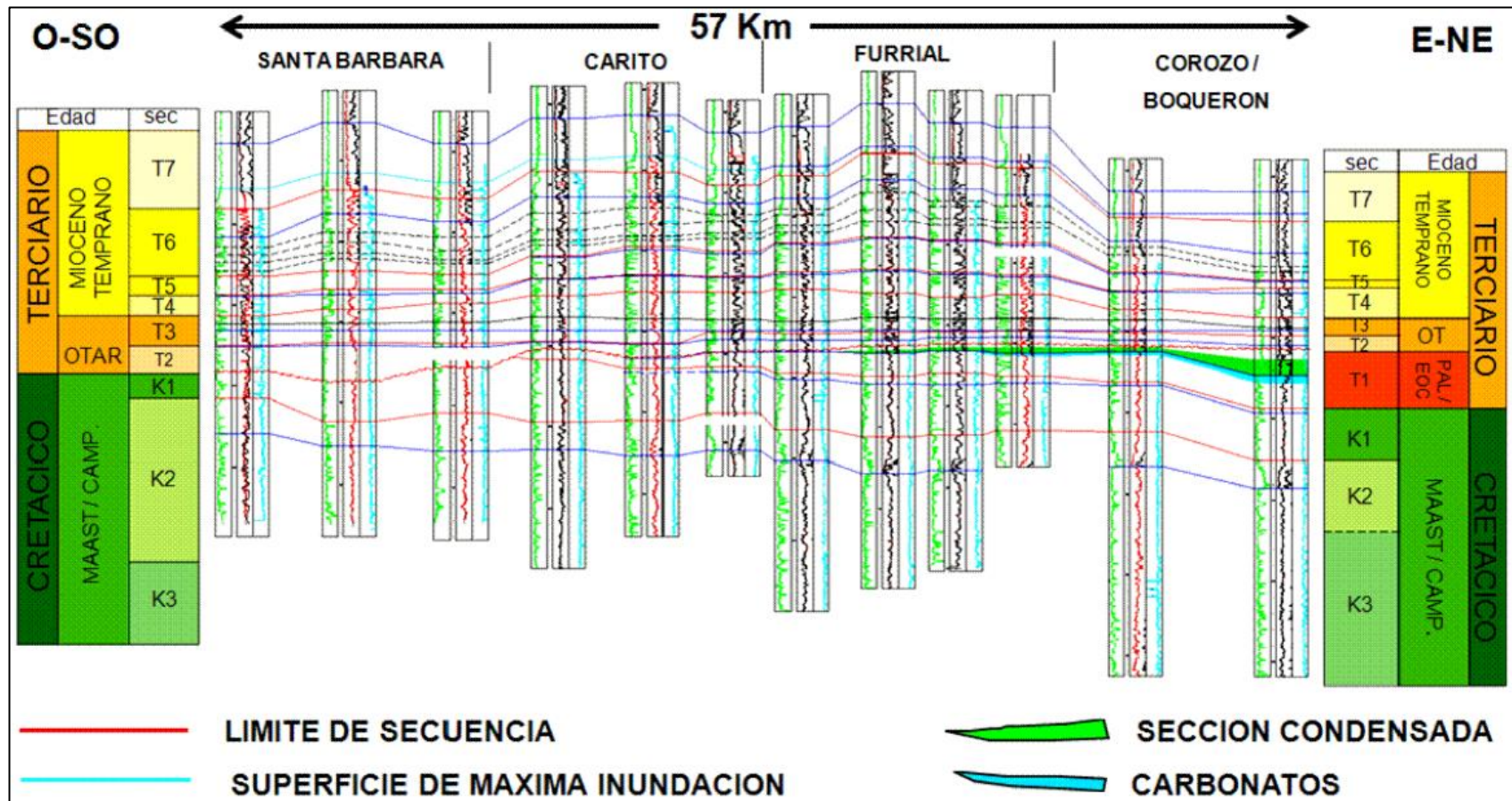


Figura 47– Sección cronoestratigráfica del cretácico y terciario generada por el PINM.
Tomado de Guzmán et al. (2001)

