

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



**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LAS ARENAS
ACUÍFERAS MAGUAP-2 Y MAGUAP-3, EN LAS
FORMACIONES MESA - LAS PIEDRAS, ENTRE LOS CAMPOS
CACHAMA NORTE, CHIMIRE C, CHIMIRE R, CAICO ESTE,
PRADERA Y TASCABAÑA, AL NOROESTE DE LA CIUDAD DE
EL TIGRE, ESTADO ANZOÁTEGUL.**

**TRABAJO FINAL DE GRADO
PRESENTADO POR EL
BACHILLER: JARAMILLO A.,
ANTONIO J. PARA OPTAR A
EL TÍTULO DE INGENIERO
GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, AGOSTO 2010

HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado, intitulado: **“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LAS ARENAS ACUÍFERAS MAGUAP-2 Y MAGUAP-3, EN LAS FORMACIONES MESA - LAS PIEDRAS, ENTRE LOS CAMPOS CACHAMA NORTE, CHIMIRE C, CHIMIRE R, CAICO ESTE, PRADERA Y TASCABAÑA, AL NOROESTE DE LA CIUDAD DE EL TIGRE, ESTADO ANZOÁTEGUIL.”**, presentado por el bachiller **JARAMILLO A., ANTONIO J.**, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombres:

Firmas:

Profesor Jorge Abud

(Tutor Académico)

Profesora Iris Marcano

(Jurado)

Profesora Gabriela Ciatti

(Jurado)

Profesor Enrique Acosta
Jefe del Departamento de Geotecnia

Ciudad Bolívar, Octubre de 2010

DEDICATORIA

A **Dios Todopoderoso y Eterno**; por darme la fortaleza y la voluntad para sortear obstáculos y cumplir las metas propuestas en los momentos en que más hacían falta, y por permitirme conocer personas que ahora son mis amigos que siempre me inspiraban y alentaban para seguir adelante con la visión firme en el objetivo.

A mi madre **Diodirma Atay**, por su dedicación, su abnegación, su ejemplo, su paciencia, sus bendiciones y su amor incondicional de madre. No alcanzarían todas las páginas de este trabajo para agradecerte todo lo que haz hecho por mí.

A mi padre **José A. Jaramillo**, por sus consejos y regaños que tanto hacen falta de vez en cuando; por ser pilar fundamental en mi formación académica y sin quién no estuviera en el lugar donde estoy.

A mi abuela materna, **María Escala (+)**, quién fuese una de las personas que más ha influido en mi formación personal, y que aunque ya hace varios años que no está siempre la tengo presente.

A familiares y amigos que siempre estuvieron allí cuando los necesitaba.
Gracias a todos

Antonio J.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradezco a la Universidad de Oriente y a mis profesores por haberme suministrado todas las herramientas para formarme como profesional.

A PDVSA Distrito San Tomé y a la Gerencia de Yacimientos, por la colaboración prestada para llevar a cabo la elaboración de mi pasantía y trabajo de grado. A mi tutor industrial Ingeniero Luis Oporte por su apoyo en la realización de este trabajo. A los geólogos Aldo Sardelli, Eudis Alcalá y Hernán Meneses quienes aportaron su valiosísima colaboración durante todo el desarrollo del estudio. Al técnico Jhonny Gil y al personal de la Gerencia del Dato, especialmente a los geólogos Yvett Aliendres y Aleomar Gamboa, porque siempre estuvieron allí para prestarme su vital ayuda.

A mi tutor académico profesor Jorge Abud por su valiosa asesoría y colaboración en la elaboración de este proyecto y por ser uno de los profesores que siempre estuvo presente, prestando su ayuda durante toda la carrera.

Al Señor Esteban Rivera, y a las Señoras. Felicia Capazzo y Karina Romero por su invalorable contribución para que este trabajo se realizara.

Gracias a todos, y que Dios los colme de bendiciones.

RESUMEN

El área de estudio está localizada geográficamente aproximadamente a 8 Km. al Noroeste de El Tigre en el estado Anzoátegui, entre los campos Cachama Norte, Chimire C, Chimire R, Caico Este, Pradera y Tascabaña la cual forma parte del Área Mayor de Oficina de la Cuenca Oriental de Venezuela. La zona pertenece geopolíticamente a los municipios Pedro María Freites y Anaco del estado Anzoátegui, y abarca una extensión de 352 Km². Este trabajo tiene como objetivo general caracterizar geológicamente las arenas acuíferas MaguaP-2 y MaguaP-3, de las formaciones Mesa y Las Piedras, entre los campos citados anteriormente pertenecientes al Distrito San Tomé para así evaluar en detalle la distribución horizontal, vertical y disponibilidad de las aguas subterráneas en el área, con el fin de suministrar información y asesoramiento técnico a Petróleos de Venezuela S.A., comunidad, industria agropecuaria local y a las empresas relacionadas con el suministro de aguas. Para llevar a cabo este estudio se empleó una metodología la cual está conformada por una demarcación geográfica del área de estudio, elaboración del mapa base, identificación litoestratigráfica de las diferentes arenas, correlación litoestratigráfica de cada uno de los intervalos definidos, determinación de espesores de arena neta acuífera, elaboración de secciones estratigráficas y estructurales, mapas isópacos y estructurales de las arenas en estudio, interpretación sedimentológica a partir de las electrofacies para cada una de las arenas y finalmente estimar el volumen de agua existente en las formaciones Mesa-Las Piedras con respecto al área de estudio. Se determinó que las arenas estudiadas presentan continuidad lateral en toda el área, permitiendo de esta manera su interconexión hidráulica y coalescencia vertical. Mediante las secciones y mapas estructurales se pudo establecer que las formaciones Mesa y Las Piedras no presentan estructuras complejas ni fallas aparentes, solo muestran un homoclinal con buzamiento suave menor a 1° hacia el Noreste y algunas ondulaciones que se deben a las irregularidades de la superficie. A través del análisis de las electrofacies se pudo definir que el ambiente depositacional de las arenas es de tipo fluvial, representado por canales meandriformes; teniendo que los mayores espesores de arena acuífera se encuentran hacia los depocentros de los canales con valores de 50 a 60 pies. Los acuíferos en su mayoría son del tipo libre a semiconfinados, y se recargan directamente por infiltración. El volumen de agua determinado para las formaciones Mesa y Las Piedras es de $2,04486 \cdot 10^{13}$ litro.

CONTENIDO

HOJA DE APROBACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN.....	v
CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
SITUACIÓN A INVESTIGAR	4
1.1 Planteamiento del problema	4
1.2 Objetivos de la investigación	5
1.2.1 Objetivo general	5
1.2.2 Objetivos específicos.....	6
1.3 Justificación de la investigación.....	6
1.4 Factores limitantes.....	7
CAPÍTULO II	9
GENERALIDADES	9
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio	9
2.2 Acceso al área de estudio	10
2.3 Características físico – naturales del área.....	11
2.3.1 Geología regional	11
2.3.2 Geología local	15
2.3.4 Clima.....	22
2.3.5 Geomorfología	23
2.3.6 Suelos	24
2.3.7 Vegetación.....	24
CAPÍTULO III.....	27
MARCO TEÓRICO.....	27
3.1 Antecedentes	27
3.2 Bases teóricas.....	28
3.2.1 Acuíferos	28
3.2.2 Tipos de Acuíferos	29

3.2.3 Recarga de un acuífero	31
3.2.4 Características hidrogeológicas	32
3.3 Clasificación geológica de las aguas	35
3.3.1 Magmáticas	35
3.3.2 Telúricas	35
3.4 Calidad del agua subterránea.....	36
3.4.1 Calidad física.....	38
3.4.2 Calidad microbiológica	38
3.4.3 Calidad química.....	39
3.4.4 Dureza	40
3.4.5 Conductividad eléctrica.....	41
3.5 Normas de potabilidad del agua según la Organización Mundial de la Salud (O.M.S)	41
3.5.1 Químicas y físicas	41
3.5.2 Características bacteriológicas	43
3.5.3 Características biológicas	43
3.6 Ambientes sedimentarios	43
3.6.1. Ambiente fluvial.....	46
3.7 Caracterización geológica de los yacimientos.....	50
3.7.1. Modelo estratigráfico	50
3.7.2 Modelo estructural.....	51
3.7.3 Modelo sedimentológico	51
3.7.4 Modelo petrofísico	52
3.8 Perfiles de pozos.....	52
3.8.1 Perfil de potencial espontáneo (SP).....	53
3.8.2 Perfil de rayos gamma natural (GR).....	55
3.8.3 Resistividad	56
3.8.4 Registros convencionales de resistividad	57
3.9 Correlación de pozos.....	58
3.9.1 Terminología general en las medidas de los registros	58
3.9.2 Guías y procedimientos en la correlación de registros eléctricos	60
3.10 Secciones geológicas.....	62
3.10.1 Secciones estratigráficas.....	62
3.10.2 Secciones estructurales.....	62
3.11 Mapas geológicos	63
3.11.1 Mapas estructurales	63
3.11.2 Mapas de electrofacies	64

3.11.3 Mapas isópacos	64
CAPÍTULO IV	66
METODOLOGÍA DE TRABAJO	66
4.1 Nivel de investigación	66
4.2 Diseño de la investigación.....	66
4.3 Recopilación de la información.....	68
4.3.1 Revisión bibliográfica	68
4.3.2 Ubicación de registros	69
4.4 Elaboración de mapa base	70
4.4.1 Ubicación geográfica del área de estudio.....	71
4.5 Correlación litoestratigráfica de los pozos que conforman el área de estudio.....	71
4.6 Elaboración de secciones geológicas de interés	73
4.6.1 Secciones estratigráficas.....	74
4.6.2 Secciones estructurales.....	76
4.7 Elaboración de mapas isópacos	77
4.8 Elaboración de mapas estructurales.....	79
4.9 Elaboración de mapas de electrofacies.....	80
4.10 Elaboración del mapa de distribución areal de agua	81
4.11 Estimación del volumen de agua existente en las arenas estudiadas y en las formaciones Mesa y Las Piedras para el área de estudio.....	82
4.12 Caracterización de la calidad del agua	83
CAPÍTULO V	85
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	85
5.1 Elaboración del mapa base	85
5.2. Correlación litoestratigráfica.....	86
5.3 Elaboración de secciones geológicas.....	87
5.3.1 Secciones estratigráficas.....	87
5.3.2 Elaboración de secciones estructurales.....	92
5.4 Elaboración de mapas isópacos	97
5.5 Elaboración de mapas estructurales.....	99
5.6 Elaboración de mapas de electrofacies.....	101
5.7 Elaboración de mapa de distribución areal de agua	103
5.8 Estimación del volumen de agua para MaguaP-2, MaguaP-3 y de toda el área de estudio.....	105
5.9 Caracterización la calidad del agua del área de estudio	106
5.9.1 Análisis químico comparativo.....	106
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109

Conclusiones	109
Recomendaciones.....	110
REFERENCIAS	113
APÉNDICES.....	117
APÉNDICE A	117
BASE DE DATOS DE LA CORRELACIÓN	117
APÉNDICE B	138
RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL VOLUMEN DE AGUA	138
APÉNDICE C	140
VALORES Y PARÁMETROS DE POTABILIDAD DEL AGUA.....	140
APÉNDICE D	145
RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y BACTERIOLÓGICOS	145

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 Ubicación geográfica del área de estudio. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).....	10
Figura 2.2 Acceso al área de estudio. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).....	11
Figura 2.3 Ubicación de la Cuenca Oriental de Venezuela (Salazar, J., 2003).	12
Figura 2.4 Columna Estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela. (PDVSA- Intevep, 1997).....	14
Figura 2.5 Extensión de la Formación Mesa. (PDVSA-Intevep, 1997).	16
Figura 2.6 Extensión de la Formación Las Piedras. (PDVSA-Intevep, 1997).	19
Figura 2.7. Columna estratigráfica Área Mayor de Oficina. (Balbrin, O. 1991).2.3.3 Hidrografía	21
Figura 3.1 Tipos de acuíferos (Purdue University, 2005).	31
Figura 3.2. Porosidad efectiva, no efectiva y total. (Acosta, E. 2006).	33
Figura 3.3 Diferentes tipos de ambientes sedimentarios (PDVSA-CIED, 1997).....	45
Figura 3.4 Diferentes tipos de canales dentro de los sistemas fluviales (Serra, O. 1986).	47
Figura 3.5 Sistema de canales entrelazados. (Limarino, C., 2004).	48
Figura 3.6 Sistema de canales meandriformes. (Limarino, C., 2004).	50
Figura 3.7 Origen del potencial espontáneo. (Schlumberger, 1999).	54
Figura 3.8 Diagrama que muestra la terminología general en las medidas de los registros. (PDVSA- CIED, 1997).	60
Figura 4.1. Flujograma de actividades.	67
Figura 4.2 Transformador de coordenadas TcoordPC 1.0. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).....	70
Figura 4.3 Pantalla de inicio de Sigemap 3.0. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).	71
Figura 4.4 Registro Tipo (PDVSA, 2010).....	72
Figura 4.5. Pantalla de inicio de Geographix. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).	73
Figura 4.6 Mapa indicativo de las secciones estratigráficas. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).....	75
Figura 4.7 Representación gráfica de facies para las secciones geológicas. (PDVSA-CIED, 1997).	76
Figura 4.8 Mapa indicativo de las secciones estructurales. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).....	77
Figura 4.9. Calidad del agua por su salinidad de acuerdo a la clasificación de la APHA (Asociación Americana de Salud Pública. 1995).	78
Figura 4.10 Ventana de inicio Petrel. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).	80
Figura 4.11 Cálculo de Volumen en la Herramienta <i>Sigemap</i> 3.0 (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).	82
Figura 5.1 Mapa base del área de estudio. (Estudios integrados, PDVSA, 2010).....	85
Figura 5.2. Sección estratigráfica A-A'	88
Figura 5.3. Sección estratigráfica B-B'	89
Figura 5.4. Sección estratigráfica C-C'	90
Figura 5.5. Sección estratigráfica D-D'	91

Figura 5.6. Sección estratigráfica E-E'	92
Figura 5.7. Sección estructural F-F'	93
Figura 5.8. Sección estructural G-G'	94
Figura 5.9. Sección estructural H-H'	95
Figura 5.10. Sección estructural I-I'	96
Figura 5.11. Sección estructural J-J'	97
Figura 5.12. Mapa isópaco de la arena MaguaP-2.	98
Figura 5.13. Mapa isópaco de la arena MaguaP-3.	98
Figura 5.14. Mapa estructural de la arena MaguaP-2.....	100
Figura 5.15. Mapa estructural de la arena MaguaP-3.....	100
Figura 5.16. Mapa de ambiente de la arena MaguaP-2.	102
Figura 5.17. Mapa de ambiente de la arena MaguaP-3.	103
Figura 5.18. Mapa de distribución areal de agua.....	104

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Coordenadas del área de estudio.	9
Tabla 2.2 Precipitación, evaporación y temperatura media anual en la Mesa de Guanipa. (Mosquera L. y Parravano, V., 2005).	22
Tabla 3.1 Rangos de valores de porosidad total y porosidad efectiva con su clasificación. (PDVSA-CIED, 1997).	34
Tabla 3.2 Iones fundamentales presentes en el agua subterránea. (Mosquera, L. y Parravano, V., 2005).	36
Tabla 3.3 Unidades de medición de los minerales presentes en el agua. (Custodio, E. y Llamas, R., 1976).	40
Tabla 3.4. Clasificación General de los ambientes sedimentarios (Serra, O., 1986).	46
Tabla 5.1 Resultados de cálculo de volumen de agua para MaguaP-2, MaguaP-3 y para las formaciones Mesa – Las Piedras en toda el área de estudio.	105
Tabla 5.2 Resultados de análisis físico-químicos.	108
Tabla 5.3 Resultados de análisis bacteriológicos.	108
Tabla B.1 Resultados del cálculo de volumen de agua para MaguaP-2, MaguaP-3 y para las formaciones Mesa y Las Piedras en toda el área de estudio.	139

INTRODUCCIÓN

El Continente Americano tiene el 12% de la población mundial y encierra el 27% de las reservas de agua potable de superficie y subterránea del mundo. Sin embargo, la falta de agua potable es uno de los temas más trascendentes al cual se ha visto enfrentada América Latina durante las últimas décadas. En el mundo 1.200 millones de habitantes no tienen acceso a una fuente de agua potable segura, las enfermedades por aguas contaminadas matan a más de 4 millones de niños al año, 20% de todas las especies acuáticas de agua fresca están extintas o en peligro de desaparecer.

El agua cubre casi un 80% de la superficie de la Tierra. Aunque pareciera que es un recurso muy abundante, es importante destacar que menos del 1% de esta es agua dulce, es decir, apta para usos domésticos, industriales, comerciales y turísticos.

Venezuela cuenta con abundantes recursos hídricos pero enfrenta limitaciones para su aprovechamiento debido a la irregular distribución de precipitaciones y condiciones topográficas y geológicas. Los acuíferos o aguas subterráneas del país representan una superficie total aproximada de 829.000 km², y se pueden clasificar de acuerdo a su potencialidad en:

- a) Acuíferos de gran potencialidad: Mesa de Guanipa, sur de Monagas, sistema del río Guárico, llanos de Barinas y Portuguesa, llanos de Apure.
- b) Acuíferos con potencial medio: Barlovento, valle de Caracas.
- c) Acuíferos en vías de agotamiento: valle de Quibor, Coro.

Sin embargo, existen regiones donde la disponibilidad de agua es abundante en comparación con las demandas previsibles. Por el contrario, existen otras regiones del país que han alcanzado tal grado de desarrollo, que sus necesidades de agua consumen una parte apreciable de sus disponibilidades.

Como ilustración del problema de desequilibrio espacial entre demanda y disponibilidad del recurso, basta señalar que estudios realizados hasta el presente, indican que el volumen medio anual de agua que se genera dentro del territorio nacional, es de 700.000 millones de metros cúbicos, o sea, unos 22.000 m³/s. Cabe destacar que de la totalidad del agua escurrida y generada en Venezuela, el 84% aproximadamente corresponde a ríos situados en el margen derecho aguas abajo del Río Orinoco, es decir el área más despoblada del país, lo cual indica que a pesar de poseer cuantiosos volúmenes de agua, esta abundancia es relativa. Se estima que los volúmenes aprovechables de aguas superficiales son 93.000 millones de metros cúbicos y las reservas explotables de aguas subterráneas están en el orden de los 22.312 millones de metros cúbicos. Este volumen total aprovechable representa sólo el 12% del volumen total escurrido a nivel nacional.

Debido a que el Estado tiene como obligación la provisión de agua para cubrir las necesidades mínimas de cada hombre, velando para que todas las personas puedan acceder a ella, Petróleos de Venezuela S.A. ha dirigido su política al manejo de aguas y ha incluido en sus metas la protección ambiental.

Con la finalidad de aprovechar al máximo y darle un uso racional a los sistemas de acuíferos de las formaciones Mesa-Las Piedras en la Mesa de Guanipa y desarrollar nuevas perforaciones de manera estratégica, planificada y no indiscriminada en estas áreas, la industria petrolera venezolana requiere información de las características geológicas de dichos acuíferos mediante la elaboración de un

modelo estático. Por lo tanto, es necesario determinar el modelo estratigráfico, estructural, y sedimentológico de los acuíferos.

Con ésta intención se ha propuesto hacer la caracterización geológica de 2 arenas con una elevada potencialidad: MaguaP-2 y MaguaP-3, concernientes a las formaciones Mesa-Las Piedras, Estado Anzoátegui, para cuantificar y calificar el agua contenida en dichas formaciones en el área asignada de 352 km² y así calcular las áreas de mayor potencialidad de agua dulce.

El trabajo está estructurado por cinco capítulos los cuales puntualizan la situación a investigar, las generalidades del área, el marco teórico, la metodología de trabajo, los análisis de resultados, además de las conclusiones y recomendaciones

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

El agua es indispensable para la vida de 13 millones de especies en el mundo, además es fuente de trabajo y alimento para los seres humanos.

El 70% de la superficie de la Tierra es agua, de ese porcentaje un 97.5% es salada y el restante es agua dulce. Del 2.55% de agua dulce, casi el 70% se encuentra concentrada en los glaciares; un 29% está almacenada en las profundidades de la tierra y el 1% restante en los ríos, lagos, pantanos, suelo, embalses, la atmósfera y en organismos vivos. El mundo en que vivimos se encuentra cubierto en su gran mayoría por agua y sin embargo, debido a la contaminación que los seres humanos creamos, el porcentaje apto para nuestro consumo es cada día menor.

Mas de 1.100 millones de personas no tienen garantizado el acceso a agua potable y 2.400 millones no disponen de servicios básicos de saneamiento. Como consecuencia de esta crisis de insostenibilidad se estima que más de 10.000 personas, en su mayoría niños, mueren cada día en el mundo al haberse degradado y envenenado los ríos, fuentes, lagos y acuíferos de los que tradicionalmente se abastecían.

La provisión de agua para cubrir las necesidades mínimas de cada hombre es una obligación del Estado, que debe velar para que todas las personas puedan acceder a ella.

Debido a lo expuesto anteriormente Petróleos de Venezuela S.A. ha dirigido su política al manejo de aguas y ha incluido en sus metas la protección ambiental, y con la finalidad de aprovechar al máximo y darle un uso racional a los sistemas de acuíferos de las formaciones Mesa-Las Piedras y desarrollar nuevas perforaciones de manera estratégica, planificada y no indiscriminada en estas áreas, la industria petrolera venezolana requiere de información de las características geológicas de dichos acuíferos mediante la elaboración de un modelo estático. Por lo tanto, es necesario determinar el modelo estratigráfico, estructural, y sedimentológico de los acuíferos.

Con ésta intención se ha propuesto hacer la caracterización geológica de 2 arenas con una elevada potencialidad: MaguaP-2 y MaguaP-3, concernientes a las formaciones Mesa-Las Piedras, Estado Anzoátegui, para cuantificar y calificar el agua contenida en dichas formaciones en el área asignada de 352 km² y así calcular las áreas de mayor potencialidad de agua dulce.

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Caracterizar geológicamente las arenas acuíferas MaguaP-2 y MaguaP-3, en las formaciones Mesa - Las Piedras, entre los campos Cachama Norte, Chimire C, Chimire R, Caico Este, Pradera y Tascabaña, al Noroeste de la Ciudad de El Tigre, Estado Anzoátegui.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Elaborar el mapa base con la información geográfica del área de estudio así como de los pozos de agua existentes en la misma.
2. Correlacionar litoestratigráficamente todos los pozos que conforman los campos del área de estudio.
3. Elaborar secciones geológicas tanto estratigráficas como estructurales
4. Elaborar los mapas isópacos de las arenas en estudio.
5. Elaborar los mapas estructurales de los horizontes en estudio.
6. Elaborar mapas de electrofacies de las arenas en estudio.
7. Elaborar el mapa de distribución areal del agua de toda el área de estudio.
8. Estimar el volumen de agua existente en las formaciones Mesa-Las Piedras.
9. Caracterizar la calidad del agua en la zona de estudio mediante análisis físico-químicos y bacteriológicos.

1.3 Justificación de la investigación

La importancia de la caracterización geológica de las arenas acuíferas MaguaP-2 y MaguaP-3 en los campos Cachama Norte, Chimire C, Chimire R, Caico Este, Pradera y Tascabaña está, en que éste va a ser un estudio que permitirá la evaluación en detalle de la distribución horizontal y vertical, disponibilidad y calidad de las

aguas subterráneas en el área de estudio, con la finalidad de suministrar información y asesoramiento técnico a PDVSA, comunidades, industria agrícola, pecuaria local y a empresas relacionadas con el suministro de agua. El valor agregado de este trabajo de investigación es establecer el beneficio a las comunidades más afectadas en el área de estudio debido a la problemática global por escasez de agua potable que día a día estamos presentando.

1.4 Factores limitantes

1. No se contó con un mapa base donde aparecieran los pozos cartografiados y bien señalados, ni con mapas del subsuelo oficiales que permitan comparar los resultados obtenidos en nuestro trabajo.

