

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS
PROFUNDOS DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS DEL CAMPO
EL CARITO, MUNICIPIO EZEQUIEL ZAMORA PUNTA DE
MATA ESTADO MONAGAS**

**TRABAJO DE GRADO
PRESENTADO POR EL
BACHILLER CESAR A.
GERARDINO P. PARA
OPTAR AL TÍTULO DE
GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, JULIO 2011

HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado, intitulado “**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS ACUÍFEROS PROFUNDOS DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS DEL CAMPO EL CARITO, MUNICIPIO EZEQUIEL ZAMORA PUNTA DE MATA ESTADO MONAGAS**”, presentado por el bachiller **Gerardino Predique, César Alexander**, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombres:

Firmas:

Profesor Lino Castillo

(Asesor)

(Jurado)

(Jurado)

Profesora Rosario Rivadulla
Jefe del Departamento de Geología

Ciudad Bolívar, _____ de _____ de 2011

DEDICATORIA

A Dios y su inmenso poder que en momentos difíciles me abrió el camino y despejó mi mente para tomar decisiones importantes en la vida.

A mis amados padres Julio C. Gerardino I. y Carmen R Pedrique de Gerardino, por darme la oportunidad de nacer, por sus consejos, por apoyarme constantemente con sacrificio en todo lo que necesité y enseñarme a tener principios y ser una mejor persona, sin ellos hubiese sido difícil lograr todas mis metas gracias.

A mi hermana Leslie N. Gerardino P. la cual admiro por su dedicación y sus logros siendo un estímulo y ejemplo para seguir adelante. A mi segunda hermana Juleicar J. Gerardino P. por darme muchas alegrías y ser más que una hermana ser mi amiga, mi cariño hacia ustedes es inalcanzable.

A mi abuela Martina Idrogo por darme todo su querer incondicionalmente, ese mismo querer hacia ti es igual de grande y a mi abuela María de Pedrique.

A mis abuelos (†), Luis Marcial Gerardino y Juan Ramón Pedique por todo el cariño que me brindaron, y si hay una vida después de ésta, yo espero que estén felices y en paz siempre.

A tí Dianita Carolina mi amor por estar allí siempre cuando lo necesité, siempre te querré.

César Alexander Gerardino Pedrique

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Oriente Núcleo Bolívar, donde adquirí todos los conocimientos de cada uno de sus profesores que fueron una pieza importante para realizar este proyecto. A mi tutor académico y más que un amigo, Profesor Lino Castillo y la Profesora Iris Marcano por toda su ayuda y apoyo, por su orientación y enseñanza. A Petróleos de Venezuela S. A, (PDVSA) en especial a la Gerencia de Yacimientos Someros y Aguas Subterráneas por permitirme realizar este Trabajo de Grado en sus instalaciones y muy especialmente a los ingenieros Juana Carrión, Rebeca Parra, Julio Torrealba, Nanhil Bernabé, Hernán Guzmán, Isidoro Rodríguez, Ana Gómez, Jirmen Pírto, Jose Razzak y Marielis Naranjo por su apoyo y ayuda cuando la necesité, a María Rodríguez y Annibel León, por su amistad, su ayuda y preocupación se les quiere mucho, y muy en especial a mi co-tutor industrial Jesús Carvajal y mi tutor industrial Andrés Cabrera, por brindarme su amistad, sus conocimientos, y sus experiencias en todo lo que necesite, muchas gracias.

César Alexander Gerardino Pedrique

RESUMEN

Este estudio se realizó en el campo El Carito del municipio Ezequiel Zamora en Punta de Mata, estado Monagas. Tiene como objetivo principal caracterizar las arenas basales de la Formación Las Piedras a fin de determinar su extensión lateral, características estructurales, variaciones de espesores, ambiente de sedimentación, la calidad y origen genético de las aguas, que permitirá para los futuros proyectos el aprovechamiento de los acuíferos. La metodología consistió en la búsqueda y selección de información (registros eléctricos, informes técnicos) en el Centro de Información Técnica de Exploración y Producción, en las bases de datos de PDVSA (SIMDE), elaboración de secciones estratigráficas y estructurales con la finalidad de revisar los límites laterales y verticales de los acuíferos, elaboración de mapas isópacos estructurales, análisis de electrofacies y determinación del paleoambiente, definir el origen de las aguas de formación a partir de análisis físico-químicos y aplicar el método de Sulín para su clasificación. De la interpretación de las secciones estratigráficas se observó que existe continuidad lateral y areal de los acuíferos que litológicamente presentan arenas con un espesor promedio de 200 pies. Las secciones estructurales arrojaron que las arenas están dispuestas de forma sub horizontal, y evidencia que la Formación Las Piedras no fue afectada por esfuerzos compresivos o extensivos validados por los análisis sísmicos-estructurales. Los mapas isópacos-estructurales reflejan que Formación Las Piedras se depositó sobre una superficie de erosión. Del análisis de registros de pozos y el mapa de paleoambiente se interpretó un ambiente deltaico por la presencia de canales distributarios, barras de canales y llanuras de inundación. De los análisis físico-químicos se determinó que las aguas presentan pH y valores de sólidos totales disueltos no son aptos para el consumo humano y que son de origen meteórico según el método de Sulín y que corresponden acuíferos libres o confinados.

CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN.....	v
CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS.....	xii
LISTA DE APENDICES	xiii
LISTA DE ANEXOS	iv
INTRODUCCIÓN	1
 CAPÍTULO I.....	 2
SITUACIÓN A INVESTIGAR	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Objetivos de la investigación	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3. Justificación de la investigación	3
1.4 Alcances de la investigación.....	4
1.5 Limitaciones de la investigación.....	4
 CAPITULO II	 6
GENERALIDADES	6
2.1. Descripción del área de estudio	6
2.1.1. Cuenca Oriental de Venezuela	6
2.1.2. Descripción geológica y rasgos estructurales de la sub-cuenca de Maturín. .	7
2.1.3. Ubicación geográfica del Distrito Punta de Mata	9
2.1.4. Ubicación geográfica del municipio Ezequiel Zamora.....	10
2.1.5. Descripción del campo El Carito	12
2.1.5.1. Característica y ubicación.....	12
2.1.6 Descripción geológica y rasgos estructurales de la Formación Las Piedras	13
2.1.6.1 Descripción litológica.....	13
2.1.6.2 Espesor.....	14
2.1.6.3 Extensión geográfica.....	14
2.1.6.4 Contactos.....	15
2.1.6.5 Edad	15

CAPÍTULO III	16
MARCO TEÓRICO	16
3.1. Antecedentes	16
3.2. Bases teóricas	19
3.2.1. Aguas subterránea	19
3.2.2. Porosidad, permeabilidad y transmisibilidad	19
3.2.3. Nivel freático	21
3.2.4. Movimiento del agua Subterránea	22
3.2.5. Modificaciones del sistema de agua subterránea y sus efectos	23
3.2.6. Clasificación de las aguas	23
3.2.6.1 Aguas meteóricas	23
3.2.6.2 Aguas connatas	24
3.2.6.3 Aguas juveniles	24
3.2.7. Tipos de acuíferos	24
3.2.7.1 Acuífero libre, freático o no confinado	25
3.2.7.2 Acuífero confinado, cautivo o a presión	25
3.2.7.3 Acuífero semiconfinado	26
3.2.7.4 Acuífero semilibre	26
3.2.7.5 Acuífero Colgado	26
3.2.7.6 Acuíferos formados por depósitos no consolidados	27
3.2.7.7 Acuíferos formados por depósitos consolidados	27
3.2.7.8 Acuíferos fisurados o kársticos	28
3.2.7.9 Acuíferos mixtos	28
3.2.8. Ambientes sedimentarios	29
3.2.9. Ambiente fluvial	30
3.2.9.1 Canales rectilíneos	31
3.2.9.2 Canales meandriformes	31
3.2.9.3 Canales entrelazados	32
3.2.9.4 Canales anastomosados	32
3.2.10. Ambiente deltaico	33
3.2.10.1 Dominado por ríos	34
3.2.10.2 Dominado por corrientes o mareas	36
3.2.10.3 Dominado por mareas	36
3.2.11. Facies sedimentarias	37
3.2.12. Mapa de electrofacies	37
3.2.13. Mapa estructural	37
3.2.14. Mapa isópaco	38
3.2.15. Mapa de Arena Neta (AN)	38
3.2.16. Mapas de isopropiedades	39
3.2.17. Perfiles eléctricos de pozos	39
3.2.18. Secuencias granocrecientes	40
3.2.19. Secuencias granodecrecientes	40

3.2.20.	Secuencias cilíndricas	41
3.2.21.	Unidades estratigráficas	44
3.2.22.	Unidades litoestratigráficas	44
3.2.23.	Unidades bioestratigráficas	45
3.2.24.	Unidades cronoestratigráficas	45
3.2.25.	Ph.....	46
CAPITULO IV		48
METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....		48
4.1.	Diseño de la investigación	48
4.2.	Tipo de investigación.....	49
4.3.	Población y muestra de la investigación.....	49
4.4.	Procedimiento metodológico	50
4.4.1.	Búsqueda, revisión y validación de la información	51
4.4.2.	Caracterización geológica	51
4.4.2.1.	Correlaciones geológicas	51
4.4.2.2.	Modelo estructural - estratigráfico	54
4.4.2.3.	Interpretación sedimentológica	57
4.4.2.4.	Interpretación geoquímica.....	59
4.4.2.5.	Método de Sulín	60
4.4.2.6.	pH y alcalinidad	62
4.4.2.7.	Sólidos totales disueltos	62
4.4.2.8.	Elaboración de mapas	63
CAPÍTULO V		65
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		65
5.1	Análisis de las secciones estructurales-estratigráficas	65
5.1.1	Sección estratigráfica A – A’ con dirección noroeste-sureste	65
5.1.2	Sección estratigráfica B – B’ con dirección noroeste-sureste.....	66
5.1.3	Sección estratigráfica C – C’ con dirección noroeste-sureste.....	67
5.1.4	Sección estratigráfica D – D’ con dirección noroeste-sureste	68
5.1.5	Sección estratigráfica E – E’ con dirección noreste-suroeste	69
5.1.6	Sección estratigráfica F – F’ con dirección noreste-suroeste.....	71
5.1.7	Sección estratigráfica G – G’ con dirección noreste-suroeste.	72
5.1.8	Sección estratigráfica H – H’ con dirección sureste-noroeste	73
5.2	Análisis estructural.....	74
5.3	Análisis sísmico-estructural.....	74
5.4	Análisis de los mapas estructurales.....	76
5.5	Análisis sedimentológico de los mapas de paleoambiente	80
5.5.1	Zona de canales distributarios.....	81
5.5.2	Zona de barras de desembocadura	81

5.5.3	Zona de llanura de inundación.....	81
5.6	Análisis de la interpretación geoquímica	84
5.7	Método de Sulin	85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		86
Conclusiones		86
Recomendaciones		88
REFERENCIAS		88

LISTA DE FIGURAS

2.2	Columna estratigráfica de la sub-cuenca de Maturín	9
2.3	Ubicación geográfica del Distrito Punta de Mata.	10
2.5	Ubicación geográfica del municipio Ezequiel Zamora	11
2.6	Ubicación geográfica del campo El Carito	12
3.1.	Ambientes sedimentarios.	30
3.2.	Tipos de canales.....	31
3.3.	Modelo Geomorfológico de un Delta	34
3.4	Tipos de deltas	35
3.5	Mapa estructural	38
3.6.	Secuencia Granocreciente.....	40
3.7.	Secuencia Granodecreciente	41
	Secuencia Cilíndrica	41
3.9.	Tipos de Formas de GR y SP, para identificar litologías	43
3.10.	Ejemplo de tipos de secuencias	44
	Flujograma de la metodología aplicada	50
4.2	Mallado utilizado en la correlación de las arenas.	53
4.3	Mapa base de secciones estratigráficas.....	55
4.4	Traza sísmica-estructural	56
4.5	Registro tipo.....	58
4.6	Relación entre las curvas GR y SP y el tamaño de grano.....	58
4.7	Mapa de electrofacies perteneciente a la arena A.....	59
5.1	Sección estratigráfica A-A'	66
5.2	Sección estratigráfica B – B'	67
5.3	Sección estratigráfica C-C'.....	68
5.4	Sección estratigráfica D – D'.....	69
5.5	Sección estratigráfica E – E'.....	70
5.6	Sección estratigráfica F – F'	71
5.7	Sección estratigráfica G – G'.....	72
5.8	Sección estratigráfica H – H'	73
5.9	Líneas y trazas sísmicas	75
5.10	Traza sísmicas.....	76
5.11	Mapa estructural de la arena A.	77
5.12	Mapa estructural de la arena B.	78
5.13	Mapa estructural de la arena C.	78
5.14	Mapa estructural de la arena A.	79
5.15	Mapa estructural de la arena B.	79
5.16	Mapa estructural de la arena C.	80
5.17	Paleoambiente interpretado para la Unidad A	82
5.18	Paleoambiente interpretado para la Unidad B.	82

5.19	Paleoambiente interpretado para la Unidad C.	83
5.20	Clasificación de las aguas de acuerdo a su origen según Sulin.	85
5.21	Mapa que muestra la ubicación de los pozos PAC	121

LISTA DE TABLAS

4.1	Lista de pozos utilizados en la caracterización.....	52
	pertenecientes al campo El Carito.	52
4.2	Sistema de clasificación de aguas según Sulin.	61
5.1	Lista de Pozos tomados para el análisis fisicoquímico.....	84

LISTA DE APENDICES

Apéndice a	91
Bases de datos de espesor de arenas de los pozos utilizados.	91
Apéndice b	96
Bases de datos de espesores de arenas de los pozos utilizados.	96
Apéndice c	99
Bases de datos de espesores de arenas de los pozos utilizados.	99
Apéndice d	102
Bases de datos de espesores de los marcadores definidos base de las arenas	102
Apéndice e	105
Bases de datos de espesores de los marcadores definidos base de las arenas..	105
Apéndice f	108
Bases de datos de espesores de los marcadores definidos base de las arenas..	108
Apéndice g	111
Bases de datos de espesores totales finales de arenas de los pozos utilizados.....	111
Apéndice h	114
Bases de datos de espesores totales finales de arenas de los pozos utilizados.....	114
Apéndice g	117
Bases de datos de espesores totales finales de arenas de los pozos utilizados.....	117
Apéndice j	120
J. mapa que muestra la ubicación de los pozos PAC	120

LISTA DE ANEXOS

Mapa estructural perteneciente al acuífero A.....	122
Mapa estructural perteneciente al acuífero B.....	122
Mapa estructural perteneciente al acuífero C	122
Mapa isópaco perteneciente al acuífero A	122
Mapa isópaco perteneciente al acuífero B.....	122

INTRODUCCIÓN

En las décadas de los 90 la empresa Aguasuelos Ingeniería realizó un estudio de los acuíferos de la Formación Las Piedras debido a que el yacimiento MUC-02 necesita iniciar un proceso de recuperación secundaria producto a la pérdida de las presiones del mismo, tal estudio realizado por la empresa anteriormente mencionada presentó un grado de incertidumbre de la información reportada del área.

Tal sentido condujo a que el Distrito Punta de Mata se viera en la necesidad de generar un modelo geológico a través de la aplicación de conceptos de continuidad lateral y vertical de las arenas, así como superficies de tendencias que permiten interpretar la identidad sedimentológica para poder visualizar las direcciones en las que se encontraron los agentes deposicionales de dichas arenas de estos acuíferos. Esta fase del estudio se considera fundamental, ya que la correlación debe definir al máximo posible los límites verticales y laterales del nivel estratigráfico de interés. De su calidad dependerá el diseño apropiado del modelo antes mencionado

Este informe está estructurado en 5 capítulos: el capítulo I en el cual se plantea el problema y se establecen los objetivos que se desean alcanzar con el desarrollo de la investigación, el capítulo II el cual está fundamentado en la descripción del área de estudio en lo referente a toda la información disponible que se pueda obtener del Campo El Carito, el capítulo III donde se definen todos los conceptos que serán de utilidad para el entendimiento del proyecto, el capítulo IV donde se describen todos los pasos seguidos para desarrollar cada uno de los objetivos planteados y las herramientas utilizadas y por último el capítulo V en el cual se realizan los análisis de resultados.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

En las décadas de los 90 la empresa Aguasuelos Ingeniería realizó un estudio de los acuíferos de la Formación Las Piedras debido a que el yacimiento MUC-02 necesita iniciar un proceso de recuperación secundaria producto a la pérdida de las presiones del mismo, tal estudio realizado por la empresa anteriormente mencionada presento un grado de incertidumbre de la información reportada del área. Tal sentido condujo a la Superintendencia de Yacimientos Someros y Aguas Subterráneas se viera en la necesidad de caracterizar los acuíferos Profundos de la Formación Las Piedras a fin de tener un conocimiento más a detalle de la distribución de estos mantos acuíferos en el campo El Carito a fin de cumplir con las metas trazadas en el mismo.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Caracterizar geológicamente los acuíferos profundos de la Formación Las Piedras (Mioceno Tardío-Plioceno) del campo El Carito municipio Ezequiel Zamora. Estado Monagas.

1.2.2Objetivos específicos

1. Identificar los acuíferos profundos asociados a la Formación Las Piedras, utilizando secciones estratigráficas.

2. Definir las estructuras de las arenas basales de la Formación Las Piedras a partir de la generación de secciones estructurales, mapas isopacos-estructurales y análisis sísmico – estructural.

3. Interpretar el tipo de ambiente de sedimentación de las arenas basales de la Formación Las Piedras a partir de la generación de mapas de paleoambiente.

4. Clasificar las agua de los acuíferos a partir del análisis de los parámetros físico químicos e identificar la procedencia genética de las aguas (Método de Sulín).

5. Definir las zonas más adecuadas para la perforación de pozos de agua en la Formación las Piedras Campo Carito.

1.3. Justificación de la investigación

En el campo El Carito se deben alcanzar las siguientes metas:

1. Asegurar el cumplimiento de los objetivos de producción del Distrito Punta de Mata de 440 MBD, a través de la caracterización geológica y optimización de los recursos hídricos subterráneos al nivel de la Formación Las Piedras.

2. Garantizar la inyección o el incremento de los volúmenes de agua entre 15,072 MBD a +/- 20 MBD que permitan una mayor eficiencia en el barrido del proceso de recuperación secundaria que induce un volumen de producción de crudo de 9,8 MBND.

3. Incrementar la producción en el yacimiento MUC-2 para mantener las metas trazadas en el campo el Carito Distrito Punta de Mata.

En vista de esta situación se generaran representaciones esquemáticas (mapas isopacos y estructurales) que faciliten definir las zonas más adecuadas para la perforación de pozos productores de agua a nivel de la Formación las Piedras para proyectos futuros en el Campo El Carito.

1.4 Alcances de la investigación

Una evaluación estratigráficas, sedimentológica y estructural facilitará la elaboración de mapas estructurales e isopacos de las arenas acuíferas de la Formación Las Piedras y también permitirá generar una caracterización físico-química confiable del agua de los acuíferos profundos para la elaboración de nuevos pozos productores de agua a futuro en el campo El Carito.

Además, los resultados de este trabajo pueden ser extrapolados a otras áreas que posean problemas similares a los estudiados; así como se pueden realizar otros proyectos para profundizar en el tema no solo en el campo Carito sino para todos los campos productores de PDVSA.

1.5 Limitaciones de la investigación

Para la elaboración de este proyecto se presentaron las siguientes limitantes:

1. No se cuenta con información actualizada en el tema (referencias bibliográficas, publicaciones y estudios previos en el área) que faciliten desarrollar los objetivos planteados en el trabajo de investigación.

2. Actualmente no se encuentran cargadas totalmente las curvas de los registros, de los 619 pozos seleccionados y validados en el Centro de Información

Técnica de Exploración y Producción CITEP, solo 61 pozos que representan el 12% contienen curvas cargadas, lo cual obstaculiza la elaboración de las secciones estratigráficas y estructurales en la aplicación de OpenWorks.

3. La falta de un registro actualizado de los pozos productores de agua, en relación a los perfiles eléctricos, debido a que la gran mayoría son perforados por entes privados, los cuales no se preocupan de llevar un control exhaustivo de la información necesaria para hacer el mantenimiento y acondicionamiento de los mismos, en el caso que sea necesario.

4. Los pozos escogidos para realizar la caracterización no contienen una descripción de núcleos, ya que en los mismos no se toman debido a la poca capacidad de recuperación y por el grado de consolidación presentes en los sedimentos y la sección somera de la Formación Las Piedras del campo El Carito.

CAPITULO II

GENERALIDADES

2.1. Descripción del área de estudio

2.1.1. Cuenca Oriental de Venezuela

Con respecto a la descripción de la Cuenca Oriental de Venezuela se toman los datos aportados por González de Juana (1980), en Barrios, R. (2010) donde señala los siguientes aspectos:

Esta cuenca está situada en la zona centro – este de Venezuela formando una depresión topográfica y estructural, limitada al sur por el curso del río Orinoco desde la desembocadura del río Arauca hacia el este hasta Boca Grande, siguiendo de modo aproximado el borde septentrional del Cratón de Guayana; al oeste por el levantamiento de El Baúl y su conexión estructural con el mencionado Cratón, que sigue aproximadamente el curso de los ríos Portuguesa y Pao y al norte, por la línea que demarca el piedemonte meridional de la Serranía del Interior Central y Oriental. Hacia el este, la cuenca continua por debajo del Golfo de Paria, incluyendo la parte situada al sur de la Cordillera Septentrional de la Isla de Trinidad y se hunde en el Atlántico al este de la costa del Orinoco, (González de Juana, op. cit.).

En Venezuela, esta depresión tiene una longitud aproximada de 800 km en sentido oeste – este, una anchura promedio de 200 km de norte a sur y un área total aproximada de 165.000 km² en los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro y una extensión menor en el estado Sucre, (González de Juana, op. cit.).

La cuenca actual es asimétrica, con su flanco Sur ligeramente inclinado hacia el norte y un flanco Norte más tectonizado y con mayores buzamientos, conectado a la zona plegada y fallada que constituye el flanco Meridional de las cordilleras que limitan la cuenca hacia el norte. Se ha obtenido producción de petróleo en ambos flancos de la cuenca, bajo condiciones estratigráficas y estructurales diferentes, (González de Juana, op. cit.).

El espesor de las columnas sedimentarias terciarias varía desde pocos centenares de metros en los bordes meridional y occidental, hasta 6 y 8 km en las partes profundas de la cuenca. Toda ella presenta un suave declive hacia el este, de forma que en la parte meridional de Trinidad el espesor de sedimentación terciaria excede 10 – 12 km. El volumen total de sedimentos terciarios se estima en alrededor de medio millón de kilómetros cúbicos, (González de Juana, op. cit.).

2.1.2. Descripción geológica y rasgos estructurales de la sub-cuenca de Maturín.

La sub-cuenca de Maturín constituye la principal área petrolífera de la Cuenca Oriental de Venezuela. Esta sub-cuenca es asimétrica y paralela a la Serranía del Interior, con el flanco Sur apoyado en el basamento ígneo-metamórfico del Escudo de Guayana, caracterizado por un régimen extensivo y su flanco Norte caracterizado por la presencia de estructuras compresivas asociadas a la colisión de la Placa del Caribe con la Placa Suramericana. En esta sub-cuenca, desde el Eoceno hasta el Pleistoceno se produjo una traslación paralela del eje de máxima deposición de la misma hacia el sur. Los elementos tectónicos, se presentan en efectos deformantes de intensidad decreciente a partir de la zona orogénica principal.

La configuración final de la sub-cuenca se alcanzó al final del Plioceno Tardío, cuando ocurrió un episodio de suaves levantamientos y de inclinación regional. Como ésta estuvo en comunicaciones con el mar abierto, la mayor parte del tiempo, sólo a

través del extremo este, característicamente los sedimentos son menos marinos hacia el oeste y el noreste. Los hiatus y discordancias, de igual manera, son más pronunciados en la misma dirección. El área ubicada frente al Corrimiento de Pirital constituye una zona estructuralmente compleja, presentando fallas inversas, corrimientos, formando bloques y/o anticlinales que afectan principalmente al Cretácico y al Terciario inferior (Figura 2.1).

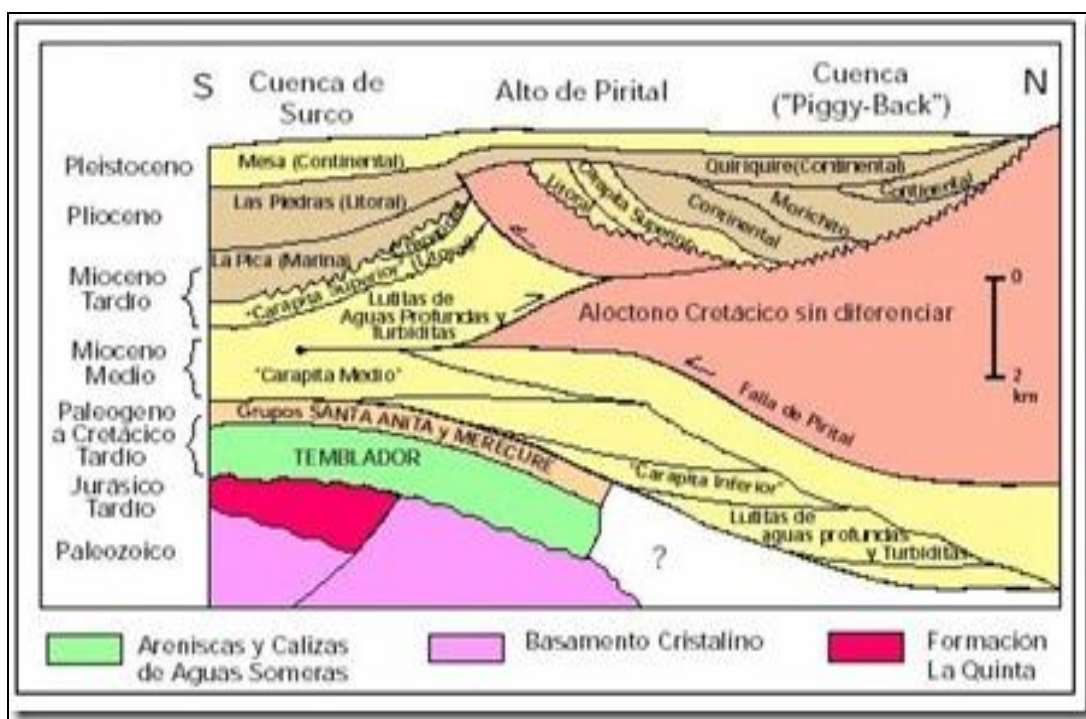


Figura 2.1 Sección estratigráfica sur-norte de la sub-cuenca de Maturín (tomado Barrios, R 2010)

Podría afirmarse que la deformación estructural y los acunamientos de las unidades estratigráficas hacia el sur definen dos dominios operacionales: uno al norte del Corrimiento de Pirital y otro al sur. La estratigrafía de la Serranía del Interior Oriental representa en buena parte la sedimentación del flanco Norte de la sub-cuenca de Maturín como una espesa y compleja secuencia que abarca desde el Cretácico

Temprano hasta el Pleistoceno. El flanco Sur, en cambio, presenta una estratigrafía más sencilla, semejante a la estratigrafía de la sub-cuenca de Guárico en el subsuelo, con el Grupo Temblador en su parte inferior como representación del Cretácico, y un Terciario subyacente de edad fundamentalmente Oligoceno-Pleistoceno, en la que se alternan ambientes fluviales deltaicos y marinos someros, hasta su relleno final de ambientes continentales (Figura 2.2) (Blog Petrolero, 2009).