CAPÍTULO 6

COMPARACIÓN DE LA FORMACIÓN NARICUAL EN SUPERFICIE CON SUBSUELO

Para la caracterización sedimentológica y estratigráfica de la Formación Naricual en su localidad tipo y en subsuelo, específicamente en los campos Carito y El Furrial, se consideraron las características litológicas, los estudios bioestratigráficos y las asociaciones verticales de facies en la unidad.

La distribución de las litofacies definidas para las zonas A y C en superficie, así como su asociación vertical permitieron interpretar elementos arquitecturales característicos de un sistema de islas de barreras con desarrollo de laguna costera (*lagoon*) y episodios de complejo estuarino con influencia de oleaje, de igual manera esta interpretación paleoambiental corresponde para el campo El Furrial según el análisis de los núcleos del pozo FUL-12, donde se observan depósitos de laguna y de isla barrera, así como también sucede en FUL-13 donde se observa la abundancia de facies arenosas de grano variable siendo en su mayoría limpias y bien escogidas que generan cuerpos arenosos característicos del complejo de barras.

Sin embargo, para el campo Carito los procesos sedimentarios resultan propios de un sistema deltaico donde se evidencian subambientes de plano deltaico bajo como bahías y llanuras interdistributaria, donde las secuencias de areniscas que caracterizan las barras de desembocadura no descartan la influencia de las mareas en el ambiente de sedimentación.

Con respecto al marco cronoestratigráfico definido para la Formación Naricual en la localidad tipo es de edad Oligoceno tardío a Mioceno temprano, abarcando esta última el mayor espesor de la secuencia sedimentaria, mientras que en las unidades operacionales Naricual inferior y superior, sólo el intervalo al que se le denomina Naricual superior corresponde en edad y ambiente de sedimentación con la definida en superficie.

En subsuelo la unidad operacional Naricual inferior contiene hacia su base un nivel glauconítico de edad Eoceno, esta sección condesada es considerada equivalente lateral de la Formación Areo o lutita de Areo del Grupo Merecure por Furrer y Castro Mora (1997),

cuya fauna está representada por foraminíferos grandes de los géneros *Lepidocyclina* y *Discocyclina* muy mal preservados, se presentan también *Globigerina ampliapertura*, *Globigerina ciperoensis*, *Sphaeroidina variabilis*, *Cyclamina cancellata* y *Haplophragmoides* sp. Sin embargo, este horizonte bioestratigráfico es solamente apreciable en el FUL-13 a una profundidad de 15560' y en MUC-11 a 16744', por lo que la secuencia deseada debe encontrarse suprayacente a estos intervalos, dicho esto el miembro informal Naricual inferior no corresponde crono estratigráficamente con la unidad formal de la Formación Naricual.

La ausencia de paleosuelos visibles en superficie, así como los espesores de hasta 3.5m en los carbones de la Formación Naricual para su localidad tipo, los diferencian de los carbones observados en los núcleos de los campos Carito y El Furrial, siendo estos más delgados y asociados con paleosuelos bien definidos. Con respecto al análisis de los grupos macerales más abundantes, en la sección tipo prevalecen la vitrinita y la exinita, mientras que en los yacimientos predominan vitrinita e inertita según Socas (1990). Tanto en superficie como en subsuelo, el porcentaje de vitrinita resulta mayor al 80 % lo que demuestra un origen fluvial, que junto al porcentaje de cenizas y sulfuros de los análisis petrográficos siguieren frecuentes invasiones marinas durante el proceso de diagénesis de la materia orgánica.