2. Debido a la fecha en que fueron perforados los pozos de agua, los registros se encuentran en estado de deterioro y solo poseen una curva de potencial espontáneo (SP) y otra de resistividad, cuyas escalas estaban muchas veces hechas a mano, haciendo difícil la lectura y restándole confiabilidad a los registros.

3. La pista #1 (track #1) donde está representado el registro de Potencial Espontáneo (SP) no es confiable, puesto que las respuestas obtenidas no son precisas, cuando éste es usado en agua dulce. La respuesta tiende a invertirse.

4. Al momento de la correlación de los pozos, se hizo difícil debido a las variaciones laterales y al complejo ambiente sedimentario en que se depositaron las formaciones Mesa y Las Piedras (Plioceno – Pleistoceno); se trata de canales rectilíneos a meandriformes que fueron montándose uno sobre otro y formándose lentes y mantos, que hace que los acuíferos se comporten como unidades interconectadas, coalescentes y de una extensión limitada por el área que comprenden las formaciones mismas. Estos canales, una vez sedimentados, fueron erosionados por

los canales activos, quedando conectados la gran mayoría de ellos tanto horizontal como verticalmente.

5. La falta de registros de pozos superficiales (Structural drill wells) actualizados que permita ampliar el modelo petrofísico.

CAPÍTULO II GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el estado Anzoátegui al Noroeste de la ciudad de El Tigre, en la Cuenca Oriental de Venezuela en el Área Mayor de Oficina, y cubre una extensión aproximada de 352 km² entre las coordenadas U.T.M: (Tabla 2.1 y Figura 2.1).

Tabla 2.1 Coordenadas del área de estudio.

ESTE	NORTE
1) 341000	989000
2) 357000	989000
3) 341000	1011000
4) 357000	1011000

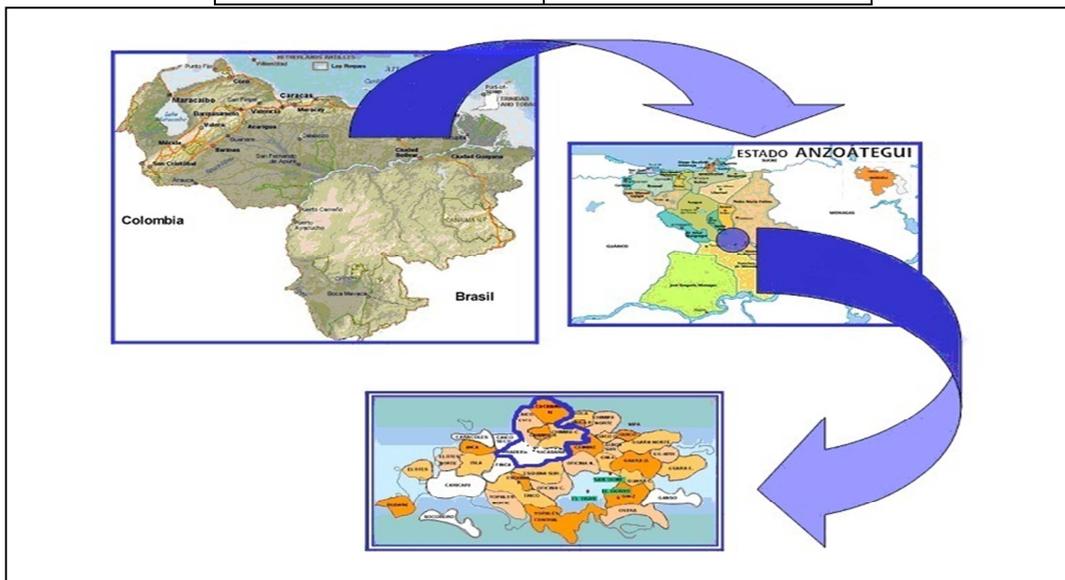


Figura 2.1 Ubicación geográfica del área de estudio. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).

El área de estudio pertenece geopolíticamente a los municipios de Anaco y Pedro María Freites del estado Anzoátegui. Algunas de las poblaciones presentes en ella son: “Mapiricure, Kashama, Tascabaña”, entre otras. En esta zona también podemos encontrar los campos petrolíferos “Cachama Norte, Chimire C, Chimire R, Caico Este, Pradera y Tascabaña” los cuales se encuentran aproximadamente a 20 Km. al Noroeste de la ciudad de El Tigre y pertenecen a PDVSA-GAS, a excepción de los campos “Caico Este” y “Tascabaña” que pertenecen a la empresa mixta PETROSIVEN (Petrolera Sino-Venezolana).

2.2 Acceso al área de estudio

La accesibilidad al área de estudio se logra a través de la carretera nacional que comunica a la ciudad de El Tigre con la ciudad de Barcelona, aunque hay una vía alterna desde San Tomé por la cual también se puede acceder. Hay que destacar que todas estas vías están completamente asfaltadas, sin embargo, para tener acceso a los pozos en estudio hay que hacerlo utilizando vías de tipo secundario. (Figura 2.2).

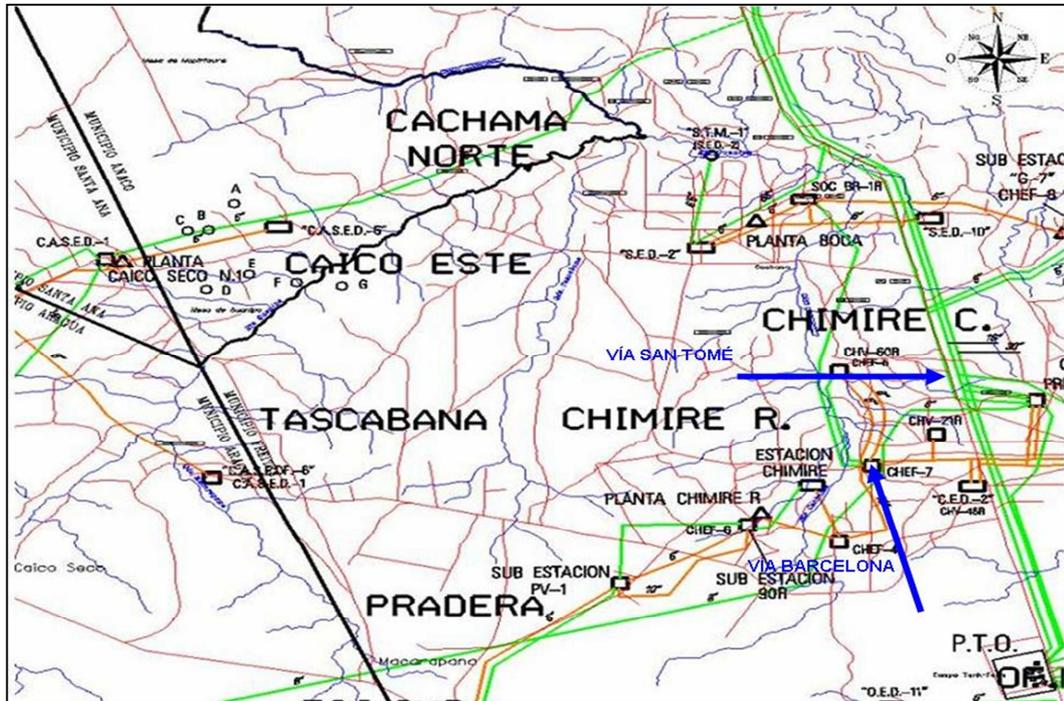


Figura 2.2 Acceso al área de estudio. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).

2.3 Características físico – naturales del área

2.3.1 Geología regional

2.3.1.1 Cuenca Oriental de Venezuela: según PDVSA-Intevep, (1997), la Cuenca Oriental de Venezuela es una depresión topográfica y estructural ubicada en la región Centro-Este del país. Esta depresión tiene una longitud aproximada de 800 kilómetros en sentido Oeste-Este, un ancho promedio de 200 kilómetros de Norte a Sur y un área aproximada total de 165000 kilómetros cuadrados. Comprende los estados Anzoátegui, Monagas, Guárico, Delta Amacuro y parte de Sucre; prolongándose hasta la Plataforma Deltana y Sur de Trinidad. Topográficamente se caracteriza por extensas llanuras y una zona de mesas en Anzoátegui y Monagas. (Figura 2.3).

La Cuenca Oriental de Venezuela es una gran depresión asimétrica limitada al Sur por el borde septentrional del Cratón de Guayana, al Norte por el Cinturón Móvil de las Serranías del Interior, Central y Oriental; y al Oeste por el levantamiento de El Baúl. Hacia el Este se extiende costa afuera en la Plataforma Deltana; así el flanco Sur se encuentra inclinado ligeramente hacia el Norte y el flanco Norte más tectonizado y con mayor buzamiento.



Figura 2.3 Ubicación de la Cuenca Oriental de Venezuela (Salazar, J., 2003).

Las formaciones que comprende la Cuenca Oriental se encuentra representada en la columna estratigráfica tomado de PDVSA-Intevep, (1997). Se iniciaría en el Paleozoico, con la Formación Hato Viejo de edad Devónico, depositada en discordancia sobre el basamento Precámbrico; y la Formación Carrizal, suprayacente, de edad Carbonífero. Discordante a ésta se encuentra el Grupo Temblador del Cretácico Medio con las formaciones Canoa y Tigre de edad Aptiense - Santoniense.

Una nueva discordancia en el Cretácico superior pone en contacto la secuencia marina de San Juan, Vidoño y Caratas, del Cretácico Superior al Eoceno Medio. Sobre la discordancia del Eoceno se deposita la secuencia transgresiva representada por las formaciones Merecure, Oficina y Freites del Cenozoico Medio, de edad Oligo - Mioceno Medio y en concordancia con ellas termina la sedimentación con la deposición de los sedimentos continentales de Las Piedras y Mesa de edad Mio - Pleistoceno. (Figura 2.4).

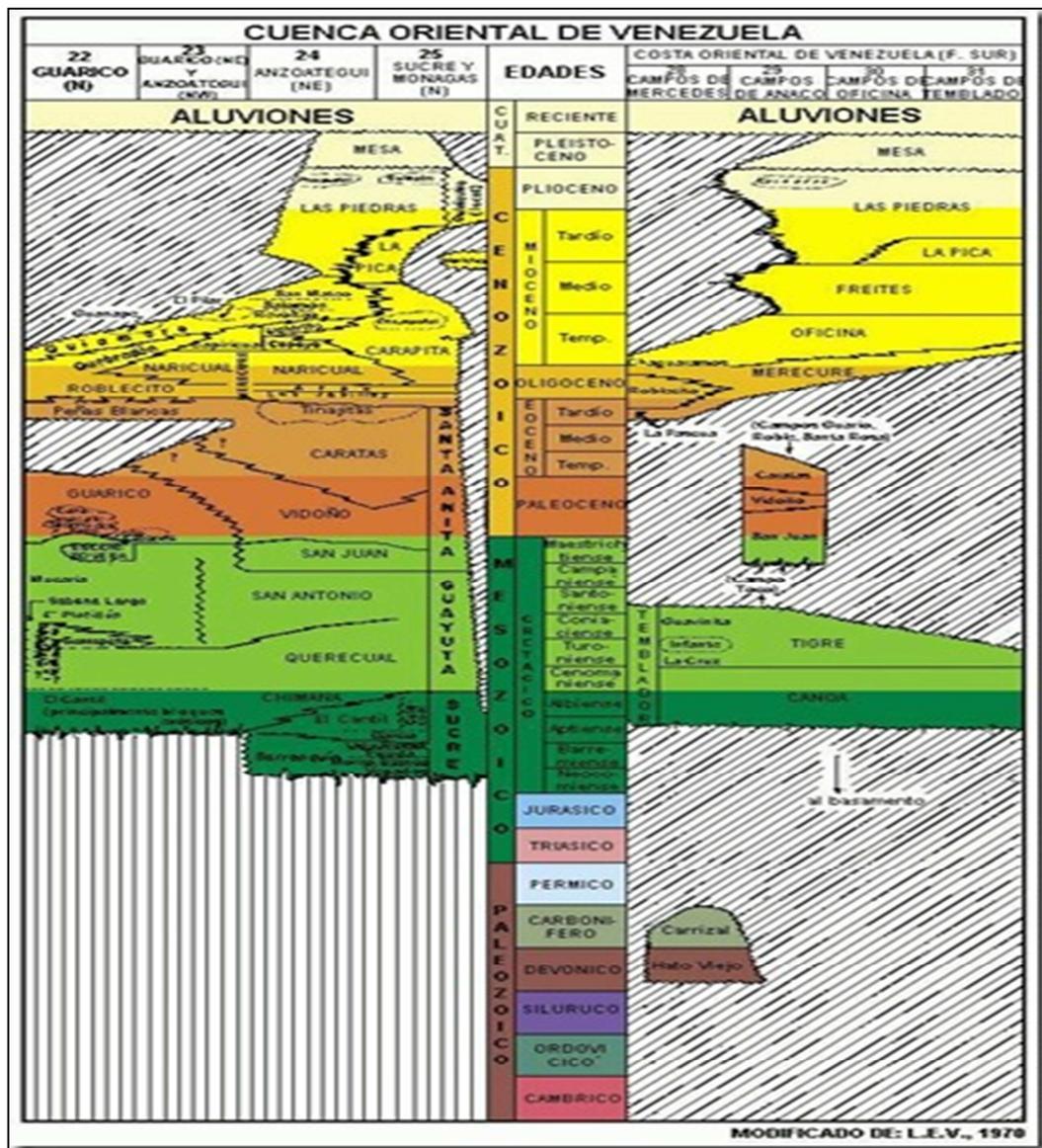


Figura 2.4 Columna Estratigráfica de la Cuenca Oriental de Venezuela. (PDVSA-Intevep, 1997).

2.3.2 Geología local

2.3.2.1 Formación Mesa (Plioceno - Pleistoceno): según PDVSA-Intevep, (1997), Hedberg, H., (1950) designó como Formación Mesa, a los sedimentos jóvenes que cubren las mesetas orientales de Venezuela. No se ha designado una sección tipo, debido a que la formación aflora en casi todas las mesetas, con secciones representativas.

En particular se han mencionado, la Mesa de Guanipa (Anzoátegui), la Mesa de Tonoro y Santa Bárbara (Monagas).

En los límites Norte y Sur de la Mesa de Guanipa (González de Juana, C. 1980), la Formación Mesa consiste de arenas de grano grueso y gravas, con cementos ferruginosos, cementados y muy duros; conglomerados rojos a casi negro, arenas blanco-amarillentas, rojo y púrpura, con estratificación cruzada; además contiene lentes discontinuos de arcilla fina arenosa y lentes de limolita.

Los sedimentos de la Formación Mesa, gradan de Norte a Sur, de más gruesos a más finos al alejarse de las cadenas montañosas del Norte; desde la parte central de Monagas al macizo de Guyana, gradan de más finos a más gruesos. El espesor de la Formación Mesa es muy variable, pero en términos generales disminuye de Norte a Sur, como consecuencia del cambio en la sedimentación fluvio - deltáica y aumenta de Oeste a Este, por el avance de los sedimentos deltáicos (González de Juana et al., 1980). En la Mesa de Maturín, la Formación Mesa tiene un espesor máximo de 275 m, mientras que en el Estado Bolívar rara vez llega a los 20 m.

La Formación Mesa se extiende por los Llanos Centro-Orientales y Orientales (Estados Guárico, Anzoátegui y Monagas). Se encuentran algunos afloramientos en

los estados Sucre y Bolívar, inmediatamente al Sur del río Orinoco. Esta suprayace en contacto concordante y transicional, a la Formación Las Piedras (Plioceno).

En la Formación Mesa se han encontrado fósiles de agua dulce, asociados con arcillas ligníticas y restos de madera silicificada.

Según González de Juana, et al., (1980), la Formación Mesa presenta paleoambientes producto de una sedimentación fluvio - deltáica y paludal, resultado de un extenso delta que avanzaba hacia el este en la misma forma que avanza hoy el delta del río Orinoco. El mayor relieve de las cordilleras septentrionales desarrolló abanicos aluviales que aportaban a la sedimentación clásticos de grano más grueso, mientras que desde el sur el aporte principal era de arenas.

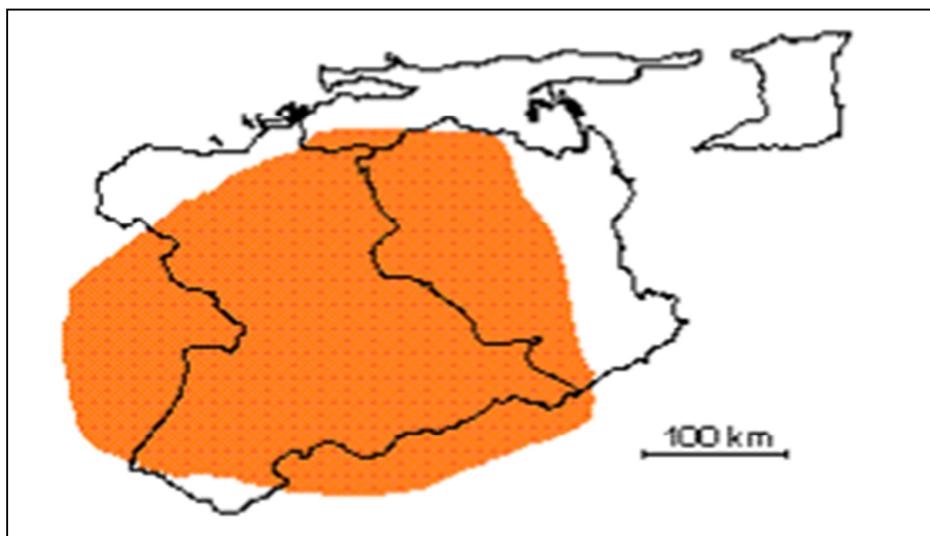


Figura 2.5 Extensión de la Formación Mesa. (PDVSA-Intevep, 1997).

2.3.2.2 Formación Las Piedras (Terciario: Mioceno Superior - Plioceno): el término fue establecido por Hedberg y Sass en un informe privado de la Mene Grande Oil Co. en 1936, quienes describieron la sección tipo original en el Pozo Las Piedras N° 1. La primera referencia publicada de la Formación Las Piedras es de González de Juana, C. et al., (1980).

En la localidad tipo, la Formación Las Piedras consiste en areniscas micáceas, friables, de grano fino y colores gris claro a gris verdoso, interlaminada con lutitas gris a verdoso, arcilitas sideríticas, grises, lutitas ligníticas y lignitos. Hedberg, H. (1950).

También se encuentran algunas calizas arenosas duras y de color verde. González de Juana, C. (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, estauroлита, sillimanita, moscovita y titanita. 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 y hacia el Sur, llega a las cercanías del río Orinoco en la Faja Petrolífera, con una expresión topográfica de terreno plano o de suaves ondulaciones. (Figura 2.5).

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 acuñamiento.

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 acuñamiento. Hacia Delta Amacuro, la parte superior de Las Piedras se confunde con la parte inferior de la Formación Paria.

En general, la Formación Las Piedras carece de fósiles. González de Juana, C. et al. (*op. cit.*) mencionó solo algunos foraminíferos arenáceos y algunos ejemplares del molusco *Corbicula*. Los fósiles se limitan a restos de peces y de plantas, algunos moluscos de agua dulce o salobre y algunos foraminíferos. (Hedberg, H. *op. cit.*, p.1207).

La edad que se estima según González de Juana, C. (*op. cit.*) que la colocó en el Plioceno, basado en su posición estratigráfica discordante encima de la Formación Freites de edad Mioceno Tardío. Los pocos fósiles y sus relaciones estratigráficas indican la edad de Mioceno Tardío a Plioceno. Las Piedras (parte superior) es parcialmente equivalente a la Formación Quiriquire y (parte inferior) a la Formación La Pica. En Trinidad, las unidades equivalentes son las formaciones Taipero y parte superior de Springdale (área norte) y Erin y Morne l' Enfer. Con paleoambientes de aguas dulces a salobres según Hedberg, H. (*op. cit.*). En el área del campo Pedernales, la formación fue depositada en un ambiente deltáico a marino somero.

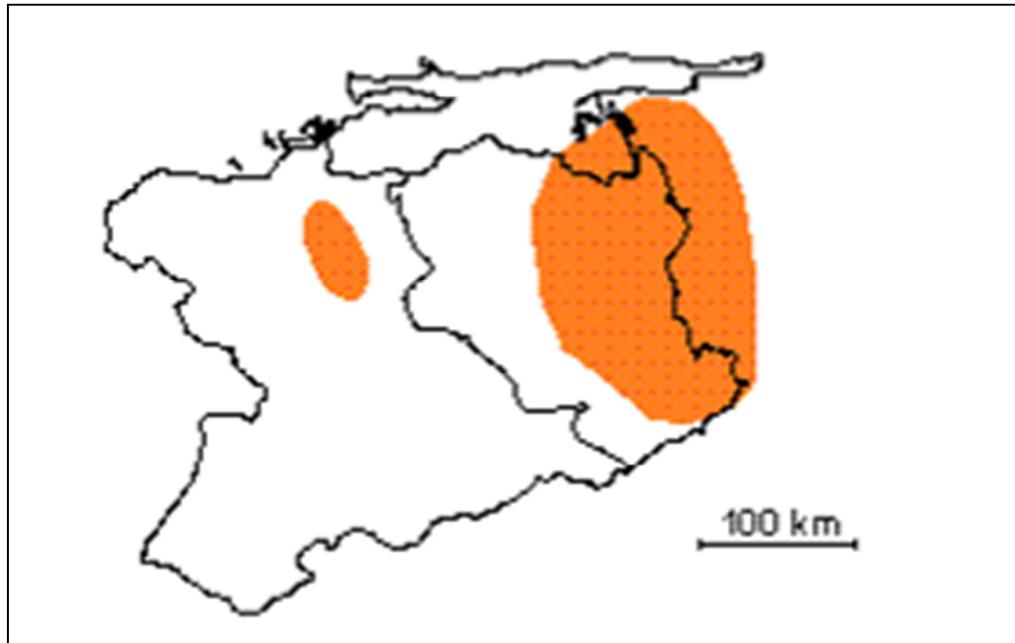


Figura 2.6 Extensión de la Formación Las Piedras. (PDVSA-Intevep, 1997).

2.3.2.3 Formación Freites (Terciario: Mioceno Medio): suprayace en casi toda su extensión en contacto concordante a la Formación Oficina, aumentando su espesor hacia el eje de la cuenca; esta formación alcanza un espesor promedio en la columna estratigráfica de ± 1.500 pies. Hacia la parte basal se observa todavía la presencia de arenas de 10 a 20 pies de espesor, (algunas de estas son muy persistentes lateralmente lo que las hace valiosas en la delimitación de estructuras petrolíferas) intercaladas con cuerpos de lutitas marinas no fosilíferas (González de Juana, C. et al., 1980).

2.3.2.4 Formación Oficina (Terciario: Mioceno Inferior a Medio): según González de Juana, C. *et al.*, (1980), la Formación Oficina se encuentra situada en el flanco Sur de la subcuenca estructural de Maturín y cuyo eje tiene un rumbo Este-Noreste, con declive suave en esa misma dirección, buzamiento regional de 2 a 4 grados hacia el Norte con aumento gradual hacia del eje de la Cuenca Oriental y abarcando una superficie de 11.300 Km², es la unidad estratigráfica más importante, debido a su producción de hidrocarburos y las reservas remanentes presentes.

Posee una extraordinaria variedad de tipos de areniscas recipientes formadas por depósitos fluvio-deltáicos a marinos, canales distributarios, barras de meandros y costaneras, abanicos de rotura, entre otras.

El régimen tectónico del área es de tipo extensivo, caracterizado por un sistema de fallas normales de rumbo Este - Oeste, Noroeste - Sureste y Noreste - Suroeste y una serie de fallas de compensación de salto pequeño. Todas estas fallas, en combinación unas con otras forman las trampas de hidrocarburo en el área, donde adicionalmente se observan cambios fuertes de buzamiento en las arenas prospectivas. (González de Juana, C. *et al.*, 1980).