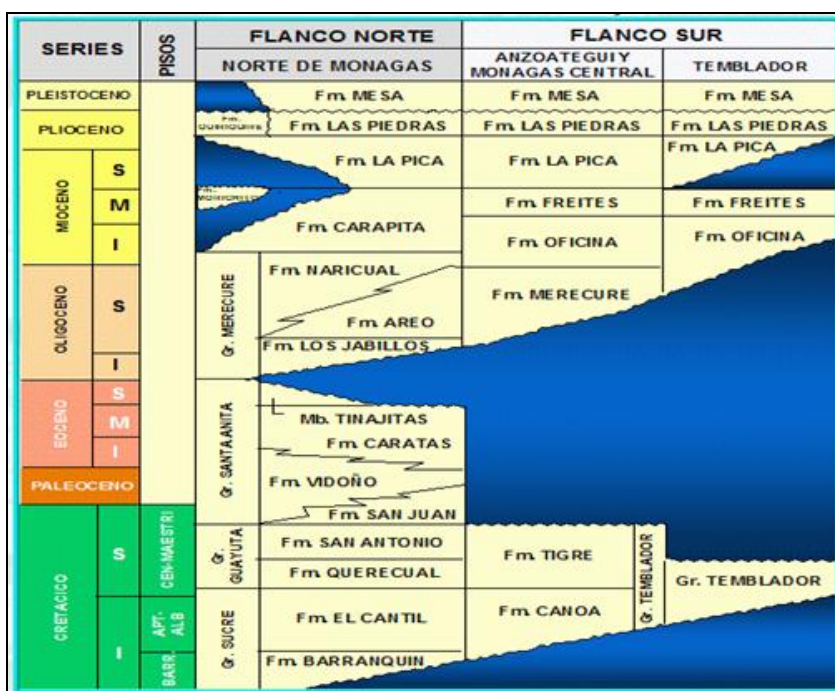


Figura 2.2 Columna estratigráfica de la sub-cuenca de Maturín (tomado Gerardino, L 2007)

2.1.3. Ubicación geográfica del Distrito Punta de Mata

Del léxico de PDVSA 2007 se toma la siguiente información. Punta de Mata considerada como la segunda capital del estado Monagas y capital del municipio Ezequiel Zamora del mismo Estado. Tiene una población de 92.000 habitantes, lo que la hace el centro poblado más importante del estado después de Maturín. Además esta

La explotación petrolera es el pilar de la economía de éste municipio, aunque también la ganadería y el sector agrícola se han logrado mantener pese a la importancia petrolera de la zona, se producen cereales, leguminosas y oleaginosas.

El municipio Ezequiel Zamora está ubicado al Noroeste del estado Monagas, limita al Norte con el Municipio Cedeño, al Sur con el Municipio Aguasay, al este con municipios Cedeño, Maturín y Santa Bárbara y al Oeste con el municipio Cedeño.

Está localizado entre la mesa de piedemonte y la mesa llana, presenta una vegetación de bosque seco tropical, tiene temperaturas entre los 27-32°C con precipitaciones promedio anual de 960 mm. (figura 2.5).

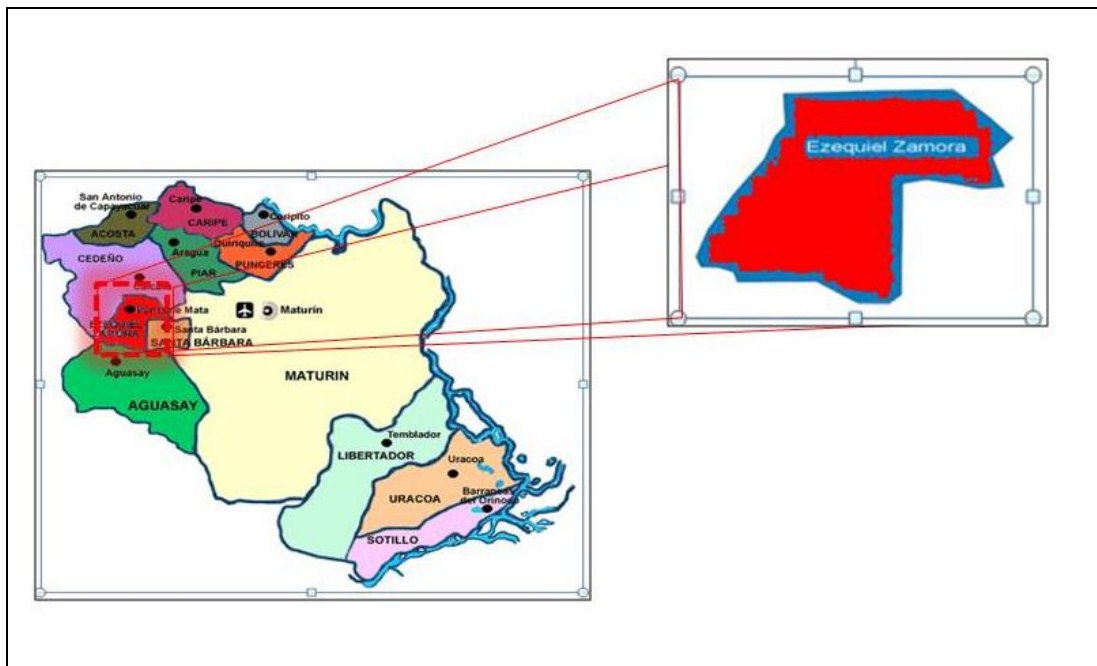


Figura 2.5 Ubicación geográfica del municipio Ezequiel Zamora (Gerardino, C 2011).

2.1.5. Descripción del campo El Carito

2.1.5.1. Característica y ubicación

El campo El Carito está ubicado en el noreste de Venezuela en la región conocida como área Norte de Monagas. Este campo puede dividirse en bloques, que constituyen yacimientos aislados según el comportamiento de las presiones de pozos y las estructuras presentes, denominados: Carito Central (yacimiento Muc - 1), Carito Norte (yacimiento Muc - 2), Carito Oeste (yacimiento Muc - 3) y Carito Sur; donde se produce desde las arenas del Cretáceo hasta el tope de la Formación Naricual.(figura 2.6).

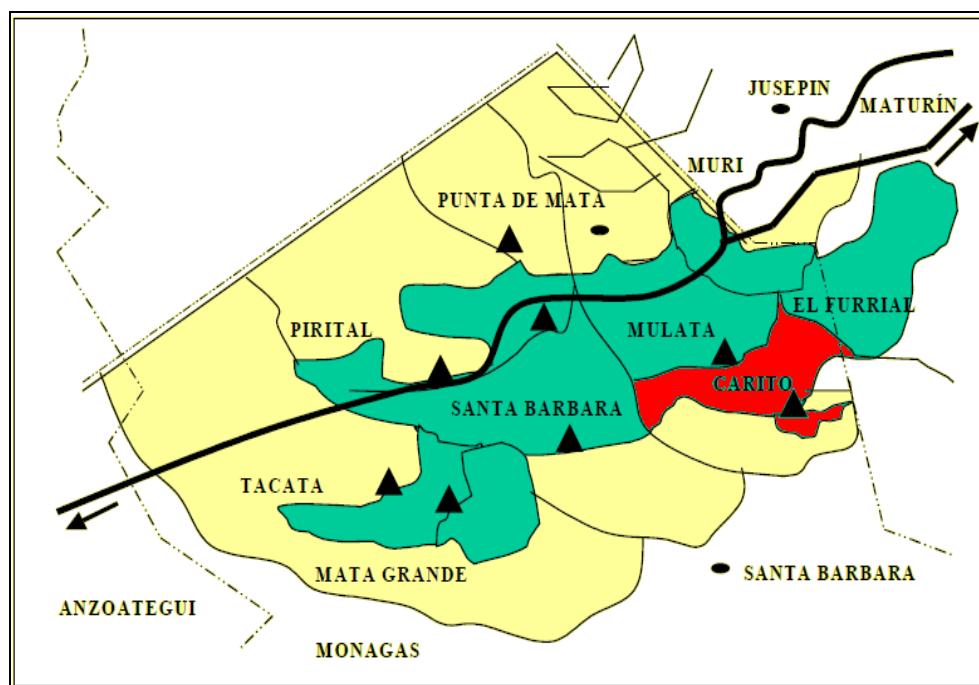


Figura 2.6 Ubicación geográfica del campo El Carito (tomado Barrios, R 2010).

2.1.6 Descripción geológica y rasgos estructurales de la Formación Las Piedras.

La Formación Las Piedras (Mioceno Tardío-Plioceno), no-marina, depositada en aguas salobres, es concordante sobre la Formación La Pica, excepto en algunos lugares. Contiene esencialmente arenas lenticulares poco consolidadas de grano fino a medio, generalmente bien consolidadas, interestratificadas con lutitas, limos y lignitos. El espesor está entre 3.400 y 3.900 pies. Las areniscas son acuíferas en toda el área. Esta formación es transicional hacia el este a la Formación Quiriquire.

La Formación Las Piedras está cubierta en el área de Jusepín por la Formación La Mesa (Pleistoceno), que fue depositada en un ambiente continental. Consiste en gravas, arenas poco consolidadas y arcilla. Hacia el tope presenta una capa endurecida de grava cementada por óxido de hierro. El espesor varía de 500 a 900 pies.

2.1.6.1 Descripción litológica

En la localidad tipo, la Formación Las Piedras consiste en areniscas micáceas, friables, de grano fino y colores gris claro a gris verdoso, inter laminada con lutitas gris a verdoso, arcilitas sideríticas, grises, lutitas ligníticas y lignitos (Hedberg (1950). También se encuentran algunas calizas arenosas duras y de color verde. González de Juana (op. cit.) mencionó un conjunto mineralógico más complejo que el de la Formación Mesa, con abundante andalucita, biotita, clorita, cloritoide, kyanita y corundum y, menos abundante, granate, glaucofano, hornblenda, epidoto, estaurolita, sillimanita, muscovita y titanita (Léxico PDVSA, 1997)

El Miembro basal Prespunta, en su localidad tipo, entre los km 67 y 70 de la carretera de Puerto La Cruz a San Tomé, entre San Mateo y Cantaura, contiene en su

parte inferior areniscas conglomeráticas que pasan hacia arriba a areniscas laminadas, ferruginosas con limolitas y arcillas pardo-rojizas moteadas. En la parte superior predominan arcillas pardo-rojizas yesíferas, con ocasionales capas de arenisca en capas delgadas. El Miembro Caicaíto, localizado entre los km 73 y 79 de la misma vía, consiste principalmente en arcilitas y limolitas gris azulado, que meteorizan a colores pardos, con intercalaciones de areniscas laminares localmente duras y calcáreas.

2.1.6.2 Espesor

En la sección tipo, la formación tiene 1005 m de espesor, el cual aumenta hacia el eje de la cuenca de Maturín, hasta un máximo probable de 1370 m (L.E.V., 1970). Hacia los flancos de la cuenca, el espesor disminuye aproximadamente a la mitad. En cuanto a los miembros Prespuntal y Caicaíto, sus espesores en el área tipo San Mateo-Cantaura, son de 457 y 305 m, respectivamente.

Según Hedberg (1950), 884 m en el pozo tipo, 460 m en los afloramiento de Anzoátegui hasta 1.525 m en pozos del eje de la cuenca. De Sisto (1961-c, Figura-6) mostró algunas 2.286 m de "Mesa-Sacacual" en el eje de la cuenca. Barnola (1960) reportó un espesor que varía entre cero y 2.400 m en el campo Pedernales (Léxico PDVSA, 1997).

2.1.6.3 Extensión geográfica

La formación aflora en la porción septentrional de los estados Anzoátegui y Monagas. En el subsuelo se extiende al este hasta Pedernales, Territorio Delta Amacuro y Golfo de Paria. Hacia el sur, llega a las cercanías del río Orinoco en la faja petrolífera.

2.1.6.4 Contactos

En la parte norte de la cuenca de Maturín, la Formación Las Piedras es concordante sobre la Formación La Pica. En el borde norte de la cuenca, la formación traslapa los límites de La Pica y yace con fuerte discordancia angular sobre unidades del Mioceno al Cretácico. En el flanco Sur de la cuenca, yace concordantemente sobre la Formación Freites. En el Área Mayor de Oficina, el contacto ha sido establecido en la base de la arena Tau, nombre aplicado localmente a la arena basal de la formación. En general, se emplea el criterio de fijar el contacto donde aparezcan las primeras capas de ambiente marino de la Formación Freites. En el extremo sur de la cuenca, ya cerca del río Orinoco, la formación yace posiblemente sobre el basamento ígneo metamórfico, al desaparecer la Formación Freites por acúñamiento (Jam y Santos, 1987) (Léxico PDVSA, 1997).

En el lineamiento de los campos petroleros de Tacat-Santa Bárbara-Jusepín, Las Piedras aparenta descansar concordantemente sobre la Formación La Pica, y discordantemente sobre Morichito y Carapita al norte del acúñamiento La Pica (Carnevalli, 1988). Hacia Delta Amacuro, la parte superior de Las Piedras se confunde con la parte inferior de la Formación Paria (Salvador, 1961) (PDVSA, 1997).

2.1.6.5 Edad

González de Juana (op. cit.) la colocó en el Plioceno, basado en su posición estratigráfica discordante encima de la "Formación Punche" (Freites) de edad "decididamente Mioceno Tardío". Los pocos fósiles y sus relaciones estratigráficas indican la edad de Mioceno Tardío a Plioceno (Léxico PDVSA, 1997).

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

Para el desarrollo de este trabajo, se tomo como referencia de antecedentes las siguientes investigaciones:

Aguasuelos Ingeniería, S. C. (1994) “Caracterización de acuíferos en el área norte de Monagas, Fase IV”, el cual tiene como objetivo fundamental cuantificar el recurso hídrico subterráneo en magnitud, distribución y calidad hasta 200 m de profundidad.

Cabrera A. y García R. (2000), realizaron un trabajo en la Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Departamento de Geología titulado “Posibilidades de Recarga de los acuíferos profundos de la Formación Las Piedras en el Área de Jusepín y Caicara por parte del frente de montañas Área Norte de Monagas” en el cual se obtuvo lo siguiente. Desde comienzos de los años 90’ PDVSA lleva a cabo un proceso de extracción de agua en los acuíferos medios y profundos de la Formación Las Piedras en el área de Jusepín, con la finalidad de recuperar hidrocarburos mediante la inyección de ésta en yacimientos que han perdido su presión original. Dicho proceso incluye la evaluación y tratamiento químico de esta agua como estrategia básica en el cuidado de los equipos que intervienen en el sistema y de los propios yacimientos.

Debido al descenso en los niveles de agua de los acuíferos profundos en explotación en el área de Jusepín, este proyecto analiza las posibilidades de recarga de los mismos. Así mismo se interpreta un modelo hidrogeológico conceptual que se

extiende desde dicha área petrolera hasta el frente de montañas al norte de Monagas. Dicho modelo interpreta las características fisiográficas y climáticas de la zona, el estado del macizo y las características físico-químicas del agua extraída de los acuíferos medios y profundos. También se realizaron comparaciones con la calidad de las aguas de ríos, quebradas y pozos someros en el área.

Se logró establecer que la recarga de los acuíferos profundos de la Formación Las Piedras en el área de Jusepín depende de los acuíferos someros que son alimentados de la lluvia que se infiltra directamente. Adicionalmente existe un flujo importante proveniente del frente de montañas que recarga en el subsuelo los sedimentos de la Formación Las Piedras a través del macizo rocoso de las formaciones Cretácico Temprano.

Aché y Rodríguez, (2008), realizaron un trabajo en San Tomé, estado Anzoátegui denominado “Caracterización Geológica de las arenas acuíferas (agua dulce) en las formaciones Mesa – Las Piedras, Mesa de Guanipa, estado Anzoátegui”. Donde explican que dicho trabajo de investigación consistió en un análisis de 250 registros eléctricos superficiales de las perforaciones iniciadas por Menegrande Oil Company en el año 1939 hasta la mitad de la década de 1940, en un área de unos 1099 km² en la zona de El Tigre – San José de Guanipa (El Tigrito) – San Tomé. Las formaciones que contiene los acuíferos son: Mesa y Las Piedras del Pleistoceno y Mioceno Tardío en una sección aproximada de 2.100’ (636 m) de sedimentos buzando al norte y al este, que se adelgazan al sur y al oeste respectivamente, con sus mayores espesores en el centro de la Cuenca Oriental, y muy suavemente plegados en estructuras paralelas de rumbo +/- este – oeste. Las fallas que se encuentran en los yacimientos petroleros a mayor profundidad no afectan a los sedimentos Mesa – Las Piedras. Los acuíferos en su mayoría son de tipo libre y semi-confinados. Además se identificaron 5 arenas (MaguaP-2, MaguaP-3, MaguaP-4, MaguaP-5, MaguaP-6) que fueron descritas y evaluadas; se tomo en cuenta toda la columna geológica del área

para estimar el volumen total del agua dulce que asciende a unos 47.45 km³. La pureza química de estos acuíferos es tal, que su consumo puede ser directo por la comunidades El Tigre, San José de Guanipa y San Tomé.

Barrios, R (2010), realizó un trabajo de investigación en la Universidad de Oriente Nucleó Bolívar Escuela de Ciencias de la Tierra Departamento de Geología denominado “Caracterización geológica de las arenas basales de la Formación Mesa y superiores de la Formación Las Piedras en el campo El Carito-Mulata, de la sub-cuenca de Maturín, Cuenca Oriental de Venezuela, estado Monagas, Venezuela”. El presente estudio tiene como objetivo caracterizar las arenas basales de la Formación Mesa y superiores de la Formación Las Piedras en el campo El Carito - Mulata, para determinar su extensión lateral, características estructurales, variaciones de espesores, ambiente de sedimentación, la calidad y procedencia genética de las aguas, que permitirá a los futuros proyectos el aprovechamiento de los acuíferos. La metodología consistió en la búsqueda y selección de información (registros eléctricos, informes técnicos) en el Centro de Información Técnica de Exploración y Producción, en las bases de datos de PDVSA (SIMDE), elaboración de secciones estratigráficas y estructurales con la finalidad de revisar los límites laterales y verticales de los acuíferos, elaboración de mapas isópacos estructurales, análisis de electrofacies y determinación del paleoambiente, definir el origen de las aguas de formación a partir de análisis físico-químicos y bacteriológicos y aplicar el método de Sulin para su clasificación. De la interpretación de las secciones estratigráficas se observó la continuidad lateral de los acuíferos que litológicamente presentan arenas con intercalaciones de sedimentos limo arcilloso. Las secciones estructurales arrojaron que las arenas están dispuestas de forma sub horizontal, y evidencia que la formaciones Mesa y Las Piedras no fueron afectadas por esfuerzos compresivos o extensivos. Los mapas isópacos-estructurales reflejan que las Formación Mesa y parte superior de la Formación Las Piedras se depositaron sobre una superficie de erosión adoptando la forma de ella. Del análisis de registros de pozos y el mapa de

paleoambiente se interpretó un ambiente deltaico por la presencia de canales distributarios, barras de canales y llanuras de inundación. De los análisis físico-químicos se determinó que las aguas presentan pH y valores de sólidos totales disueltos aceptables para el consumo humano y que son de origen meteórico según el método de Sulín y que corresponden a un acuífero libre.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Aguas subterránea

Las aguas subterráneas se pueden definir como el agua almacenada en los espacios abiertos de las rocas y el material sin consolidar del subsuelo, es decir son las que se filtran por las fisuras de las rocas , o por las grietas , para penetrar en el subsuelo para formar corrientes , manto y empapar las rocas porosas..

Sobre las aguas subterráneas Wicander y Monroe (1999) señalan los siguientes aspectos:

3.2.2. Porosidad, permeabilidad y transmisibilidad

La porosidad y la permeabilidad son propiedades físicas importantes de los materiales terrestres, además, de que son, en gran parte, la causa de la cantidad, disponibilidad y movimiento del agua subterránea. El agua se infiltra en la tierra porque el suelo, los sedimentos, los sedimentos y las rocas tienen espacios abiertos o poros.

“La porosidad es el porcentaje del volumen total de un material que es un espacio poroso o intersticial. La mayoría de las veces la

porosidad consiste en los espacios entre las partículas del suelo, los sedimentos y las rocas sedimentarias; también hay otro tipo de porosidad formado por grietas, fracturas, fallas y vesículas de las rocas volcánicas” (Wicander y Monroe, 1999).

Por consiguiente, la porosidad varía entre los distintos tipos de rocas y depende del tamaño, la forma y la disposición del material que compone la roca. Por lo tanto, todas las rocas ígneas y metamórficas, así como muchas calizas y dolomías, poseen una porosidad muy baja porque están compuestas de cristales firmemente unidos, no obstante, su porosidad aumenta si fracturan o disuelve el agua subterránea.

Sin embargo, las rocas sedimentarias detríticas, compuestas por granos redondeados y bien clasificados, pueden tener una porosidad muy alta, porque dos granos cualesquiera se tocan apenas en un único punto dejando espacios abiertos relativamente grandes entre ellos. Por otro lado las rocas sedimentarias mal clasificadas tienen de modo característico una baja porosidad, por cuanto los granos más finos llenan los espacios entre los grandes, con lo cual la porosidad se reduce. Además, la cantidad de cemento entre los granos puede disminuir la porosidad.

Aunque la porosidad determina la cantidad de agua subterránea que puede retener una roca, no garantiza que se pueda extraer el agua, por cuanto la capacidad de un material para transmitir los fluidos es su permeabilidad, ésta depende no solo de la porosidad, sino también del tamaño de los poros o fracturas y sus interconexiones.

Los autores antes mencionados señalan al respecto lo siguiente:

... “los depósitos de limo o arcilla son típicamente más porosos que los de arena o grava, pero su permeabilidad es baja porque los poros entre las partículas de arcilla son muy pequeños, mientras que la atracción

molecular entre éstas y el agua es grande, lo que obstaculiza el movimiento del agua. En contraste, los espacios porosos entre los granos de arenisca y el conglomerado son mucho mayores, por lo tanto la atracción molecular en el agua es baja. Las rocas sedimentarias químicas y bioquímicas, como la caliza y la dolomía, así como muchas rocas ígneas y metamórficas que están muy fracturadas también pueden ser muy permeables, siempre y cuando siempre y cuando las fracturas estén interconectadas”.

Por consiguiente, las capas permeables que contienen aguas subterráneas se llaman acuíferos, dicha palabra proviene del latín *aqua*, que significa agua. Los mejores acuíferos son depósitos de arena y grava bien redondeada y clasificada, además, las calizas en las cuales las fracturas y los planos de estratificación han sido agrandados por solución, también son buenos acuíferos. Las lutitas y muchas rocas ígneas o metamórficas son malos acuíferos porque suelen ser impermeables. Las rocas y otros materiales que impidan el movimiento del agua subterránea se llaman acuitardos.

3.2.3. Nivel freático

Cuando la precipitación cae en el continente, una parte se evapora, otra parte se escapa por escurrimiento en las corrientes, la otra satura el suelo. A medida que esta agua baja hacia la superficie, alguna cantidad se adhiere al material por el cual se mueve y detiene su descenso, esta región se conoce con el nombre de zona de aeración y el agua que se queda en su interior se le denomina agua suspendida. Por lo tanto, los espacios porosos de esta zona contienen tanto aire como agua.

Debajo de la zona de aeración, se encuentra la zona de saturación, donde todos los poros están llenos de agua subterránea. La base de la zona de saturación varía de un lugar a otro, pero regularmente se extiende a la profundidad en la que se halla una

capa impermeable o hasta donde la presión confinada cierra todos los espacios abiertos. La franja capilar se extiende irregularmente hacia arriba algunos centímetros a varios metros, a partir de la zona de saturación. En esta región el agua asciende a causa de la tensión superficial, en forma muy parecida a como asciende el agua en una toalla de papel.

La superficie que separa la zona de aeración de la zona inferior de saturación se le conoce con el nombre de nivel freático. En general la configuración del nivel freático es una copia menor del terreno superficial; es decir sus mayores elevaciones están debajo de las colinas y las menores en los valles. Sin embargo, en la mayoría de las regiones áridas y semiáridas el nivel freático es bastante plano y está por debajo del nivel de los valles fluviales.

Varios factores contribuyen a la configuración superficial del nivel freático de una determinada región, entre los cuales se pueden mencionar. Las diferencias regionales en la cantidad de lluvias, permeabilidad y la velocidad del movimiento del agua subterránea.

3.2.4. Movimiento del agua Subterránea

La velocidad del agua subterránea varía enormemente y depende de muchos factores. La velocidad va de 250 m por día en algunos materiales extremadamente permeables, a menos de algunos centímetros por años en los materiales casi impermeables. En la mayoría de los acuíferos ordinarios la velocidad promedio del agua subterránea es de algunos centímetros por día.

La gravedad proporciona la energía para el movimiento descendente del agua. Por consiguiente, el agua que penetra en el suelo pasa por la zona de aeración y la de saturación. Cuando llega al nivel freático, el líquido continua su movimiento por la

zona de saturación, desde las áreas en las que este nivel está más elevado hacia aquellas donde es más bajo, como en las corrientes, lagos y lagunas.