En vista del complejo marco estructural al norte del estado Monagas donde el contacto hacia el Este entre las formaciones suele ser truncado y difícil de diferenciar por la tectónica ejercida en el área, y siendo este notoriamente diferente en el Estado Anzoátegui donde aflora la localidad tipo de la Formación Naricual, se debe reconocer que aun cuando existe similitud en los procesos de sedimentación entre las unidades formales e informales comparadas en este estudio, Isea et al., (1992) plantean la necesidad de redefinir la nomenclatura estratigráfica en el área norte de Monagas para el Terciario a partir de los resultados bioestratigráficos obtenidos en su estudio, de igual forma Guzmán et al., (2002) exponen que la aplicación de una nueva nomenclatura operacional permitirá correlacionar eventos estratigráficos equivalentes entre campos separados por procesos estructurales.

Por las razones mencionadas y conjuntamente al análisis comparativo realizado en este estudio de investigación, se propone corregir el mal uso en la nomenclatura operacional que se ha venido empleando en los miembros informales Naricual inferior y superior en subsuelo, ya que los marcadores estratigráficos definidos inicialmente contienen información sedimentológica que se considera como equivalente lateral de la Formación Areo, así mismo en base a la evidencia cronoestratigráfica obtenida solo el miembro informal Naricual superior se puede considerar como correspondiente con la sección tipo en superficie.

Por lo que se sugiere que la nomenclatura más adecuada para la unidad del Terciario en subsuelo sea Formación Naricual para el miembro informal Naricual Superior mientras que para el miembro informal Naricual Inferior se proponen integrar información con otros campos del norte de Monagas con la intención de establecer nuevos y mejores marcadores estratigráficos que permitan establecer horizontes entre los miembros del Grupo Merecure y sus equivalentes laterales.

La tabla 34 condensa las principales características de las zonas de estudio, comparadas según cada autor con la intención de obtener la mejor comprensión de las diferencias y/o similitudes entre las edades y los ambientes interpretados para la Formación Naricual en superficie y en subsuelo.

	FORMACIÓN NARICUAL EN SUPERFICIE		FORMACIÓN NARICUAL EN SUBSUELO		
	Localidad tipo		Campo Carito	Campo El Furrial	
			MUC-10 , MUC-11	FUL-12	FUL-13
Autor	Socas (1990)	Díaz (2023)	Angulo y Rodríguez (2001)	Isea <i>et al.</i> (1992)	Figueroa (1999)
Depósitos	<ul style="list-style-type: none"> • Canal fluvial • Canal distributivo • Bahía interdistributaria • Barra de frente deltaico • Canales y lóbulos deltaicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Canal fluvial • Canal distributivo • Canal abandonado • Barras de frente deltaico (estuario) • Boca de estuario • Laguna (<i>lagoon</i>) • Planicie de marea • Lavado (<i>washover</i>) • Barras de playa • Isla de Barrera 	<ul style="list-style-type: none"> • Canal distributivo • Bahía interdistributaria • Barras de desembocadura • Posible barras de marea • Llanura interdistributaria 	<ul style="list-style-type: none"> • Barras costeras • Isla de barrera • Laguna o bahía costera y marisma • Lavado (<i>washover</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Barrera • Barras costeras • Barras sublitoral
Ambiente	Deltaico a marino costero (plataforma interna – media)	Próximo costero: Complejo estuario con dominio de oleaje y desarrollo de isla de barreras y laguna	Deltaico: Frente deltaico y llanura deltaica inferior	Próximo costero: sistema de isla de barrera - Nerítico interno	Próximo costero: sistema de isla de barrera y complejo estuarino
Edad	Oligoceno tardío – Mioceno temprano	Oligoceno tardío – Mioceno temprano	Eoceno medio – Mioceno temprano	Oligoceno temprano – Mioceno temprano	Eoceno medio – Mioceno temprano
Espesor	767 m – Zona C	1596,3 m - Zona A + 767 m – Zona C	Núcleos no continuos MUC-10: 878' = 267.6 m Núcleos continuos MUC-11: 940' = 286.5 m	Núcleos continuos 230' = 70,1 m	Núcleos continuos 1055' = 321,6 m