Las arenas de la Formación Oficina son recipientes que individualmente tienen poca extensión lateral a cambio de una prolífica distribución vertical. Frecuentemente no se aprecia bien si dos o más arenas estratigráficamente cercanas presentan o presentaron comunicación entre sí. Otras veces sólo están separadas por intervalos lutíticos delgados cuya efectividad como barreras a la intercomunicación entre arenas puede ser dudosa, especialmente durante aquella etapa en que la cobertura era insuficiente para producir una compactación efectiva en las lutitas.

2.3.2.5 Formación Merecure (Terciario: Oligoceno - Mioceno Inferior): definida en la Serranía del Interior, sobre el subsuelo de la Cuenca Oriental de Venezuela; es el equivalente lateral arenoso del Grupo Merecure. En contacto suprayacente concordante con la Formación Oficina, se caracteriza por la abundancia de areniscas de grano fino a grueso en capas masivas mal estratificadas, con estratificación cruzada y una variabilidad infinita de porosidad y permeabilidad. La continuidad de estas capas se encuentra interrumpida por láminas y capas delgadas de lutitas (5 - 10 pies de espesor) y por intervalos de arcillas y limolitas, cuya edad esta atribuida al Oligoceno- Mioceno Inferior; adelgazándose hacia el Sur hasta acuñarse por debajo de la Formación Oficina, en los límites Sur del Área Mayor de Oficina. Ésta formación cuenta con un espesor promedio de ± 1.200 pies, conformada por las arenas U1, las cuales varían desde la U2 hasta la U10 (Pérez, 2002). La figura 2.7, muestra a manera de ilustración, las formaciones descritas anteriormente y su registro tipo.

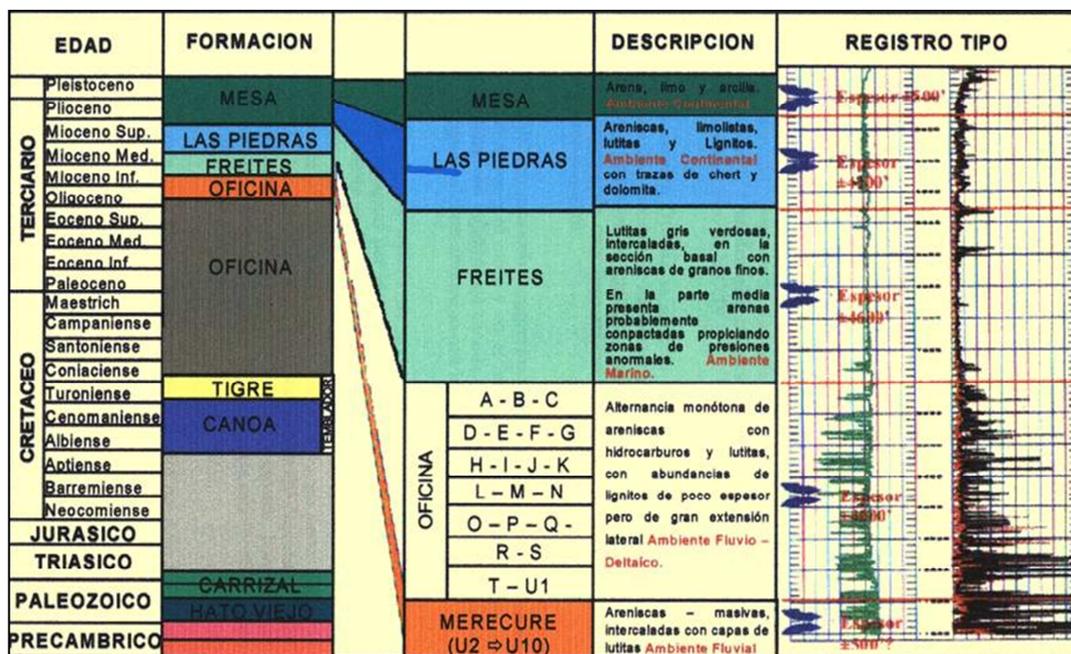


Figura 2.7. Columna estratigráfica Área Mayor de Oficina. (Balbrin, O. 1991).

La red hidrográfica del área de estudio está condicionada por sus características litológicas, geomorfológicas, edáficas y climáticas. Pertenece a la cuenca occidental del Delta del Orinoco, y está conformado por largos cursos paralelos, cuasi-rectilíneos. El drenaje está constituido principalmente por los ríos Areo, Morichal Largo, Caris, Chive, Oritupano, Nato, Guanipa, Chupururo, Guaraguara, Pao, Hamaca, Aisme Peña, y la Canoa, y sus afluentes, teniendo una dirección general preferentemente hacia el Sureste; los ríos principales poseen un régimen permanente. Todos ellos cortan la Formación Mesa.

2.3.4 Clima

Sobre "las mesas", así denominadas por su morfología, cae una precipitación media anual de 1025,73 mm, se produce una evaporación potencial de 2585,6 mm y la temperatura promedio anual varía de 24° a 28°C con una oscilación térmica anual menor de 5°C. (Mosquera, L. y Parravano V., 2005).

Tabla 2.2 Precipitación, evaporación y temperatura media anual en la Mesa de Guanipa. (Mosquera L. y Parravano, V., 2005).

Variable	Ciudad o población			
	Pariaguán	San Joaquín de Pariri	La Viuda	El Tigre y Guanipa
Precipitación media anual	1034 mm	1181.3 mm	886.3 mm	1021.3 mm
Evaporación Media anual	2604.5 mm	2431.5 mm	2707.8 mm	2598.6 mm
Temperatura Media anual	26.7 °C	26.9 °C	25.4 °C	26.2 °C

El clima de la región es característico de sabanas tropicales, con dos estaciones, una seca que va de Enero a Abril, y una estación lluviosa que va de Mayo a principios de Diciembre. Las mayores precipitaciones ocurren durante el mes de Agosto.

2.3.5 Geomorfología

La región de la Mesa de Guanipa, fisiográficamente pertenece a la Provincia del Orinoco, Subprovincia de los Llanos Orientales, la cual constituye una subprovincia fisiográfica peculiar caracterizada por la presencia de mesas extensas y planas con una elevación máxima de 300 - 340m, de superficie regular limitada por acantilados bajos, y que deben sus características morfológicas al carácter litológico de la Formación Mesa, la cual cubre casi totalmente toda la zona. (Mosquera, L. y Parravano V., 2005)

La Formación de estas mesas proviene de la erosión retrograda de las llanuras piedemontinas, formadas encima del relleno de la cuenca sedimentaria de Oriente, durante el período netamente erosional y sedimentario del Pleistoceno. Las características fisiográficas importantes de estas mesas son los escarpados que las circundan de pendientes abruptas, que alcanzan diferencias de elevación de más de 40m y formas ramificadas muy complejas, estos constituyen los límites entre la mesa y el cauce mayor de los ríos y morichales que representan los principales elementos del drenaje.

La constitución de las mesas es generalmente arenosa con granos variables. El relieve de las mesas ha sido preservado de la erosión, gracias a una cobertura de gravas y arenas ferruginosas cementadas y muy resistentes.

2.3.6 Suelos

Los suelos del área se caracterizan por presentar textura gruesa, tales como arenosas y areno francosa en superficie. Debido a que las arenas están compuestas fundamentalmente por cuarzo y sometidas a procesos pedogenéticos de remoción por lavado, translocación de arcillas, entre otros, estos suelos presentan una severa limitación de fertilidad (Brito, P. et al 1975). De igual manera, se presentan en profundidad texturas de gruesa a media, tales como arenosa, areno francosa, franco arenoso y arcilla arenosa. Poseen un drenaje interno excesivo y una baja capacidad de retención de humedad, ácidos (pH en agua 4,5-7), con bajo contenido de materia orgánica (0,2 - 0,4%), nitrógeno (0,02 - 0,04%), fósforo, potasio y calcio, y reducido porcentaje en saturación de bases cambiables, con valores bajos. Son suelos predominantes, los Oxísoles (Haplustox), Ultísoles (Haplustults, Plinthustults), Inceptisoles (Tropepts) y Entisoles (Quartzipsamments).

2.3.7 Vegetación

La cobertura vegetal que se desarrolla en el área, esta representada por cuatro tipos de vegetación, según la Corporación Venezolana de Guayana – Técnica Minera (CVG – TECMIN, 1997):

2.3.7.1 Sabanas: los atributos de esta formación dependen de la variabilidad ambiental sobre la cual se desarrolla, lo que condiciona sus características estructurales y funcionales, tales como: marcada estacionalidad de la precipitación, suelos predominantemente arenosos, de drenaje excesivo, baja fertilidad natural y poca disponibilidad de almacenamiento hídrico, e incendios forestales. Sus características fisonómicas permiten diferenciarlas en sabanas sin componente leñoso (abiertas) y sabanas con elemento leñoso, de carácter pirófilo y altura variable, de 1 a 8 metros, y ocasionalmente mayores de 10 metros (sabanas arboladas). En algunos casos conforman verdaderos arbustales (Chaparrales).

2.3.7.2 Matorral: tipo de vegetación que interrumpen la continuidad de la sabana; se originan por perturbaciones naturales y antrópicas, específicamente, por la presión que ejercen los centros poblados sobre las comunidades vegetales para desarrollar actividades pecuarias y agrícolas, las cuales una vez abandonadas permiten la formación de comunidades vegetales secundarias. Estas comunidades se encuentran en diferentes estadios sucesionales, donde las especies arbustivas son las dominantes, acompañadas por especies arbóreas y herbáceas, con alturas entre 2 a 8 metros y cobertura del dosel de media a densa.

2.3.7 3. Bosque de galería: tipo de vegetación predominante del paisaje de valle que ocupa la franja paralela a lo largo de los diferentes ríos, donde se presenta un hábitat con un régimen hídrico especial. Fisionómicamente, el bosque de galería se caracteriza por presentar alturas entre 15 y 20 metros y cobertura de media a densa. En los relieves de terraza, sobre suelos de origen coluvial, predominantemente arenosos y bien drenados, se desarrolla un bosque de galería de 10 a 18 metros de altura.

2.3.7 4. Plantaciones forestales: las plantaciones forestales establecidas están constituidas por la especie *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*. especie muy adaptable a las condiciones ecológicas presentes en el área, ya que son poco exigentes en cuanto a fertilidad del suelo y resistentes a condiciones climáticas muy variadas

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

El trabajo de investigación se inició con el análisis de antecedentes existentes, destacándose las perforaciones iniciadas por la SOCONY VACUUM OIL COMPANY desde el año 1944 hasta el año 1947.

Esta investigación se basa especialmente en el estudio de registros eléctricos superficiales (Structural drill wells) que sirvieron de base para la generación de datos básicos en la elaboración de los diferentes mapas, incluyendo el mapa base.

Para la realización y desarrollo de este proyecto se realizaron consultas a diferentes estudios previos relacionados con el tema a desarrollar. Se presentan en este punto los aportes realizados por los diferentes autores:

1. Santos, Antonio.(1974). Estudio del medio poroso en las formaciones Mesa-Las Piedras para el desarrollo de aguas subterráneas en el Área Mayor de Oficina cuadrángulo de oficina Estado Anzoátegui.

2. Mosquera, Leizy. Parravano, Vanesa. (2005). Evaluación de la disponibilidad del recurso agua subterránea en el acuífero de la Mesa de Guanipa, estado Anzoátegui.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Acuíferos

Un acuífero es una formación (capa o estrato) geológica porosa, permeable que es capaz de almacenar y transmitir cantidades apreciables de agua. Dentro de este grupo se pueden citar los aluviones de los ríos formados por una mezcla de gravas y arenas, las areniscas poco cementadas, algunos tipos de rocas volcánicas, formaciones calcáreas muy karstificadas, etc. Las aguas que llenan los poros de la roca se distinguen por su calidad físico-química. Una roca con buena permeabilidad y con agua de mala calidad físico-química, se considera como un acuífero; pero se debe estudiar el tratamiento necesario al agua, el cual puede resultar antieconómico y hace que la unidad sea descartada como acuífero explotable. (Custodio, E. y Llamas, R. 1996)

Un acuicludo es aquella formación geológica que conteniendo agua en su interior, incluso hasta la saturación, no la transmite y por lo tanto no es posible su explotación, como por ejemplo las arcillas de origen deltáico y/o estuarino. (Custodio, E. y Llamas, R. 1996)

Un acuitardo es una formación geológica que puede almacenar agua y es capaz de transmitirla en cantidades significativas a escala regional pero que ellas por si mismas no son capaces de abastecer instantáneamente a un pozo, por ejemplo, un nivel de arcillas limosas o arenosas

Un acuífugo son aquellas formaciones geológicas que no contienen agua ni la pueden transmitir, como por ejemplo, un macizo granítico no alterado. (Custodio, E. y Llamas, R. 1996).

3.2.2 Tipos de Acuíferos

De acuerdo al grado de confinamiento de las aguas que contienen los acuíferos pueden clasificarse en cuatro tipos:

- a) Acuíferos libres, freáticos o no confinados.
- b) Acuíferos confinados o artesianos.
- c) Acuíferos semiconfinados.
- d) Acuíferos semilibres.

(a) Los acuíferos libres son aquellos en que el agua subterránea presenta una superficie libre, sujeta a la presión atmosférica, como límite superior de la zona de saturación. Esta superficie libre se conoce como superficie freática y el nivel al que ella se eleva, respecto a otro de referencia, nivel freático. Está formado en general por un estrato de arena o grava permeable parcialmente saturado de agua yaciendo sobre otro estrato impermeable o relativamente impermeable. En los pozos perforados en este tipo de acuífero, el agua se eleva hasta el nivel freático.

(b) Los acuíferos confinados o artesianos son formaciones geológicas permeables, completamente saturadas de agua, confinadas entre dos capas impermeables o prácticamente impermeables (una interior y otra superior). En estos acuíferos, el agua está sometida a una presión mayor que la atmosférica y al perforar un pozo en ellos, el agua se eleva por encima de la parte superior del acuífero hasta un nivel que se denomina nivel piezométrico. La superficie imaginaria que representa la carga piezométrica en los distintos puntos del acuífero se conoce como superficie piezométrica. En algunos casos, la superficie piezométrica puede estar por encima del nivel del terreno natural, por lo que un pozo perforado en el lugar fluirá solo, como si fuera un manantial. Los acuíferos confinados se nombran también artesianos, a causa

de que en la región francesa de Artois fue el primer lugar donde se perforaron pozos profundos en acuíferos confinados, alrededor del año 1750.

(c) Los acuíferos semiconfinados son acuíferos completamente saturados sometidos a presión, que están limitados en su parte superior por una capa semipermeable (acuitardo) y en su parte inferior por una capa impermeable (acuífugo) o también por otro acuitardo. En este tipo de acuífero, la disminución de la carga piezométrica originada por el bombeo, por ejemplo, inducirá un flujo vertical del agua contenida en el acuitardo que actuará como recarga del acuífero. Las características del acuitardo confinante en un acuífero semiconfinado son tales que puede ignorarse la componente horizontal del flujo en el acuitardo.

(d) Los acuíferos semilibres representan 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. (Figura 3.1).

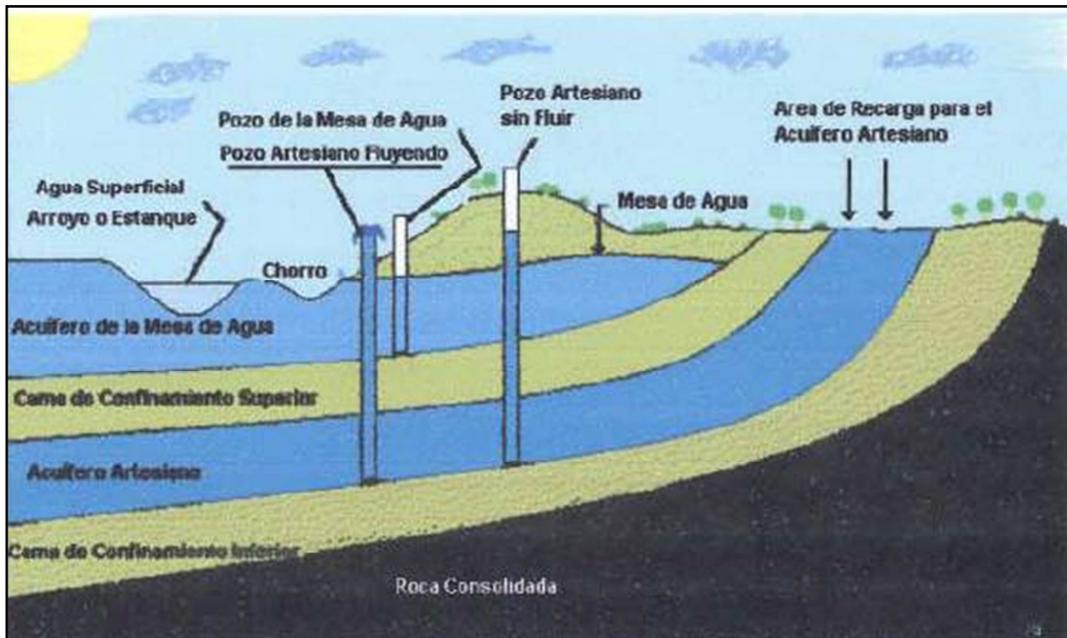


Figura 3.1 Tipos de acuíferos (Purdue University, 2005).

3.2.3 Recarga de un acuífero

El agua de las precipitaciones puede tener distintos destinos una vez alcanzado el suelo. Se reparte en tres fracciones. Se llama escorrentía a la parte que se desliza por la superficie del terreno, primero como arroyada difusa y luego como agua encauzada, formando arroyos y ríos. Otra parte del agua se evapora desde las capas superficiales del suelo o pasa a la atmósfera con la transpiración de los organismos, especialmente las plantas; nos referimos a esta parte como evapotranspiración. Por último, otra parte se infiltra en el terreno y pasa a ser agua subterránea. (Franco, M. 1985).

La proporción de infiltración respecto al total de las precipitaciones depende de varios factores, como lo son la litología (la naturaleza del material geológico que aflora en la superficie) influye a través de su permeabilidad, la cual depende de la

porosidad, del diaclasamiento (agrietamiento) y de la mineralogía de los estratos. Otro factor desfavorable para la infiltración es una pendiente marcada. La presencia de vegetación densa influye de forma compleja, porque reduce el agua que llega al suelo (intercepción), pero extiende en el tiempo el efecto de las precipitaciones, reduciendo así la fracción de escorrentía y aumentando la de infiltración. (Custodio, E. y Llamas, R. 1976).

3.2.4 Características hidrogeológicas

Un acuífero es un sistema físico, cuya conducta esta regulada por extracciones, bombeo y recarga. Su productividad es función además de sus características geológicas, de sus características hidrogeológicas y de los factores de flujo de las aguas subterráneas.

Las características hidrogeológicas de un acuífero están ligadas esencialmente a las propiedades físicas de la roca-almacén.

3.2.4.1 Porosidad: la porosidad se define como la relación existente entre el volumen de espacios vacíos (espacios porosos) y el volumen total de la roca. En otras palabras, el espacio vacío de la roca dividido por el volumen total de la misma, expresado como una fracción, o como porcentaje.

➤ Tipos de porosidad: existen muchos tipos de porosidad presentes en la roca yacimiento, uno de los cuales puede ser dominante pero que a menudo coexisten. Los más comunes son: porosidad intergranular, intragranular, intercrystalina y móldica, los cuales son dependientes del origen de la roca y por fractura, las cuales no son dependientes de su textura original.

➤ Porosidad efectiva y no efectiva: al volumen total de espacios vacíos que se encuentran interconectados en un volumen total de roca, y a través de los cuales puede haber movilización de fluidos se le conoce como porosidad efectiva de la roca, mientras que a aquel volumen de espacios vacíos que se encuentran aislados se le llama porosidad no efectiva. El resultado de sumar estas dos porosidades será la porosidad total de la roca, que representa el volumen total de espacios vacíos en un volumen total de roca. (Figura 3.2).

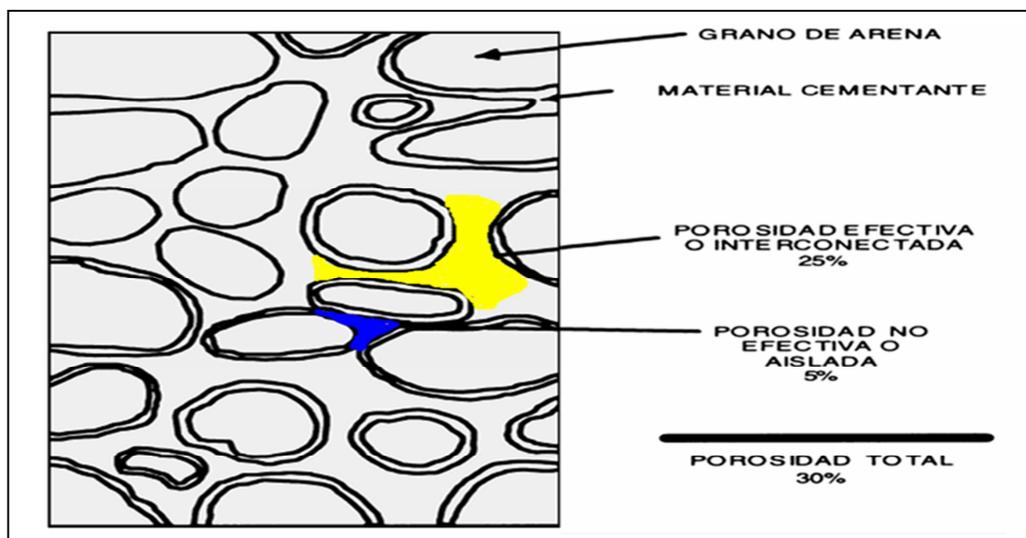


Figura 3.2. Porosidad efectiva, no efectiva y total. (Acosta, E. 2006).

Tabla 3.1 Rangos de valores de porosidad total y porosidad efectiva con su clasificación. (PDVSA-CIED, 1997).

Porosidad total	Porosidad efectiva
5 a 10 % pobre	< 6 % pobre
10 a 20 % buena	> 6 % y < 9% buena
> 20 % muy buena	> 9 % muy buena

3.2.4.2 Permeabilidad: la permeabilidad es una propiedad que nos indica la capacidad que tiene una roca para conducir un fluido a través de sus poros interconectados. Una de las posibles formas para determinarla es utilizando correlaciones entre porosidad y permeabilidad, a pesar de que esos resultados son muchas veces cuestionados en rocas poco o nada consolidadas. La relación estadística compleja entre porosidad y permeabilidad puede decirse, en general, que consiste en que las rocas más porosas (grano de tamaño uniforme) tienen una mayor permeabilidad que las menos porosas, y aunque la porosidad puede ser alta en algunas rocas de grano fino, la reducción en el tamaño de los poros trae como resultado una disminución en la capacidad de flujo dentro de la roca. En consecuencia, la permeabilidad disminuye. De igual manera, en otras formaciones como las calizas, las cuales se componen de roca densa interrumpida por fisuras muy pequeñas o por fracturas de gran extensión, la porosidad en tales formaciones puede ser baja, pero la permeabilidad de una fractura puede ser muy grande. En consecuencia, las calizas fracturadas pueden exhibir una porosidad baja conjuntamente con una permeabilidad extremadamente alta.

La permeabilidad depende de las condiciones del suelo como forma, tamaño y disposición de los granos, y de las características del fluido tales como viscosidad y densidad.

3.2.4.3 Transmisividad: indica cuanta agua se moverá a través de la formación acuífera. Se define como la cantidad de agua que escurre durante un período de tiempo a través de una franja vertical del acuífero, de un ancho de un metro y un espesor igual al del acuífero, bajo un gradiente hidráulico igual a 1 (ó 100%)

3.2.4.4 Coeficiente de almacenamiento: Amisial, R. y Jégat, H. (1984), lo expresan como el volumen de agua que una columna vertical del acuífero, que tiene como base la unidad de área y como altura el espesor medio del acuífero, libera por expansión del agua y compactación de la matriz sólida cuando la carga hidráulica disminuye en una unidad.

3.2.4.5 Gradiente hidráulico: representa la pérdida de carga por unidad de longitud, es decir, es la pendiente de la superficie piezométrica si se acepta que los hilillos sobre la misma vertical son paralelos entre sí.