3.2.5. Modificaciones del sistema de agua subterránea y sus efectos

La densidad demográfica y la superpoblación han conllevado al uso irracional del agua subterránea en la mayoría de los países del mundo, por consiguiente sino se hace uso de la misma con más prudencia, en el futuro no habrá una provisión suficiente de agua subterránea pura, por cuanto se han producido grandes modificaciones en el sistema de producción de este recurso natural valioso, lo cual puede traer muchas consecuencias , entre las que se destacan: 1) Descenso del nivel freático, lo cual hace que los pozos se sequen; 2) pérdida de presión hidrostática, causante de que los pozos que tenía flujo libre deben ser bombeados ; 3) intrusión de agua salada; 4) hundimientos, y 5) contaminación del suministro de agua subterránea. (Wicander y Monroe, 1.999).

Para hacer una clasificación más exhaustiva de las aguas subterráneas se toman los aportes realizados por Soto, C. (1977) en Barrios, R. (2010), los cuales señalan al respecto los siguientes:

3.2.6. Clasificación de las aguas

De acuerdo al carácter genético del agua y dependiendo de su historia, las aguas del subsuelo pueden ser divididas en tres clases: Meteóricas, Connatas y Juveniles, (Soto, C. 1977).

3.2.6.1 Aguas meteóricas

Geológicamente, las aguas meteóricas son aquellas de reciente contacto con el ciclo hidrológico, su edad es menor a la edad de la roca que la contiene. Aquí se incluye el agua de los océanos, el, agua evaporada en la atmósfera, agua de lluvia y de nieve, aguas superficiales y agua de subsuelo en movimiento. Químicamente las aguas meteóricas se caracterizan por presentar bajas concentraciones de sólidos disueltos (menores a 10000 ppm); Normalmente estas aguas poseen cantidades considerables del ion Bicarbonato.

3.2.6.2 Aguas connatas

Las aguas connatas son aquellas que han formado parte del ciclo hidrológico por una cantidad considerable de tiempo geológico; aguas formadas al mismo tiempo que las rocas que las contienen. Estas aguas no circulan, pero se mueven a través de los sedimentos como parte del proceso de compactación y migración.

3.2.6.3 Aguas juveniles

Las aguas juveniles son aquellas que ascienden desde el manto de la tierra y nunca han formado parte del Ciclo Hidrológico, son difíciles de identificar con precisión.

3.2.7. Tipos de acuíferos

Para hacer una clasificación más exhaustiva de los tipos de acuíferos se toman los aportes realizados por Edward E. (1975) en Barrios, R. (op. cit.), los cuales señalan al respecto los siguientes:

La clasificación de los acuíferos varía según el factor que se tome en cuenta para hacerlas. Atendiendo al grado de confinamiento, es decir, a la presión hidrostática del agua encerrada en los mismos, distinguimos los siguientes tipos:

3.2.7.1 Acuífero libre, freático o no confinado

Es aquel que presenta una superficie libre de agua sujeta a la presión atmosférica. Esa superficie freática se encuentra a un nivel denominado freático y podrá estar en contacto directo con el aire o no. Está formado en general por un estrato permeable o relativamente impermeable. En los pozos que atraviesan total o parcialmente este tipo de acuífero el agua alcanza el mismo nivel que tendría dentro de la formación geológica, es decir, el nivel freático (nivel real) coincide con el nivel piezométrico (nivel ideal para alcanzar el agua a presión atmosférica). En algunos acuíferos libres formados por partículas finas, el drenaje por gravedad no es instantáneo y el acuífero entrega el agua con cierto retraso después que desciende el nivel freático. Estos acuíferos se conocen como libres con entrega retardada.

3.2.7.2 Acuífero confinado, cautivo o a presión

Se trata de una formación geológica completamente saturada de agua que se encuentra confinada entre dos estratos impermeables o prácticamente impermeables (uno inferior y otro superior). El agua contenida en este tipo de acuíferos se encuentra a una presión superior a la atmosférica, de manera que en aquellos pozos que asciende rápidamente hasta que se estabiliza a un nivel denominado piezométrico. Así, si imaginamos una serie de pozos atravesando un acuífero confinado, y unimos los niveles que alcanza el agua en cada uno de ellos, obtendríamos una superficie piezométrica que no coincide con la superficie freática que tenía el acuífero en estado natural. Si el nivel piezométrico queda por encima de la cota del terreno, se habla de pozos surgente, mientras que si queda por debajo de esta se denomina pozo artesiano.

3.2.7.3 Acuífero semiconfinado

Son una variante de los acuíferos confinados, y se caracterizan porque están limitados en su parte superior por una capa semipermeable (acuitardo) y en su parte inferior por una capa impermeable (acuicierre o acuífugo) o también por otro acuitardo. En este tipo de acuíferos, la disminución de la carga piezométrica originada por el bombeo por ejemplo, inducirá un flujo vertical del agua contenida en el acuitardo, que actuara como recarga de acuífero. Las características del acuitardo confinante en un acuífero semiconfinado con tales que puede ignorarse la componente horizontal del flujo en el acuitardo.

3.2.7.4 Acuífero semilibre

Supone una situación intermedia entre un acuífero libre y uno semiconfinado. En este caso, la capa confinante superior es un estrato semipermeable o acuitardo, de características tales que la componente horizontal del flujo no puede ignorarse. Es el caso de un acuífero formado por granos gruesos, limitado en la parte inferior por una formación impermeable y en la parte superior por una formación de granos finos con conductividad hidráulica saturada inferior a la del acuífero, pero no tan baja como para considerarla semipermeable.

3.2.7.5 Acuífero Colgado

Este tipo se da en aquellas ocasiones en las que existe una capa de material mas o menos impermeable por encima del nivel freático. El agua que se infiltra queda por tanto atrapada en esta capa formando una “bolsa de agua” o lentejón, que normalmente tiene una extensión limitada. Los acuíferos colgados se dan con más

frecuencia de lo que se pueda suponer, aunque a veces solo ocupan unos pocos centímetros de espesor, o sólo se limitan después de una recarga muy excepcional. No supone un recurso muy fiable, ya que si se perfora del todo, puede ocurrir que el pozo construido actúe facilitando el drenaje del agua contenida en el lentejón hacia la zona saturada.

3.2.7.6 Acuíferos formados por depósitos no consolidados

Los acuíferos formados por depósitos no consolidados están constituidos por materiales sueltos, fundamentalmente arenas, gravas o mezclas de ambas, de origen geológico muy diverso. Según algunos autores el 90% de los acuíferos en explotación en el mundo caen bajo esta categoría

3.2.7.7 Acuíferos formados por depósitos consolidados

Están constituidos por rocas consolidadas, cuyo origen puede ser diverso:

- Calizas y dolomitas (fisuras, fracturadas y karstificadas).
- Conglomerados o areniscas (disueltas y con algunas partes cementadas).
- Rocas volcánicas alteradas (escoriáceas). Las características de los acuíferos en rocas volcánicas son variables dependiendo de las propiedades físicas y químicas de la erupción que las origino, así como de su edad. Las zonas más permeables están relacionadas con fractúras y materiales piroclásticos.
- Algunas rocas cristalinas (p.el. Granitos fracturados)

Hay tres tipos de acuíferos, en función de su permeabilidad:

3.2.7.8 Acuíferos fisurados o kársticos

Los acuíferos fisurados y/o kárstificados son aquellos en los que el agua circula a través de las fisuras y las grietas de materiales como calizas, dolomias, basaltos y granitos. Las curvas de estalactitas son un ejemplo muy conocido de este tipo de acuíferos que son los kárstificados. A través de los poros (huecos) que existen entre los granos de un volumen de arena y grava (permeabilidad intergranular). Este tipo de acuífero es característico en zonas cercanas a montañas.

3.2.7.9 Acuíferos mixtos

Cuando la permeabilidad es debida a una combinación de las dos anteriores. Se dan en materiales como las calcoarenitas.

Otra clasificación que pueden tener los acuíferos depende de la importancia relativa de los mismos que corresponde a la capacidad o bondad relativa del acuífero en la región en que se encuentra. Esta condición es relativa teniendo en cuenta, entre otros, la clase de porosidad, su extensión y su espesor. Evaluados estos elementos en los acuíferos existentes en cada región estudiada, se clasifican en muy importantes, de media o de poca importancia. Considerando que un acuífero debe proporcionar caudales económicamente aprovechables, una formación geológica que sea capaz, por ejemplo, de producir 1 l/s no se considera como acuífero, en un lugar donde haya otras en que sea posible captar 50 l/s o más. Sin embargo, en una región árida, donde no haya otras posibilidades, esa formación, que proporcione 1 l/s para resolver las necesidades de una pequeña población, constituye sin duda un acuífero, aunque pobre.

3.2.8. Ambientes sedimentarios

Los ambientes sedimentarios son de gran importancia, debido a que al conocer estos, se puede definir de forma más lógica el potencial de la zona, desde el punto de vista de la prospección de hidrocarburos.

Un ambiente sedimentario es un lugar en la superficie terrestre caracterizado por un conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas bajo las cuales se acumulan los sedimentos. Tal conjunto de condiciones incluye la geología, geomorfología, el clima, la flora y la fauna; y si el ambiente es subacuático, la profundidad, salinidad, temperatura y los movimientos de agua. Las propiedades de los sedimentos depositados en un ambiente determinado, estarán altamente influenciados por las características de ese ambiente. (Allen, 1988).

Un ambiente sedimentario se define como una parte de la superficie terrestre caracterizada por un conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas, bajo las cuales se acumulan los sedimentos. Tal conjunto de condiciones incluye la geología, el clima, la flora y la fauna, y si el ambiente es subacuático, profundidad, salinidad, temperatura y movimiento del agua. Las propiedades de los sedimentos depositados en un ambiente determinado, estarán altamente influenciadas por las características de ese ambiente.

Los ambientes sedimentarios (Figura 3.1), pueden ser clasificados en:

1. Continentales: glacial, desérticos, fluvial, lacustre, paludal y espeleano.
2. Transicionales: deltaico, lagunar y litoral.
3. Marinos: batial, abisal y nerítico.

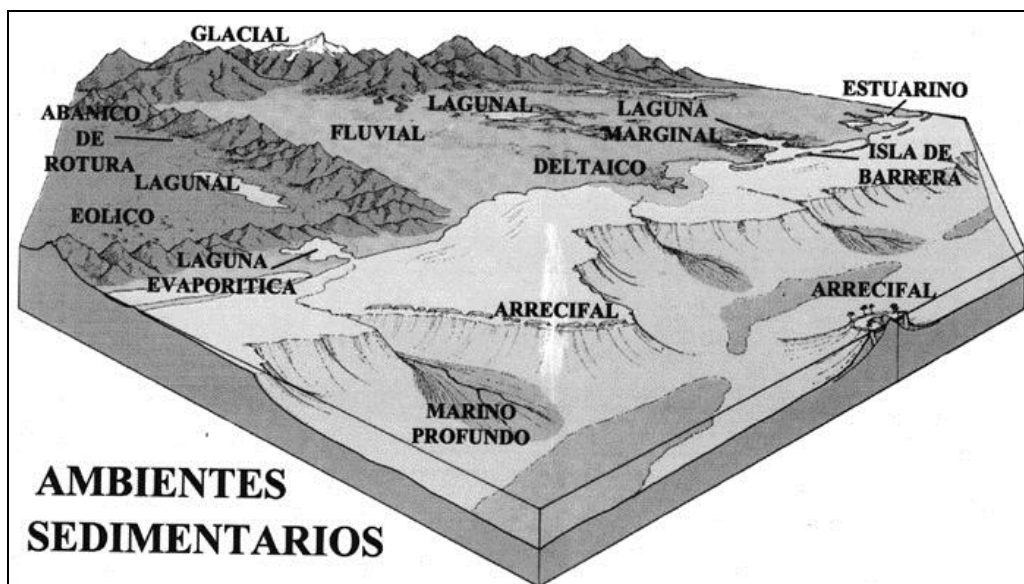


Figura 3.1. Ambientes sedimentarios (Gerardino, L 2007).

Entre los ambientes sedimentarios existentes, serán tratados fundamentalmente el fluvial y deltaico, motivado a que representan los ambientes más característicos de la región oriental de Venezuela y por ser de mayor interés y aplicación en el contexto enmarcado.

3.2.9. Ambiente fluvial

Comprende el canal de un río, la llanura aluvial y los conos aluviales, aunque generalmente los conos o abanicos aluviales suelen tratarse como un ambiente separado. La energía del ambiente está representada por el flujo de corriente y el material sedimentario puede variar desde bloques hasta arcilla. Según la distribución de los ríos en superficie, estos han sido clasificados como: rectilíneos, meandriiformes, entrelazados y anastomosados (Figura 3.2).

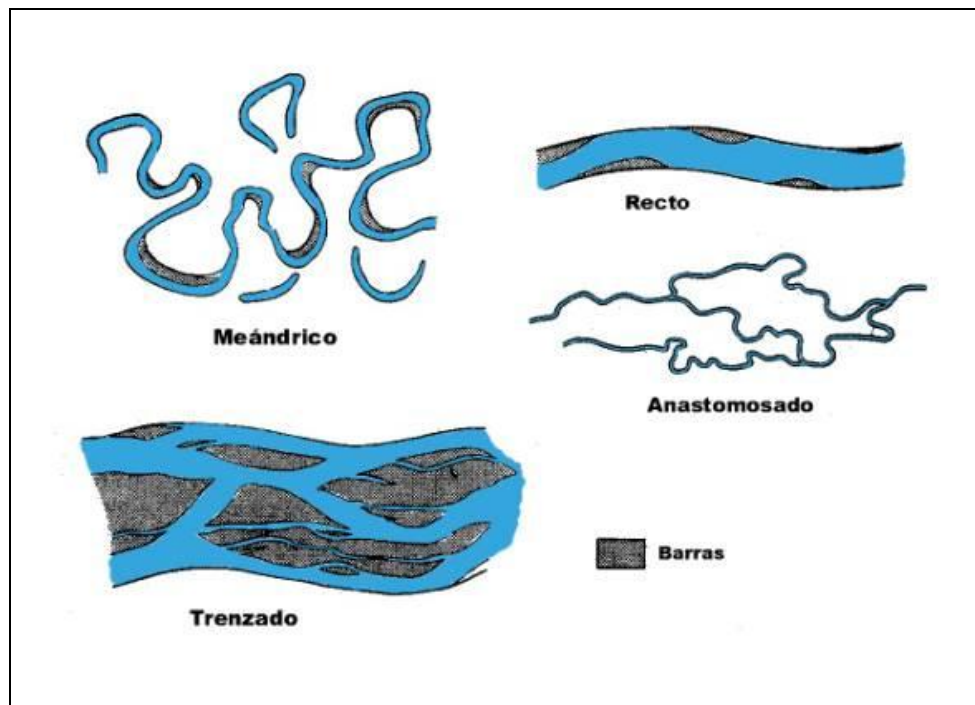


Figura 3.2. Tipos de canales (tomado Gerardino, L 2007).

3.2.9.1 Canales rectilíneos

Estos canales son inusuales, aunque suelen presentarse en deltas. Sus profundidades son variables y en los bordes que se oponen a la línea de mayor profundidad (“talweg”) se forman barras por acumulación de material fino, las cuales se alternan de una rivera a la otra, como en el caso de las corrientes meandriformes.

3.2.9.2 Canales meandriformes

Los meandros son curvas pronunciadas que se forman en canales de pendiente baja. Las barras de meandro (“point bar”) son el depósito característico de este tipo de canales y se forma por la migración lateral del meandro.

El material más grueso se depositó al fondo del canal y a través de la migración se origina una secuencia granodecreciente, la cual constituye una barrera de permeabilidad potencialmente facilitadora del entrapamiento de hidrocarburos.

El espesor de la secuencia vertical oscila entre 16,40 y 65,62 pies presentando estratificación cruzada en la parte basal y rizaduras hacia el tope. La llanura aluvial o de inundación que cubierta por el agua únicamente durante las crecidas, pero constantemente parte del agua se desborda del canal depositando arena fina y limo, formando un dique natural. Cuando uno de estos diques se rompe, se forman abanicos de rotura, los cuales representan un cuerpo arenoso favorable para la formación de trampas estratigráficas.

3.2.9.3 Canales entrelazados

Son formados por corrientes separadas por barras de sedimento depositadas por el mismo canal. Algunos factores que favorecen la formación de canales entrelazados son: la alta pendiente del terreno, las variaciones rápidas en el régimen de flujo y la disponibilidad abundante de material grueso. Las secuencias sedimentarias de este tipo de canales muestran espesores de hasta 16,40 pies, con estratificación cruzada festoneada a gran escala en la base, así como estratificación cruzada planar y rizaduras hacia el tope. Estos depósitos presentan buena porosidad y permeabilidad, representando así cuerpos sedimentarios favorables para la acumulación de hidrocarburos.

3.2.9.4 Canales anastomosados

Este tipo de canales han sido poco estudiados, pero han sido considerados como una variación de los sistemas de canales meándricos, de alta sinuosidad, estables y permanentes. El término anastomosado se emplea para describir un complejo de

depósito fluvial de gradiente muy bajo, donde se interconectan una serie de canales de muy alta sinuosidad, angostos y relativamente profundos. Estos sistemas se encuentran separados por planicies de inundación, parecidas a islas, con abundante vegetación, dique naturales, y áreas donde pueden desarrollarse abanicos de rotura. Los canales son rellenados con arena y grava y las planicies de inundación se caracterizan por presentar materiales limo-arcillosos, incluyendo depósitos de pantano con alto contenido de materia orgánica. Una de las características distintivas de este tipo de sistema fluvial es la presencia abundante de raíces en los sedimentos finos de las planicies de inundación, así como la acumulación de materia orgánica. Las condiciones en que se desarrollan este tipo de ríos, se mantienen en cuencas antepaís y sistema de grábenes.

3.2.10. Ambiente deltaico

Un delta se forma donde un río que entra en el mar, aporta más sedimentos de los que las olas y las corrientes pueden distribuir hacia otras áreas. El modelo geomorfológico general de un delta, independientemente de su condición, comprende la llanura deltaica, el frente deltaico y el prodelta (Figura 3.3).

1. **Llanura o Plano Deltaico:** es una extensión plana y pantanosa, cortada por canales distributarios, en la cual se acumulan sedimentos fluviales finos provenientes de las inundaciones.

2. **Frente Deltaico:** se extiende desde el límite marino de la llanura deltaica hasta la línea donde comienza la sedimentación de arcilla no marina.

3. **Prodelta:** es una ambiente de sedimentación del material fino (arcilla y limo) que ha sido transportado a través de los canales distributarios. El prodelta se

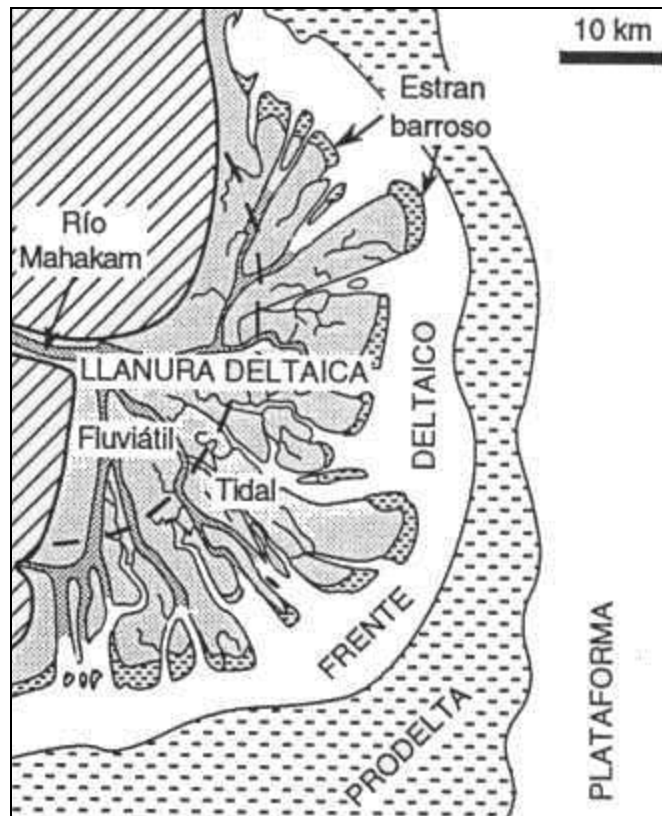


Figura 3.3. Modelo Geomorfológico de un Delta (Tomado Barrios, R 2010).

extiende desde el límite marino del frente deltaico hasta la línea donde comienza la sedimentación de arcilla marina.

Según el tipo de energía predominante en el ambiente, los deltas pueden estar dominados por ríos, por mareas y/o por corrientes (Figura 3.4).

3.2.10.1 Dominado por ríos

En la llanura deltaica se presenta diques naturales en los bordes de los ríos y en consecuencia se originan abanicos de rotura, durante las crecidas.



Figura 3.4 Tipos de deltas (tomado Gerardino, L, 2007).

Se aprecia la zona de marisma, que no es más que el área pantanosa entre los canales distributarios, cuyo proceso sedimentario proviene de las inundaciones y los abanicos de rotura. Los canales distributarios presentan profundidades entre 16,40 y 65,62 pies y a través de ellos se transporta el material más fino hasta las áreas pantanosas de la llanura deltaica.

En el sub-ambiente del frente deltaico desemboca la corriente fluvial de canal distributivo, el cual deposita su carga arenosa de fondo, dando origen a una barra de desembocadura. Esta barra se encuentra constituida por arenas bien escogidas que

presentan gradación inversa y representa un potencial cuerpo almacenador de hidrocarburos.

3.2.10.2 Dominado por corrientes o mareas

En este tipo de deltas, el material aportado por los canales es distribuido por la corrientes litorales, formándose así un frente deltaico constituido por crestas de playa sucesivas, las cuales son cortadas por los canales distributarios a medida que el delta progresa. Las crestas de playa presentan gradación inversa.

3.2.10.3 Dominado por mareas

El material sedimentario es reacomodado por las corrientes de marea. En este ambiente, las barras se forman perpendiculares a la línea de costa, exhiben gradación normal y se encuentran separadas por los canales de marea. Estos canales presentan depósitos granodecrecientes y se encuentran, generalmente, interrumpido por lentes o capas delgadas de arcilla.

Como la existencia de deltas implica la progradación de la cuña sedimentaria, en una columna estratigráfica se presentarán los sub-ambientes apilados verticalmente: en la base se encontrará la arcilla marina cubierta por arcilla y limo del prodelta, ascendiendo, se tendrán depósitos de barra de desembocadura y hacia el tope, culmina con facies de canal y de llanura aluvial.

Una secuencia de este tipo presenta espesores entre 65,62 y 196,85 pies con gradación inversa y se encuentra generalmente coronada por un horizonte de arcilla transgresiva con pocos pies de espesor. Estas secuencias estratigráficas se repiten una vez que aparecen deltas más jóvenes, dando origen a lo que se conoce como ciclos deltaicos.

3.2.11. Facies sedimentarias

Una facies sedimentaria es una secuencia de roca sedimentaria que se caracteriza por su forma, litología, estructuras sedimentarias y fósiles. Una facies es entonces el producto de un ambiente sedimentario, aunque también influyen en ella las fases erosionales o de no-sedimentación que previamente haya sufrido el material sedimentario. Un ambiente sedimentario puede, por tanto, ser deducido por análisis de las facies que él presente.

3.2.12. Mapa de electrofacies

Las electrofacies fueron definidas por Serra (1970) como “el conjunto de las respuestas de los perfiles que caracteriza a un estrato y permite distinguirlo de otros”.

Todas las respuestas de los perfiles (eléctricos, nucleares, acústicos, de buzamiento, etc) que indican los aspectos cuantitativos (valores de perfil) y los cualitativos (características de las curvas) representan, por lo tanto, las componentes de la electrofacies.

El mapa de electrofacies permite determinar la geometría y extensión de los cuerpos de arena, el ambiente de sedimentación y los caracteres de las variaciones presentes en todas las facies; además permite inferir sobre las propiedades petrofísicas del yacimiento.

3.2.13. Mapa estructural

Es la representación de los datos que están en el subsuelo hasta un hipotético plano a nivel del mar. Estos se construyen a partir de un datum de profundidad. Para

llevar este datum a los demás pozos se le suma la elevación de la mesa rotaria de los mismos respectivamente, y se colocan a la profundidad obtenida. (Figura 3.5).

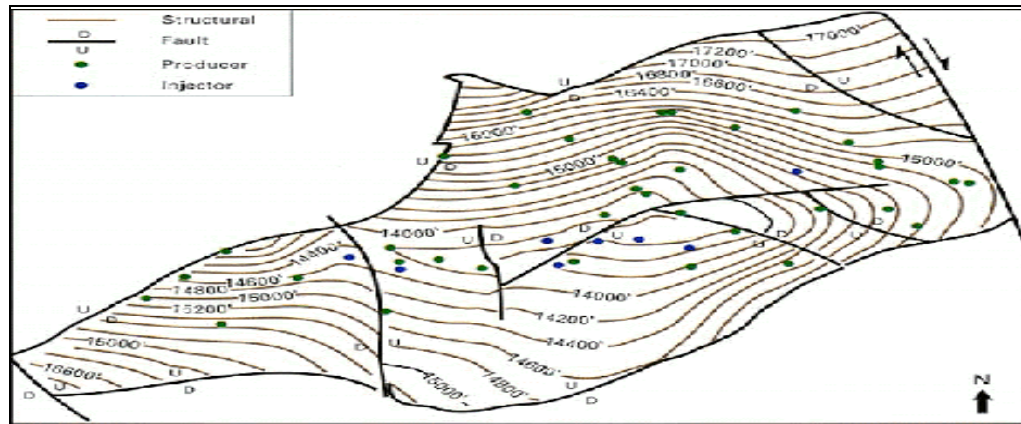


Figura 3.5 Mapa estructural (yomadoGerardino, L. 2007).

3.2.14. Mapa isópaco

Es la representación en un plano horizontal de los espesores de un cuerpo de arena, medidos en los perfiles de los pozos (registro eléctrico, densidad, etc.). Los mapas isópacos son utilizados por los geólogos, con el propósito de estudiar: ambientes depositacionales, genética de las arenas, historia de movimiento de una falla y cálculo de volumen de hidrocarburos.