Tabla 34- Tabla comparativa de la Formación Naricual en superficie con subsuelo según los diferentes autores incluyendo este estudio (Díaz 2023)

CONCLUSIONES

- Para las Zonas A y C, ubicadas en la localidad tipo de la Formación Naricual, se definieron un total 10 litofacies, de las cuales 5 son arenosas (Af, Am, Ag, Aa, Cg), 2 son arcillosas (L, La), 1 heterolítica y 2 facies carbonosas (Lc, C).
- El análisis macerológico petrográfico cuantitativo en las muestras de carbones de la Formación Naricual en superficie indica que los macerales más abundantes son la vitrinita y la exinita. Y se clasifican según la norma ASTM D388 como bituminoso perteneciente al grupo 4B.
- Los carbones en la zona de la localidad tipo se caracterizan por no tener paleosuelos visibles en campo y se asocian a los depósitos de lagunas costeras por sus espesores de hasta 3.5 m, siendo uno de los rasgos más característico de la Formación Naricual en superficie.
- El ambiente de sedimentación en la localidad tipo, para las zonas A y C se interpreta como próximo costero caracterizado por el desarrollo de isla de barrera y laguna costera en complejo estuarino con dominio de oleaje. Se definen cuatro grandes zonas dentro del complejo estuarino en las que se aprecian sus principales depósitos, los cuales son: isla de barrera, laguna/manglar, depósitos de lavado, barras de playas, planicie de marea y canales distributarios y estuarino.
- Se válida para la sección estratigráfica estudiada en el campo Carito (pozos MUC-10 y MUC-11) un ambiente de depositación deltaico, en el cual se identifican los siguientes depósitos sedimentarios: llanura interdistributaria, barras de desembocadura, barras de marea, bahía interdistributaria y canales distributarios, los cuales no resultan similares a los del campo El Furrial, ni

semejantes con los depósitos interpretados para la Formación Naricual en superficie.

- La secuencia de rocas que constituyen los pozos FUL-12 y FUL-13 del campo El Furrial son el resultado de una sedimentación en un ambiente próximo costero caracterizada por la presencia de cuerpos arenosos (barras costeras, barras sublitorales e isla de barreras) y depósitos arcillosos de laguna o bahía costera, estos últimos sólo se distinguen en los núcleos del pozo FUL-12 y coinciden con los depósitos interpretados en superficie para las zonas A y C de la Formación Naricual en su localidad tipo.
- En los núcleos de los pozos MUC-11 y FUL-13 se aprecia el nivel de condensación, cuyo estudio radiométrico le otorga una edad Eoceno medio y está contenido en la unidad operacional denominada Naricual Inferior, lo cual no es correspondiente en edad con la unidad estratigráfica formal de la Formación Naricual.
- La unidad operacional Naricual Superior es correspondiente en edad y procesos depositacionales con la Formación Naricual en su localidad tipo.
- Se propone que la nomenclatura más adecuada para la Formación Naricual en subsuelo, en los campos Carito y El Furrial, sea denominar Formación Naricual al miembro informal Naricual Superior mientras que para el miembro informal Naricual inferior se propone integrar información con otros campos del norte de Monagas con la intención de establecer nuevos y mejores marcadores estratigráficos que permitan establecer horizontes entre los miembros del Grupo Merecure y sus equivalentes laterales.