3.3 Clasificación geológica de las aguas

3.3.1 Magmáticas

Son primitivas, brotan en relación con los filones metálicos o eruptivos, poseen temperaturas elevadas de más de 50° C., tienen un caudal, composición y temperatura constantes, las sales de calcio, magnesio y los nitritos son raros o no existen. (CORPOVEN, 1991).

3.3.2 Telúricas

Son aguas de filtraciones, que brotan de cualquier terreno, es decir, sin relación directa con los filones metálicos o eruptivos; su caudal es variable según el régimen de lluvias y estaciones, la temperatura no es demasiado elevada (de menos de 50° C.),

la mineralización es tenue y su concentración está en relación inversa al caudal, no tiene elementos con características de emanaciones metálicas o de metaloides profundos (boro, flúor, cobre, nitrógeno, etc.) sino en presencia de oxígeno. (CORPOVEN, 1991).

3.4 Calidad del agua subterránea

La calidad de las aguas subterráneas la determina principalmente la naturaleza del ambiente geológico que las contiene, pero influyen otros factores como el clima y frecuencia de las lluvias, la procedencia de la recarga, y factores antrópicos etc., los cuales repercuten en la variabilidad de la calidad.

En un agua subterránea natural, la mayoría de las sustancias disueltas se encuentran en estado iónico. Unos cuantos de estos iones se encuentran presentes casi siempre y su suma representa casi la totalidad de los iones presentes, denominándosele iones fundamentales. Estos iones fundamentales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.2 Iones fundamentales presentes en el agua subterránea. (Mosquera, L. y Parravano, V., 2005).

Aniones		Cationes	
Cloruro	Cl ⁻	Sodio	Na ⁺
Sulfato	SO ₄	Calcio	Ca ⁺⁺
Bicarbonato	CO ³ H ⁻	Magnesio	Mg ⁺⁺

1. Agua potable: los criterios relativos a estas aguas dependen del tratamiento que se les haga antes de su distribución y consumo; el parámetro más importante es la presencia de organismos patógenos como son los coliformes totales y fecales cuantificados por cada 100 mililitros, cuyos valores sobrepasan los límites permisibles, además, se tienen en cuenta el parámetro físico químico como es el nitrógeno amoniacal.

2. Agua para uso agrícola; el sodio es el elemento más crítico para las aguas de riego dado su gran efecto sobre la permeabilidad del suelo, en conjunto, aunque la posibilidad de utilización depende de la tolerancia del tipo de cultivo a la concentración de sales siempre representado en los sólidos paralelamente; la calidad sanitaria también es muy importante, las aguas sin tratar o parcialmente tratadas no deben utilizarse para regar cultivos destinados al consumo humano en crudo ya que pueden presentar afecciones intestinales causadas por organismos patógenos tales como los Helmintos y Protozoos.

3. Agua para uso pecuario: los criterios aplicables a la calidad para bebida del ganado no son muy precisos, el agua debe estar en lo posible libre de organismos patógenos exigiéndose una calidad mucho menor que la del consumo humano. La concentración en sales para el ganado vacuno y ovino de estas aguas son aceptables siempre y cuando también estén previamente desinfectadas.

4. Agua para uso recreacional y contacto primario: los parámetros básicos para analizar estas aguas son el oxígeno disuelto y la no presencia de organismos patógenos.

5. Agua para uso piscícola: los parámetros básicos para analizar estas aguas son el oxígeno disuelto, $DBO_{5, 20}$ (Oxígeno consumido en la oxidación microbológica de la materia orgánica e inorgánica presente en el agua, durante un período de cinco días y

a 20° C de temperatura.), alcalinidad, pH, turbiedad y la no presencia de organismos patógenos.

3.4.1 Calidad física

El agua del subsuelo es generalmente clara, incolora, con poca o ninguna sustancia en suspensión y tiene una temperatura generalmente constante, debido al lento proceso de percolación.

Desde el punto de vista físico, el agua del subsuelo es, por lo tanto, más fácilmente utilizable que el agua de superficie, ya que rara vez se requiere un tratamiento antes de utilizarse.

Las excepciones, son las aguas del subsuelo que están conectadas hidráulicamente con aguas superficiales cercanas a través de aberturas grandes tales como fisuras y canales de disolución, así como los intersticios de algunas gravas, permitiendo la entrada de materia en suspensión en la capa acuífera. En tales casos también pueden ser notables los sabores y olores de la vegetación en descomposición.

3.4.2 Calidad microbiológica

Las aguas del subsuelo están generalmente exentas de organismos muy pequeños (microbios) que causan enfermedades y que están normalmente presentes en las aguas superficiales, Este es otro beneficio que resulta de la acción de filtración lenta al circular el agua a través del subsuelo. Además, la falta de oxígeno y nutrimento en el agua del subsuelo la vuelve un medio inapropiado para que los organismos patógenos se desarrollen y multipliquen. Las excepciones a esta regla son, como ya se dijo, ocasionadas por las fisuras y canales de disolución encontrados en algunas rocas consolidadas y en capas acuíferas de arena y grava poco profundas

de donde se extrae el agua a proximidad de las fuentes de contaminación tales como retretes y fosas de excreta.

3.4.3 Calidad química

La calidad química del agua del subsuelo está también considerablemente influenciada por su movimiento relativamente lento a través del subsuelo. Su grado lento de percolación a través de la tierra proporciona tiempo más que suficiente para que muchos de los minerales que forman la corteza de la Tierra se incorporen a la solución.

Los usos que puedan darse al agua del subsuelo dependen de su contenido de minerales. Donde este contenido excede del límite recomendado, debe aplicarse un tratamiento para eliminar las cantidades excesivas del mineral que contiene. El contenido de minerales en el agua se expresa en partes por millón (ppm) que significa el número de partes por peso del mineral encontrado en un millón de partes de la solución. (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Unidades de medición de los minerales presentes en el agua. (Custodio, E. y Llamas, R., 1976).

UNIDAD DE MEDIDA	EQUIVALENTE EN PPM
Mg. Por litro	1.00
Granos por galón americano	17.12
Granos por galón imperial	14.27
Grado Francés	10.00
Grado alemán	17.80

Dentro de las principales sustancias y propiedades que se encuentran en el agua del subsuelo se tienen las siguientes: hierro, manganeso, cloruro, fluoruro, nitrato, sulfato, dureza, sólidos totales disueltos, pH, y gases disueltos tales como oxígeno, sulfhídrico y dióxido de carbono.

3.4.4 Dureza

Es la propiedad del agua que se demuestra mejor por la facilidad con la cual se disuelve el jabón para producir espumas. Mientras más alta es la dureza, más jabón se requiere para producir espuma. La dureza del agua es producida por la presencia de calcio y magnesio. Las sales minerales productoras de iones de calcio y magnesio pueden ser: bicarbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio.

3.4.5 Conductividad eléctrica

Es la habilidad de una determinada sustancia para conducir la corriente eléctrica. El agua químicamente pura ostenta una conductividad eléctrica muy baja, por lo tanto es un buen aislante. Sin embargo, con la adición de una pequeñísima cantidad de minerales disueltos, el agua se vuelve conductiva. Esto tiene lugar cuando el material disuelto se separa en iones que llevan sus cargas positivas y negativas. Cuanto mayor es la cantidad de iones, mayor será la conductividad de la solución.

3.5 Normas de potabilidad del agua según la Organización Mundial de la Salud (O.M.S)

La Organización Mundial de la Salud (O.M.S., 1976) en sus Guías para la Calidad de Agua Potable, adopta el criterio de dividir en cuatro grupos las características que afectan a la potabilidad del agua, son:

3.5.1 Químicas y físicas

Es de elementos químicos que, de sobrepasarse, supondrían la impotabilidad del agua. (Guías para la Calidad de Agua Potable, 1976).

3.5.1.1 Fluoruros: se admite una concentración en el agua potable entre 0.5 y 1 mg/l con un límite máximo permitido de 1.5 mg/l. La ausencia de flúor, tiene también un efecto pernicioso en la conservación de los dientes.

3.5.1.2 Nitratos: se fija como límite máximo permitido el de 45 mg/l en NO_3 , pues cantidades superiores pueden llegar a producir, principalmente en los niños la denominada enfermedad azul (metahemoglobinemia) a causa de efectos sobre la sangre.

3.5.1.3 Dureza: se dice que el agua dura es dura cuando posee dureza superior a 120 mg CaCO_3 /l., es decir que contiene un alto nivel de minerales, en particulares sales de magnesio y calcio. Son éstas las causantes de la dureza del agua, y el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de sales metálicas.

3.5.1.4 Sodio y Potasio: los niveles de sodio en aguas subterráneas varían mucho, pero normalmente fluctúan entre 6 y 500 mg/l. Los niveles más altos pueden estar relacionados con suelos salinos. El potasio, sin embargo, en aguas potables rara vez alcanza los 20 mg/l.

3.5.1.5 pH: es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presente en la muestra. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indican que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica.

3.5.1.6 Calcio y Magnesio: estos elementos determinan la dureza del agua. El magnesio es poco soluble en agua. Las concentraciones de calcio en aguas varían mucho, pero en general suelen ir asociadas al nivel de mineralización; por esta misma razón, las aguas subterráneas habitualmente presentan contenido mayores a las superficiales correspondientes. La presencia de Ca en agua potable la dota de sabor que dependerá del anión mayoritario presente.

3.5.1.7 Alcalinidad: es la capacidad del agua de neutralizar y evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básicos o ácidos. Sin embargo, cuando la acidez es alta en el agua la alcalinidad disminuye.

3.5.1.8 Cloruros: son una de las sales que están presentes en mayor cantidad en todas las fuentes de abastecimiento de agua y de drenaje. El sabor salado del agua, producido por los cloruros, es variable y dependiente de la composición química del agua, cuando el cloruro está en forma de cloruro de sodio, el sabor salado es detectable a una concentración de 250 ppm de NaCl.

3.5.2 Características bacteriológicas

Los criterios de calidad bacteriológica del agua se basan en la determinación de aquellos microorganismos que puedan afectar directamente a la salud del hombre o que, por su presencia, pueden señalar la posible existencia de otros. (O.M.S, 1976).

3.5.3 Características biológicas

Su particular interés reside en la rápida detección de la contaminación. Estos análisis suponen una determinación cualitativa de los tipos de organismos y una estimación cuantitativa de su número. Se detectan partículas sólidas orgánicas e inorgánicas, incluyendo diversos organismos vivientes (Plancton). (O.M.S, 1976).

3.6 Ambientes sedimentarios

Un ambiente sedimentario es una zona de la superficie terrestre caracterizada por un conjunto de condiciones físicas, químicas y biológicas, bajo las cuales se acumulan sedimentos. Tal conjunto de condiciones incluye la geología, la geomorfología, el clima, la flora y la fauna; y si el ambiente es subacuático, la

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. (Alfonsí, P., 1999).

Los ambientes sedimentarios ejercen un gran control sobre las consideraciones geométricas, características petrofísica y litológicas de los sedimentos depositados en ellos. En vista de su importancia, se considera que su estudio y el de sus productos son claves para la evaluación geológica de los yacimientos objeto de estudio. (Alfonsí, P., 1999). Tradicionalmente se han reconocido tres sitios primarios para el depósito global de sedimentos: Continental, Transicionales-costeros y Marinos. Cada uno de éstos se encuentra dividido en diferentes sistemas de depósitos, así como en una serie de ambientes y subambientes asociados. (Serra, O., 1986). (Figura 3.3 y Tabla 3.4).

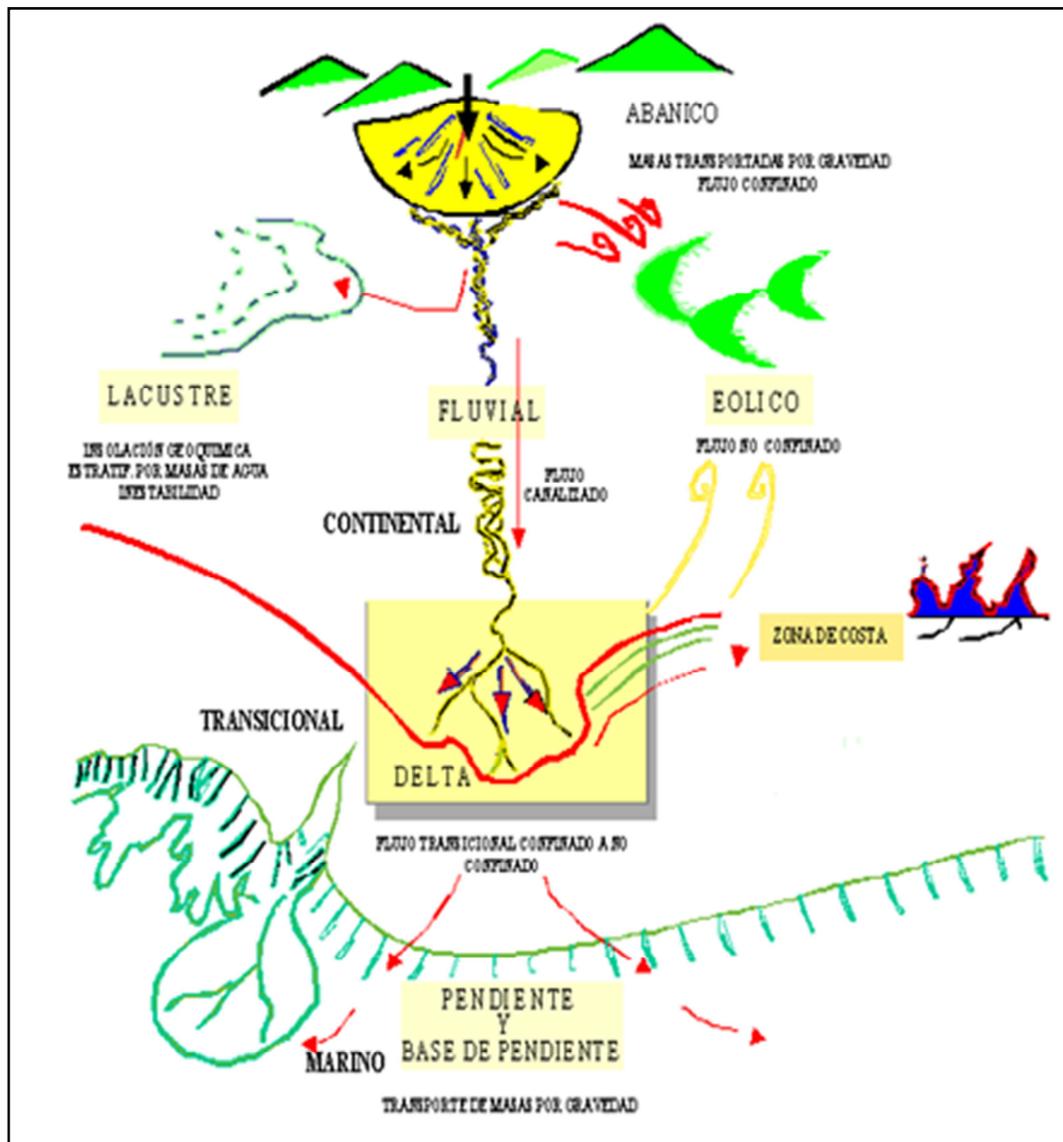


Figura 3.3 Diferentes tipos de ambientes sedimentarios (PDVSA-CIED, 1997).

Tabla 3.4. Clasificación General de los ambientes sedimentarios (Serra, O., 1986).

Sitio Primario de Sedimentación	Sistemas Principales
Continental	Fluvial
	Desértico
	Lacustre
	Glacial
	Volcaniclásticos
Transicional- Costero	Deltáico
	Lagunar
	Estuario
	Playas
	Barras de arena
	Planicies de marea
Marino	Plataforma Carbonatada
	Plataforma Siliclásticas
	Abanico Submarino
	Planicies Abisales

Ya que el tema de ambientes sedimentarios es bastante extenso, solo se va desarrollar lo concerniente al ambiente fluvial, por ser el que está relacionado directamente con el área de estudio.

3.6.1. Ambiente fluvial

Los depósitos fluviales están constituidos por sedimentos que se acumulan a partir de la actividad de los ríos y los procesos de deslizamiento por gravedad asociados, aunque estos depósitos se están generando actualmente bajo una diversidad de condiciones climáticas, desde desérticas hasta glaciales, se reconocen

cuatro sistemas fluviales bien definidos, (Figura 3.4): sistemas de ríos rectilíneos, sistemas de ríos entrelazados, sistemas de ríos meandriformes y sistemas de ríos anastomosados. (Allen, G., 1989).

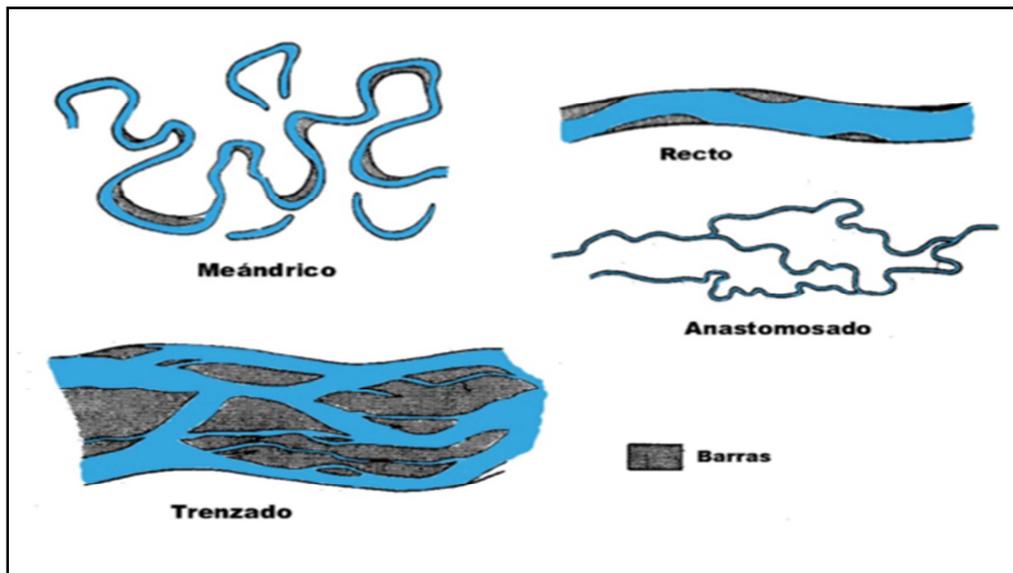


Figura 3.4 Diferentes tipos de canales dentro de los sistemas fluviales (Serra, O. 1986).

3.6.1.1 Sistema de ríos rectilíneos: estos canales son raros y su profundidad puede ser muy variable, por lo cual la línea de máxima profundidad del canal se mueve continuamente por todo el cauce de una orilla a otra. En la zona opuesta al punto de mayor profundidad hay acumulación de material formándose barras, estas barras alternan de una ribera a otra como en el caso de las corrientes meandriformes. Los canales deltáicos tienen tendencia al desarrollo de canales rectilíneos. (Allen, G., 1989).

3.6.1.2 Sistema de ríos entrelazados: los ríos entrelazados forman canales de sinuosidad baja con barras internas y abundantes canales secundarios. Los canales entrelazados se forman en zonas de alta pendiente, arenosas y donde los ríos transportan grandes cantidades de arena y grava. Las barras son alargadas y paralelas al eje del canal, están constituidos por algo de grava, de menor tamaño que los canales, generalmente de arena media a gruesa. (Allen, G. 1989). (Figura 3.5).

Los canales se caracterizan por poseer arena gruesa a grava. Estos generalmente exhiben estratificación cruzada festoneada, así como rizaduras hacia el tope. Los ríos de canales entrelazados tienden a migrar lateralmente a través de la llanura de inundación y formar extensos mantos constituidos por arenas y conglomerados. Estos mantos forman complejas unidades grano decrecientes apiladas. La relación ancho espesor de estos ríos es mayor que en los ríos meandriiformes y rectilíneos, pueden ser continuos por centenares o hasta miles de kilómetros cuadrados debido a los numerosos canales que lo conforman. (Allen, G. 1989).

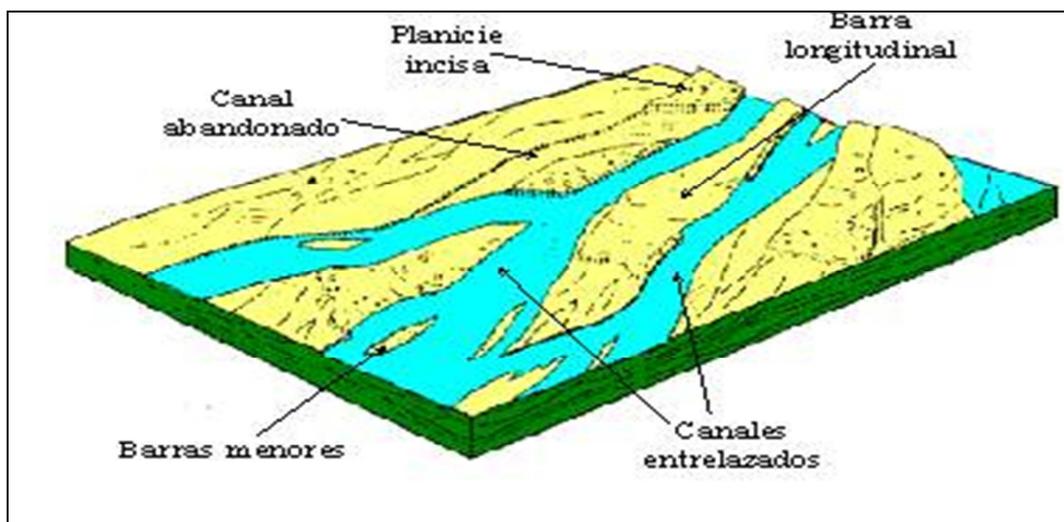


Figura 3.5 Sistema de canales entrelazados. (Limarino, C., 2004).

3.6.1.3 Sistema de ríos meandriformes: los ríos meandriformes se caracterizan por canales de sinuosidad alta y son más estables que los entrelazados. Se forman en zonas de baja pendiente y donde los ríos transportan grandes cantidades de arcilla y limos. El rasgo sedimentológico principal de estos ríos es la acumulación de arena bajo la forma de barras en el lado convexo de los meandros. Los depósitos principales son: barra de meandro, dique natural, abanicos de rotura y llanura de inundación. (Allen, G., 1989). (Figura 3.6)

➤ Barras de meandro: están formadas por la migración lateral de los canales meandriformes, y son depósitos de crecimiento lateral importante, constituidos de arena con poca grava. Tienen mejor escogimiento y menor tamaño de grano que los canales entrelazados, su espesor será equivalente a la profundidad del río. Forman secuencias granodecrecientes. La base es erosiva, recubierta por guijarro o clastos de arcillas, sobre la cual se encuentra arena media a gruesa con estratificación cruzada, esta se hace más fina hacia el tope donde presenta rizaduras y laminación paralela con arcilla.

➤ Llanura de inundación: esta constituida por lodos con hojas y raíces con delgadas laminaciones de arena fina, producto de las inundaciones periódicas de los ríos, así como de carbón.

➤ Diques naturales: son altos topográficos adyacentes a los canales que los bordean. Están constituidos por arena fina, limo y arcilla, con una marcada laminación paralela. Estos depósitos junto con la lutita de la llanura de inundación estabilizan el curso de los canales.

➤ Abanicos de rotura: se produce cuando el río aumenta su velocidad y rompe el dique (inundación), depositando lóbulos de arena sobre la llanura de inundación. Están compuestos de arena fina a media, con estratificación paralela y rizaduras.

Tiene mejor escogimiento que los entrelazados pero mayor cantidad de arcilla que el dique y la llanura de inundación.