3.2.15 Mapa de Arena Neta (AN)

Es la representación en un plano de los espesores de arenas, la ecuación utilizada para su elaboración fue la siguiente:

$$AN = \text{Base} - \text{Tope} - \text{Espesor de Arcilla.}$$

3.2.16. Mapas de isopropiedades

Al igual que los mapas anteriores, se pueden preparar mapas para mostrar diferentes propiedades de los yacimientos. Los mapas con curvas de igual presión se denominan mapas isobáricos. Podemos considerar que a veces los mapas Isobáricos y su mantenimiento, pueden dar indicaciones de barreras de permeabilidad, fallas, presencia de acuíferos activos, bajas permeabilidades en las arenas yacimientos y daños en la formación o yacimiento.

Los mapas que muestran curvas de iguales permeabilidades se llaman mapa de isopermeabilidades y los de igual porosidad, mapas de isoporosidades. Como bien sabemos, la porosidad depende de la sedimentación y sus niveles de energía ambiental. El rango de tamaño y escogimiento de los sedimentos es controlado por la fuente que aporta el sedimento y su distancia al sitio de depositación.

Cuando se interpreta un mapa de isoporosidades se deben considerar los patrones de sedimentación y sus direcciones. También se pueden tomar en cuenta mapas de Saturación de petróleo y/o gas. En este caso se deben analizar: reducción de la porosidad, aumento o disminución del tamaño de los granos y su escogimiento (presencia de arcillas y limos), y la ubicación de los contactos agua/petróleo. Cuando se cuenta con datos de las gravedades °API del petróleo en un yacimiento, se hacen mapas de isogravedades °API, los que en general, siguen el patrón de la estructura.

3.2.17. Perfiles eléctricos de pozos

Son medidas u observaciones realizadas en los pozos para determinar las características petrofísicas, litologías y fluidos presentes en las rocas.

Para lograr una evaluación de formación adecuada, se necesitan tres registros básicos: uno para mostrar las formaciones permeables, otro para estimar las resistividades de la zona no-disturbada y uno más para estimar las porosidades. El proceso básico de interpretación de registros se refiere a la determinación, primero, de donde están las zonas potencialmente productoras y, segundo, cuanto hidrocarburo, petróleo, gas y agua contienen.

3.2.18. Secuencias granocrecientes

En este tipo de secuencias se pasa de lutitas en la base a areniscas en el tope; están asociadas a energías crecientes, tal es el caso de canales fluviales, turbiditas, etc. (Figura 3.6).



Figura. 3.6. Secuencia Granocreciente
(tomado Gerardino, L. 2007).

3.2.19. Secuencias granodecrecientes

En este tipo de secuencia se pasa de arenisca en la base a lutita al tope, está asociada a una corriente con energía decreciente (Figura 3.7).

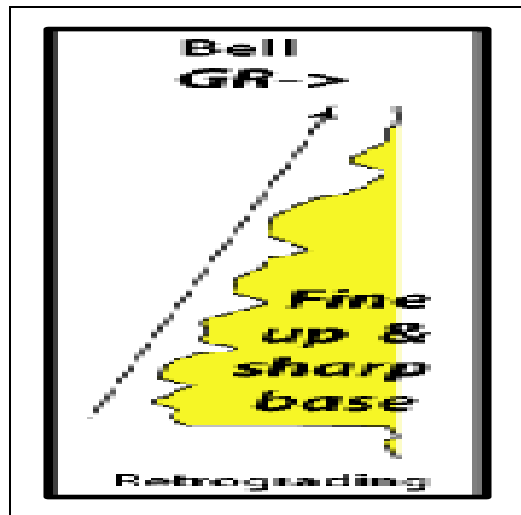


Figura. 3.7. Secuencia Granodecreciente
(tomado Gerardino, L. 2007).

3.2.20. Secuencias cilíndricas

Están caracterizadas por paquetes masivos de arena generalmente bien escogidas limitadas por contactos abruptos con lutitas en su base y tope (Figura 3.8) (Kendall, 2003).

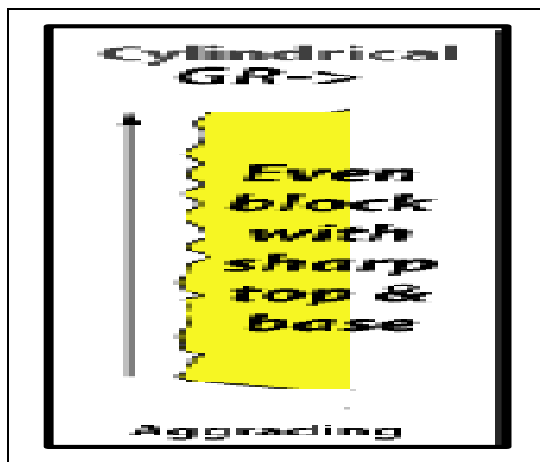


Figura. 3.8. Secuencia Cilíndrica
(tomado Gerardino, L. 2007).

Con la información obtenida de registros de potencial espontáneo y rayos gamma se pueden realizar interpretaciones que permitan crear un modelo sedimentológico de la zona en estudio. Para los modelos fluviales se puede inferir que los depósitos pertenecientes a ríos rectilíneos constituyen una alternancia vertical de arena o grava, observándose en perfiles eléctricos de rayos gamma o potencial espontáneo un comportamiento de la curva tipo cilíndrico.

En secuencias de depósitos de meandros la expresión en un perfil de potencial espontáneo o rayos gamma mostrará una evolución acampanada hacia la parte superior. (Figura 3.9). En los canales abandonados de ríos meandriformes la expresión de un perfil será semejante a la de una barra de meandro en la parte basal de la sección con una sección arcillosa en la parte superior. Este intervalo de arcilla recibe el nombre de tapón de arcilla. Una capa de carbón de las que suelen formarse en el tope de la barra de meandro tendrá una expresión similar a la de una limolita, por lo cual, para lograr diferenciarla se utiliza la curva de densidad/neutrón, donde el carbón se reconoce por su alto valor de porosidad y su bajo valor de densidad.

Un abanico de rotura aparece como un cuerpo delgado de arena intercalado entre intervalos lutíticos de llanura aluvial. La curva que representa la lutita de la llanura de inundación también puede ser interrumpida por deflexiones de capas de carbón o de depósitos de arenas de canales más antiguos enterrados en las lutitas de llanura aluvial.

Para interpretar modelos deltaicos los parámetros son iguales. Los depósitos de llanura deltaica constituyen un intervalo de sedimento fino que actúa como sello lateral de cuerpos arenosos de los canales distributarios y los abanicos de rotura. En una curva de rayos gamma tienen la misma expresión que las llanuras de inundación del ambiente fluvial, donde la línea de lutita puede ser interrumpida por depósitos de abanicos de rotura, capas de carbón o rellenos de canal más antiguos.

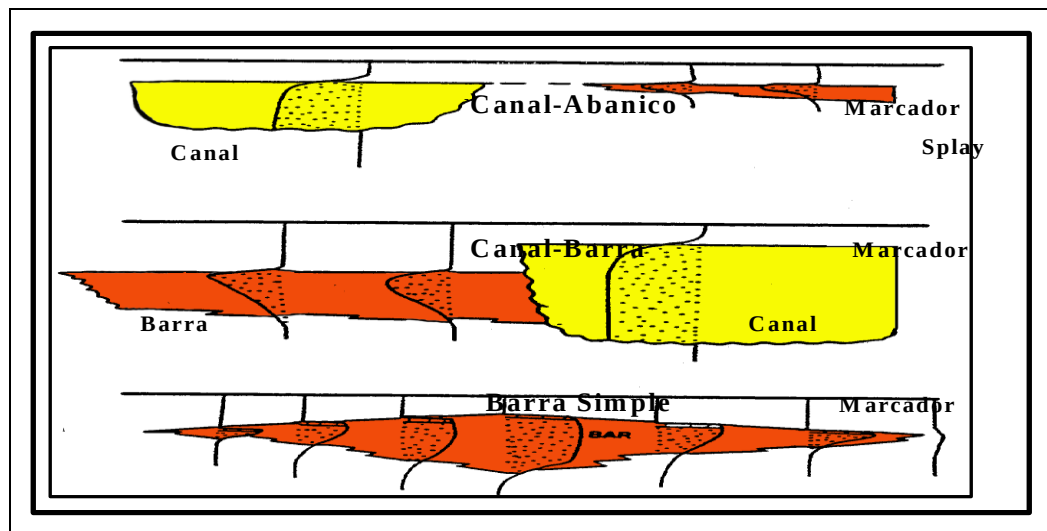


Figura. 3.9. Tipos de Formas de GR y SP, para identificar litologías (tomado Gerardino, L. 2007)

Los diques naturales deltaicos aparecen en la curva de rayos gamma como una deflexión a la izquierda con poco espesor por encima del canal y muy cerca de él.

Los abanicos de rotura de ambientes deltaicos se presentan en curvas de perfil como una deflexión a la izquierda de poco espesor interrumpiendo la continuidad de la línea de lutita de la llanura deltaica. Un depósito de barras de desembocadura, debido a su evolución textural granocreciente muestra una deflexión gradual hacia la izquierda.

La parte superior del depósito puede presentar una evolución mas o menos gradual hacia la arcilla marina transgresiva, si la transgresión es lenta, pero esto puede ser abrupto si la transgresión es rápida.

Es decir si la barra es erosionada por su canal, la curva mostrará la expresión de un depósito de canal distributivo encima de la forma de embudo de la barra deltaica (Figura 3.10).

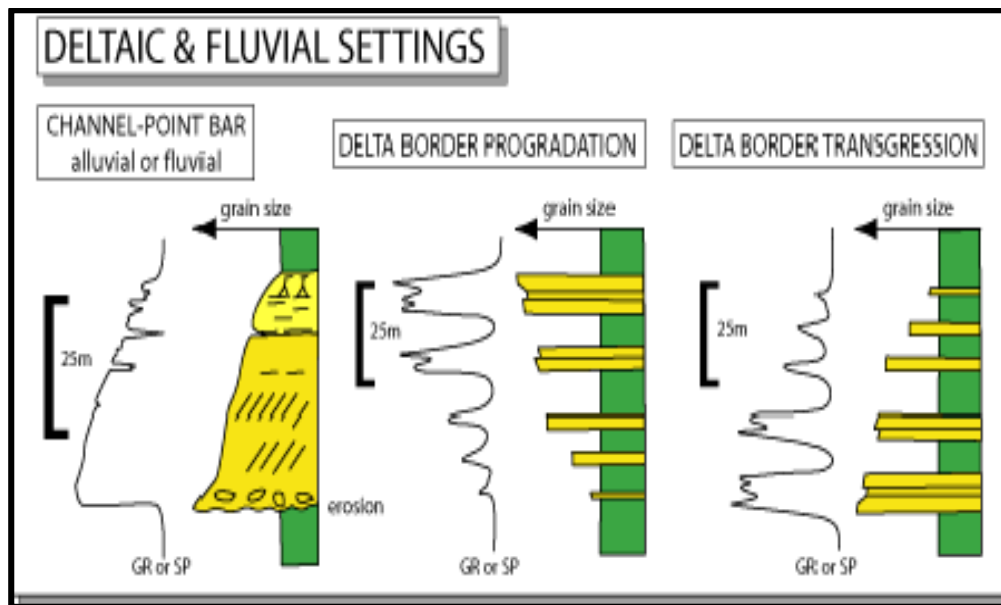


Figura. 3.10. Ejemplo de tipos de secuencias (tomado Gerardino, L. 2007).

3.2.21. Unidades estratigráficas

Las unidades estratigráficas pueden definirse según el grado que poseen, pudiendo ser litoestratigráficas (litología), bioestratigráficas (paleontología) y cronoestratigráficas (temporales).

3.2.22. Unidades litoestratigráficas

Se establecen a partir de las características litológicas de la sucesión estratigráfica. Su principal limitación se encuentra al momento de correlacionar a grandes distancias, puesto que la representación de estas abarca una extensión lateral relativamente grande, pero aún así siguen siendo las más empleadas debido a la objetividad con que representan la información del subsuelo. Las unidades litoestratigráficas se encuentran influenciadas por los ambientes sedimentarios; a medida que estos varían ocurren cambios en las características y propiedades

litológicas, por lo que la extensión de estas unidades se encuentra limitada en el espacio. En orden de importancia estas unidades son: capa, miembro, formación (unidad básica) y grupo.

3.2.23. Unidades bioestratigráficas

Estas unidades parten de la clasificación de las rocas estratificadas en función de las características paleontológicas que presentan. Son bastante precisas pues se fundamentan en la presencia de fósiles, los cuales, al estar regidos por la evolución son irrepetibles y pueden aparecer en toda la superficie terrestre.

Su principal limitación radica en que al estar limitadas en la presencia de fósiles, solo cubren de manera eficiente el Fanerozoico y aún así existen materiales azoicos en los que no es posible realizar división bioestratigráfica alguna. La unidad principal es la biozona.

3.2.24. Unidades cronoestratigráficas

Dividen la columna estratigráfica basándose en el tiempo, y se refieren a los estratos que se han depositado durante un tiempo determinado. Las unidades cronoestratigráficas son unidades materiales, mientras que las unidades geocronológicas, son divisiones puramente temporales, intangibles, aunque se encuentran irremediablemente asociadas a las primeras.

Estas son las unidades fundamentales pues a través de ellas pueden ser correlacionadas las columnas estratigráficas de todo el mundo. Son utilizadas en el establecimiento de la escala de tiempo geológico.

3.2.25. pH

La calidad del agua y el pH son a menudo mencionados en la misma frase. El pH es un factor muy importante, porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH. Por ejemplo, las reacciones del cloro solo tienen lugar cuando el pH tiene un valor de entre 6,5 y 8.

El pH es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H^+) en una sustancia.

La acidez es una de las propiedades más importantes del agua. El agua disuelve casi todos los iones. El pH sirve como un indicador que compara algunos de los iones más solubles en agua.

El resultado de una medición de pH viene determinado por una consideración entre el número de protones (iones H^+) y el número de iones hidroxilo (OH^-). Cuando el número de protones iguala al número de iones hidroxilo, el agua es neutra. Tendrá entonces un pH alrededor de 7.

El pH del agua puede variar entre 0 y 14. Cuando el pH de una sustancia es mayor de 7, es una sustancia básica. Cuando el pH de una sustancia está por debajo de 7, es una sustancia ácida. Cuanto más se aleje el pH por encima o por debajo de 7, más básica o ácida será la solución.

El pH es un factor logarítmico; cuando una solución se vuelve diez veces más ácida, el pH disminuirá en una unidad. Cuando una solución se vuelve cien veces más ácida, el pH disminuirá en dos unidades. El término común para referirse al pH es la alcalinidad.

Límites aceptables de pH y Sólidos Totales Disueltos (T. S. D)

Los límites aceptables por la Dirección General de Salud Ambiental y Controlaría Sanitaria en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela, viernes 13 de Febrero de 1998 para clasificar las aguas como aceptables para el consumo humano son los siguientes; en cuanto al pH el agua debe estar dentro del intervalo comprendido de 6,5 a 8,5, en cuanto a los ppm aceptables de los Sólidos Totales Disueltos (T. S. D) estos no deben sobrepasar los 1000 ppm.

CAPITULO IV

METODOLOGÍA DEL TRABAJO

4.1. Diseño de la investigación

Esta investigación es de tipo descriptiva. Con ella se obtiene una información detallada de las características de un objeto o una situación concreta. Según Arias, F. et. al., (1999):

“Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. Miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es medir. Esto es, en un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, para así (vélgase la redundancia) describir lo que se investiga.”

Esta permitió recopilar toda la información necesaria de los pozos del campo El Carito pertenecientes a PDVSA Distrito Punta de Mata, lo cual permitió revisar información de los registros existente tanto en físico como en digital, identificar la profundidad de las arenas basales de los acuíferos y definirlos, además se cargaron los topes de los horizontes seleccionados como prioridad a estudiar, sus características estructurales, sedimentológicas y estratigráficas, los cuales ayudaron a realizar un análisis de la distribución de las arenas en el campo y parte de sus zonas adyacentes, tomando en cuenta la evaluación geoquímica de las arenas completadas y la columna estratigráfica perforada por los pozos en estudio, lo cual permitió tener una mayor conocimiento del área en general.

4.2. Tipo de investigación

En relación al problema planteado y a los objetivos propuestos, este trabajo de investigación se enmarca dentro de la modalidad de campo, no experimental, por cuanto este diseño permite no sólo observar, sino recolectar los datos necesarios para caracterizar los acuíferos profundos de la Formación las Piedras en el campo El Carito, directamente de la realidad objeto de estudio, en su ambiente cotidiano, para posteriormente analizar y poder proponer las zonas más adecuadas para la perforación de nuevos pozos.

Según Arias, F. (1999) “la investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna.”.

4.3. Población y muestra de la investigación

Según Arias, F. (1999), “la población es la totalidad del fenómeno a estudiar, donde las unidades de la misma, poseen una característica común, la que se estudia y da origen a los datos de la investigación”. La población considerada para este estudio es de 680 pozos, que se encuentran en el campo El Carito, Distrito Punta de Mata municipio Ezequiel Zamora.

Es importante resaltar que de estos 680 pozos solo se trabajó con una muestra de 61, debido a que los 619 pozos restantes, presentaron ausencia de curvas cargadas en el sistema, y otras razones por las cuales no se pudo correlacionar los mismos para una mayor cobertura de área. Además, la mayoría de los pozos no cuentan con registros especiales que permitan definir de forma más extensa las arenas y la distribución de las mismas en el campo.

4.4. Procedimiento metodológico

Para el desarrollo de este trabajo se realizó una metodología general, que abarca la integración de varios modelos, tales como: estratigráfico, estructural, sedimentológico y una interpretación geoquímica. Todas estas actividades fueron dirigidas para caracterizar geológicamente los acuíferos profundos de la Formación Las Piedras, mediante la ejecución de técnicas y herramientas utilizadas, las cuales se puede observar a detalle en el siguiente esquema. (Figura 4.1)

El desarrollo de esta investigación estuvo regido por el cumplimiento de las siguientes etapas:

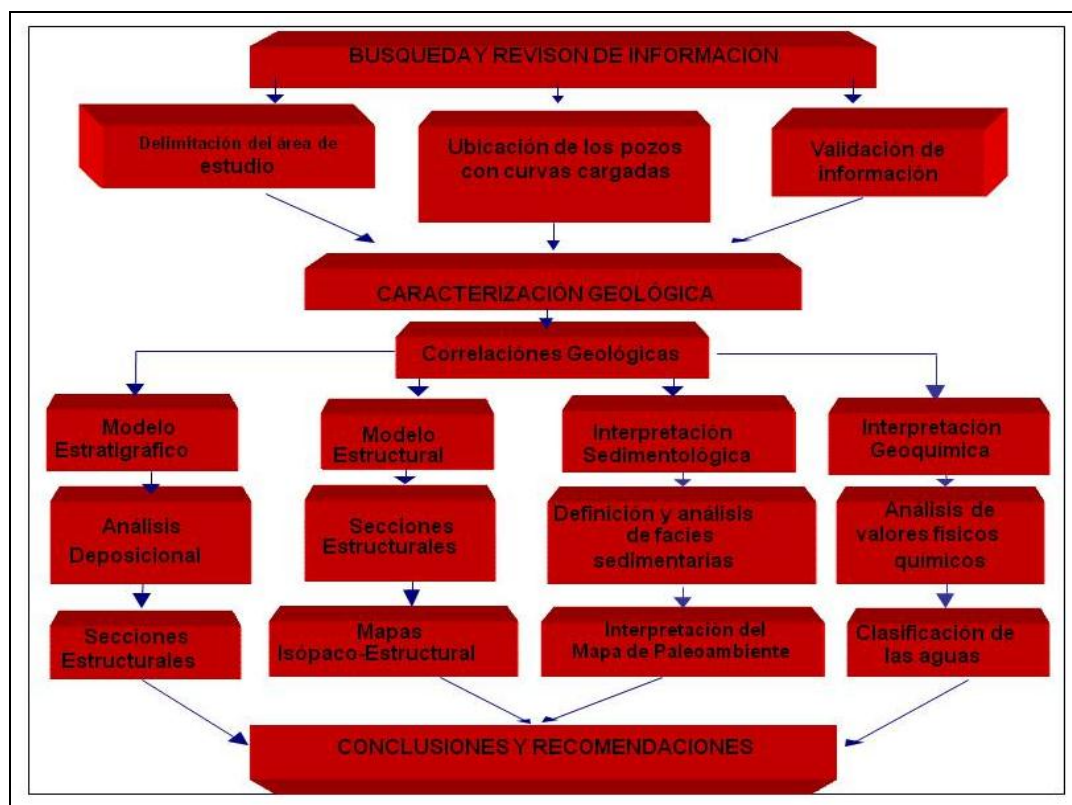


Figura 4.1. Flujograma de la metodología aplicada

4.4.1. Búsqueda, revisión y validación de la información

Esta etapa inicial se basó en la búsqueda y revisión carpeta por carpeta de cada una de los pozos para detectar la existencia o no de registros físicos de la zona de interés, histórico de los pozos, coordenadas, elevación de la mesa rotatoria, presencia de problemas operacionales durante la perforación, se correlacionaron los registros en físico para obtener los topes de las arenas de la formación en estudio, también se revisó el (Léxico Estratigráfico de Venezuela, 1997) en su II edición para revisar referencias originales y actuales del campo, grupo, formación o miembro o en otras palabras las unidades litoestratigráficas y contexto geológico definido o no en éste estudio.

Luego del proceso anterior se delimitó el área de estudio utilizando la estación de trabajo de la Plataforma **LANDMARK** mediante las aplicaciones **OPENWORKS**, ya que es una aplicación donde se elaboran las secciones estratigráficas, estructurales, contorneo, edición de mapas estructurales e isópacos, la generación de mapas de electrofacies, para posteriormente generar mapas de paleoambientes, donde se elaboró un mallado provisional que permitió hacer un inventario de los pozos presentes en el campo, además, facilitó la revisión de la existencia de curvas cargadas o no al sistema, dando como resultado 61 pozos cargados al sistema. (Tabla 4.1).

4.4.2. Caracterización geológica

4.4.2.1. Correlaciones geológicas

En las correlaciones geológicas se manejaron registros eléctricos de pozos y a su vez se elaboró una correlación a detalle de los tres seleccionados, comprendidos entre un intervalo de 2500' a 4500' pies aproximadamente, basado en las lecturas

Tabla 4.1 Lista de pozos utilizados en la caracterización
Pertenecientes al campo El Carito.

POZOS DEL ÁREA DE ESTUDIO					
SBA 12	SBA 13	SBA 14	SBA 204	SBA 15	SBA 16
SBA 120	SBA 121	SBA 125	SBA 130	SBA 131	SBA 134
SBA 135	SBA 141	SBA 150	SBA 151	SBA 181	SBA 184
SBA 186	SBA 190	SBA192	SBA193	SBA 200	SBA 202
SBA 205	SBA 206	SBA 210	SBA 211	SBA 212	SBA 213
MUR 15	MUR 22	MUR 48	MUR 49	MUR 59	MUC 101
MUC 131	MUC 115	MUC 1E	MUC 85	MUC 86	MUC 88
MUC 90	MUC 95	MUC 99	MP 116	MP 117	MP 126
MP 132	MP 152	MP 25	MP 44	CRC 10	CRC 11
CRC 14	CRC 16	CRC 17	CRC 18	CRC 19	CRC 1X
CRC 2	CRC 20				

de las curvas SP y GR del pozo MUC-1E, en el cual se detallaron respuestas eléctricas originadas por lutitas y lignitos que son marcadores regionales de la zona las cuales muestran buena continuidad lateral y areal en la secuencia sedimentaria y paquetes de arenas bien definidos en todo el campo.

Una vez definida la zona de interés en físico se realizaron las correlaciones para establecer los topes de las arenas correspondientes. Se eligieron los pozos que pertenecen al campo El Carito Norte, los cuales cuentan con poca información a nivel somero, debido a que en las arenas basales de la Formación Las Piedras no han sido realizados estudios detallados que permitan generar una información confiable de sus características geológicas en cuanto a estructuras, sedimentación y deposición estratigráfica.

A través de los registros de inducción, rayos gamma y potencial espontáneo se realizaron las correlaciones de los 61 pozos que se encuentran dentro del área

estudiada (Tabla 4.1), observándose una continuidad regional de las arenas en todo el campo; debido a la sedimentación fluvial deltaica en la que se depositó la Formación Las Piedras, indicando que las continuidades de los horizontes no son afectadas lateralmente por eventos tectónicos.

Para la definición de la estratigrafía, a partir de los intervalos se creó un mallado para validar los topes y bases y se correlacionó en el mapa base del área, que incluyó los 61 pozos perforados en la zona, se escogió el registro eléctrico del pozo MUC-1E, como registro tipo por contener todos los niveles estratigráficos. Para los 61 pozos se utilizó la antes mencionada correlación, realizándose en toda el área para definir así los topes y las bases estratigráficas.

En la

Figura se puede observar el mallado creado en las proyecciones de los pozos escogidos en el campo El Carito, donde se realizó el modelo geológico aplicado para las correlaciones estratigráficas y estructurales; también se elaboró el diseño de los mapas de electrofacies, isópacos-estructural del campo El Carito.

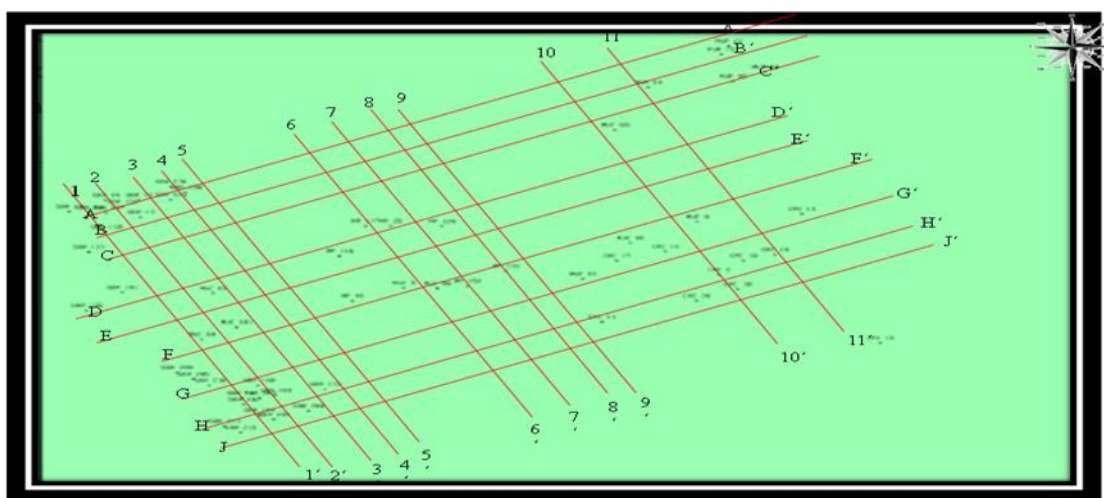


Figura 4.2 Mallado utilizado en la correlación de las arenas.