RECOMENDACIONES

- Realizar nuevos trabajos de campo en la localidad tipo (Zonas A y C) con la visión del ambiente propuesto y buscar elementos indicativos como estructuras sedimentarias diagnósticas para mejorar el modelo.
- Estudiar la zona B con la intención de comprobar la presencia del depósito canal de marea (*inlet*), interpretar otros elementos arquitecturales y validar su relación con los demás subambientes definidos para las zonas A y C.
- Elaborar a detalle un mapa de las muestras tomadas en campo para las zonas de interés, así como cartas faunales donde se reporte abundancia y ocurrencia adecuada.
- Realizar análisis de geoquímica orgánica en carbones de las zonas A y C para reforzar la interpretación paleoambiental del área, integrar con otros estudios de macerales como TPI y GI para también confirmar su madurez.
- Definir una menor cantidad de facies en subsuelo, especialmente en el campo Carito, lo más idóneo es que sea en base en litología, tamaño de grano y estructura sedimentaria, si la roca se encuentra muy bioturbada codificar aparte o identificar los icnofósiles con la respectiva abundancia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society for Testing Materials (D^o): Annual book of the ASTM. Philadelphia, D-388-89.

Angulo, S. y Rodríguez J. (2001). Estudio sedimentológico de la Formación Naricual de los campos Carito Norte y Carito Oeste al norte del estado Monagas. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 270p.

Anthony, A., J. Atwood, P. August, C. Byron, S. Cobb, C. Foster, C. Fry, A. Gold, K. Hagos, L. Heffner, D. Q. Kellogg, K. Lellis-Dibble, J. J. Opaluch, C. Oviatt, A. Pfeiffer-Herbert, N. Rohr, L. Smith, T. Smythe, J. Swift, and N. Vinhateiro. (2009). *Coastal lagoons and climate change: ecological and social ramifications in U.S. Atlantic and Gulf coast ecosystems*. *Ecology and Society* 14(1): 8p.

Arenillas, L., Alegret, L., Arz, J.A. y Molina, E. (2000). El uso didáctico de los foraminíferos en la enseñanza de ciencia de la Tierra: su distribución paleoceanográfica en el tránsito Cretácico-Terciario. *Revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. Departamento de Ciencias de la Tierra. Universidad de Zaragoza. 108-118 p.

Aymard, R., Pimentel, P., Chaouch, A., Navarro, J., Mijares, J., y Pererira, J. (1990). *Geological Integration and Evaluation of Northern Monagas, Eastern Venezuela Basin*. *Geological Society of London, Special Publication* N° 50. 37-53p.

Bellizzia, A. y Martin, C. (1954). Geología y reservas de la cuenca carbonífera de Naricual, estado Anzoátegui. III Congreso Geológico Venezolano, Editorial Sucre, Caracas. 33-55p.

Brasier, M. y Armstrong, H. (2005). *Microfossils. Second edition*. 296p.

Chapman, VJ. 1960. *Salt marshes and salt deserts of the world*. *Interscience Publishing*, New York. 392p.

Comisión Venezolana de Estratigrafía y Terminología. (1970). *Léxico Estratigráfico de Venezuela*. Boletín de geología, Publicación especial N4, Editorial Sucre, Caracas. 756p.

Cross, T. A., y Homewood, P. W. (1997). *Amaz Gressly's role in founding modern stratigraphy*. *Geological Society of America bulletin* 109 (12). 1617-1630p.

Di Croce, J., Bally, A. y Vail, P. (1999). *Sequence Stratigraphy of the Eastern Venezuelan Basin*. Elsevier Science B.V. Amsterdam. 419-476p.

Dalrymple, R., Zaitlin, B., Boyd, R. (1992). *Estuarine facies models: conceptual basis and stratigraphic implications*. *Journal of sedimentary petrology*, vol. 62, no. 6. 1130-1146p.

Di Croce, J., Truskowski, I., Fasola, A., Ghosh, S. y Lambertini, R. (1990). Estudio geológico del pozo COL-1X, norte de Monagas. Informe interno de PDVSA- Intevep. INT-EPCT-00004, 1990 35p.