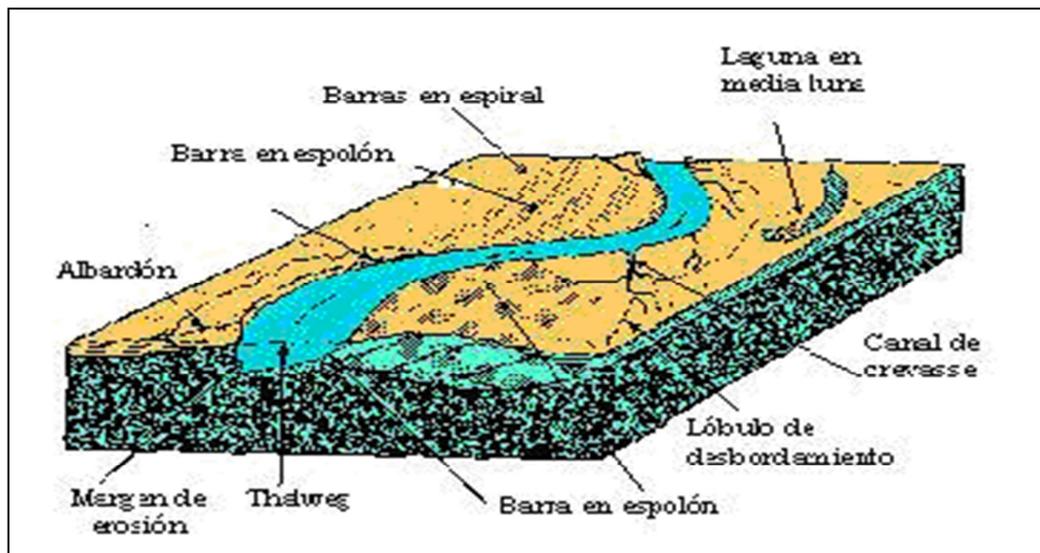


Figura 3.6 Sistema de canales meandriformes. (Limarino, C., 2004).

3.7 Caracterización geológica de los yacimientos

3.7.1. Modelo estratigráfico

El objetivo básico del modelo estratigráfico es demostrar la arquitectura de las unidades de flujo presentes en el área determinada y su incidencia en la generación del modelo sedimentológico. (PDVSA-CIED, 1997).

El primer paso para la construcción de éste consiste en realizar una correlación regional con perfiles o registro eléctricos de pozos y a la vez una correlación detallada del horizonte estratigráfico prospectivo basándose en marcadores litológicos confiables en el área, tales como lutitas marinas y lignitos, que muestran buena

continuidad lateral en la secuencia sedimentaria y que se aprecian en los registros. (PDVSA-CIED, 1997).

3.7.2 Modelo estructural

El objetivo de este proceso es definir la orientación y geometría de los elementos estructurales del área de estudio que pudieran intervenir en el entrapamiento del yacimiento de interés y permiten determinar la posición exacta del yacimiento en el subsuelo. La estructura a diferencia de la sedimentación, es un aspecto geológico de gran consistencia a lo largo de la secuencia estratigráfica, y de importancia al momento de definir eventos tectónicos. (Holmes, A., 1962).

La construcción del modelo estructural se basa en la sísmica y registros de pozos con el objeto de demostrar la profundidad de las estructuras a través de mapas estructurales de topes marcadores y planos de fallas. (PDVSA-CIED, 1997).

El datum en las secciones estructurales es un valor numérico de profundidad desde el cual se cuelgan los perfiles de los pozos que se estudien. La dirección o rumbo de este tipo de secciones depende del objetivo para la cual se realiza; si el objetivo es mostrar las mayores prominencias estructurales, las secciones se realizan en dos direcciones, paralela al eje de la estructura y perpendiculares a la misma, en esta última se muestra el buzamiento real de la estructura como falla existente. (Holmes, A., 1962).

3.7.3 Modelo sedimentológico

La caracterización sedimentológica de un yacimiento comprende una serie de procesos cuya finalidad es establecer la geometría, orientación, distribución y calidad física de los depósitos. Esta información es posteriormente integrada con la

proveniente de otras disciplinas permitiendo establecer la arquitectura de unidades de flujos y los yacimientos presentes en el área. (Holmes, A., 1962).

3.7.4 Modelo petrofísico

Este estudio permite caracterizar las propiedades físicas y texturales de las rocas mediante la integración del entorno geológico, perfiles de pozos, análisis de muestras de rocas y sus fluidos e historias de producción. En la evaluación de formaciones, cuantificar las propiedades físicas de las rocas es fundamental, ya que con ellos se puede estimar cuan prospectiva es una unidad sedimentaria. (CORPOVEN, 1991).

Para evaluar un reservorio se requiere conocer los siguientes parámetros: porosidad, saturación de fluidos, espesor permeable de la capa y su permeabilidad, los cuales pueden ser deducidos de perfiles eléctricos, nucleares y acústicos. (CORPOVEN, 1991).

3.8 Perfiles de pozos

Las formaciones geológicas suelen clasificarse según su composición química o sus características litológicas como: densidad, textura, color, dureza, fósiles que contenga, etc., para lo cual es esencial obtener muestras de la roca. En los perfiles de pozos, las formaciones se distinguen por sus propiedades eléctricas como: resistividad eléctrica, potenciales electroquímicos, velocidad del sonido, radioactividad natural, captación nuclear de neutrones, dispersión de rayos gamma, temperatura, etc.

Dichas mediciones se realizan por medio de instrumentos sensibles que se introducen en el pozo, por lo que no es necesario obtener muestras de rocas, pues las mediciones se hacen “in situ”. Los perfiles de pozo son registros continuos de las

características eléctricas, sónicas y radioactivas de las formaciones, a lo largo del pozo, para así poder llegar a una determinación de los posibles horizontes productores de petróleo, gas o agua. La cantidad de petróleo, gas o agua contenida en una unidad de volumen del reservorio es el producto de su porosidad y saturación del fluido.

Conocer el espesor de la formación y el área que ocupa es esencial para determinar el volumen. Para evaluar la productividad de un reservorio, se debe determinar si los fluidos que contiene se mueven fácilmente a través del sistema de poros. Esta propiedad de la formación, la cual depende de la interconexión entre los poros se denomina permeabilidad. Schlumberger (1998), afirma que las principales propiedades físicas necesarias para evaluar un reservorio, son su porosidad, litología, saturación del fluido, espesores y permeabilidad. Esos parámetros pueden ser derivados o inferidos de registros de pozos, tales como el registro eléctrico, el nuclear, el sónico y el gamma ray, entre otros. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los perfiles de pozo de mayor importancia para la industria petrolera.

3.8.1 Perfil de potencial espontáneo (SP)

Esta curva es una medida de las corrientes eléctricas que se producen dentro de un pozo debido al contacto entre diversos fluidos con salinidades diferentes; por consiguiente, este registro se usa normalmente en pozos perforados con fluidos cuya base es agua. La curva de potencial espontáneo (SP) es un registro de la diferencia de potencial de un electrodo móvil en el pozo y un potencial fijo en un electrodo de superficie. Representa la actividad iónica debido a la diferencia de concentración de NaCl entre el lodo y las capas (Schlumberger, 1999).

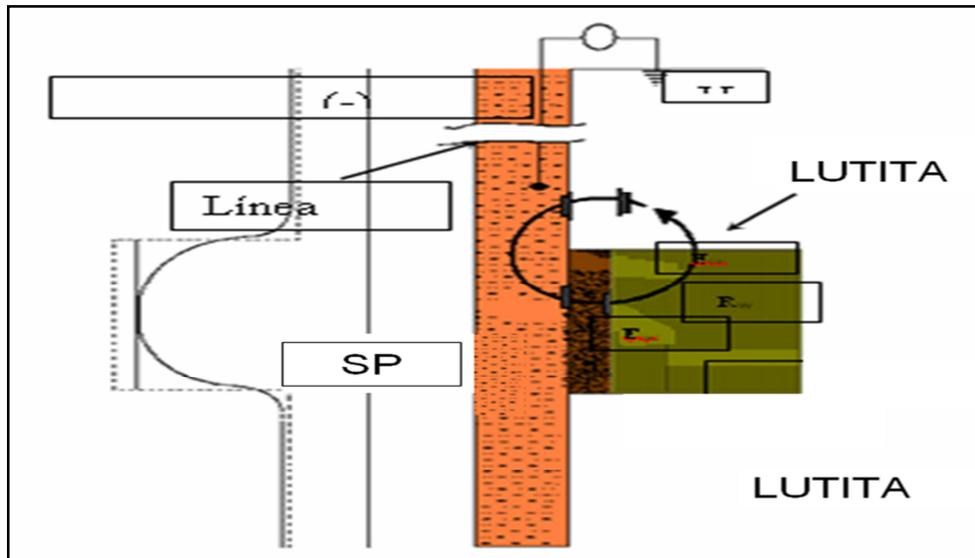


Figura 3.7 Origen del potencial espontáneo. (Schlumberger, 1999).

La deflexión positiva es debido a aguas más dulces que el lodo, es decir, corresponde a la línea de areniscas, en cambio la deflexión negativa se refleja en aguas más saladas que el lodo, es decir, corresponde a las líneas de lutitas. El registro SP en la actualidad sigue siendo uno de los más utilizados junto al de gamma ray, debido a que permite:

1. Detectar capas permeables.
2. Ubicar límites y correlacionar entre capas.
3. Determinar valores de la resistividad de agua de formación, R_w .
4. Determinar valores cualitativos del contenido de arcillosidad.

En el caso de capas de arenas limpias con aguas, la deflexión del SP, es una función de la permeabilidad y del tamaño de grano. La curva SP se puede ver

afectada por factores tales como el espesor de las capas de la formación, el diámetro del hoyo, la presencia de arcilla en capas, la sensibilidad magnética a perturbaciones eléctricas, los ruidos del cable y corrientes telúricas y las resistividades de las capas adyacentes, del lodo de perforación y de la zona invadida.

3.8.2 Perfil de rayos gamma natural (GR)

Este es uno de los más utilizados en la industria y tiene principalmente dos aplicaciones importantes: control de profundidad y correlación de pozos, así como la estimación del contenido de arcilla en las formaciones (Schlumberger, 1999).

Mide de manera continua la radioactividad natural de las formaciones, fue utilizado por primera vez en 1939, como técnica para determinar la litología de los pozos entubados que nunca antes habían sido registrados. El perfil de rayos gamma se utiliza principalmente para correlacionar, para determinar el contenido de arcillas en la formación y para análisis mineralógicos.

Los rayos gamma son radiaciones naturales emitidas espontáneamente por algunos elementos radiactivos como el uranio, el potasio y el torio que están presentes en las formaciones. Las lutitas son las que contienen la mayor concentración de sales radioactivas y por lo general, son muchos más radioactivas que las arenas, calizas y dolomitas; sin embargo, existen algunas excepciones (Schlumberger, 1999).

Generalmente, una lutita contiene elementos radioactivos y con el dispositivo convencional de rayos gamma, era imposible determinar si la radiación gamma se debía a tal o a cual elemento en particular. Actualmente existen dispositivos de espectrometría de rayos gamma que pueden fraccionar los porcentajes de torio, uranio y potasio.

Entre los factores que afectan la lectura del perfil GR están:

1. Tipo de detector (Cámara de Ionización, Contador Geiner-Muller, Detectores de Centello).
2. La velocidad de perfilaje y constante de tiempo 4.000'/Hora.
3. Esta parcialmente degradado por la densidad y la composición química.
4. Diámetro del hoyo y excentricidad, porque el radio de investigación es de 6”.
5. Revestimiento y cemento que reducen la radioactividad en 30%.

3.8.3 Resistividad

Como se dijo anteriormente los registros de pozos generalmente identifican muchas de las propiedades físicas de las rocas que perfora la mecha. Una de las más importantes es la resistividad: capacidad que tiene una sustancia de resistir o impedir el flujo de una corriente eléctrica. Esta propiedad fue de vital importancia para este trabajo, ya que los registros de pozos con los que se trabajó solo contaban con la curva de SP y resistividad.

En los registros de pozos se utilizan los términos de resistividad y conductividad, siendo inversamente proporcionales ente ambos. (PDVSA-CIED, 1997).

3.8.4 Registros convencionales de resistividad

Los registros de resistividad presentan más de una clase de medición de la misma. Estas diferentes mediciones se combinan con la información de otros instrumentos de medición, para obtener así una visión global de las formaciones y de los fluidos en cuestión (Schlumberger, 1999).

En los perfiles de resistividad se envían corrientes a las formaciones a través de unos electrodos y se miden los potenciales eléctricos entre otros. La medición de esos potenciales permite determinar las resistividades. Para que haya una circulación de corriente entre los electrodos y la formación, la onda debe ser corrida en pozos que tengan lodo o agua, conductores de electricidad. A continuación se presentan diferentes formas de medición de la resistividad: (Schlumberger, 1999).

3.8.4.1 Registro eléctrico: es una serie de curvas de resistividad que reciben el nombre de normal o lateral, según la configuración de los electrodos en la herramienta utilizada.

3.8.4.2 Registro de inducción eléctrica: es la combinación de curvas eléctricas y de inducción. Mide la conductividad de la formación y es muy efectivo en formaciones con porosidad de intermedia a alta.

3.8.4.3 Registro de doble inducción: la misma consta de tres curvas de resistividad. La curva de penetración poco profunda que mide la resistividad en zonas limpias (R_{xo}), la curva intermedia miden resistividades combinadas de zonas limpias y no contaminadas (R_i), y por su parte la curva profunda mide la resistividad en zonas no contaminadas (R_t).

3.8.4.4 Registro Fo, Rxo: mide la resistividad en las zonas inmediatamente adyacentes a las paredes del pozo, es decir, que más efectivamente ha sufrido la limpieza a causa de la invasión del lodo.

3.9 Correlación de pozos

Es la determinación e identificación de unidades estructurales y estratigráficas que son equivalentes en tiempo, edad, o posición estratigráfica. La base fundamental y básica de toda la geología del subsuelo es el control geológico y correlación de los sondeos o registros de pozos. De la interpretación y correlación de ellos depende en gran parte la calidad de las interpretaciones posteriores del subsuelo.

Al perforarse el pozo se van obteniendo sistemáticamente muestras de las rocas o ripios que son de gran importancia en la determinación geológica – paleontológica de la sección que se atraviesa. Posteriormente se obtienen los registros que miden diferentes características físicas de las rocas que contienen los fluidos.

Con estos datos es posible obtener un conocimiento muy detallado de la sección estratigráfica atravesada por el pozo o sondeo estratigráfico (profundidad, litología, sección omitida o repetida (fallas), buzamiento, edad, características petrofísicas y contenido de fluidos). Por lo tanto, la correlación de estos registros de pozos permite un avance constante en el conocimiento geológico del área, indispensable para el desarrollo y explotación de los yacimientos.

3.9.1 Terminología general en las medidas de los registros

El conocimiento de varias medidas de profundidad en los registros es importante para convertir las profundidades de los registros a profundidades usadas para el mapeo.

La siguiente es una lista de medida, sus abreviaciones, y definiciones de términos en profundidad. (Rojas, L. 1996).

3.9.1.1 KB = Distancia desde la mesa rotatoria al nivel del mar.

3.9.1.2 MD = Profundidad medida = Distancia medida a lo largo de la senda de un pozo taladrado desde el KB al TD (profundidad total del pozo) o cualquier punto de correlación entre ellos.

3.9.1.3 TVD = Profundidad Vertical verdadera = Distancia vertical desde el KB a cualquier punto del subsuelo.

3.9.1.4 TVDSS = Profundidad Vertical Verdadera del Nivel del Mar = Distancia vertical desde el nivel del mar a cualquier punto del subsuelo.

3.9.1.5 Pozo Vertical = Pozo perforado con 90° respecto a la horizontal, usualmente el nivel del mar (También llamado un pozo recto).

3.9.1.6 NMM = Nivel medio del mar

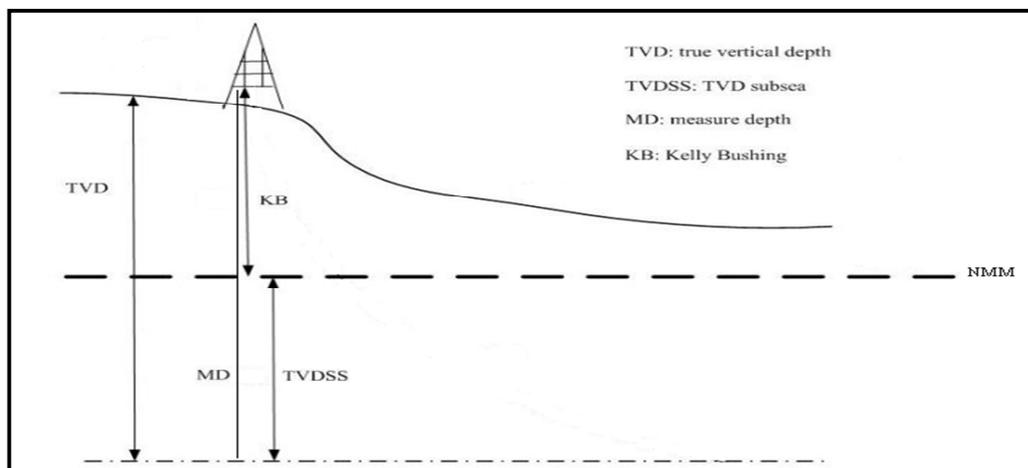


Figura 3.8 Diagrama que muestra la terminología general en las medidas de los registros. (PDVSA-CIED, 1997).

La medida TVDSS es la única medida de profundidad desde un datum común de referencia, nivel del mar. Por lo tanto, TVDSS es la profundidad más frecuentemente usada para el mapeo. El registro de las medidas de profundidad de un pozo vertical o direccional para el mapeo son usualmente corregidas para TVDSS. Para pozos verticales el $TVDSS = TVD - KB$.

3.9.2 Guías y procedimientos en la correlación de registros eléctricos

Una correlación de registros eléctricos es un patrón de reconocimiento de un área en específico. Es frecuentemente debatido sí este patrón de reconocimiento es más un arte o una ciencia, pero nosotros creemos que ambas toman parte en el trabajo de correlación.

Cualquiera que esté involucrado con la correlación de registros debe tener un conocimiento de los principios geológicos, incluyendo procesos de ambiente depositacional, y estar familiarizados con las principales herramientas de registros y

medidas, los fundamentos de ingeniería de yacimientos, y los análisis de registros cuantitativos y cualitativos básicos.

Una variedad de curvas pueden representarse en un registro, pero es mejor correlacionar registros de pozos que tienen el mismo tipo de curvas; sin embargo, esto no siempre es posible. Un geólogo puede requerir correlacionar registros que tienen curvas diferentes. Y a veces, aun cuando los registros tengan las mismas curvas, el carácter o magnitud de las fluctuaciones de las curvas pueden ser diferentes de un registro al próximo. Por consiguiente, el trabajo de la correlación debe ser independiente de la magnitud de las fluctuaciones y la variedad de curvas en los registros de pozos individuales. (Rojas, L. 1996).

La información obtenida de los registros correlacionados es la materia prima usada para la preparación de mapas del subsuelo. Una correlación precisa es importante para una interpretación geológica confiable. Los mapas geológicos del subsuelo basados en la correlación de registros son tan confiables como las correlaciones que se usaron en su construcción. Eventualmente, las correlaciones de un geólogo, buenas o malas, están incorporados en la construcción de los mapas geológicos del subsuelo. Una correlación incorrecta puede ser costosa por lo que se refiere a un pozo seco, trabajos inútiles o de recompletación; por consiguiente, es esencial que se tenga cuidado extremo cuando se correlacionan los registros de pozos. (Rojas, L. 1996).

El proceso de correlacionar registros varía de un individuo a otro. A medida que los geólogos adquieren experiencia, ellos modifican y eventualmente establecen un procedimiento de correlación que trabaja mejor para ellos. Los registros eléctricos son comúnmente arreglados en una mesa de trabajo (mesa de luz), de tres maneras diferentes. (Rojas, L. 1996).

Como punto de partida, se debe alinear la escala de profundidad de los registros y busque correlacionar, si esta no es evidente, empiece a deslizar uno de los registros hasta encontrar un punto de buena correlación, y márkelo. Continúe este proceso a lo largo del registro hasta que toda la columna haya sido identificada. Este proceso parece relativamente fácil, pero se puede complicar por factores tales como adelgazamiento estratigráfico, buzamiento de capas, fallamiento, discordancias, cambio lateral de facies, pobre calidad del registro y pozos perforados direccionalmente. (Rojas, L. 1996).

3.10 Secciones geológicas

Es el aspecto de la cartografía que muestra las características del subsuelo en plano vertical y se clasifican en: estratigráficas y estructurales.

3.10.1 Secciones estratigráficas

El objetivo de hacer secciones estratigráficas es determinar la extensión lateral y vertical entre las unidades geológicas atravesadas por diferentes pozos. Una información importante obtenida de un buen mallado de secciones estratigráficas, es la de relaciones verticales entre las unidades para predecir movilidad de los fluidos y los límites del yacimiento.

3.10.2 Secciones estructurales

Estas secciones muestran la variación en altura o profundidades que presentan los horizontes geológicos a lo largo de un plano vertical. A diferencia de la sedimentación, la estructura es un aspecto geológico de gran consistencia a lo largo de una secuencia estratigráfica, es decir, en general, se conserva un alto grado de paralelismo entre los planos estratigráficos.

3.11 Mapas geológicos

Se definen de una manera muy general como aquellos que muestran la distribución de las rocas y la forma o distribución de las estructuras geológicas, bien sean de la superficie o del subsuelo. (Rivadulla, R., 2004).

Los mapas más utilizados en geología de yacimientos es el mapa estructural, el mapa isópaco, mapa de facies, el mapa de superficie de fallas, los mapas de isopropiedades, los mapas de geoquímica y geofísicos entre otros que contemplan con su información el modelo geológico establecido. (Rivadulla, R., 2004).

3.11.1 Mapas estructurales

Los mapas estructurales del subsuelo por lo general son construidos para horizontes estratigráficos específicos, con el fin de mostrar en una forma plana las formas geométricas tridimensionales de estos horizontes. Dichos mapas son elaborados a partir de la correlación de datos obtenidos de registros de pozos e interpretaciones de secciones sísmicas. Por lo tanto, uno de los parámetros primarios a considerar en el desarrollo de una interpretación estructural razonable es la correcta elaboración de las correlaciones. (Rivadulla, R., 2004).

Esta conformado por los contornos o curvas estructurales; estas son curvas que conectan puntos de igual valor con respecto a un nivel de referencia (generalmente el nivel del mar, por lo que a cada profundidad le sustrae el valor correspondiente a la mesa rotatoria). Estos no se cruzan ellos mismos, ni se cruzan a otros. Pasan entre puntos que tienen mayor o menos valor que el del contorno. Los intervalos deben ser constantes para todo el mapa. Su trazado da información sobre el rumbo del estrato mapeado, el buzamiento del mismo, la morfología de la estructura (pliegues,

anticlinales, homoclinales, entre otros.), el desplazamiento y trazas de fallas. (Rivadulla, R., 2004).

3.11.2 Mapas de electrofacies

Son mapas que representan las condiciones paleográficas reinantes durante el tiempo de depositación de las arenas, haciendo uso de las electrofacies.

Las electrofacies son las respuestas del perfil de pozo ante una determinada litología saturada de fluidos, que permite establecer una columna litológica vertical, para identificar secuencias sedimentarias y correlacionar secciones de un pozo a otro. Los perfiles más utilizados con esta finalidad son potencial espontáneo y rayos gamma. (Rivadulla, R., 2004).

El mapa de electrofacies tiene como finalidad mostrar la naturaleza y la dirección de las gradaciones que puede sufrir un horizonte en particular, podemos visualizar la distribución de las distintas facies identificadas en cada pozo, lo que permite compararlas con otros atributos de las arenas, para así complementar la evaluación de las condiciones de estas con respecto a la posición estructural, geometría, extensión y características de producción. (Rivadulla, R., 2004).

3.11.3 Mapas isópacos

Es la representación cartográfica de las variaciones en espesor de cuerpos o de entidades en el subsuelo. Un mapa isópaco es extremadamente útil debido a que proporciona información directa sobre el lugar de máximo espesor, o de la terminación lateral de las formaciones porosas o permeables que pueden coincidir con trampas estratigráficas; además de proporcionar las bases para la interpretación de la historia geológica de una región durante la sedimentación de las formaciones

consideradas, la forma de la cuenca, la posición de la línea de costa, áreas de levantamiento, entre otras. (PDVSA-CIED, 1997).

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

Toda investigación requiere de una metodología bien definida y práctica que garantice de manera óptima el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados. Antes de comenzar a desarrollar cualquier trabajo se necesita establecer los pasos a seguir, las herramientas a utilizar, los parámetros de investigación y la factibilidad del proyecto.