4.4.2.2. Modelo estructural - estratigráfico

En este modelo se realizaron las secciones estructurales-estratigráficas tomando en cuenta las curvas de Resistividad profunda, Rayos gamma y Potencial espontáneo para cada pozo involucrado en el mallado, también se determinó un cuello lutítico como marcador principal a una profundidad comprendida en el tope de 2400' pies aproximadamente y en la base 2600' pies aproximados dicha base es el tope del primer horizonte de interés, este marcador es regional en toda el área de estudio lo que facilitó determinar la horizontalidad de los estratos.

Una vez generado el mallado que fue estructurado con 8 líneas de sección sobre el mapa base

Figura para estudiar las unidades sedimentarias de manera transversal así como longitudinalmente; Se procedió a construir un total de 8 secciones estratigráficas, 4 en dirección noroeste - sureste identificadas como: A-A' constituida por los pozos; SBA 12, SBA 13, SBA 14, SBA 15, SBA 16, SABA 19; B-B' constituida por los pozos SBA 121, SBA125, SBA130, SBA 131, SBA 134, SBA 135, SBA 141, SBA 150, SAB 151; C-C' constituida por los pozos SBA 181, SBA 184, SBA 190, SBA 192, SBA 193; D-D' conformada por los pozos: SBA 200, SBA 205, SBA 210, SBA 212, SBA 213; 4 secciones restantes en dirección Este - Oeste identificadas de la siguiente manera E-E' conformada por los pozos: CRC 10 CRC 11, CRC 14, CRC 16, CRC 17, CRC 18, CRC 19, CRC 1X, CRC 2, CRC 20; F-F' conformada por los pozos: MUC 101, MUC 131, MUC 1E, MUC 85, MUC 86, MUC 88, MUC 90, MUC 95, MUC 99; G-G' conformada por los pozos: MP 116, MP 117, MP 126, MP 132, MP 152, MP 25, MP 44; H-H' conformada por los pozos: MUR 15, MUR 22, MUR 48, MUR 49, MUR 59. Estas generaron información del sentido en que ocurrió la deposición de los estratos en el subsuelo.

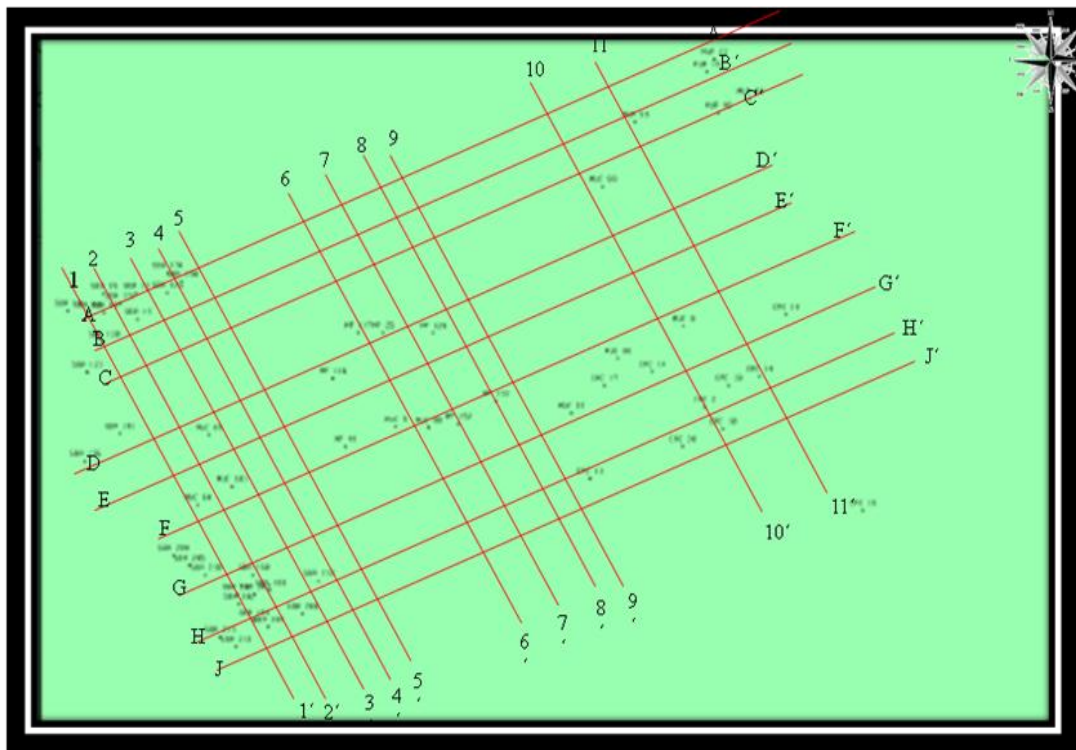


Figura 4.3 Mapa base de secciones estratigráficas.

Estas secciones estructurales-estratigráficas fueron montadas con las curvas de Potencial espontáneo ó Rayos gamma y Resistividad profunda para cada pozo del mallado, se escogió el datum 1 de referencia estratigráfico, el cual es un cuello lutítico regional que abarca toda el área de estudio que facilitó identificar la horizontalidad y la deposición de los sedimentos tomando en cuenta las secuencias básicas de las electrofacies: “Fining-up” (canales) y “coarsening-up” (barras costeras, barras de desembocadura, abanicos de rotura, etc.), de acuerdo a la respuesta electrográfica del registro de potencial espontáneo ó rayos gamma, sabiendo que la lectura arrojada por los registros de potencial espontáneo son ideales para identificar y discriminar litologías.

Con la finalidad de visualizar mejor la distribución de los cuerpos de arenas que constituidos en los acuíferos, se realizaron 3 mapas isópacos de espesor de arena, los cuales se obtuvieron al restar los topes y las bases de cada horizonte debido a que no se conto con una evaluación petrofísica por falta de valores de corte y falta de núcleos en la zona, apéndice B.

Para realizar las secciones estructurales, se extrajo una imagen CGM de la estación en la aplicación Openworks y se les dio formato en Microsoft Office Power Point 2003.

Una vez realizados todos estos estudios se considero realizar un análisis sísmico-estructural donde se realizaron trazas y líneas sísmicas en el área para validar si la Formación Las Piedras había sido afectada estructuralmente por eventos geológicos (Figura 4.4)

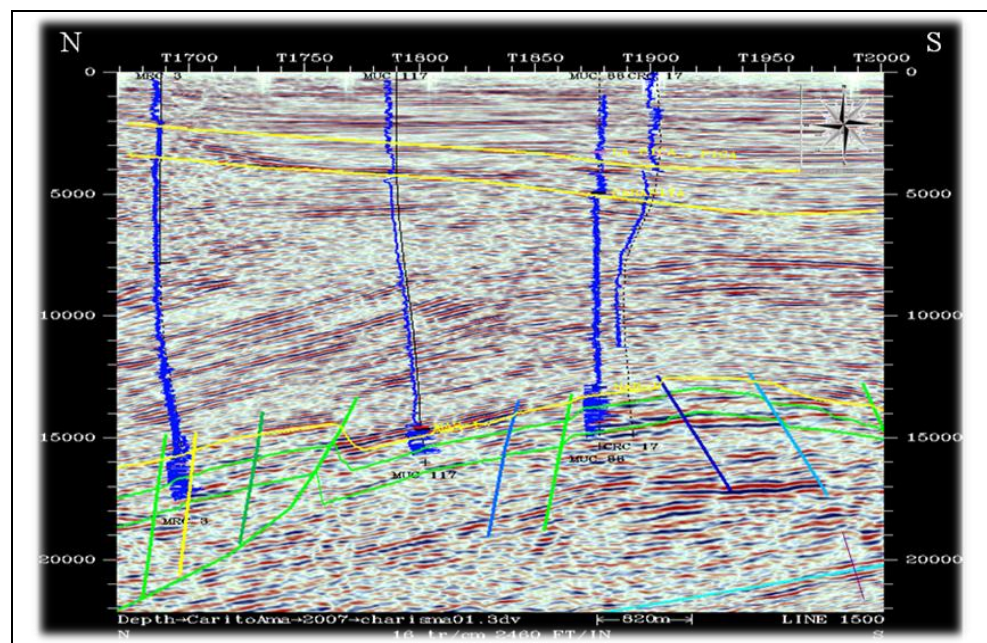


Figura 4.4 Trazas sísmico-estructurales.

4.4.2.3. Interpretación sedimentológica

Una buena descripción de los sistemas sedimentológicos y depositacionales proporciona una evaluación semicuantitativa de los parámetros geométricos. Esta define la arquitectura interna de las arenas. En la interpretación sedimentológica, el análisis de las facies provee información relacionada a las formaciones geológicas, ambientes de deposición, unidades sedimentarias y la geometría de los cuerpos.

Una vez realizada las correlaciones estratigráficas y la definición de los topes y las bases de los intervalos estudiados se generaron mapas de paleoambiente de las arenas basales más desarrolladas de los acuíferos profundos de la Formación Las Piedras las cuales fueron definidas como acuífero A, acuífero B y acuífero C separados por marcadores regionales con intercalaciones de lignitos o carbones (Figura 4.5)

Estos mapas se generaron a través de las curvas de potencial espontáneo y de resistividad profunda entre el tope y la base del intervalo registrado por cada pozo en el campo, para así visualizar la distribución de las diferentes electroformas identificadas en la arena. A partir de estos mapas, cotejados con los mapas isópacos se definieron los paleoambientes.

Para la interpretación se utilizó la técnica que consiste en ilustrar en el mapa base de las arenas las respuestas de electrofacies para ver el comportamiento de las curvas SP y de la curva de resistividad, para así observar el tipo de ambiente de sedimentación de acuerdo a la secuencia granulométrica presente, ya sea granocreciente (coarsening up) que se interpreta como facies de barra, abanico de rotura o granodecreciente (fining up) que se interpreta como facies de canal y las lutitas que se encuentran en las zonas marginales no tienen una respuesta definida en la curva (Figura 4.6).

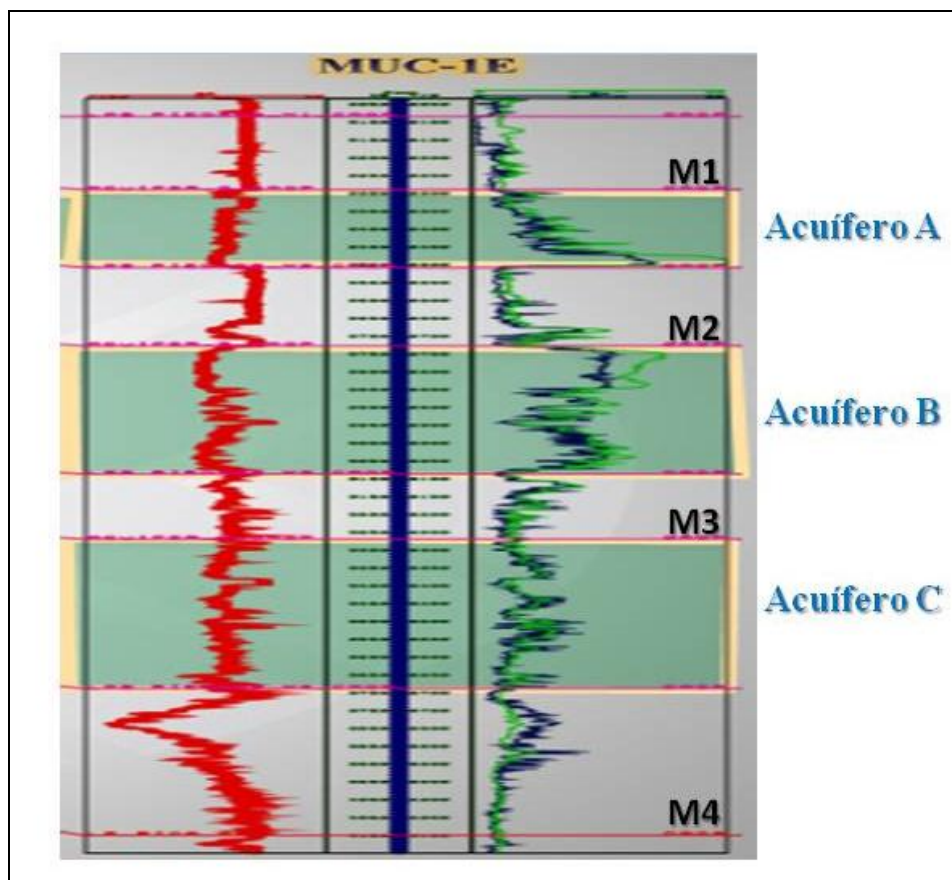


Figura 4.5 Registro tipo.

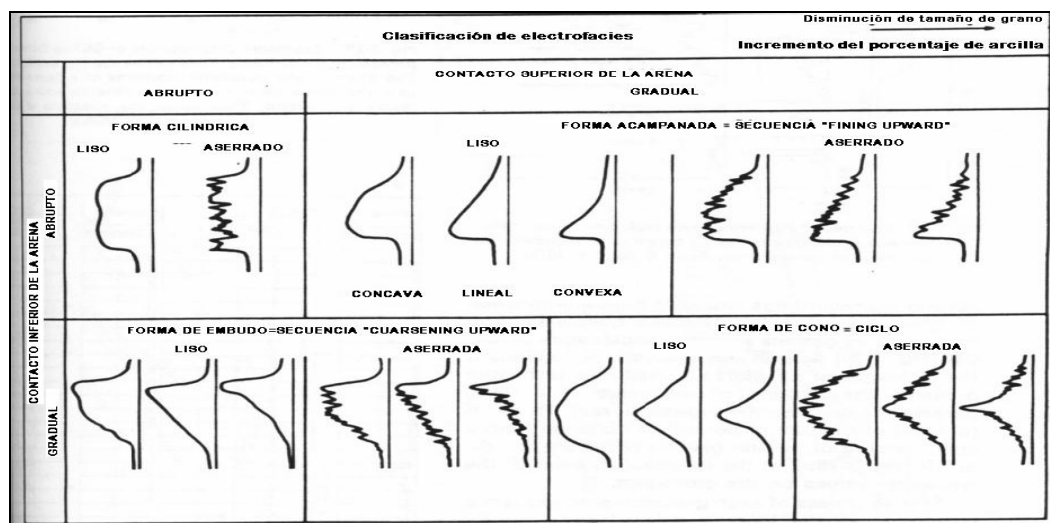


Figura 4.6 Relación entre las curvas GR y SP y el tamaño de grano (Schlumberger, 1997).

finalidad de determinar el origen genético de las mismas, en lo que se utilizó el método de Sulín para clasificar las aguas allí contenidas.

4.4.2.5. Método de Sulín

Este sistema de clasificación fue propuesto en 1946 por el ruso V. A. Sulín, el cual relaciona el significado genético de las aguas. Este método divide las aguas en meteóricas y connatas, de acuerdo a su composición química expresada en porcentaje de miliequivalentes por litros (%meq/l).

Este método de clasificación se fundamenta en lo siguiente:

Las aguas meteóricas contienen sulfatos y bicarbonatos, pero muy poco Calcio y Magnesio. El Sodio (Na^+) deben ser aproximadamente iguales a la suma de los miliequivalentes por ciento de los aniones, es decir:

$$\text{Meq. Na}^+ = \text{Meq. Cl}^- + \text{Meq. SO}_4^{2-} + \text{Meq. HCO}_3^- \quad (4.1)$$

$$\text{Meq Na}^+ - \text{Meq Cl}^- = \text{Meq. SO}_4^{2-} + \text{Meq HCO}_3^- \quad (4.2)$$

Para aguas meteóricas se cumple que:

$$\text{Meq. Na}^+ / \text{Meq. Cl}^- > 1 \quad (4.3)$$

Además, las que pertenecen al tipo Sulfato de Sodio, cumplen con la siguiente relación:

$$\text{Meq. (Na}^+ - \text{Cl}^-) / \text{Meq. SO}_4^{2-} < 1 \quad (4.4)$$

Y las que pertenecen al tipo Bicarbonato de Sodio cumplen con la siguiente relación:

$$\text{Meq. (Na}^+ - \text{Cl}^-) / \text{Meq. SO}_4^{2-} > 1 \quad (4.5)$$

Las aguas connatas contienen poco Sulfatos y Bicarbonatos; prácticamente el único anion es el cloruro, por lo que se tiene:

$$\text{Meq. Cl}^- = \text{Meq. Na}^+ + \text{Meq Ca}^{++} + \text{Meq Mg}^{++} \quad (4.6)$$

$$\text{Meq. Cl}^- - \text{Meq. Na}^+ = \text{Meq Ca}^{++} + \text{Meq Mg}^{++} \quad (4.7)$$

Para aguas connatas se cumple la siguiente ecuación:

$$\text{Meq. Na}^+ / \text{Meq Cl}^- < 1 \quad (4.8)$$

Además las que pertenecen al tipo Cloruro de Calcio cumplen la siguiente relación:

$$\text{Meq. (Cl}^- - \text{Na}^+) / \text{Meq Mg}^{++} > 1 \quad (4.9)$$

Y las que pertenecen al tipo de cloruro de magnesio cumplen la relación:

$$\text{Meq. (Cl}^- - \text{Na}^+) / \text{Meq Mg}^{++} < 1 \quad (4.10)$$

En la tabla 4.2 se engloba la clasificación de Sulin en forma general y práctica:

Tabla 4.2 Sistema de clasificación de aguas según Sulin.

CLASE	Na + / Cl-	PARAMETRO	TIPO
METEORICA	> 1	(Na - Cl) / SO ₄ > 1	BICAR. DE SODIO
		(Na - Cl) / SO ₄ > 1	SULF. DE SODIO
CONNATA	< 1	(Cl - Na) / Mg > 1	CLOR. DE CAL.
		(Cl - Na) / Mg > 1	CLOR. DE MAG.

Se considera que los ambientes de tipo continental son característicos de aguas meteóricas y los ambientes marinos y subterráneos profundos caracterizan a las aguas connatas o aguas bajo condiciones estáticas profundas.

4.4.2.6. pH y alcalinidad

Se realizó una revisión de la población de pozos utilizados en los estudios de Aguasuelos Ingeniería S. C y de los análisis físico químicos bacteriológicos realizados a los pozos de aguas circunscritos en el área de estudio, de dicha revisión se realizó una base de datos, con esta base de datos de pH y alcalinidad se realizaron gráficas.

4.4.2.7. Sólidos totales disueltos

Se realizó una revisión de los valores de Sólidos Totales Disueltos de los estudios de Aguasuelos Ingeniería S. C. Los pozos de agua circunscritos en el área de estudio, una vez seleccionados los pozos a utilizar se realizó una base de datos en la Microsoft Excel, donde fueron vaciado todos estos datos calculados de cada uno de los análisis.

Posteriormente se realizaron gráficas de los valores obtenidos.

Es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. Está relacionada con la Conductividad Eléctrica mediante la fórmula $TDS = C.E. (mmhos/cm) \times 700; ppm$ Se mide en ppm. El Decreto 475 de 1998 del Ministerio de Salud establece que para ser agua potable la Conductividad deberá estar comprendida entre 50 y 1000 micromhos/cm.

4.4.2.8. Elaboración de mapas

- Mapa estructural: El mapa estructural, es la proyección en el plano horizontal del tope o la base de un cuerpo de arena o nivel estratigráfico de interés y muestra la relación espacial del nivel estratigráfico mapeado con la distribución de los fluidos dentro del yacimiento. En estos mapas se proyectan datos que están en el subsuelo hasta un hipotético plano a nivel del mar.

Los topes estructurales fueron validados, revisados y ajustados, según las correlaciones establecidas en este estudio, definiendo los topes de las arenas presentes a la profundidad TVDSS (profundidad vertical verdadera bajo el nivel del mar).

Los contornos estructurales muestran datos sobre la orientación del estrato mapeado (rumbo y buzamiento).

Se realizaron 3 mapas estructurales, cuyos topes fueron extrapolados a partir de las correlaciones realizadas con los pozos disponibles, contándose con 1 datum, definidos en la base de las arenas en estudio de la Formación Las Piedras, una vez generados y contorneados de manera manual, se digitalizaron a través de la aplicación Zmap Plus V.2003.12.

- Mapas isópacos: Este mapa se realizó con la finalidad de representar en un plano el número de pies de arena que presenta posibles reservorios acuíferos en los intervalos.

El mapa isópaco se genera a partir de la extracción manual de los pies de arenas contenidos en cada intervalo de estudio aplicando técnicas básicas donde a partir de aplicar una línea base de lutitas y una línea base de arenas se realiza un promedio y se

traza una línea base en cada registro la cual indicará que lo que se encuentre a su izquierda es arena y a su derecha es material arcilloso, en esta oportunidad la información extraída estuvo sostenida a partir de la lectura de resistividad que arrojó cada registro.

El mapa isópaco fue integrado al mapa estructural respectivo en Zmap Plus para obtener el mapa isópaco estructural de la arena basal de la Formación Las Piedras.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez analizada toda la metodología aplicada y la información que fue requerida para el estudio inicial de las arenas basales de la Formación Mesa-Las Piedras en el campo El Carito, se procedió a realizar el análisis del modelo geológico en las siguientes etapas:

5.1 Análisis de las secciones estructurales-estratigráficas

Se realizaron 8 secciones estratigráficas-estructurales de las cuales cuatro secciones **(A-A', B-B', C-C', D-D')** están orientadas en dirección noroeste-sureste y las 4 secciones restantes **(E-E', F-F', G-G', H-H')** están orientadas en dirección suroeste-noreste, dicha orientación se hizo con la finalidad de mostrar y visualizar la tendencia de los intervalos correlacionados en cuanto a su continuidad lateral y los diferencias cambios de facies que presentan las arenas basales de la Formación Las Piedras en el campo El Carito.

5.1.1 Sección estratigráfica A – A' con dirección noroeste-sureste

Esta sección se encuentra conformada por los pozos SBA-120, SBA-121, SBA-130, SBA-131 y SBA-135, SBA-141, SBA-150, SBA-151, SBA-125 en dirección Noroeste-Sureste respectivamente. Estas fueron montadas Perpendicularmente a la dirección de sedimentación. En esta sección se puede observar a partir del comportamiento de las Curvas SP, GR, y de conductividad los cambios laterales de facies y la heterogeneidad litológica de los cuerpos presentes, notándose a partir de la

lectura del registro que los cuerpos de arenas varían su espesor lateralmente, esta presentó intercalaciones de lutitas y lignitos ó carbones. En esa sección se definieron 3 acuíferos el Acuífero “A” hacia el tope, el Acuífero “B” hacia la parte intermedia y el Acuífero “C” hacia la base, cada uno separados por marcadores regionales de la zona conformados por intercalaciones de lignitos y arenas y/o arcillas, presentando el acuífero A los mayores espesores (figura 5.1).

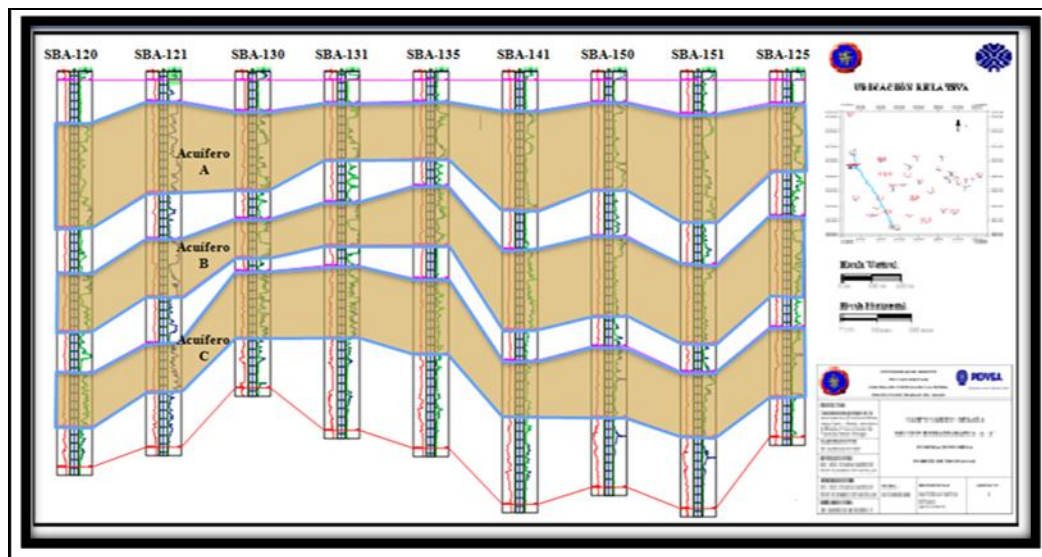


Figura 5.1 Sección estratigráfica A-A’.

5.1.2 Sección estratigráfica B – B’ con dirección noroeste-sureste

Esta sección está formada por los pozos SBA-181, SBA-184, SBA-186, SBA-190, SBA-192 Y SBA-193 en dirección noroeste-sureste. Perpendicular a la dirección de sedimentación. Esta sección de acuerdo al caso de las arenas definidas se puede observar poca variación en el espesor y un alto grado de intercalaciones de lignitos carbonaticos y lutitas en la cual se aprecia que los horizontes tienen continuidad

lateral, y fueron definidos los acuíferos A, B y C en el tope y la base respectivamente (figura 5.2).