Erlich, R. N, and Barrett, S. F. (1992) *Petroleum Geology of the Eastern Venezuela Foreland Basin*, in Macqueen, R. W, and Leckie, D.A. (Eds) , *Foreland basins and fold belts: AAPG Memoir* 55. 341-362p.

Escobar, M. y Martínez, M. (1993). Características geoquímicas y petrográficas de los principales yacimientos carboníferos venezolanos. INTERCIENCIA Vol. 18, N°1. 10-15p.

Estéves, I y Martínez, M. 1997. El origen del carbón. Consideraciones generales acerca del proceso de formación. *Revista de la Sociedad Venezolana de Química*, 20 (2). 3-6p.

Figueroa, K. (2005). Evaluación del proceso de inyección de agua, en el área oeste flanco norte yacimiento Naricual superior del Campo El Furrial mediante el modelo de simulación v-9. Trabajo especial de grado, Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui. 182p.

Figuroa, M. (1999) Caracterización geológica del miembro medio/superior de la Formación Naricual, en el sector oriental del campo El Furrial y el campo Corozo, subcuenca de Maturín Norte del estado Monagas. . Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 148p.

Gaceta Oficial 41.648. Resolución Nro. 043 del Ministerio del Poder Popular de Petróleo. 5 de junio de 2019.

Galloway, W. (1978). *Genetic stratigraphic sequences in basin analysis I: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. AAPG Bulletin 73. 125-142p.*

Gardueza, V. (2019). Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, A.C., Volumen LXI, Nro. 2.

González de Juana, C., y Agueverre, S. (1938). Informe geológico de parte de los depósitos de carbón del río Naricual. Boletín de Geología y Minería N1, Tomo II del Ministerio de Energía y Minas. 5-32p.

González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. y Picard, X. (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Caracas, Ed. Foninves. 2 tomos. 1031p.

Gutiérrez, R., y Salazar, M. (1989). Características geológicas del campo El Furrial, Lagoven S.A, REVISTA GEOS, N°29.

Guzmán, J., Luna, F., Maguregui, J., Carrillo, M., Mezones, A., Higuera, D., y Oropeza, H. (2002). Modelo sedimentológico integral del cretácico superior en el alineamiento estructural Santa Bárbara- Boquerón, Norte de Monagas. Proyecto Integral Norte de Monagas (PINM), Informe Interno PDVSA Intevep, INT-9506-2002, Los Teques, PDVSA- Intevep.

Guzmán, J. I., F. Luna, J. Lima, H. Oropeza, M. Carrillo, C. Uroza, E. Sampson, M. Moreno, J. A. Maguregui, M. Quintero, y L. Rodríguez. (2001). Modelo Estratigráfico por Secuencias del

Alineamiento Estructural Santa Bárbara - Boquerón, Norte de Monagas. INT-8296-2001, Los Teques, PDVSA- Intevep.

Hayward, B. (2014) *“Monospecific” and near monospecific benthic foraminiferal faunas, New Zealand. Journal of foraminiferal research*, V. 44, n° 3. 300p.

Hernández, E., Terán, L., Giffuni, G., y Paredes, I. (1991). Evaluación geológica de núcleos en Anzoátegui y Norte de Monagas: Evaluación geológica de los núcleos del pozo CAN-103 (MUC-11). Volumen I. PDVSA INTEVEP. Los Teques. 171p.

Isea, A., Paredes I., Terán, L., y Canache, M. (1990). Caracterización del yacimiento en el área El Furrial – Musipán: sección Oligocena. Informe interno de PDVSA - Intevep. Los Teques, PDVSA- Intevep. 125p

Isea, A., Paredes I., Terán, L., y Canache, M. (1992). Evaluación geológica de núcleos del norte de Monagas y Anzoátegui: Síntesis bioestratigráfica de las áreas El Furrial y Carito, norte de Monagas. INT-EPCT – 0010-1992, Los Teques, PDVSA- Intevep. 37p

López, A. y Ollarves, A. (2017). Evaluación del proceso de GAGD en las Arenas Naricual – Campo El Furrial. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 119p.