4.1 Nivel de investigación

La siguiente investigación es de nivel Descriptiva y Exploratoria (Hurtado de Barrera, 1996), en la cual se pretende caracterizar geológicamente las arenas acuíferas MaguaP-2 y MaguaP-3 entre los campos Cachama Norte, Chimire C, Chimire R, Caico Este, Pradera y Tascabaña, con la finalidad de integrar e interpretar patrones estratigráficos, estructurales y sedimentológicos, que permitan obtener las características geológicas de las arenas en estudio, para obtener como producto final la definición de la geometría de los cuerpos sedimentarios involucrados, extensión, límites, así como los rasgos estructurales.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño empleado para abordar la situación planteada es una investigación de tipo documental, ya que los objetivos planeados se alcanzarán mediante la consulta y análisis. Este estudio utiliza como herramienta de trabajo principal registros eléctricos de los pozos presentes en el área de estudio, a partir de los cuales se obtienen y se analizan los datos que permitan la caracterización geológica del acuífero.

Una vez definidos los objetivos del proyecto se debe establecer por medio de un esquema de trabajo (Flujograma) los pasos que se deben cumplir para lograr el objetivo final. La metodología aplicada para la ejecución de éste proyecto, estuvo basada en la combinación integrada de varias especialidades de la Geología, tales como: Sedimentología, Petrología, Estratigrafía, Geología Estructural, Interpretación de perfiles de pozos, entre otros; que conjuntamente con técnicas y herramientas de la ingeniería dieron origen al desarrollo del presente estudio. (Figura 4.1).

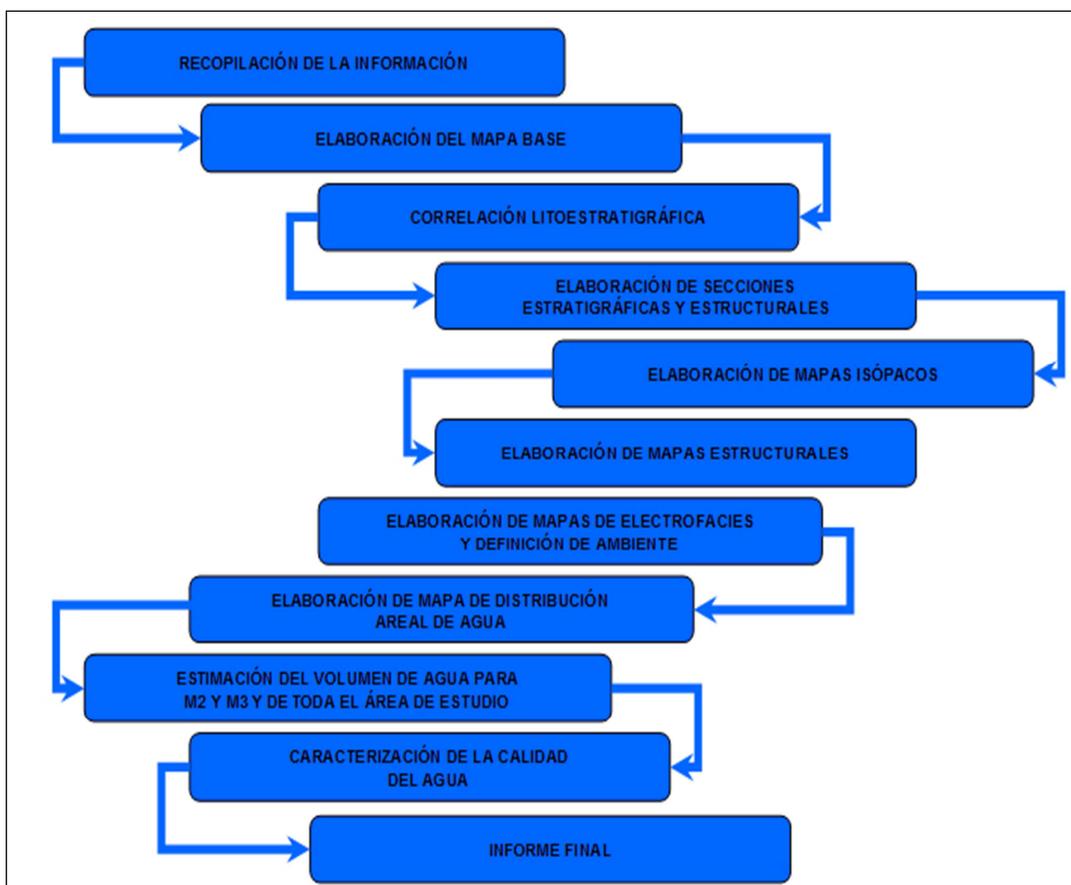


Figura 4.1. Flujograma de actividades.

4.3 Recopilación de la información

Durante esta fase de la investigación se recoge y clasifica toda la información geológica referente al área de estudio, como ejemplo de ello, tenemos:

1. Investigaciones previas e informes técnicos referentes al estudio de mantos acuíferos en la Mesa de Guanipa.
2. Investigaciones realizadas acerca de acuíferos y estudio de aguas subterráneas.
3. Cualquier otra información de relevancia durante la investigación, que sirva durante el desarrollo del trabajo.
4. Obtener los registros de pozos que se han perforado dentro del área de estudio.
5. La recopilación de información es una etapa básica, ya que de ella dependerá el éxito de la investigación y sienta las bases para todo el trabajo a realizar.

4.3.1 Revisión bibliográfica

Comprende la primera fase de la investigación y consistió en la revisión, de manera minuciosa, de toda la bibliografía e información de trabajos realizados anteriormente en la Mesa de Guanipa; tanto en tesis de grado, como en informes técnicos; bibliografía de geología general, ambientes sedimentarios, geología estructural y toda la información referente a los acuíferos en la zona de estudio, así como mapas estructurales de la zona, mapas físico-políticos y mapas de vialidad en el área. De igual manera, se examinó toda la información referente a acuíferos, aguas subterráneas y trabajos realizados para establecer relaciones con nuestra área. Cabe destacar que este es de los primeros trabajos que se realiza, de manera exhaustiva, en cuanto a caracterización geológica de mantos acuíferos en el área estudiada.

La revisión de la bibliografía se llevó a cabo, principalmente, en las instalaciones de la Biblioteca del Distrito San Tomé y en la Biblioteca de la Escuela de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Oriente - Núcleo Bolívar, además de haber obtenido valiosa información reseñada en páginas de la Internet que desarrollan temas de interés para la ejecución de la investigación.

Esta primera etapa del trabajo es muy importante porque permite afianzar los conocimientos referentes a la distribución de agua dulce en la hidrósfera, como se disponen en el subsuelo y todas sus características; por otra parte, la revisión bibliográfica sobre la geología del área de estudio orientará futuras conclusiones que se generarán con respecto a la geología estructural, los ambientes sedimentarios y la geología en general. Esto facilita el logro de los objetivos en esta investigación planteada. Entre la información recopilada, se cuenta con la siguiente:

1. 125 registros de pozos en físico, perforados por la SOCONY VACUUM OIL COMPANY desde el año 1944 hasta el año 1947.

2. Tesis e informes técnicos, sobre aguas subterráneas del área de estudio y zonas vecinas.

3. Información bibliográfica sobre acuíferos y geología general de la zona de estudio.

4.3.2 Ubicación de registros

Los registros de pozos fueron ubicados en la Gerencia de Yacimientos, Edificio Mery de PDVSA Distrito San Tomé. Del cabezal de cada registro se obtuvo las coordenadas planas que luego se transformaron a U.T.M. para elaborar el mapa base

de la zona. De los mismos, se obtuvieron los datos de curvas de potencial espontáneo (SP) y resistividad.

4.4 Elaboración de mapa base

Para la elaboración del mapa base fueron entregados por parte de la Gerencia del Dato a la Gerencia de Yacimientos “Distrito San Tomé” los registros de los pozos que conforman el proyecto “SOCONY”, del cabezal de los mismos se tomaron las coordenadas planas que luego se transformaron a U.T.M. , mediante la aplicación TcoordPC 1.0, (Figura 4.2). Posteriormente se procedió a elaborar el mapa base de la zona de estudio utilizando la aplicación Sigemap 3.0. (Figura 4.3).



Figura 4.2 Transformador de coordenadas TcoordPC 1.0. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).

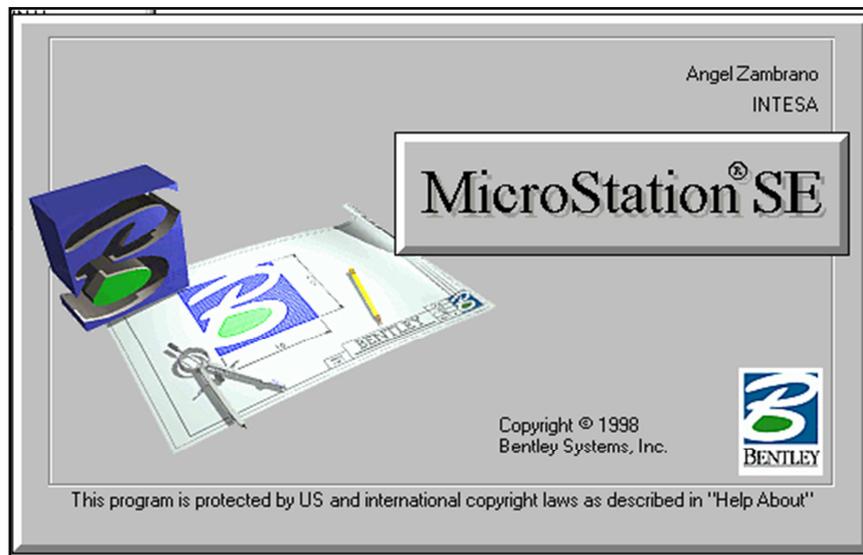


Figura 4.3 Pantalla de inicio de Sigemap 3.0. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).

4.4.1 Ubicación geográfica del área de estudio

Se realizó a partir de las coordenadas UTM de cada uno de los 125 pozos de agua, que fueron referenciados con el mapa de ubicación de campos del Distrito San Tomé (Sur del estado Anzoátegui), donde se observan los campos petrolíferos de las diferentes áreas operacionales.

4.5 Correlación litoestratigráfica de los pozos que conforman el área de estudio

De forma previa a la correlación, se investigó la posibilidad de existencia de fallas en las formaciones Mesa y Las Piedras correspondientes a la zona de estudio. Se encontró que las fallas que juegan tanta importancia en los yacimientos petroleros que se encuentran a mayor profundidad, no afectan los sedimentos Mesa - Las Piedras, las cuales son las formaciones superiores de la columna estratigráfica del área de estudio ya que estos son sedimentos no consolidados.

Para la correlación se realizó un inventario de los tipos de registros con los que contaba cada pozo, resultando que todos tenían SP y Resistividad y su escala era 1:500. Luego se procedió a buscar un proyecto cercano al área de estudio perteneciente al Proyecto Hidrogeológico de la Mesa de Guanipa, donde estuviesen representadas las arenas de interés desde el inicio del proyecto (MaguaP-2, MaguaP-3, MaguaP-4, MaguaP-5 y MaguaP-6). Se obtuvo que el Proyecto 94 era el más cercano del cual se tomó el registro Hole 604, como registro tipo donde las arenas de mayor espesor y más prospectivas eran MaguaP-2 y MaguaP-3 con las cuales se decidió trabajar. El registro Hole 604 se correlacionó con el registro T-30 del proyecto “SOCONY” y de esta manera se inició la correlación litoestratigráfica. (Figura 4.4).

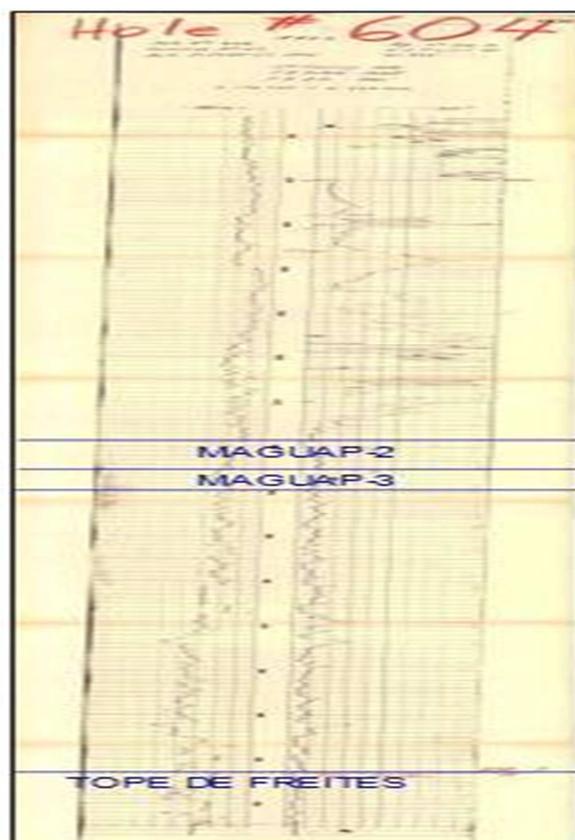


Figura 4.4 Registro Tipo (PDVSA, 2010).

4.6 Elaboración de secciones geológicas de interés

Una vez definidos los topes y las bases de los intervalos de interés se procedió a realizar las secciones a través del Software GeoGraphix Discovery, siendo esta herramienta de gran ayuda para realizar las secciones geológicas. (Figura 4.5)

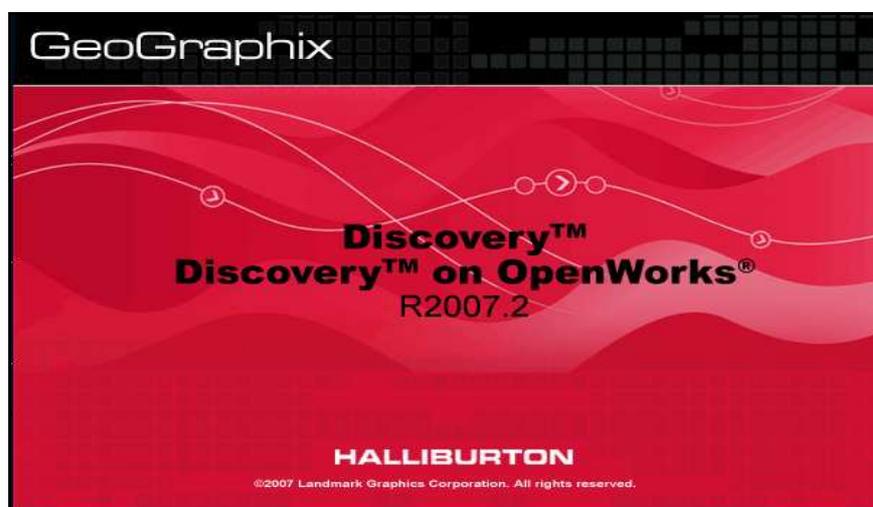


Figura 4.5. Pantalla de inicio de Geographix. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).

Los registros digitalizados, necesarios para la elaboración de secciones estratigráficas, con la herramienta Geographix, se obtuvieron del servidor de PDVSA – Distrito San Tomé, ya que todos ellos se encontraban previamente escaneados; trabajo realizado por la Gerencia del Dato del Distrito. Luego de obtenidos, se convirtieron a un formato compatible con la con la herramienta Geographix de la empresa Landmark (Halliburton), para así poder realizar las secciones.

4.6.1 Secciones estratigráficas

Éstas son una representación de un perfil del subsuelo referenciadas en un datum o marcador estratigráfico de gran extensión lateral (generalmente lutitas y/o lignitos). El objetivo principal de las secciones estratigráficas es reconstruir la geometría de las arenas de interés y verificar la continuidad lateral de las mismas. Para ello se debe: identificar los estratos, definir los límites verticales y laterales del nivel o de los niveles estratigráficos, visualizar las variaciones de los espesores, definir la dirección preferencial de los depósitos de alta energía, identificar la distribución de las facies, entre otros. Todo esto de acuerdo al sentido de las secciones estratigráficas.

Para este proyecto se elaboraron cinco (05) secciones estratigráficas con dirección perpendicular a los estratos (SE-NO) y ubicadas en toda la extensión del área de estudio con el fin de representar los horizontes geológicos de interés. Las secciones fueron etiquetadas con los nombres: A-A', B-B', C-C', D-D' y E-E'.

Las secciones estratigráficas se elaboraron directamente en el programa Geographix; pero previo a la elaboración de las secciones en la herramienta, la dirección de las mismas fue trazada sobre el mapa base, con el objeto de visualizar los pozos que eran atravesados por dichas secciones y que formarían parte de ellas. (Figura 4.6)

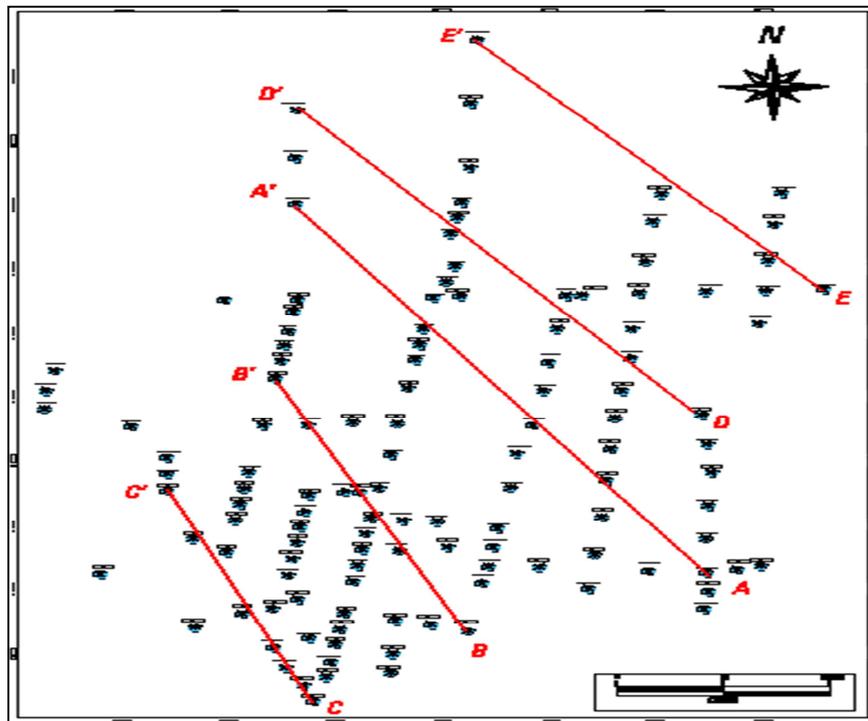


Figura 4.6 Mapa indicativo de las secciones estratigráficas. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).

Generalmente, se selecciona un marcador estratigráfico en el cual se van a colgar las secciones. Este marcador tiene que ser el mismo en todos los pozos por lo que se recomienda seleccionar como marcador un cuello lutítico, ya que estos cuellos son eventos regionales y se caracterizan por poseer gran continuidad. En el caso de las secciones realizadas, se tomaron marcadores lutíticos que estaban presentes en cada uno de los registros de los pozos que iban a formar parte de la sección, tanto por debajo como por encima de las arenas de interés.

Una vez identificado el posible marcador estratigráfico, los registros de pozo se colgaron a distancias equidistantes uno de otro. Finalmente, se produjo la interpretación estratigráfica de las secciones, representaciones gráficas para cada facies; bien sea de canal o llanura de inundación. (Figura 4.7)

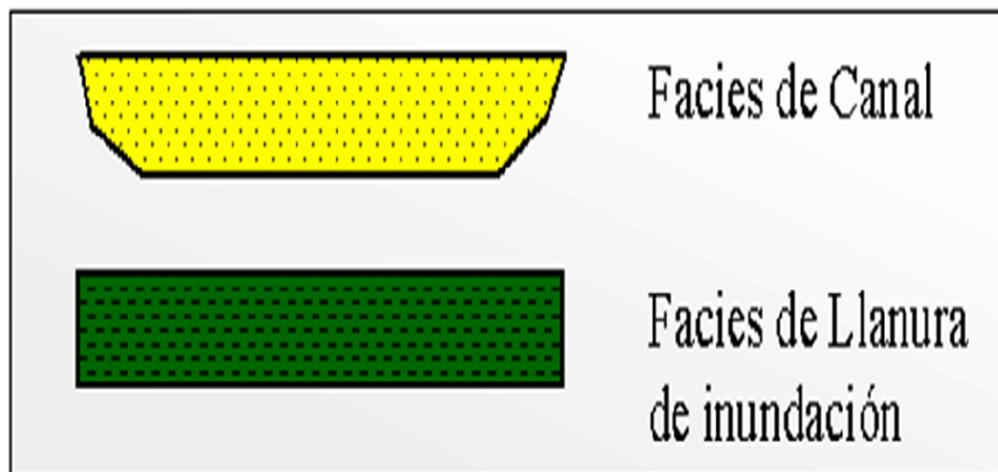


Figura 4.7 Representación gráfica de facies para las secciones geológicas. (PDVSA-CIED, 1997).

4.6.2 Secciones estructurales

La finalidad de elaborar las secciones estructurales es comprobar la existencia de estructuras presentes en los mantos acuíferos, observar la variación en profundidades que presentan los horizontes geológicos, determinar el buzamiento de los estratos y confirmar que no existen fallas en las formaciones Mesa - Las Piedras.

Se realizaron 5 secciones estructurales etiquetadas con los nombres F-F', G-G', H-H', I-I', y J-J', todas en dirección perpendicular al rumbo de las estructuras, es decir, de Suroeste-Noreste, tomando como datum estructural el nivel medio del mar. Estas secciones se hicieron en Geographix y las mismas están distribuidas en el mapa de manera tal que abarquen toda la zona. (Figura 4.8)

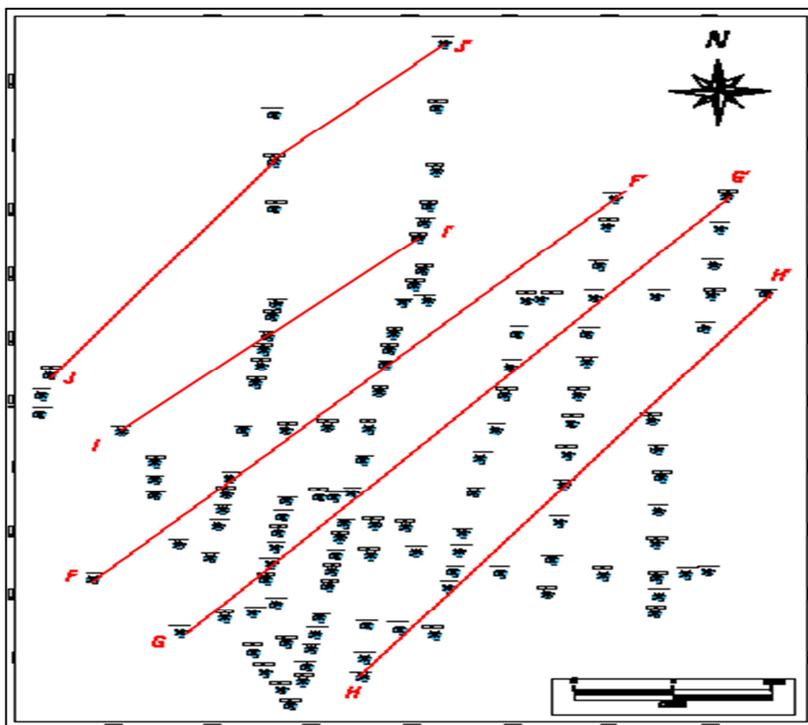


Figura 4.8 Mapa indicativo de las secciones estructurales. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).

4.7 Elaboración de mapas isópacos

Una vez realizadas las correlaciones geológicas a partir de los registros en físico, se determinó los espesores de arena neta acuífera, estableciendo un cutoff de 10 ohm-m en el registro de resistividad, a partir del cual se considera que el contenido de la arena es agua es potable. (Figura 4.9).