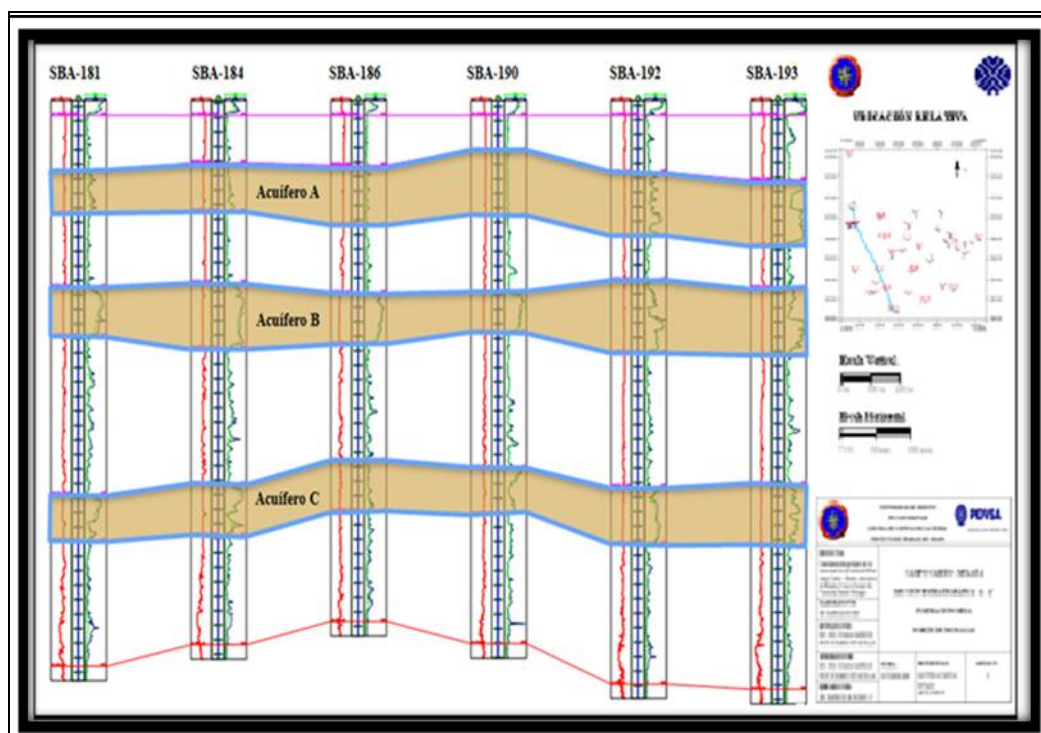


Figura 5.2 Sección estratigráfica B – B'.

5.1.3 Sección estratigráfica C – C' con dirección noroeste-sureste

Esta sección se encuentra integrada por los pozos SBA-200, SBA-202, SBA-205, SBA-206, SBA-210, SBA-211, SBA-212, SBA-213 Y SBA-214, con dirección noroeste-sureste, siendo el datum de referencia el tope del intervalo denominado Acuífero A. Esta se encuentra perpendicular a la dirección de sedimentación.

Para el caso del Acuífero A, a partir del comportamiento presentado por la curva SP, GR y de conductividad se observan facies de canal y en otros pozos facies

de borde de canal, iguales características presentan los acuíferos B y C. Los espesores de los tres acuíferos son similares mostrando un buen desarrollo constante de estas arenas. (figura 5.3).

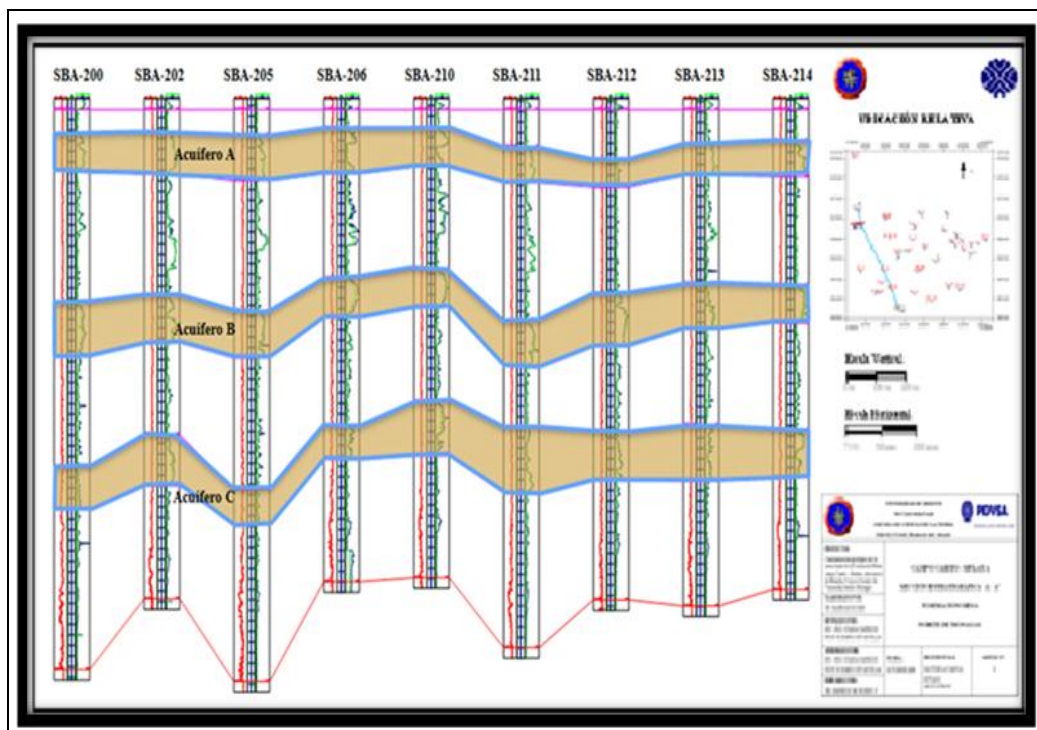


Figura 5.3 Sección estratigráfica C-C'.

5.1.4 Sección estratigráfica D – D' con dirección noroeste-sureste

Esta sección se encuentra integrada por los pozos SBA-12, SBA-13, SBA-14, SBA-15, SBA-16 y SBA-19 con dirección noroeste-sureste siendo el datum de referencia los topos del Acuífero A.

Esta se encuentra perpendicular a la dirección de sedimentación. En el caso del intervalo del Acuífero B se observa un incremento en el espesor debido al buen

desarrollo de las arenas hacia el sureste y para el Acuífero C el espesor aumenta mostrando un mayor desarrollo del mismo. Todos estos acuíferos muestran variaciones laterales de facies, de canales a facies de borde de canal como se observa en la (figura 5.4).

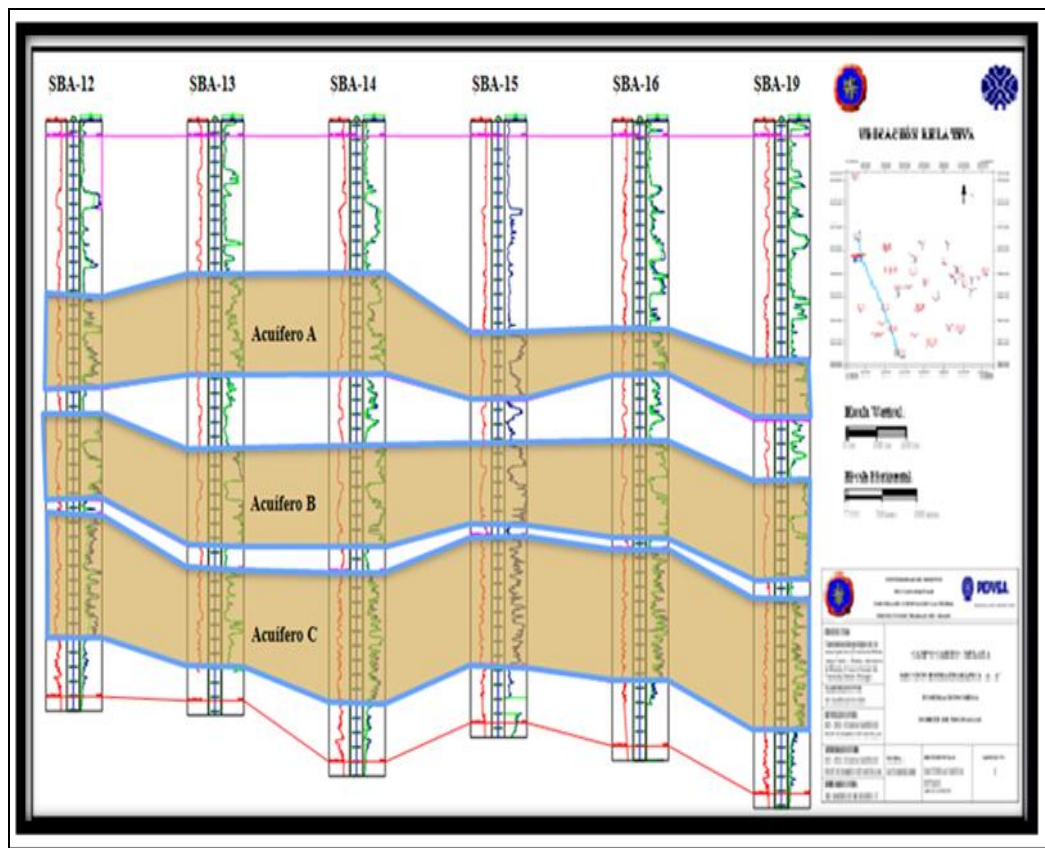


Figura 5.4 Sección estratigráfica D – D’.

5.1.5 Sección estratigráfica E – E’ con dirección noreste-suroeste

Esta sección se encuentra conformada por los pozos MUC-101, MUC-181, MUC-115, MUC-1E y MUC-85, MUC-86, MUC-88, MUC-90, MUC-95 Y MUC-99

en dirección noreste-suroeste. Esta se encuentra casi paralela a la dirección de sedimentación.

Esta sección para las arenas basales de la Formación Las Piedras, se pudo observar cambio laterales de facies y la heterogeneidad litológica de los intervalos correlacionados, además que el espesor del Acuífero B aumenta hacia la parte central y que el Acuífero C tiene mantiene su espesor constante. (Figura 5.5).

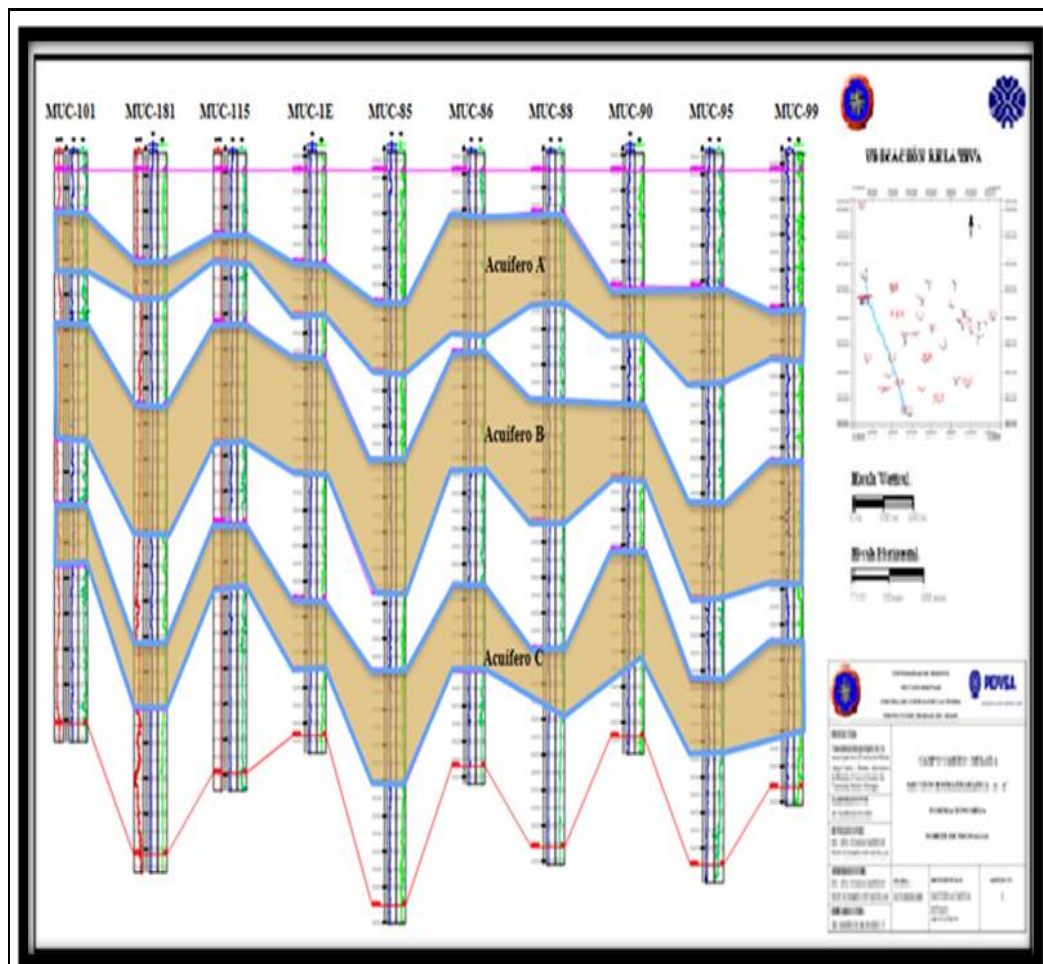


Figura 5.5 Sección estratigráfica E – E'.

5.1.6 Sección estratigráfica F – F' con dirección noreste-suroeste

Esta sección está integrada por los pozos CRC-10, CRC-11, CRC-14, CRC-16, CRC-17, CRC-18, CRC-19, CRC-1X, CRC-02 Y CRC-20 con dirección noreste-suroeste. Esta se encuentra casi paralela a la dirección de sedimentación.

Se puede apreciar la continuidad lateral y areal de los tres acuíferos, con un incremento en el espesor del Acuífero B en la parte central hacia y el Acuífero C presenta una disminución moderada de los espesores hacia el suroeste, ambos con facies de carácter arenoso asociado a barras de canal y canales distributarios con mayor porcentaje de espesores, (Figura 5.6).

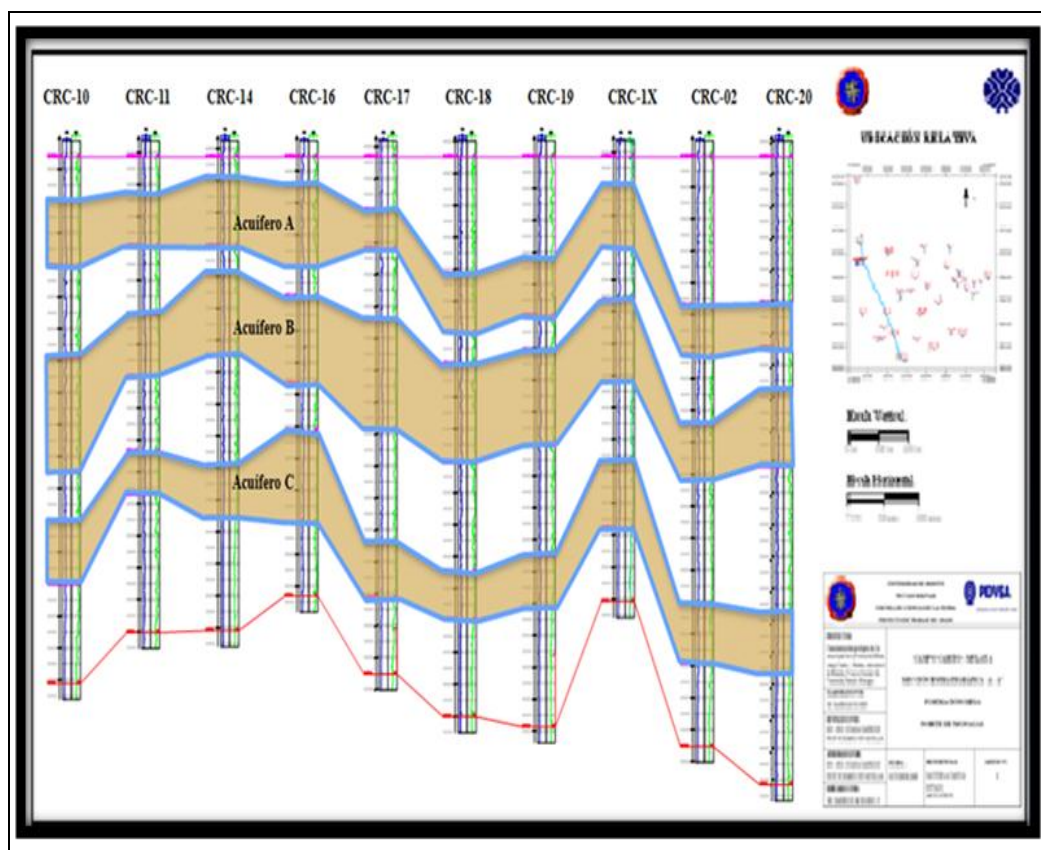


Figura 5.6 Sección estratigráfica F – F'.

5.1.7 Sección estratigráfica G – G' con dirección noreste-suroeste.

Esta sección se encuentra integrada por los pozos MP-116, MP-117, MP-126, MP-132, MP-152, MP-25 Y MP-44 de dirección Noreste-Suroeste. Siendo el datum de referencia el tope al intervalo denominado acuífero A, mostrando una continuidad lateral y areal de los acuíferos que muestran heterogeneidad litológica.

Los espesores de los acuíferos B y C se mantienen constantes en toda la sección mostrando hacia el suroeste un mayor desarrollo de las arenas debido al incremento de los mismos (figura 5.7).

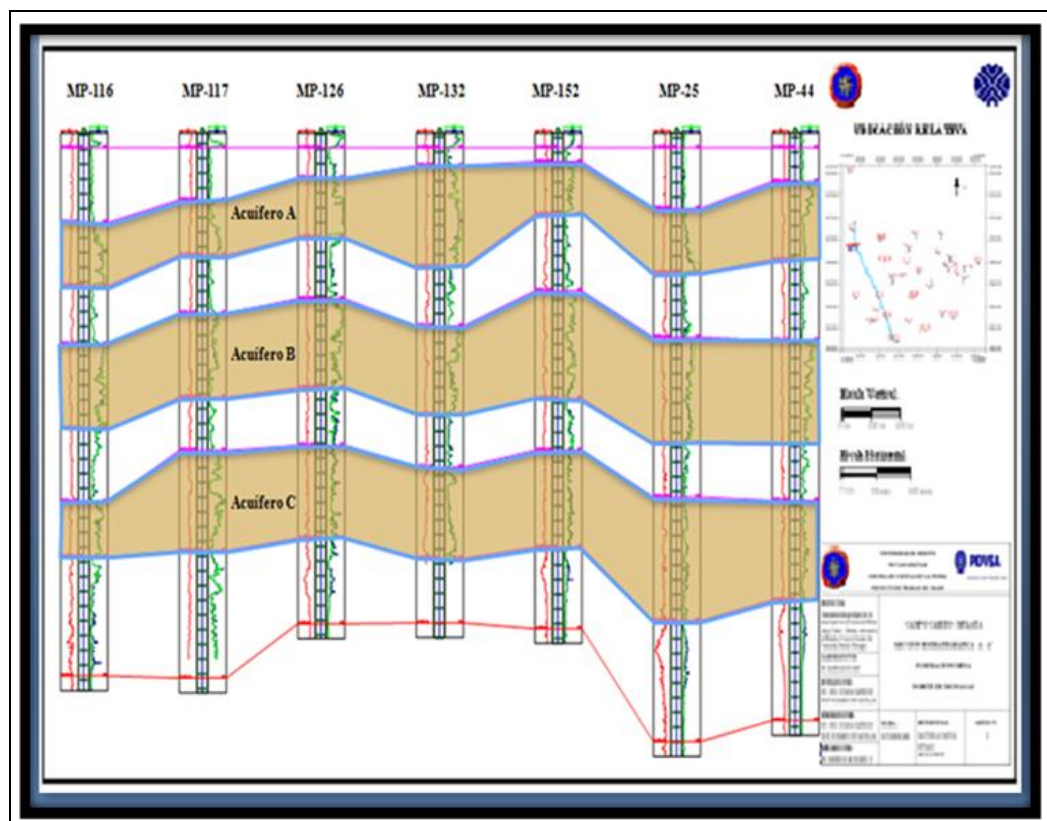


Figura 5.7 Sección estratigráfica G – G'.

5.1.8 Sección estratigráfica H – H' con dirección sureste-noroeste

Esta sección está comprendida por los pozos MUR-15, MUR-22, MUR-48, MUR-48, MUR-49 y MUR-59, con dirección Sureste-Noroeste siendo el datum de referencia el valor del tope del Acuífero A. Esta es también casi paralela a la dirección de sedimentación, y se ubica al norte de la zona de estudio.

Se puede observar un incremento en el espesor de los acuíferos hacia el sureste. Las facies representadas por esta sección son de carácter heterogéneo (Figura 5.8).

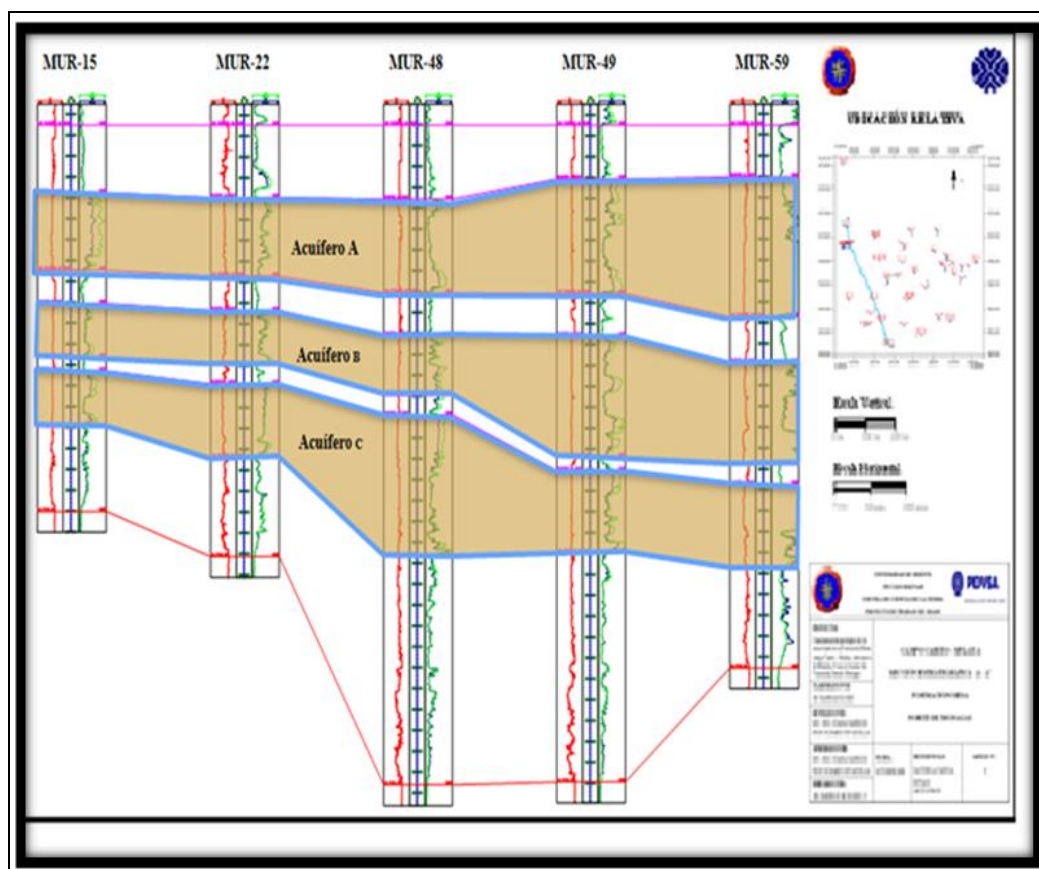


Figura 5.8 Sección estratigráfica H – H'.

5.2 Análisis estructural

Sé realizaron 8 secciones estructurales con la misma orientación de las estratigráficas ya que se realizaron en conjunto, dichas secciones estructurales fueron orientadas de la forma descrita para mostrar la tendencia estructural que presentan las arenas basales de la Formación Las Piedras en el campo El Carito.

Por de estas secciones estructurales se determinó que las arenas fueron depositadas en una superficie de erosión, dicha evidencia se observó por las diferencias en los valores de TVDSS, éstas no fueron afectadas estructuralmente, debido a que son sedimentos someros depositados recientemente y no hay presencia de cambios estructurales ocasionados por esfuerzos compresivos o extensivos, debido la ausencia de fallas y pliegues.

5.3 Análisis sísmico-estructural

Para validar si la Formación Las Piedras había sido afectada por eventos tectónicos compresivos y extensivos debido a la presencia de fallas y pliegues se realizaron líneas y trazas sísmicas orientadas en sentido noroeste-sureste y en sentido suroeste-noreste en el Carito municipio Ezequiel Zamora Punta de Mata estado Monagas (Figura 5.9).

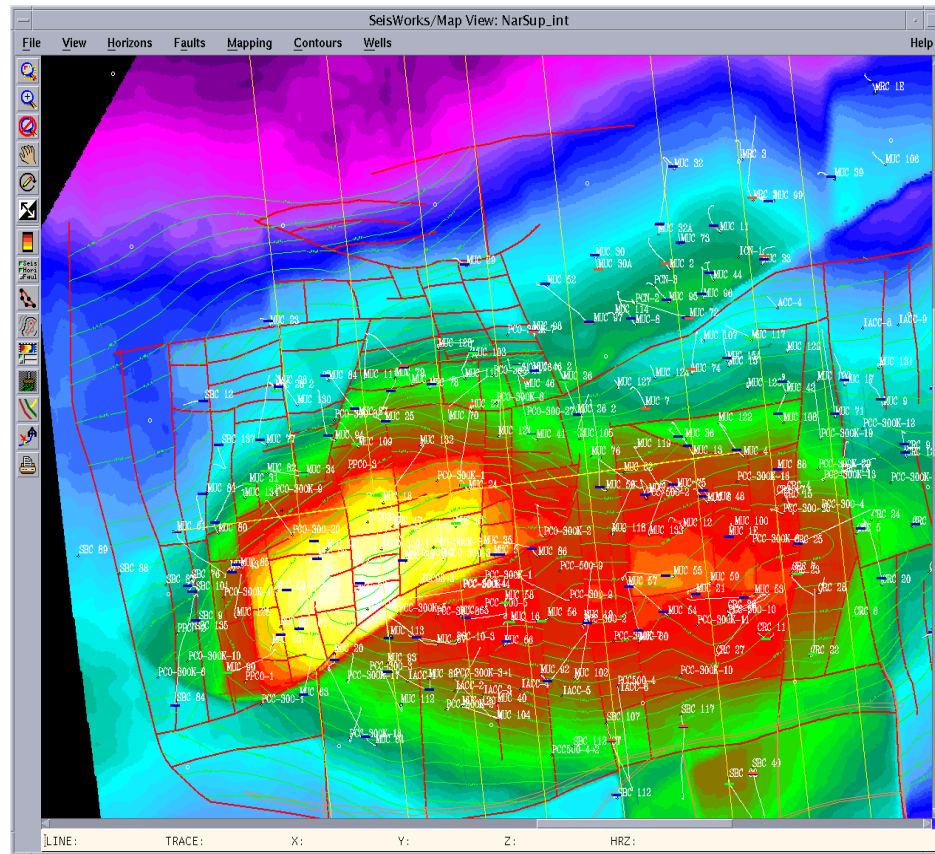


Figura 5.9 Líneas y trazas sísmicas

En la interpretación sísmica-estructural se pudo observar de acuerdo con las respuestas obtenidas por los deflectores que la Formación las piedras fue depositada en un ambiente de baja energía y no es afectada estructuralmente por eventos tectónicos extensivos y compresivos ya que no se observan fallas y pliegues que puedan ocasionar estos eventos. (Figura 5.10).