Macsotay, O. (1978). Formación Naricual: un yacimiento carbonífero de origen turbidítico proximal del mioceno en de Venezuela Oriental. Boletín N24 del Ministerio de Energía y Minas, 263-300p.

Martínez, M (2001). Geología y geoquímica del carbón mineral. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela.

Márquez, C., Benkovics, L., De Mena, J., Reverón, J., Fintina, C., y Novoa, E. (2002). Modelo estructural regional en profundidad del Norte de Monagas. Proyecto Integral Norte de Monagas (PINM), Informe Interno PDVSA Intevep, INT-9559-2002. Los Teques, PDVSA- Intevep

Miall, A.D., (1990). *Principles of Sedimentary Basin Analysis. 2nd edition Springer*. Ontario, Canada. 668p.

O' Keefe, J., Bechtel, A., Christanis, K., Dai, S., DiMichele, W.A., Eble, C.f., Esterle, J.S., Mastalerz, M., Raymond, A.L., Valentim, B.V., Wagner, N.J., Ward, C.R., y Hower, J.C. 2013. *On the fundamental difference between coal rank and coal type. International Journal of Coal Geology*, 118. 58–87p.

Pemberton, S., y McEachern, J. (2008). *The use of trace fossil in sequence stratigraphy, exploration and production geology. Applied Ichnology course*. Canadá. 195-212p.

Rojas, F. y Alviarez, J. (2007). Modelo Sedimentológico de la secuencia cretácica en el campo El Furrial, de la Cuenca Oriental de Venezuela al norte del estado Monagas. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 143 p.

Rull, V. (1998) Evolución de los manglares neo tropicales: la crisis del eoceno. INTECIENCIA, Vol. 23 N°6. 355-362p.

Sifontes, R., Giffuni, G., Paredes, I., y Terán, L. (1991). Evaluación geológica de núcleos en Anzoátegui y Norte de Monagas: Evaluación geológica de los núcleos del pozo CAO-301 (MUC-10). Volumen I. PDVSA INTEVEP. Los Teques. 91p.

Schopf, J. 1956. *A definition of coal. Economic geology*, 51 (6). 521-527p.

Sen, S., Naskar, S., y Das, S. 2016. *Discussion on the concepts in paleoenvironmental reconstruction from coal macerals and petrographic indices. Marine and Petroleum Geology*, 79. 371-391p.

Socas, M. (1990). Estudio Sedimentológico de la Formación Naricual estado Anzoátegui. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 287p.

Stevens, S., Kuuskraa, V., Van Leeuwen, T., Moodhe, K. (2011) *World Shale Gas Resources: An Initial Assessment of 14 Regions Outside the United States*, *Advanced Resources International (ARI)*. 365p.

Subieta, T., Carnevali, J. y Hunter, V. (1988). Evolución tectonoestratigráfica de la Serranía del Interior y de la subcuenca de Maturín. III Simposio Bolivariano, Sociedad Venezolana de Geólogos. Memoria, 2. 548-578p.

Teichmüller, M. 1989. *The genesis of coal from the viewpoint of coal petrology*. *International Journal of Coal Geology*, 12. 1-87p.

Vera, T. (1994). *Estratigrafía: Principios y Métodos*. Editorial Rueda, S.L., Madrid, España.

Walker, R y James, N. (1992). *Facies Model. Response to Sea Level Change*. *St. John's Newfoundland, Canada, Geological Association of Canada*.

Yoris, F., y Ostos, M. (1997). *Well Evaluation Conference (WEC – Evaluación de pozos)*. Schlumberger Sureenco. Caracas. 406p.

Zambrano, G. y Martínez, M. (2004). Caracterización del área de Carito a nivel del terciario mediante la integración de atributos sísmicos y parámetros petrofísicos. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas. 168p.