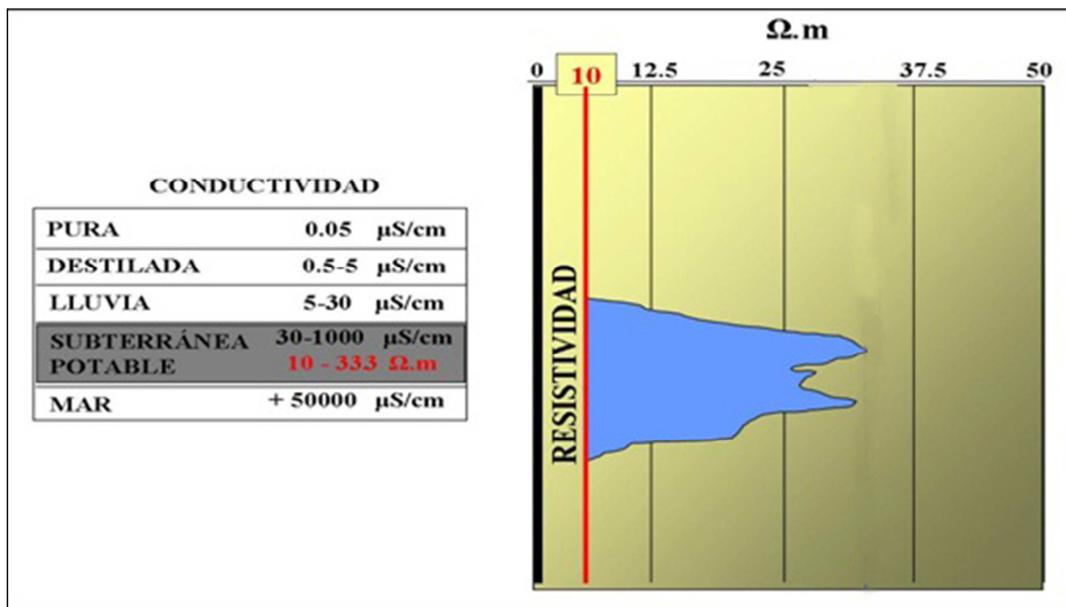


Figura 4.9. Calidad del agua por su salinidad de acuerdo a la clasificación de la APHA (Asociación Americana de Salud Pública. 1995).

Obtenidos los espesores de “arena neta acuífera”, lo siguiente fue realizar los mapas isópacos a mano alzada de las arenas en estudio a intervalos de diez pies (10’), para posteriormente digitalizarlos en la aplicación Sigemap 3.0; con los que se muestra la orientación, distribución y geometría de las arenas de interés en el área de estudio, lo que facilitó la identificación e interpretación del tipo de depósito y ambiente sedimentario.

Además de esto, se realizó un mapa de espesores de arenas netas para toda la columna geológica en estudio, abarcando las formaciones Mesa y Las Piedras hasta el tope de la formación Freites que servirá para calcular el volumen total de agua en dichas formaciones.

4.8 Elaboración de mapas estructurales

Estos mapas son una proyección del plano horizontal del tope o la base de la arena o nivel estratigráfico de interés, están conformados por los contornos o curvas estructurales y las trazas de las fallas; nos informan sobre la orientación de los estratos cartografiados (rumbo), la inclinación y magnitud del estrato con respecto al plano horizontal (buzamiento), la morfología de la estructura (pliegues, anticlinales, homoclinales), y el desplazamiento de las fallas.

En vista que no se contó con sísmica, los mapas estructurales fueron diseñados simplemente representando la profundidad con respecto al nivel de mar de cada uno de los pozos que se encuentran dentro del área de estudio.

Utilizando la herramienta Petrel, se cargaron uno a uno los topes estructurales de los pozos y a su vez, se cargaron aspectos adicionales como profundidad perforada de cada pozo, coordenadas UTM y elevación de la mesa rotaria (EMR); se obtuvo el modelo en planta de las estructuras presentes en el área y buzamientos de los estratos. Los intervalos entre los contornos estructurales van cada 100 pies. (Figura 4.10).

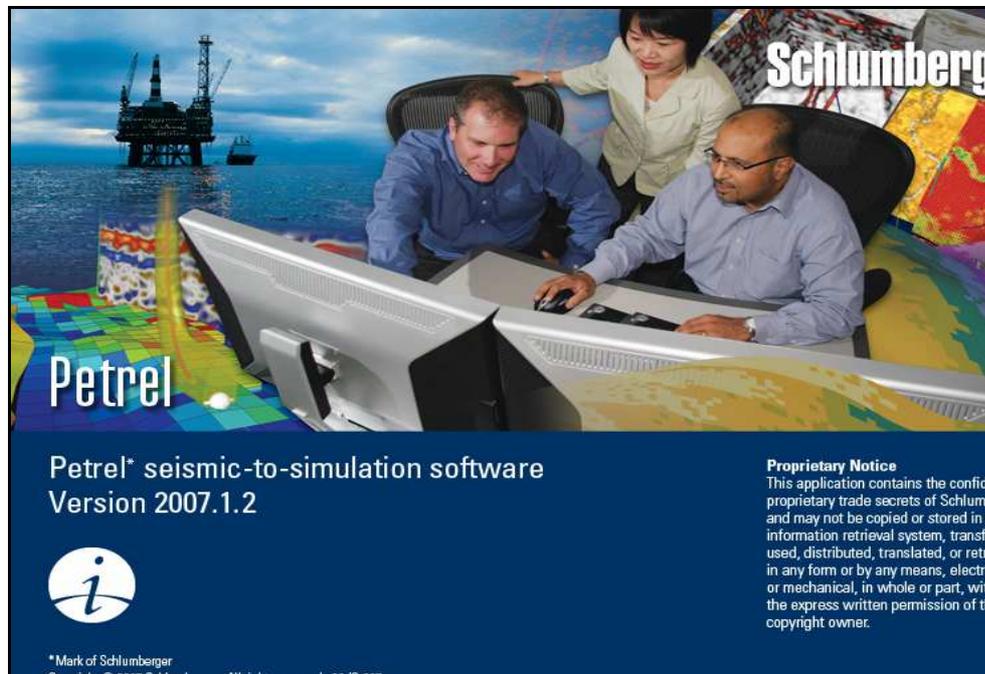


Figura 4.10 Ventana de inicio Petrel. (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).

4.9 Elaboración de mapas de electrofacies

El mapa de electrofacies, se diseñó partiendo de las respuestas eléctricas que generaron y se observaron en los intervalos de cada una de las arenas en los registros de pozos, siguiendo las curvas de Potencial Espontáneo y Resistividad; las cuales fueron digitalizadas sobre el mapa base en la aplicación Sigemap 3.0, respetando criterios sedimentológicos de las respuestas asociadas a facies de canal, abanico de rotura y llanuras de inundación; todo esto en concordancia con los respectivos mapas isópacos, en donde se definieron y rectificaron las zonas de mayor y menor flujo hidráulico.

Utilizando las respuestas electrográficas de las arenas correlacionadas geológicamente, se elaboró el mapa de ambiente sedimentario definiendo además, los límites de roca en base a las respuestas eléctricas generadas.

Durante la elaboración de los mapas de ambiente sedimentario, a medida que se anotaban los espesores de arena neta acuífera en el mapa base para trazar de forma manual los isópacos, paralelamente se revisaban las respuestas de potencial espontáneo y resistividad para delinear con mayor claridad las facies sedimentarias pertenecientes a ese pozo con respecto a un horizonte estratigráfico.

Los registros eléctricos usados no poseen curvas de gamma ray (GR), que definirían mejor una respuesta litológica de una secuencia estratigráfica; sin embargo, ya elaborados los mapas de electrofacies y con conocimiento previo de información documentada y basada en el Léxico Estratigráfico de Venezuela y González de Juana en donde describe el ambiente de depositación de las formaciones Mesa y Las Piedras, se logró representar un paleoambiente para cada horizonte estratigráfico estudiado.

4.10 Elaboración del mapa de distribución areal de agua

Con el objetivo de obtener un volumen total de agua contenido en las formaciones Mesa – Las Piedras del área en estudio, fue necesario elaborar un modelo computarizado basado en los espesores de arena neta de cada pozo con un rango de evaluación desde los cien pies (100') hasta la base de la Formación Las Piedras. Este modelo (mapa de espesores) se logró con ayuda de la herramienta Petrel, donde se obtuvieron curvas de espesores con intervalos de cada cien pies para toda la columna geológica de las formaciones Mesa – Las Piedras.

Luego, este mapa se exportó a la aplicación Sigemap 3.0 y se logró calcular el volumen del área de estudio que abarca aproximadamente 352 km².

4.11 Estimación del volumen de agua existente en las arenas estudiadas y en las formaciones Mesa y Las Piedras para el área de estudio

Con el objetivo de obtener un volumen total de agua de las arenas MaguaP-2 y MaguaP-3, fue necesario tomar en cuenta el mapa de espesores de dichas arenas, ya que este muestra las curvas de espesores o isópacas, que a través del programa Sigemap 3.0 fue posible realizar dicho cálculo. (Figura 4.11).

De la misma manera se calculó el volumen de agua en el mapa de espesores de arena total para las formaciones Mesa y Las Piedras en el área de estudio.

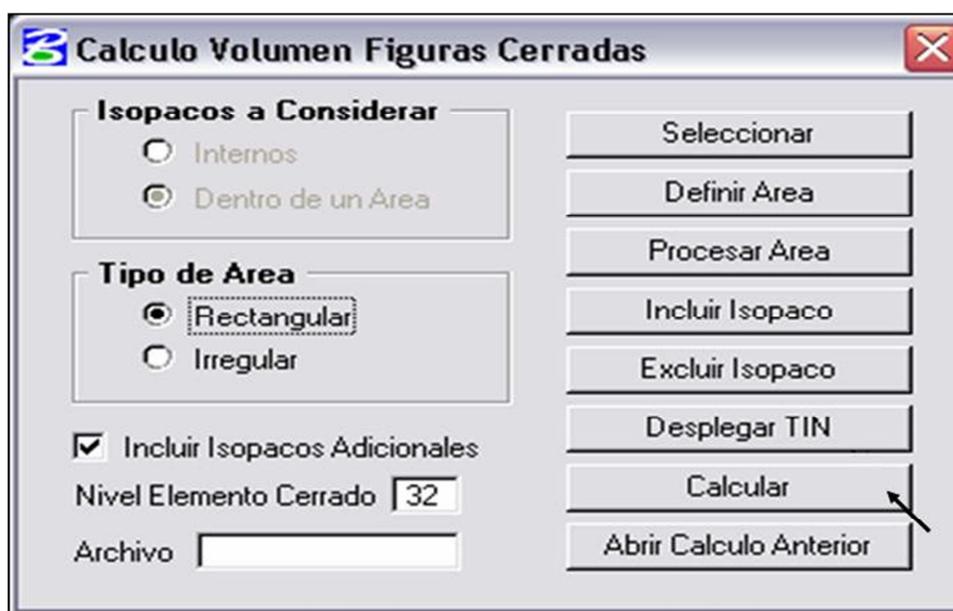


Figura 4.11 Cálculo de Volumen en la Herramienta Sigemap 3.0 (Estudios Integrados, PDVSA, 2010).

Sin embargo; como no es de interés conocer el volumen de roca, es necesario multiplicar el resultado de dicho volumen obtenido por la porosidad (35%) para

conocer la dimensión del medio poroso, que en nuestro caso está saturado totalmente de agua dulce.

El porcentaje de porosidad (35%) se toma de muestras del laboratorio de producción y análisis de registros eléctricos (F.D.C.) de la Schlumberger Surencó, C.A. realizado en 1970. El medio poroso, es el espacio que en un momento determinado es saturado por las aguas infiltradas en un volumen de sedimentos de una porosidad media de 35% (arenas, limolitas y gravas).

4.12 Caracterización de la calidad del agua

Para la obtención de los análisis físico – químico y bacteriológicos del agua contenida en las formaciones Mesa – Las Piedras en la zona, fue necesaria la ayuda de C.A HIDROLÓGICA DEL CARIBE, Filial de HIDROVEN, y llevar a cabo una salida de campo, en donde se tomaron muestras de agua de dos pozos, siguiendo las normas de higiene para el muestreo de las mismas y posteriormente llevadas al Laboratorio de Aguas El Tigre, Sucursal Zona Sur; éstos ubicados dentro del área de estudio.

Las muestras analizadas fueron tomadas de pozos que suministran agua, usada con diversos fines tanto agrícolas como domésticos. La primera fue tomada de el pozo que suministra agua a la comunidad de Mapiricure, perteneciente al municipio Anaco y ubicada en las coordenadas Norte: 1006278 y Este: 345934; la segunda muestra fue tomada del Pozo 2 de la comunidad indígena Kashama perteneciente al municipio Freites con coordenadas Norte: 1004940 y Este 355149. Un análisis fue suministrado por parte de HIDROCARIBE, el mismo fue hecho en al año de 2008 y pertenece a una muestra que se tomó en un pozo ubicado en el caserío Tascabaña que se encuentra dentro del área de estudio.

Estos análisis se basan en la determinación de la calidad del agua basada en parámetros de las Normas de Potabilidad del Agua de la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.). Para esto, se determinaron valores de: alcalinidad, cloruros, color aparente, dióxido de carbono, dureza total, dióxido de carbono, hierro total, magnesio, minerales disueltos, pH, sílice, sulfatos y turbidez. Mientras que en el aspecto bacteriológico, del que solo se tienen datos del pozo del caserío Tascabaña se tendrán en cuenta los porcentajes de Organismos Heterotróficos, Coliformes Totales y Fecales.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 Elaboración del mapa base

Luego de haber transformado las coordenadas tomadas de los cabezales de los registros, se procedió a limitar el área de estudio, la cual cubre un área de aproximada de 352 km², y se elaboró el mapa base donde están representados los 125 pozos localizados en el área de estudio. Este mapa se realizó utilizando la herramienta *Sigemap 3.0* y fue la base para realizar todos los demás mapas del proyecto. (Figura 5.1).

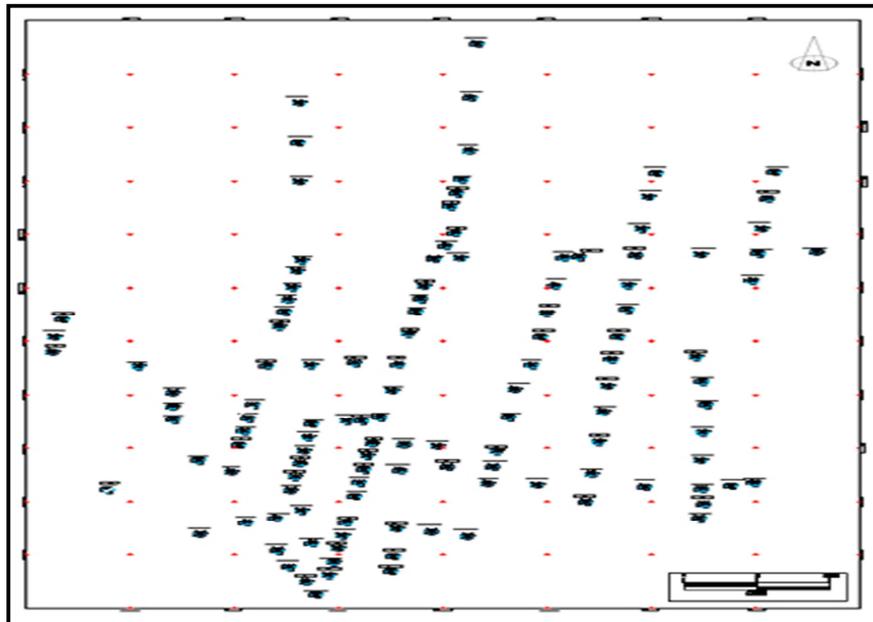


Figura 5.1 Mapa base del área de estudio. (Estudios integrados, PDVSA, 2010).

5.2. Correlación litoestratigráfica

La correlación es un elemento esencial en la mayoría de las investigaciones geológicas, porque es la demostración de la equivalencia de las unidades estratigráficas en el subsuelo.

La cantidad de pozos perforados en el área facilitó el reconocimiento de los horizontes geológicos, su continuidad y los cambios de facies.

Se realizó la correlación de 125 pozos, donde se tomó dos horizontes en consideración, que fueron las arenas MaguaP-2 y MaguaP-3, las cuales se encontraron en la totalidad del área, alternándose de arenas bien definidas a grandes espesores de lutitas en algunos casos, dándose estas variaciones por cambios laterales de facies.

Esta correlación fue realizada litoestratigráficamente, en la cual se pueden observar los resultados (Apéndice A). Se extrapolaron los horizontes de interés en toda el área de estudio que abarcaban los 125 pozos.

En esta correlación, debido a la complejidad del paleoambiente sedimentario en cuestión, fue necesario tomar un marcador que prevaleciera en toda la extensión de los registros. Se tomó como marcador en la mayoría de los casos el tope de la Formación Freites; el cual se encuentra registrado en todos los pozos.

5.3 Elaboración de secciones geológicas

5.3.1 Secciones estratigráficas

Las secciones estratigráficas fueron ubicadas de manera tal que sean representativas de toda el área de estudio y se elaboraron con el propósito de demostrar que los mantos acuíferos que integran la Formación Mesa y los paquetes superiores de la Formación Las Piedras se comportan como una sola unidad hidráulica.

Con el objeto de identificar los límites del área de estudio y de verificar la continuidad lateral de las arenas de interés, se procedió a realizar las secciones de tipo estratigráficas. En total se elaboraron 5 secciones, todas en dirección Sureste – Noroeste que es la dirección perpendicular a la sedimentación, las mismas fueron trazadas en el mapa base. En estas secciones se observan la continuidad lateral de las arenas; las cuales se interconectan lateralmente y coalescen entre sí a lo largo de todas las secciones aunque en algunas zonas se presentan llanuras de inundación que separan unos cuerpos de otros pero de poca extensión lateral. Además, observamos que las arenas en cuestión en muchos casos presentan lentes de lutita, lo que representa canales que se disponen uno sobre otro facilitando el paso de fluido entre ellos.

A continuación serán descritas a profundidad las secciones antes mencionadas:

5.3.1.1 Sección A-A': fue diseñada entre los pozos TX-69, TX-82, T-49, T-3 y TX-122 que en total comprenden 5, en dirección SE-NO, con una longitud total de 13882 mts (13,9 Km). Esta sección abarca casi toda el área de estudio y en esta se tomó como marcador estratigráfico un cuello lutítico constante a lo largo de la sección que se encontraba suprayacente a los horizontes de interés. (Anexo 5 y figura 5.2).

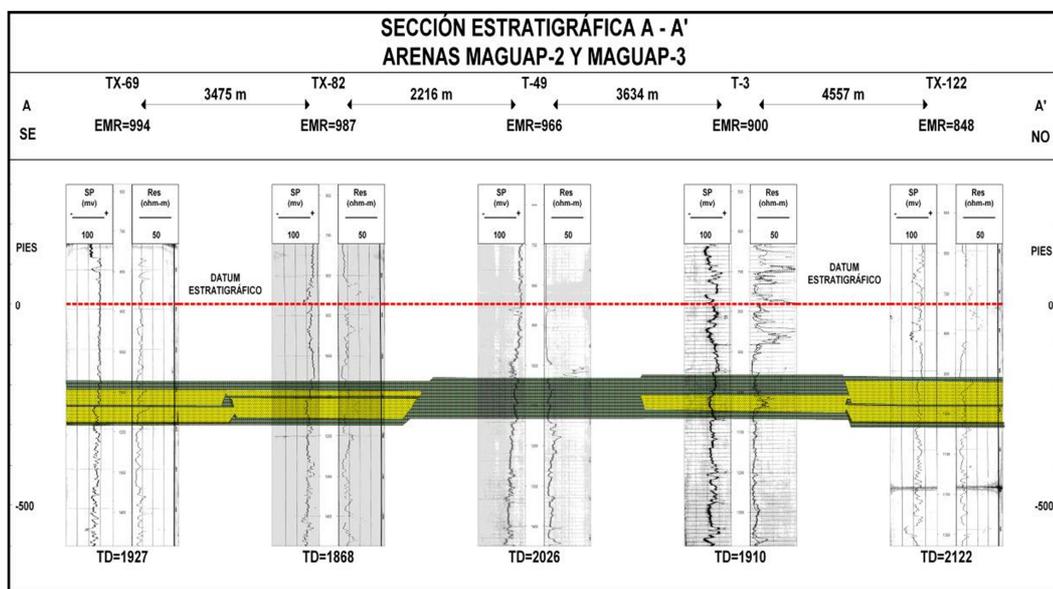


Figura 5.2. Sección estratigráfica A-A'.

En los pozos T-49 y T-3 se puede observar variaciones laterales de facies al presentarse espesores considerables de lutita, sin embargo en esta sección también se pueden observar buenos espesores de arenas netas acuíferas los cuales varían entre 15 y 36 pies.

En los demás pozos se puede observar como las arenas MaguaP-2 y MaguaP-3 están separadas por cuellos lutíticos que no sobrepasan los 5 pies de espesor.

5.3.1.2 Sección B-B': la conforman 5 pozos que son TX-106, TX-112, T-12, TX-115 y T-40 y posee una longitud total de 8646 mts (8,6 Km). Esta sección al igual que las demás tiene dirección SE-NO, que es la dirección perpendicular a la sedimentación.

Se puede evidenciar también los cambios laterales de facies al encontrarse cuellos lutíticos con espesores de importancia en los pozos TX-106 y TX-112, que no poseen una extensión lateral de gran significación y que provienen de procesos depositacionales de baja energía. En el pozo TX-115 podemos observar la presencia de un canal apilado que hace que se aprecien las arenas como si fuesen un solo paquete. En los demás pozos se puede observar como los espesores de arena neta acuífera varían entre los valores de 7 a 38 pies.

El marcador estratigráfico utilizado para la realización de esta sección se encuentra por encima de los horizontes en estudio, el mismo es un cuello lutítico que prevalece en todos los registros. (Anexo 6 y figura 5.3).

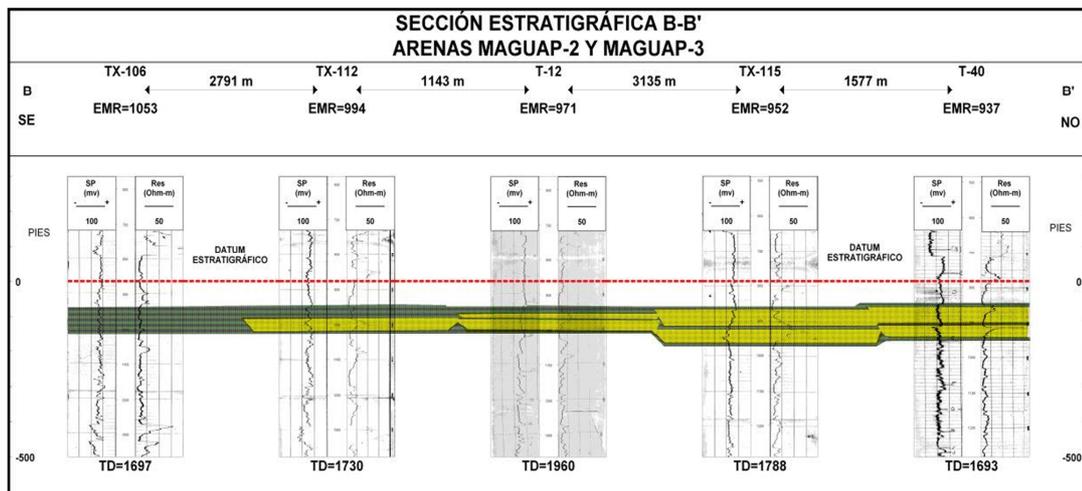


Figura 5.3. Sección estratigráfica B-B'.

5.3.1.3 Sección C-C': La misma está ubicada hacia la parte más Suroeste del área de estudio. Está constituida por un número de seis pozos que son TX-102, TX-101, TX-100, TX-99, T-43 y T-38 y tiene un longitud total de 7124 mts (7, 12 Kms).

Los valores de arena neta acuífera para esta sección están en un rango que va de los 11 a los 30 pies, sin embargo se pueden apreciar la presencia de llanuras de inundación en la sección que poseen espesores considerables. (Anexo 7 y figura 5.4).