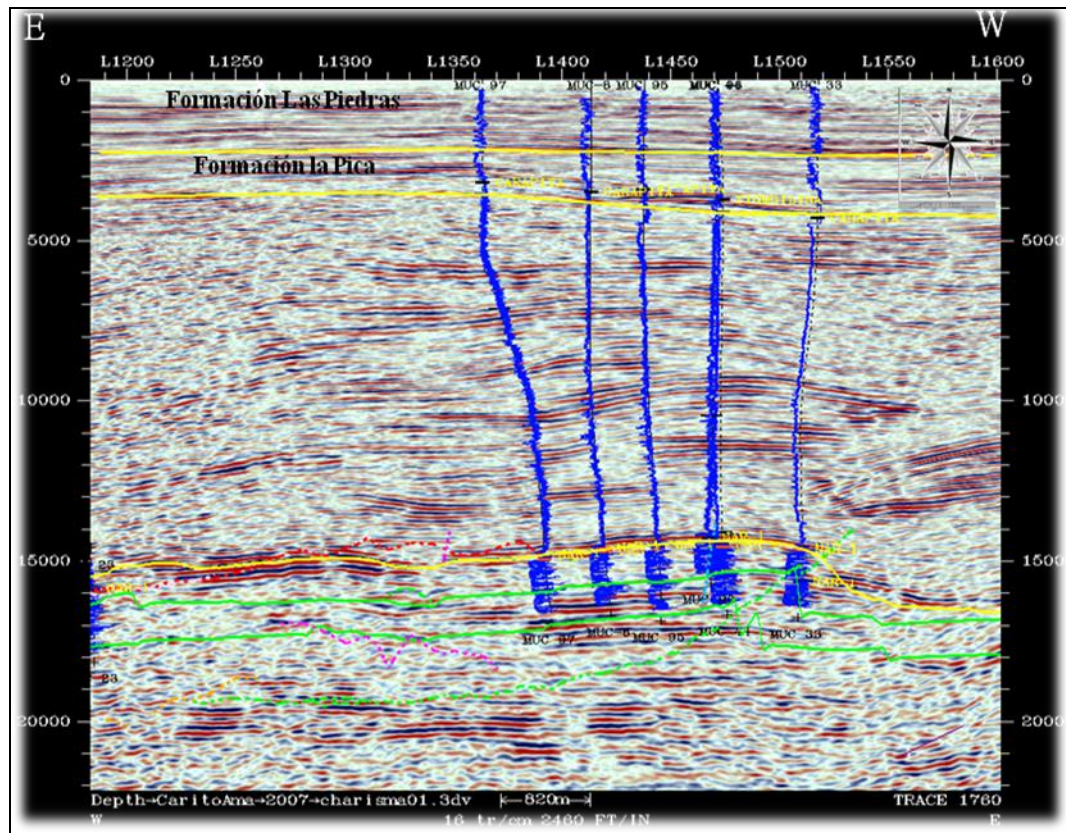


Figura 5.10 Traza sísmicas.

5.4 Análisis de los mapas estructurales

Se elaboraron 3 mapas estructurales identificados en el sistema Z-MAP plus, como mapa estructural ACUIFERO_A_CAGP, ACUIFERO_B_CAGP Y ACUIFERO_C_CAGP pertenecientes cada uno de ellos al tope y la base de las arenas identificadas y denominadas como; Acuífero A, Acuífero B y Acuífero C, respectivamente, estos mapas mencionados fueron realizados con el objeto de abarcar la forma más detallada posible la estructura que presentada en el subsuelo del campo El Carito de las arenas basales Formación Las Piedras. Una vez realizados estos mapas estructurales se procedió a la elaboración de los mapas isópacos, para lo cual solo se escogieron los intervalos comprendidos por el Acuífero o Arena A, B, y C

calculando posteriormente el porcentaje de arena neta contenida en ellos en la Formación Las Piedras

En los mapas estructurales se puede observar que las superficies están asociadas a un proceso de erosión dando como resultado zonas con mayores valores de TVDSS hacia el suroeste del campo y menores valores de TVDSS hacia la parte central ubicada al suroeste del mismo lo cual se corroboró con la ayuda de la sísmica (Figuras 5.11-5.16).



Figura 5.11 Mapa estructural de la arena A.

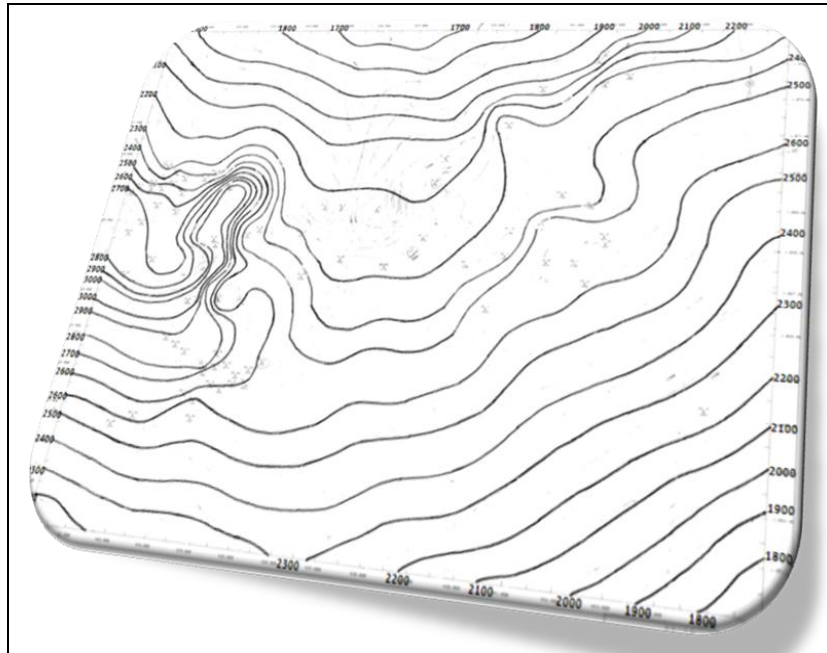


Figura 5.12 Mapa estructural de la arena B.

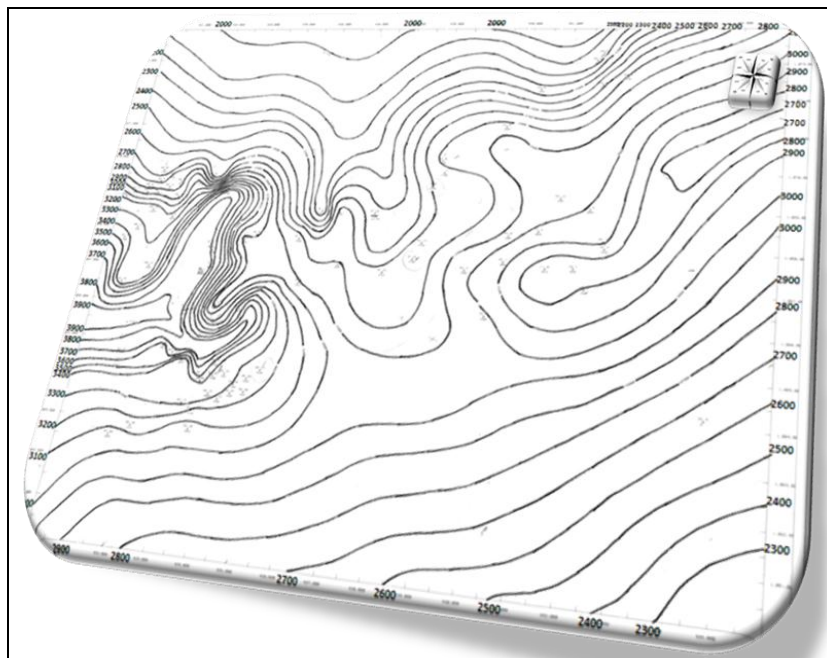


Figura 5.13 Mapa estructural de la arena C.

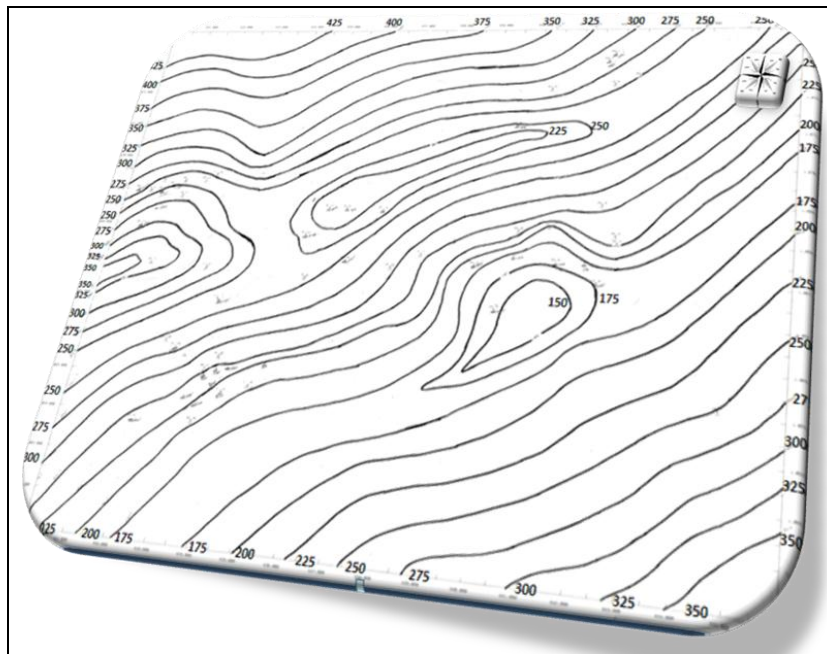


Figura 5.14 Mapa estructural de la arena A.

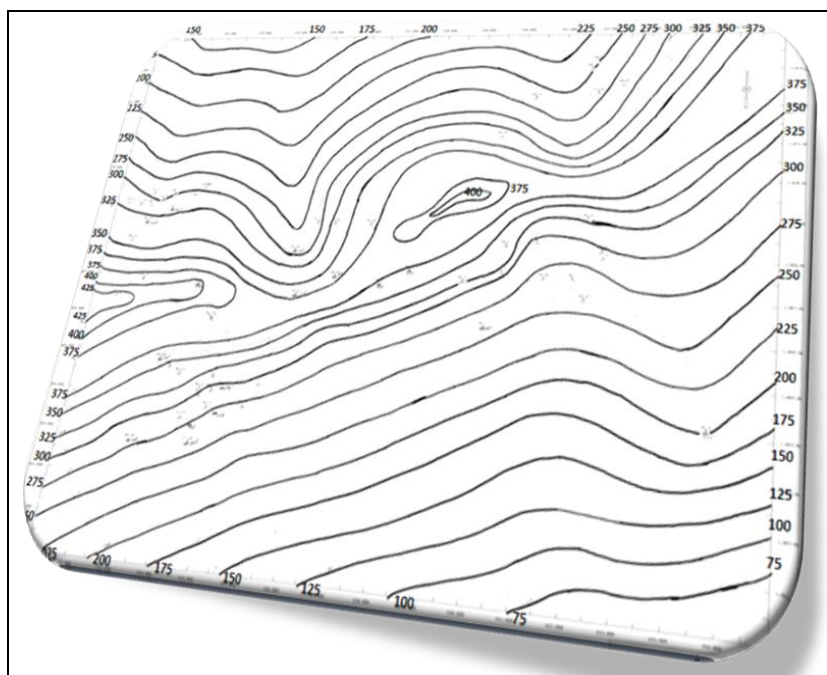


Figura 5.15 Mapa estructural de la arena B.

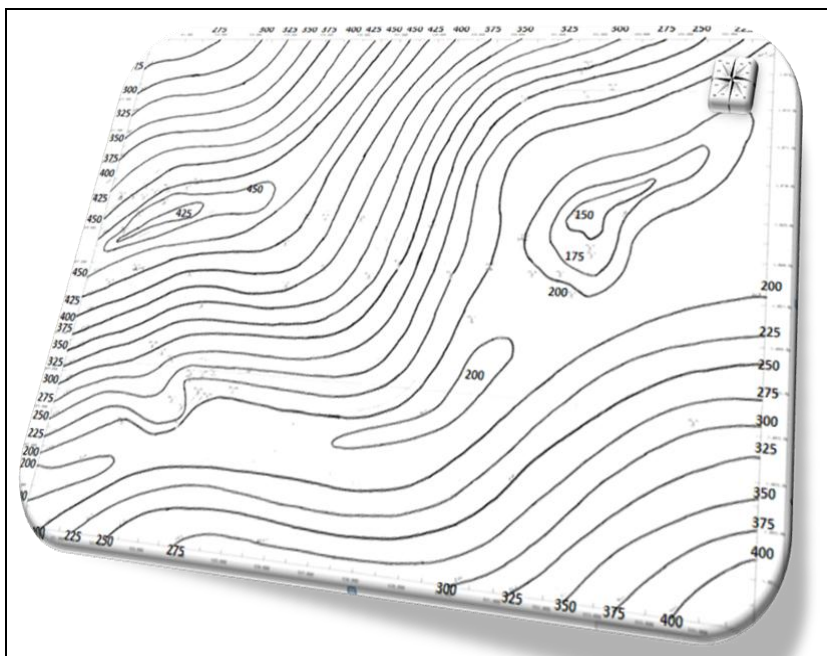


Figura 5.16 Mapa estructural de la arena C.

5.5 Análisis sedimentológico de los mapas de paleoambiente

En la interpretación del ambiente sedimentario de las arenas que se depositaron en el campo El Carito, se tomó como referencia que la Formación Las Piedras presenta sedimentos fluviales, deltaicos, debido a un delta que avanzaba hacia el este de la misma forma que el delta del Orinoco. El mayor relieve de las cordilleras septentrionales aportaba a la sedimentación sedimentos clásticos de grano más grueso. (González de Juana, 1980).

El ambiente sedimentario interpretado para las unidades de la Formación Las Piedras, en los mapas de paleoambiente es deltaico, donde se observan un canal más o menos bifurcado, llamados canales distributarios de anfractuosidad baja, con barras de canales paralelas a ellos, con una dirección de sedimentación del suroeste al noreste.

Siguiendo la interpretación de las electroformas se distinguieron tres tipos de facies representadas en los mapas de ambiente sedimentario realizados para cada unidad de arena definida, mostrando todas las condiciones paleogeográficas predominantes en el tiempo de deposición de las arenas basales pertenecientes a la Formación Las Piedras, estableciendo las siguientes zonas explicadas a continuación.

5.5.1 Zona de canales distributarios

Caracterizados por alternancia de arenas con lutitas, según la forma de las electrofacies observadas presenta una tendencia granodrecreciente en forma de campana o en forma de bloque cuando se trata de canales apilados, se puede observar la dirección de la secuencia de canales preferencialmente noreste-suroeste.

5.5.2 Zona de barras de desembocadura

Caracterizada por presentar gradación inversa, constituidos por un ambiente que fue progresivamente debilitándose

5.5.3 Zona de llanura de inundación

Esta región se forma alrededor de los canales distributarios, son depósitos de arcilla y lutita.

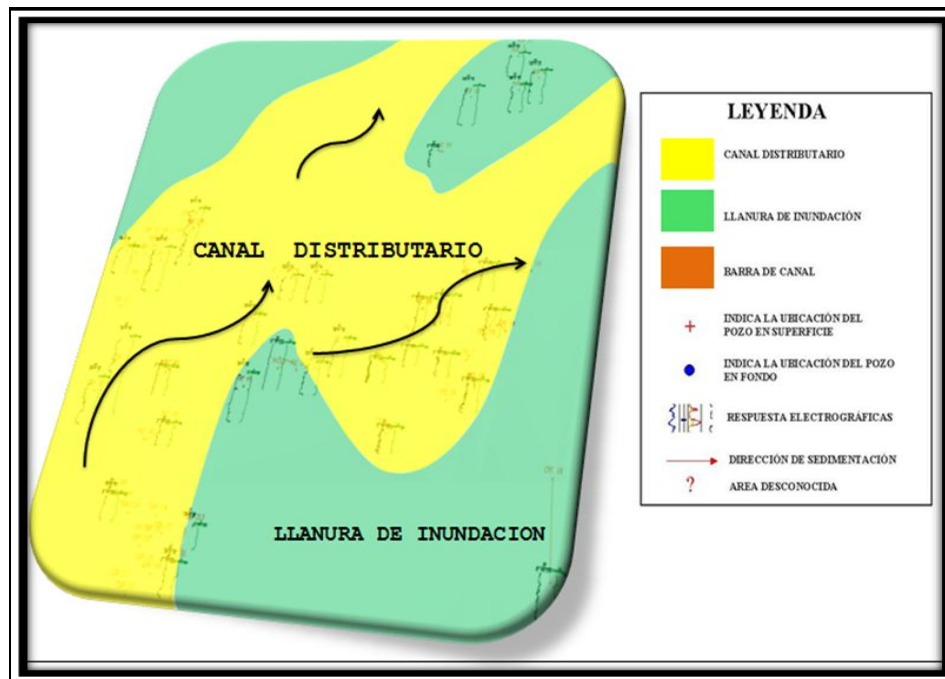


Figura 5.17 Paleoambiente interpretado para la Unidad A

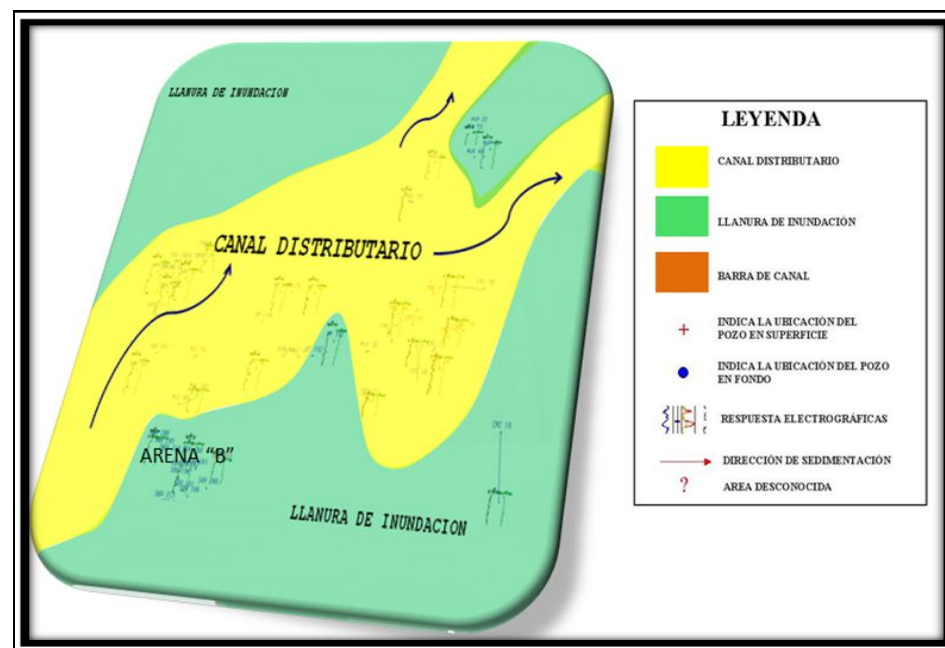


Figura 5.18 Paleoambiente interpretado para la Unidad B.

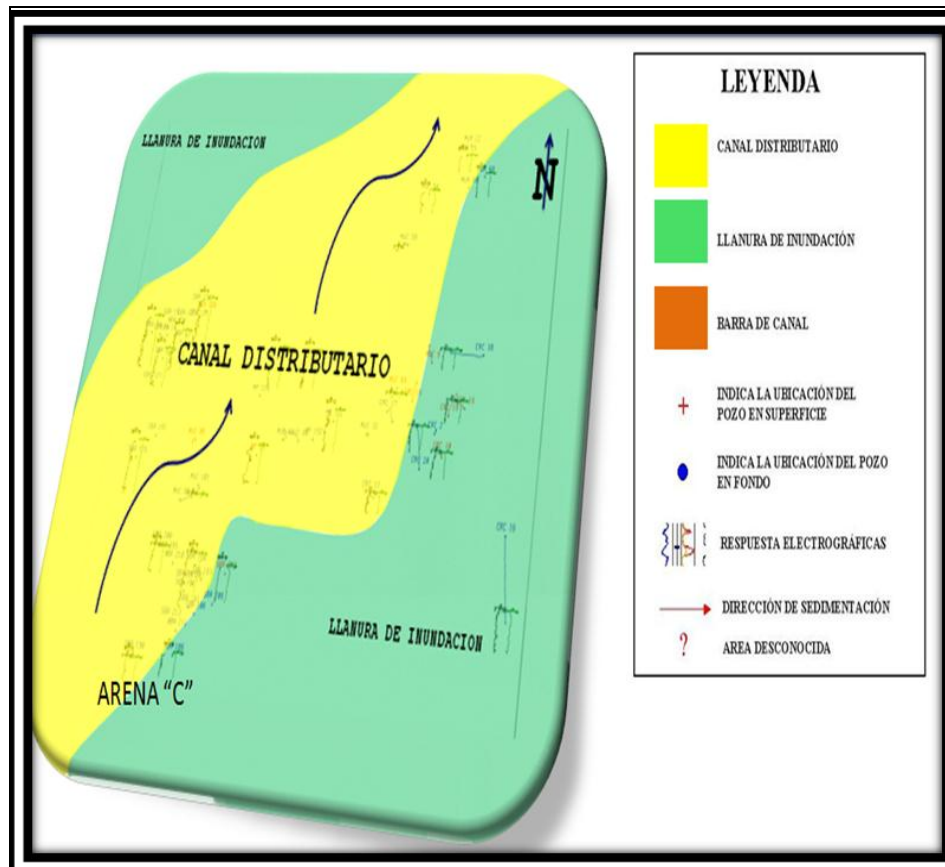


Figura 5.19 Paleoambiente interpretado para la Unidad C.

Como se puede apreciar en los mapas de paleoambientes representados en las figuras anteriores nos encontramos en presencia de un ambiente fluvial deltaico con predominio de canales distributarios con el mismo tren de sedimentación para las tres arenas de los acuíferos caracterizados, ACUIFERO A, B Y C de la Formación Las Piedras del Campo El carito al norte del Estado Monagas.

Estos tipos de ambientes son originados por la divagación del río en la planicie o llanura y el efecto de la sedimentación de los granos de arenas y partículas más finas de limo y arcillas, en las áreas donde disminuye la velocidad de la corriente por pendientes bajas y la acción de contención de las aguas marinas.

5.6 Análisis de la interpretación geoquímica

Debido a que no se cuenta con información de análisis físico-químicos realizada a los pozos utilizados en la caracterización geológica se vio la necesidad de recurrir a estudios previos para recolectar la mayor cantidad posible de información que sustente a la descripción del proyecto.

También se obtuvo información reciente de estudios físico-químicos realizados a pozos de agua que se encuentran dentro del área de estudio.

Tabla 5.1 Lista de Pozos tomados para el análisis fisicoquímico.

Pozo	Na	Mg	SO ₄	Cl	Na/Cl	(Na-Cl)/SO ₄	(Cl-Na)/Mg	Clasificación
PAC-1	14,61	0,08	0,04	5,02	2,9	0,027	1,5	FALSO
PAC-3	20,88	0,32	0,1	5,34	3,9	155,4	-48,6	Meteórica-Bicarbonato de Sodio
PAC-4	696,6	16,3	9	6,3	110,6	76,7	-42,3	Meteórica-Bicarbonato de Sodio
PAC-4	21,75	0,28	0,1	8,43	2,6	133,2	-47,6	Meteórica-Bicarbonato de Sodio
PAC-4	12,18	0,49	0,04	8,43	1,4	93,8	-7,7	Meteórica-Bicarbonato de Sodio
PAC-5	26,099	0,197	0,2	8,43	3,1	88,3	-89,7	Meteórica-Bicarbonato de Sodio
PAC-5	17,4	1,18	0,04	11,66	1,5	143,5	-4,9	Meteórica-Bicarbonato de Sodio
PAC-6	624,359	0,039	0,04	9,021	69,2	15383,5	-15777,9	Meteórica-Bicarbonato de Sodio
PAC-6	21,75	0,28	0,1	6,46	3,4	152,9	-54,6	Meteórica-Bicarbonato de Sodio

5.7 Método de Sulín

Basados en la clasificación genética propuesta por Sulín de los análisis considerados confiables y representados en la figura 5.20 y valiéndose de los resultados arrojados se concluye que las aguas de los acuíferos del campo El Carito son de origen meteórico.

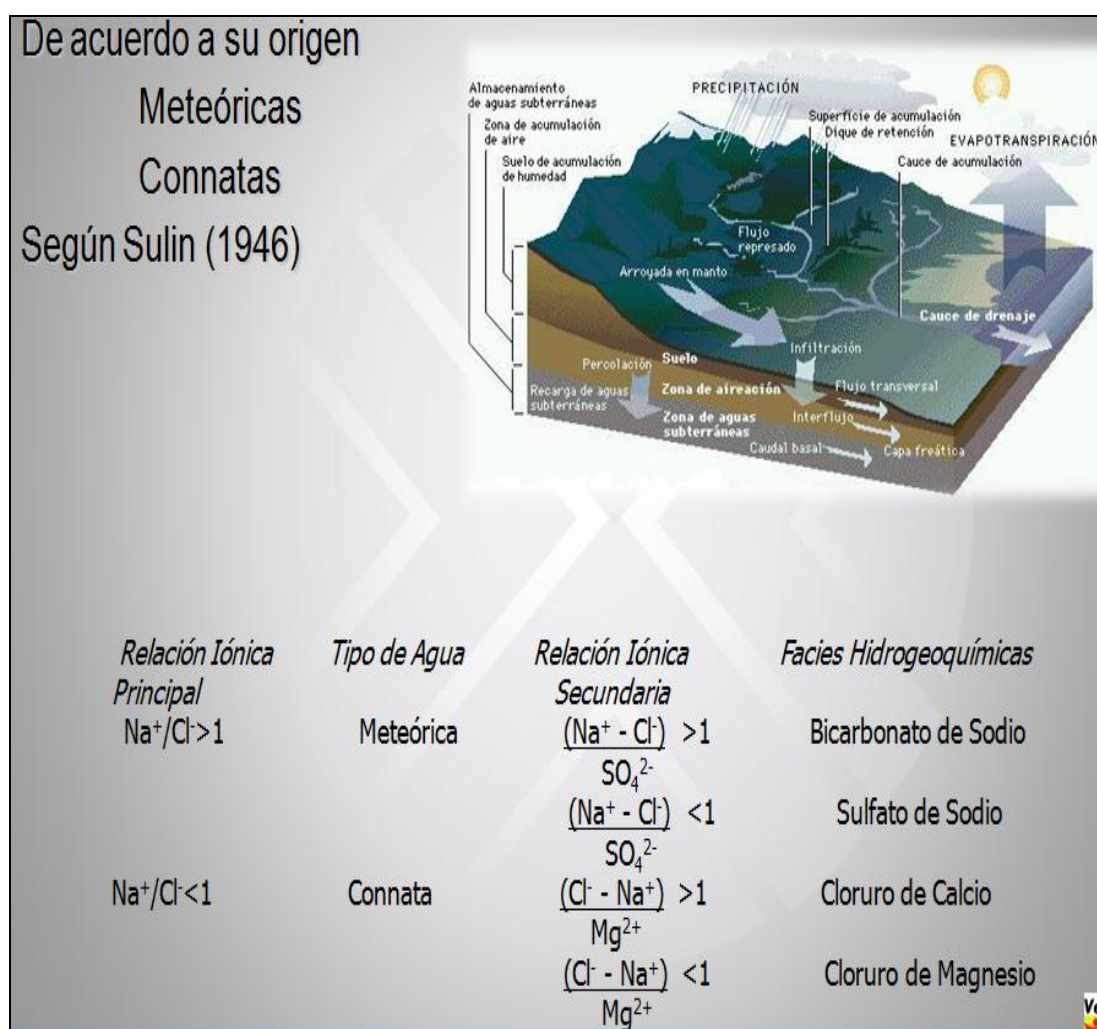


Figura 5.20 Clasificación de las aguas de acuerdo a su origen según Sulín.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Se caracterizaron tres acuíferos: el acuífero A, acuífero B y acuífero C, en un intervalo de profundidad de 2400' - 4500' aproximadamente asociados a la Formación Las Piedras, caracterizado por intercalaciones de facies arenosas.
2. Los acuíferos definidos en la formación presentan continuidad lateral y vertical en todo el campo El Carito, lo cual facilitará las perforaciones de pozos productores de agua a futuro.
3. Por medio de las secciones estructurales se determinó que las arenas fueron depositadas en una superficie de erosión, dicha evidencia se observó por las diferencias en los valores de TVDSS, éstas no fueron afectadas estructuralmente, debido a que son sedimentos someros depositados recientemente y no hay presencia de cambios estructurales ocasionados por esfuerzos compresivos o extensivos, debido la ausencia de fallas y pliegues.
4. La interpretación del ambiente de sedimentación del Campo El Carito, es de un ambiente fluvial deltaico, con predominio de canales distributarios, barras de canales y llanuras de inundación, el cual presenta un tren de sedimentación predominante Nor-este-Sur-oeste.
5. Las aguas de los acuíferos no son aptas para el consumo humano y de acuerdo con la clasificación de las aguas subterráneas, son aguas meteóricas asociadas a acuíferos libres, freáticos o no confinados.

6. La mayor deposición de las arenas se observó en la parte sur-oeste y central del campo, donde se encontraron los mayores espesores de las mismas.

Recomendaciones

1. Mantener un seguimiento continuo de toda la información generada en la Formación Las Piedras, a fin de contar con la misma al momento de realizar futuras investigaciones Geológicas de interés para la Superintendencia de Yacimientos Someros y Aguas Subterráneas.

2. Verificar que se corran registros de GR Espectral, SP, Neutrón, Sonido de Espaciamiento Largo, Densidad, Permeabilidad, Porosidad, Muestras de Pared en la unidad somera de la Formación Las Piedras comprendida entre 800' a 4500' pies aproximadamente, con el objetivo de integrar toda la información necesaria para realizar evaluaciones petrofísicas.

3. Realizar la carga de los registros existentes al sistema, a fin de abarcar una mayor área del campo, lo cual garantizará resultados más confiables al momento de hacer futuras caracterizaciones del campo objeto de estudio.

4. Realizar captura de núcleos en las próximas perforaciones, ya que ésta es una herramienta fundamental para la interpretación de facies, además la misma genera información confiable para la interpretación de mapas de paleoambientes.

5. Se recomienda como zona más óptima para perforaciones futuras de pozos de agua, la parte sur-oeste y central del Campo el Carito donde se encuentran los mayores espesores de arenas de los acuíferos Profundos de la Formación Las Piedras.

6. Realizar pruebas de bombeo a fin de tener una información reciente del nivel estático y dinámico de los pozos PAC, productores de agua de la Formación Las Piedras en la actualidad.

REFERENCIAS

Aguasuelos Ingeniería, S. C. (1994). **EVALUACION DE LOS ACUIFEROS MEDIOS Y PROFUNDOS DE LA Fm. LAS PIEDRAS, NOROESTE DEL ESTADO MONAGAS.** CORPOVEN, S. A. P 1 – 106.

Aché, Alberto y Rodríguez, Luis, Abril 2008. “**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LAS ARENAS ACUÍFERAS (AGUA DULCE) EN LAS FORMACIONES MESA – LAS PIEDRAS. MESA DE GUANIPA. EDO. ANZOÁTEGUI**”.

Allen, G y otros. (1988). **SEDIMENTOLOGÍA DE DEPOSITOS CLÁSTICOS VENEZUELA.**

Arias Fidias G. (2007), **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN,** Introducción a la metodología científica, Quinta edición, Editorial Episteme. P 1 – 40.

Barrios, Roger (2010).**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LAS ARENAS BASALES DE LA FORMACIÓN MESA Y SUPERIORES DE LA FORMACIÓN LAS PIEDRAS EN EL CAMPO EL CARITO-MULATA, DE LA SUBCUENCA DE MATURÍN, CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA, ESTADO MONAGAS, VENEZUELA.**

Cabrera A. y García R. (2000). **POSIBILIDADES DE RECARGA DE LOS ACUÍFEROS PROFUNDOS DE LA FORMACION LAS PIEDRAS EN EL ÁREA DE JUSEPÍN Y CAICARA POR PARTE DEL FRENTE DE MONTAÑAS ÁREA NORTE DE MONAGAS.**

Edward E. (1975). **EL AGUA SUBTERRANEA Y LOS POZOS**, Primera Edición. JOHONSON DIVISIÓN, UOP Inc. Saint Paul, Minnesota 55165. Pp 22

Gerardino, L (2007). **EVALUACIÓN DEL PROCESO DE CAÑONEO EN POZOS DE CRUDO PESADO REACONDICIONADOS EN LOS CAMPOS JOBO, PILON Y MORICHAL PDVSA DISTRITO SOCIAL MORICHAL.**

González De Juana, C, Iturralde, J y Picar, X. (1.980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y DE SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**, Tomo I y Tomo II. Ediciones Foninves, pp Tomo I (286, 287, 291) y Tomo II. (628, 636, 637, 712, 713, 671-673)

Petróleos de Venezuela, PDVSA- Intevep. (1997) **CODIGO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA (CVG)**, 8 de Abril de 2009, [<http://www.pdv.com/lexico>].

Schlumberger. (1997) **AMBIENTES SEDIMENTARIOS A PARTIR DE PERFILES DE POZOS**. Schlumberger Sureenco, pp 115-50.

Soto C. **“ORIGEN DE LAS AGUAS DE FORMACIÓN POST-EOCENO EN LA COSTA BOLÍVAR”** V congreso Geológico Venezolano. Caracas, 1977.

Wicander y Monroe (1999). **FUNDAMENTOS DE GEOLOGÍA**, INTERNATIONAL THOMSON EDITORES MEXICO.

APÉNDICES

APÉNDICE A

Bases de datos de espesor de arenas de los pozos utilizados.

POZOS	NOMBRE	ARENA	INTERPRETE	TVDSS
CRC	10	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2201
CRC	11	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2173
CRC	14	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2337
CRC	16	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1743
CRC	17	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2024
CRC	18	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2117
CRC	19	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2260
CRC	1	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2152
CRC	2	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2326
CRC	20	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2347
MP	16	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1898
MP	17	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1448
MP	26	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2447
MP	32	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1673
MP	52	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1742
MP	25	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1792
MP	44	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1891
MUC	1	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1880
MUC	1	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2034
MUC	85	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2169
MUC	86	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1848
MUC	88	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1672
MUC	90	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2345
MUC	99	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1909
MUR	15	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1754
MUR	22	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1760
MUR	48	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2066
MUR	49	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2009
MUR	59	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1610
SBA	12	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2024
SBA	20	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1784
SBA	21	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1913
SBA	25	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1767
SBA	13	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1964
SBA	30	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1729
SBA	31	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1889

SBA	35	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2263
SBA	14	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1971
SBA	41	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1850
SBA	15	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2007
SBA	50	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1984
SBA	51	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1957
SBA	16	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2094
SBA	81	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2247
SBA	84	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2172
SBA	86	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2042
SBA	19	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2133
SBA	90	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2055
SBA	92	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2317
SBA	93	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2302
SBA	0	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2053
SBA	2	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1911
SBA	5	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2024
SBA	6	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1874
SBA	10	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-2006
SBA	11	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1855
SBA	12	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1904
SBA	13	ACUIFER_A_CAGP	CAGP	-1938

APÉNDICE B

Bases de datos de espesores de arenas de los pozos utilizados.

POZOS	NOMBRE	ARENA	INTERPRETE	TVDSS
CRC	10	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2694
CRC	11	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2553
CRC	14	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2637
CRC	16	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2093
CRC	17	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2369
CRC	18	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2398
CRC	19	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2546
CRC	1	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2518
CRC	2	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2700
CRC	20	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2618
MP	16	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2311
MP	17	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-1832
MP	26	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2858
MP	32	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2212
MP	52	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2180
MP	25	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2230
MP	44	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2435
MUC	1	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2198
MUC	1	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2304
MUC	85	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2618
MUC	86	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2234
MUC	88	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2202
MUC	90	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2679
MUC	99	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2340
MUR	15	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2020
MUR	22	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2031
MUR	48	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2392
MUR	49	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2384
MUR	59	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2054
SBA	12	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2432
SBA	20	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2681
SBA	21	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2735
SBA	25	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2442
SBA	13	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2570
SBA	30	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2373

SBA	31	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2483
SBA	35	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2767
SBA	14	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2573
SBA	41	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2678
SBA	15	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2394
SBA	50	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2787
SBA	51	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2858
SBA	16	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2481
SBA	81	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2644
SBA	84	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2586
SBA	86	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2481
SBA	19	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2549
SBA	90	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2547
SBA	92	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2689
SBA	93	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2673
SBA	0	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2854
SBA	2	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2683
SBA	5	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2865
SBA	6	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2590
SBA	10	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2837
SBA	11	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2491
SBA	12	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2566
SBA	13	ACUIFER_B_CAGP	CAGP	-2627

APÉNDICE C

Bases de datos de espesores de arenas de los pozos utilizados.

POZOS	NOMBRE	ARENA	INTERPRETE	tvds
CRC	10	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3209
CRC	11	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2980
CRC	14	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3243
CRC	16	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2514
CRC	17	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3064
CRC	18	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3050
CRC	19	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3190
CRC	1	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3024
CRC	2	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3264
CRC	20	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3313
MP	16	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2845
MP	17	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2298
MP	26	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3355
MP	32	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2755
MP	52	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2722
MP	25	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2771
MP	44	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2914
MUC	1	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2706
MUC	1	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2984
MUC	85	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3212
MUC	86	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2896
MUC	88	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2903
MUC	90	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3090
MUC	99	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2849
MUR	15	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2181
MUR	22	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2206
MUR	48	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2582
MUR	49	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2707
MUR	59	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2346
SBA	12	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2775
SBA	20	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3275
SBA	21	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3361
SBA	25	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3108
SBA	13	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2983
SBA	30	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2690
SBA	31	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2867

SBA	35	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3323
SBA	14	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3001
SBA	41	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3344
SBA	15	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2708
SBA	50	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3448
SBA	51	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3502
SBA	16	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2851
SBA	81	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3360
SBA	84	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3279
SBA	86	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3059
SBA	19	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-2957
SBA	90	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3150
SBA	92	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3400
SBA	93	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3350
SBA	0	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3639
SBA	2	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3349
SBA	5	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3714
SBA	6	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3290
SBA	10	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3338
SBA	11	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3145
SBA	12	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3239
SBA	13	ACUIFER_C_CAGP	CAGP	-3316

APÉNDICE D

**Bases de datos de espesores de los marcadores definidos como
base de las arenas de los pozos utilizados.**

POZOS	NOMBRE	ARENA	INTERPETRE	TVDSS
CRC	10	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2406
CRC	11	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2336
CRC	14	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2554
CRC	16	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2000
CRC	17	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2145
CRC	18	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2300
CRC	19	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2436
CRC	1	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2354
CRC	2	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2482
CRC	20	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2485
MP	16	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2113
MP	17	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-1634
MP	26	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2649
MP	32	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-1937
MP	52	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-1961
MP	25	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-1970
MP	44	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2233
MUC	1	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2050
MUC	1	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2184
MUC	85	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2365
MUC	86	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2185
MUC	88	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-1935
MUC	90	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2489
MUC	99	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2049
MUR	15	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-1939
MUR	22	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-1949
MUR	48	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2289
MUR	49	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2283
MUR	59	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-1945
SBA	12	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2344
SBA	20	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2407
SBA	21	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2458
SBA	25	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2173
SBA	13	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2315
SBA	30	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2201
SBA	31	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2233

SBA	35	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2607
SBA	14	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2327
SBA	41	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2440
SBA	15	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2243
SBA	50	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2513
SBA	51	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2612
SBA	16	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2254
SBA	81	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2393
SBA	84	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2338
SBA	86	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2247
SBA	19	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2342
SBA	90	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2281
SBA	92	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2537
SBA	93	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2528
SBA	0	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2226
SBA	2	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2113
SBA	5	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2243
SBA	6	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2092
SBA	10	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2179
SBA	11	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-1985
SBA	12	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2053
SBA	13	LAS PIEDRAS_M2_CAGP	CAGP	-2111

APÉNDICE E

**Bases de datos de espesores de los marcadores definidos como
base de las arenas de los pozos utilizados.**

POZOS	NOMBRE	ARENA	INTERPRETE	TVDSS
CRC	10	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-3056
CRC	11	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2746
CRC	14	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2897
CRC	16	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2365
CRC	17	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2712
CRC	18	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2711
CRC	19	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2847
CRC	1	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2773
CRC	2	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2876
CRC	20	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2859
MP	16	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2597
MP	17	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2117
MP	26	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-3159
MP	32	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2567
MP	52	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2540
MP	25	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2595
MP	44	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2736
MUC	1	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2526
MUC	1	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2629
MUC	85	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2992
MUC	86	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2569
MUC	88	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2542
MUC	90	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2887
MUC	99	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2684
MUR	15	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2147
MUR	22	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2160
MUR	48	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2536
MUR	49	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2673
MUR	59	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2299
SBA	12	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2727
SBA	20	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-3028
SBA	21	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-3083
SBA	25	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2929
SBA	13	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2907
SBA	30	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2608
SBA	31	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2743

SBA	35	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-3121
SBA	14	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2923
SBA	41	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-3159
SBA	15	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2670
SBA	50	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-3269
SBA	51	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-3329
SBA	16	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2815
SBA	81	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2815
SBA	84	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2811
SBA	86	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2658
SBA	19	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2896
SBA	90	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2684
SBA	92	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2938
SBA	93	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2905
SBA	0	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-3110
SBA	2	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2913
SBA	5	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-3087
SBA	6	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2770
SBA	10	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-3047
SBA	11	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2740
SBA	12	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2780
SBA	13	LAS PIEDRAS_M3_CAGP	CAGP	-2807

APÉNDICE F

**Bases de datos de espesores de los marcadores definidos como
base de las arenas de los pozos utilizados.**

POZOS	NOMBRE	ARENA	INTERPRETE	TVDSS
CRC	10	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3404
CRC	11	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3118
CRC	14	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3405
CRC	16	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-2805
CRC	17	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3239
CRC	18	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3198
CRC	19	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3357
CRC	1	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3230
CRC	2	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3449
CRC	20	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3507
MP	16	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3033
MP	17	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-2638
MP	26	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3670
MP	32	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3093
MP	52	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3141
MP	25	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3100
MP	44	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3224
MUC	1	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-2880
MUC	1	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3184
MUC	85	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3531
MUC	86	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3134
MUR	15	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-2315
MUR	22	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-2382
MUR	48	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-2921
MUR	49	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-2903
MUR	59	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-2547
SBA	12	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3200
SBA	20	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3601
SBA	21	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3654
SBA	25	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3526
SBA	13	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3324
SBA	30	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3093
SBA	31	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3299
SBA	35	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3777
SBA	14	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3458
SBA	41	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3684

SBA	15	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3158
SBA	50	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3872
SBA	51	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3892
SBA	16	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3314
SBA	81	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3521
SBA	84	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3456
SBA	86	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3234
SBA	19	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3411
SBA	90	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3310
SBA	92	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3597
SBA	93	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3561
SBA	0	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3834
SBA	2	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3594
SBA	5	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3879
SBA	6	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3451
SBA	10	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3652
SBA	11	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3376
SBA	12	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3507
SBA	13	LAS PIEDRAS_M4_CAGP	CAGP	-3538

APÉNDICE G

**Bases de datos de espesores totales finales de arenas de los pozos
utilizados.**

pozos	nombre	tvds A	tvds M2	ESPESOR A
CRC	10	-2201	-2406	205
CRC	11	-2173	-2336	163
CRC	14	-2337	-2554	217
CRC	16	-1743	-2000	257
CRC	17	-2024	-2145	121
CRC	18	-2117	-2300	183
CRC	19	-2260	-2436	176
CRC	1	-2152	-2354	202
CRC	2	-2326	-2482	156
CRC	20	-2347	-2485	138
MP	16	-1898	-2113	215
MP	17	-1448	-1634	186
MP	26	-2447	-2649	202
MP	32	-1673	-1937	264
MP	52	-1742	-1961	219
MP	25	-1792	-1970	178
MP	44	-1891	-2233	342
MUC	1	-1880	-2050	170
MUC	1	-2034	-2184	150
MUC	85	-2169	-2365	196
MUC	86	-1848	-2185	337
MUC	88	-1672	-1935	263
MUC	90	-2345	-2489	144
MUC	99	-1909	-2049	140
MUR	15	-1754	-1939	185
MUR	22	-1760	-1949	189
MUR	48	-2066	-2289	223
MUR	49	-2009	-2283	274
MUR	59	-1610	-1945	335
SBA	12	-2024	-2344	320
SBA	20	-1784	-2407	623
SBA	21	-1913	-2458	545
SBA	25	-1767	-2173	406
SBA	13	-1964	-2315	351
SBA	30	-1729	-2201	472

SBA	31	-1889	-2233	344
SBA	35	-2263	-2607	344
SBA	14	-1971	-2327	356
SBA	41	-1850	-2440	590
SBA	15	-2007	-2243	236
SBA	50	-1984	-2513	529
SBA	51	-1957	-2612	655
SBA	16	-2094	-2254	160
SBA	81	-2247	-2393	146
SBA	84	-2172	-2338	166
SBA	86	-2042	-2247	205
SBA	19	-2133	-2342	209
SBA	90	-2055	-2281	226
SBA	92	-2317	-2537	220
SBA	93	-2302	-2528	226
SBA	0	-2053	-2226	173
SBA	2	-1911	-2113	202
SBA	5	-2024	-2243	219
SBA	6	-1874	-2092	218
SBA	10	-2006	-2179	173
SBA	11	-1855	-1985	130
SBA	12	-1904	-2053	149
SBA	13	-1938	-2111	173

APÉNDICE H

**Bases de datos de espesores totales finales de arenas de los pozos
utilizados.**

pozos	nombre	tvds B	tvds M3	ESPESOR B
CRC	10	-2694	-3056	362
CRC	11	-2553	-2746	193
CRC	14	-2637	-2897	260
CRC	16	-2093	-2365	272
CRC	17	-2369	-2712	343
CRC	18	-2398	-2711	313
CRC	19	-2546	-2847	301
CRC	1	-2518	-2773	255
CRC	2	-2700	-2876	176
CRC	20	-2618	-2859	241
MP	16	-2311	-2597	286
MP	17	-1832	-2117	285
MP	26	-2858	-3159	301
MP	32	-2212	-2567	355
MP	52	-2180	-2540	360
MP	25	-2230	-2595	365
MP	44	-2435	-2736	301
MUC	1	-2198	-2526	328
MUC	1	-2304	-2629	325
MUC	85	-2618	-2992	374
MUC	86	-2234	-2569	335
MUC	88	-2202	-2542	340
MUC	90	-2679	-2887	208
MUC	99	-2340	-2684	344
MUR	15	-2020	-2147	127
MUR	22	-2031	-2160	129
MUR	48	-2392	-2536	144
MUR	49	-2384	-2673	289
MUR	59	-2054	-2299	245
SBA	12	-2432	-2727	295
SBA	20	-2681	-3028	347
SBA	21	-2735	-3083	348
SBA	25	-2442	-2929	487
SBA	13	-2570	-2907	337
SBA	30	-2373	-2608	235

SBA	31	-2483	-2743	260
SBA	35	-2767	-3121	354
SBA	14	-2573	-2923	350
SBA	41	-2678	-3159	481
SBA	15	-2394	-2670	276
SBA	50	-2787	-3269	482
SBA	51	-2858	-3329	471
SBA	16	-2481	-2815	334
SBA	81	-2644	-2815	171
SBA	84	-2586	-2811	225
SBA	86	-2481	-2658	177
SBA	19	-2549	-2896	347
SBA	90	-2547	-2684	137
SBA	92	-2689	-2938	249
SBA	93	-2673	-2905	232
SBA	0	-2854	-3110	256
SBA	2	-2683	-2913	230
SBA	5	-2865	-3087	222
SBA	6	-2590	-2770	180
SBA	10	-2837	-3047	210
SBA	11	-2491	-2740	249
SBA	12	-2566	-2780	214
SBA	13	-2627	-2807	180

APÉNDICE G

**Bases de datos de espesores totales finales de arenas de los pozos
utilizados.**

pozos	nombre	tvds C	tvds M4	ESPESOR C
CRC	10	-3209	-3404	195
CRC	11	-2980	-3118	138
CRC	14	-3243	-3405	162
CRC	16	-2514	-2805	291
CRC	17	-3064	-3239	175
CRC	18	-3050	-3198	148
CRC	19	-3190	-3357	167
CRC	1	-3024	-3230	206
CRC	2	-3264	-3449	185
CRC	20	-3313	-3507	194
MP	16	-2845	-3033	188
MP	17	-2298	-2638	340
MP	26	-3355	-3670	315
MP	32	-2755	-3093	338
MP	52	-2722	-3141	419
MP	25	-2771	-3100	329
MP	44	-2914	-3224	310
MUC	1	-2706	-2880	174
MUC	1	-2984	-3184	200
MUC	85	-3212	-3531	319
MUC	86	-2896	-3134	238
MUC	88	-2903	-2315	-588
MUC	90	-3090	-2382	-708
MUC	99	-2849	-2921	72
MUR	15	-2181	-2903	722
MUR	22	-2206	-2547	341
MUR	48	-2582	-3200	618
MUR	49	-2707	-3601	894
MUR	59	-2346	-3654	1308
SBA	12	-2775	-3526	751
SBA	20	-3275	-3324	49
SBA	21	-3361	-3093	-268
SBA	25	-3108	-3299	191
SBA	13	-2983	-3777	794
SBA	30	-2690	-3458	768

SBA	31	-2867	-3684	817
SBA	35	-3323	-3158	-165
SBA	14	-3001	-3872	871
SBA	41	-3344	-3892	548
SBA	15	-2708	-3314	606
SBA	50	-3448	-3521	73
SBA	51	-3502	-3456	-46
SBA	16	-2851	-3234	383
SBA	81	-3360	-3411	51
SBA	84	-3279	-3310	31
SBA	86	-3059	-3597	538
SBA	19	-2957	-3561	604
SBA	90	-3150	-3834	684
SBA	92	-3400	-3594	194
SBA	93	-3350	-3879	529
SBA	0	-3639	-3451	-188
SBA	2	-3349	-3652	303
SBA	5	-3714	-3376	-338
SBA	6	-3290	-3507	217
SBA	10	-3338	-3538	200
SBA	11	-3145	-3376	231
SBA	12	-3239	-3507	268
SBA	13	-3316	-3538	222

APÉNDICE J

J. mapa que muestra la ubicación de los pozos PAC que actualmente producen agua en la Formación Las Piedras del campo El Carito.

Figura 5.21 Mapa que muestra la ubicación de los pozos PAC que actualmente producen agua en la Formación Las Piedras del campo

ANEXOS

Anexo 1 Mapa estructural perteneciente al acuífero A

Anexo 2 Mapa estructural perteneciente al acuífero B

Anexo 3 Mapa estructural perteneciente al acuífero C

Anexo 4 Mapa isópaco perteneciente al acuífero A

Anexo 5 Mapa isópaco perteneciente al acuífero B