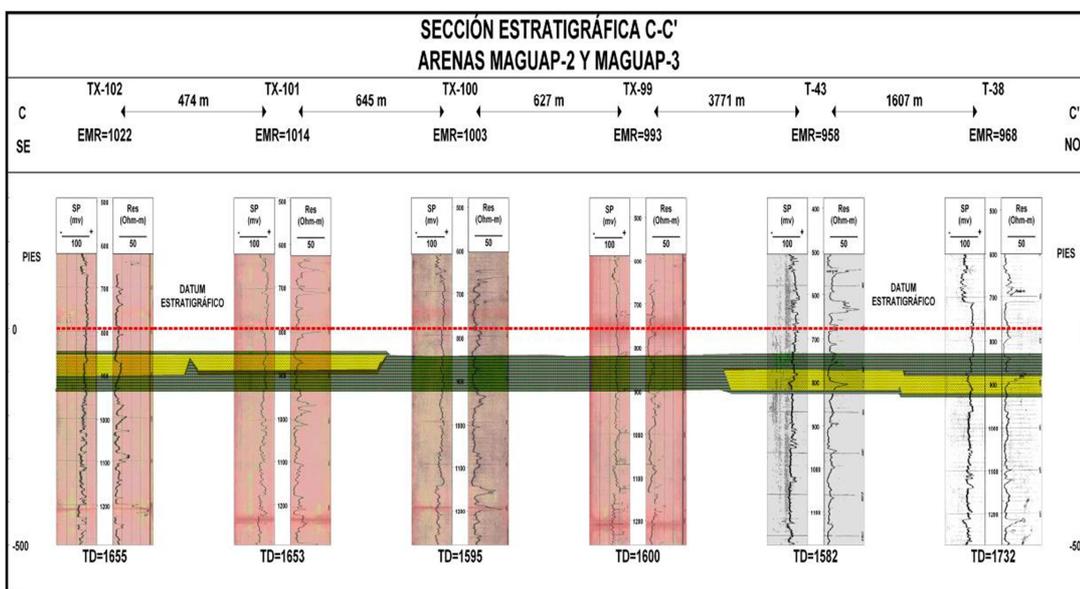


Figura 5.4. Sección estratigráfica C-C'.

5.3.1.4 Sección D-D': con una dirección Sureste-Noroeste esta sección esta estructurada por los registros pertenecientes a los pozos TX-64, TX-86, T-52, T-7 y TX-126 y posee una extensión de 12368 mts lo que equivale a 12,37 Kms.

Las arenas presentan una muy buena continuidad tanto vertical como horizontal representando unidades que se conectan hidráulicamente. Los cuerpos representados en la sección poseen valores que varían entre los 11 y los 48 pies.

El marcador estratigráfico usado para la elaboración de esta sección fue un cuello lutítico que se encontraba infrayacente a las arenas en estudio. El ambiente sedimentario que se observa en esta sección, al igual que en toda el área de estudio, esta representado por un conjunto de canales meandriformes que se superponen, definido como un ambiente fluvial netamente continental. (Anexo 8 y figura 5.5).

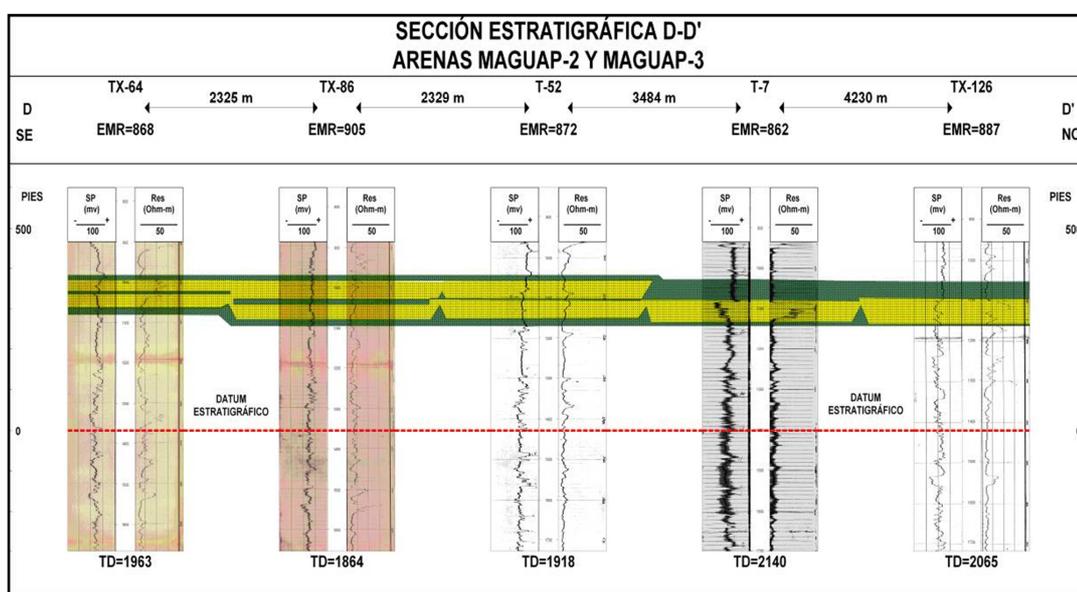


Figura 5.5. Sección estratigráfica D-D'.

5.3.1.5 Sección E-E': se encuentra en la parte mas Noreste del área de estudio y posee una extensión de 10206 mts (10,2 Kms). La integran los registros que pertenecen a los pozos TX-125, TX-59, TX-91 y TX-63.

En la sección las arenas presentan una muy buena continuidad, pero en el pozo TX-63 se observa un cambio de facies cuando se presenta una llanura de inundación que viene siendo el límite del canal que podemos observar en el mapa de electrofacies.

Los espesores de arena neta acuífera varían entre los valores de 8 a 34 pies, esto debido a que son canales que se depositaron en el mismo tiempo pero con diferentes niveles de energía dependiendo de la zona donde se desplazaban. La dirección de la sección es (Sureste-Noroeste), perpendicular a la dirección de sedimentación y el marcador estratigráfico se encuentra por debajo de los horizontes en estudio. (Anexo 9 y figura 5.6).

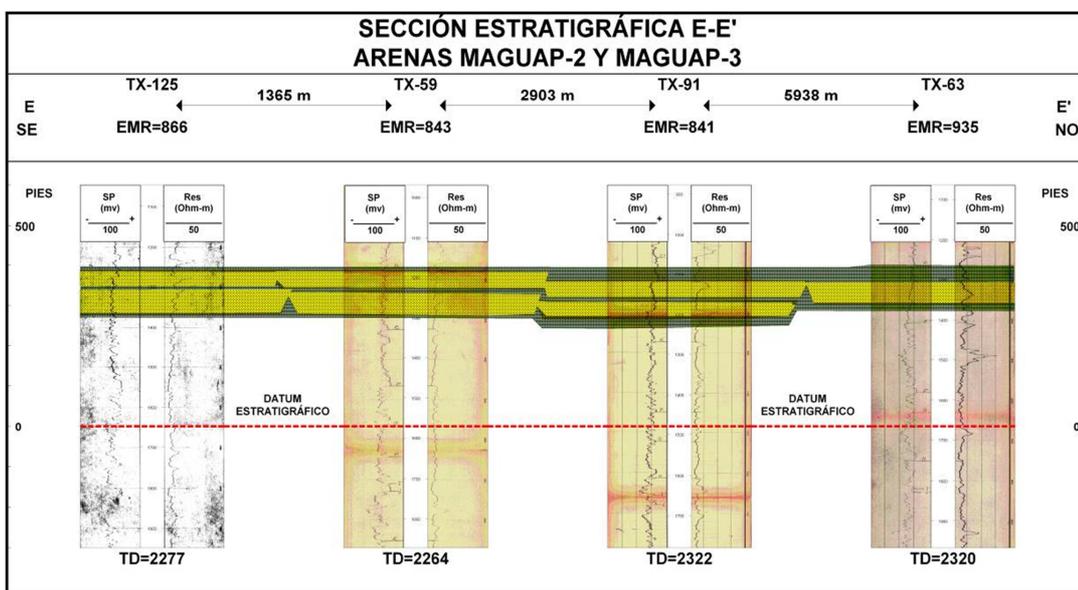


Figura 5.6. Sección estratigráfica E-E'.

5.3.2 Elaboración de secciones estructurales

Con el objeto de describir la estructura de los estratos acuíferos de interés, se procedió a realizar secciones de tipo estructurales. En total se elaboraron 5 secciones, F-F', G-G', H-H, I-I' y J-J' todas en dirección Suroeste - Noreste, perpendiculares al rumbo de las estructuras trazadas en el mapa base.

Las mismas se describen a continuación:

5.3.2.1 Sección F-F': se encuentra en la parte central de la zona de estudio, conformada por los pozos T-47, T-42, TX-115, T-31 y TX-91 y posee una longitud total de 15838 mts (15,8 Kms). Su dirección es Suroeste – Noreste, perpendicular al rumbo de las estructuras.

El datum estructural utilizado en la sección corresponde al nivel medio del mar. Las arenas de interés se encuentran tanto por encima como por debajo del nivel medio del mar, esto se puede evidenciar mas hacia el Noreste donde las arenas profundizan. En la sección no se presentan estructuras complejas y se observa un buzamiento promedio de 0.5° para las dos arenas representando un homoclinal. (Anexo 10 y figura 5.7).

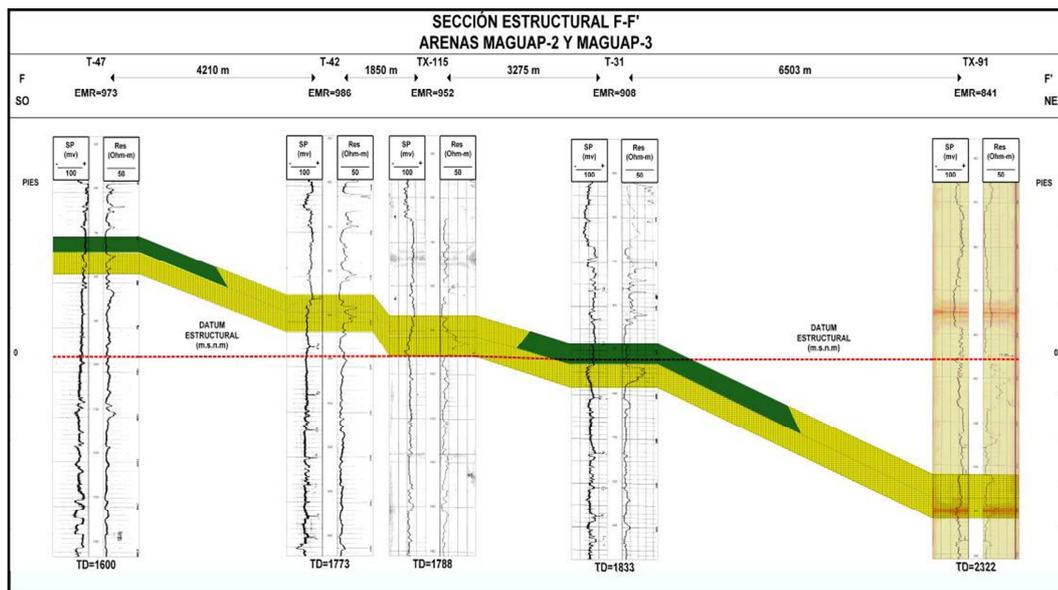


Figura 5.7. Sección estructural F-F'.

5.3.2.2 Sección G-G': a la sección la conforman un número de 6 pozos que son TX-98, T-18B, T-11, T-50, TX-88 y TX-57 y se extiende a lo largo de 17473 mts. que equivale a 17,5 Kms. aproximadamente. El datum estructural de la sección es el nivel medio del mar y la dirección de la misma Suroeste – Noreste. (Anexo 11 y figura 5.8).

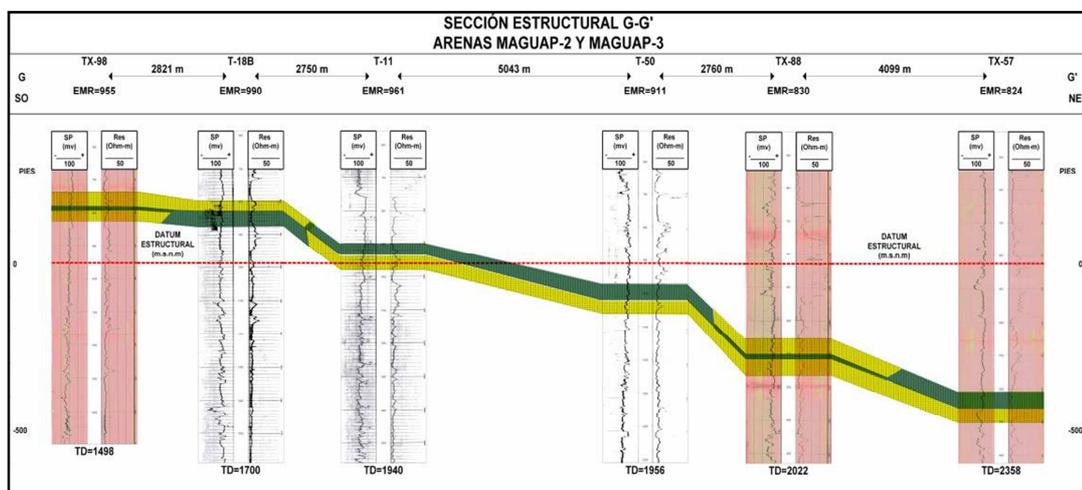


Figura 5.8. Sección estructural G-G'.

Las arenas MaguaP-2 y MaguaP-3 se encuentran por encima como debajo del nivel del mar y los estratos poseen un buzamiento promedio de $0,5^\circ$. La estructura que se representa es un homoclinal ya que el buzamiento de los estratos no varía considerablemente.

5.3.2.3 Sección H-H': se diseñó con los registros pertenecientes a los pozos TX-108, TX-106, TX-73, TX-81, TX-64 y TX-125. Está ubicada hacia el Sureste del área de estudio y se extiende a lo largo de 14536 mts (14,5 Kms) de la misma.

En la sección, al igual que en las demás, no se observan estructuras complejas ni fallas aparentes, solo debido al buzamiento suave de los estratos hacia el Noreste

que apenas alcanza a un valor $0,4^\circ$ se verifica la existencia de un homoclinal. El nivel medio del mar es usado como datum estructural en la sección y la dirección de la misma es perpendicular al buzamiento de los estratos (Suroeste – Noreste). (Anexo 12 y figura 5.9).

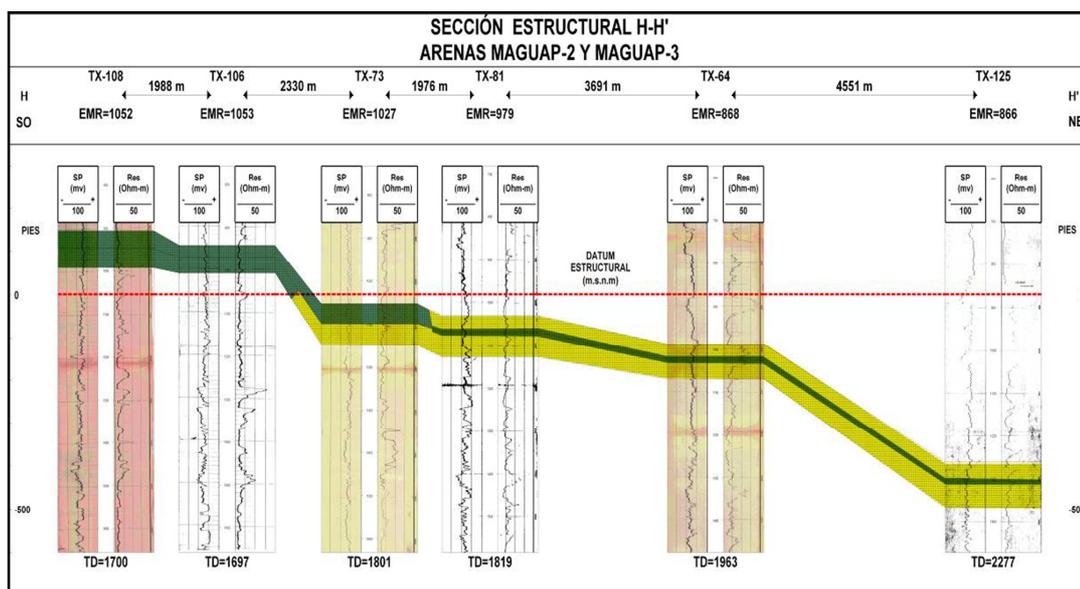


Figura 5.9. Sección estructural H-H'.

5.3.2.4 Sección I-I': constituida por un número de 3 pozos que son T-35, T-29B y T-6, esta sección tiene como datum estructural el nivel medio del mar y en ella se puede observar como a partir del pozo T-29B las arenas comienzan a profundizar, ubicándose por debajo del datum. (Anexo 13 y figura 5.10).

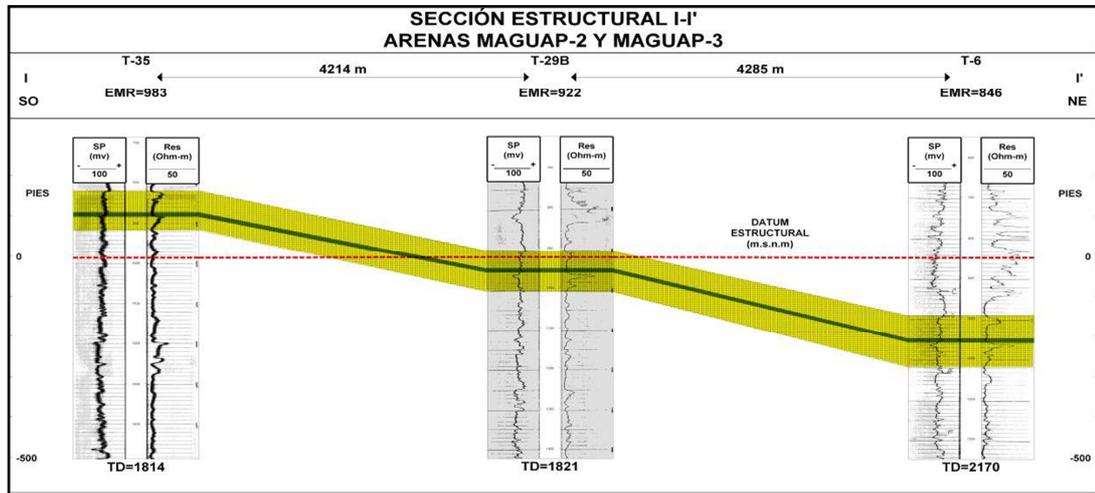


Figura 5.10. Sección estructural I-I'.

Los pozos están separados uno de otro por aproximadamente 4000 metros, teniendo una longitud total de 8409 mts. (8,4 Kms) toda la sección. No hay evidencia de estructuras complejas y los estratos tienen un buzamiento promedio menor a $0,4^\circ$. La estructura representada es un homoclinal.

5.3.2.5 Sección J-J': está compuesta por 3 pozos: T-56, TX-124 y TX-63. Abarca una longitud de 13103 mts (13,1 Kms.) y está ubicada en la parte más Noroeste del área de estudio. Las arenas se encuentran por encima del datum estructural, que es el nivel medio del mar solo en el pozo T-56, en los demás se encuentran por debajo.

El buzamiento promedio de los estratos en esta sección es de $0,6^\circ$, lo que ratifica la existencia del homoclinal en toda el área de estudio. (Anexo 14 y figura 5.11).

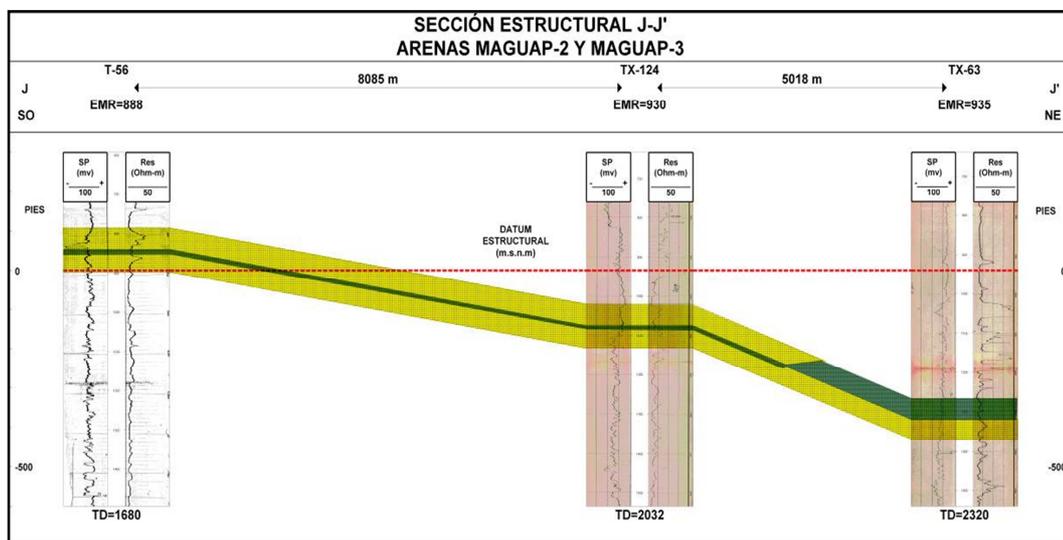


Figura 5.11. Sección estructural J-J'.

5.4 Elaboración de mapas isópacos

Obtenidos los mapas isópacos de la arenas de interés se observa que estos ocupan un área de 210, 7 Km² para MaguaP-2 y 262,6 Km² para MaguaP-3. Se observa el comportamiento de mayor contenido de agua hacia los depocentros de los canales y su respectiva degradación hacia las zonas de llanura de inundación (0'), con una dirección de fluido que va de Suroeste al Noreste.

Los espesores de arena neta acuífera para MaguaP-2 en los depocentros del canal varían de los 30 a los 59 pies, mientras que a los laterales van disminuyendo de los 20 a los 0 pies. En el mapa correspondiente a MaguaP-3 los mayores espesores están entre 30-50', y van disminuyendo a medida que se acercan a los límites de rocas hasta llegar a los 0 pies. En este mapa se graficó un límite arbitrario hacia el Noroeste del mismo debido a la disminución de los espesores de las arenas y a que no se contaba con información adicional de pozos existentes en esa zona. (Anexos 1 y 2). (Figuras 5.12 y 5.13).

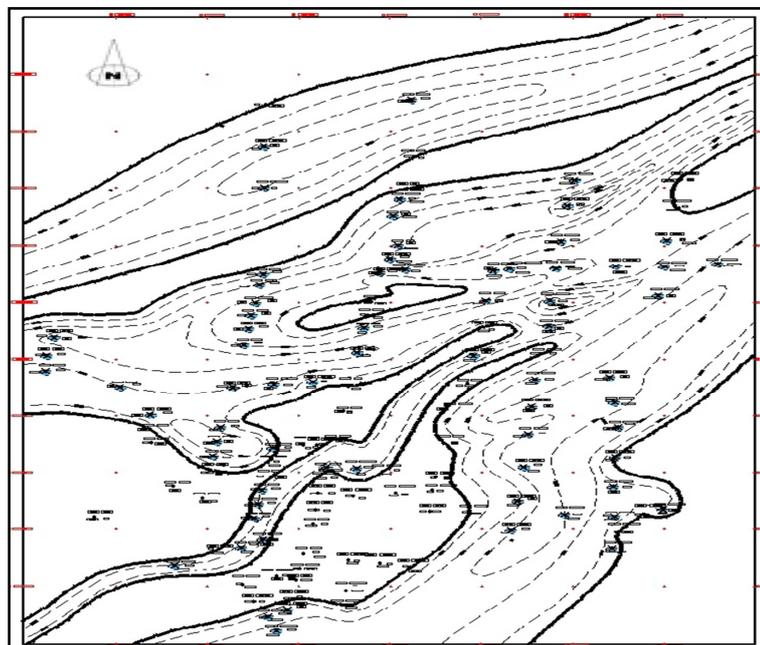


Figura 5.12. Mapa isópaco de la arena MaguaP-2.

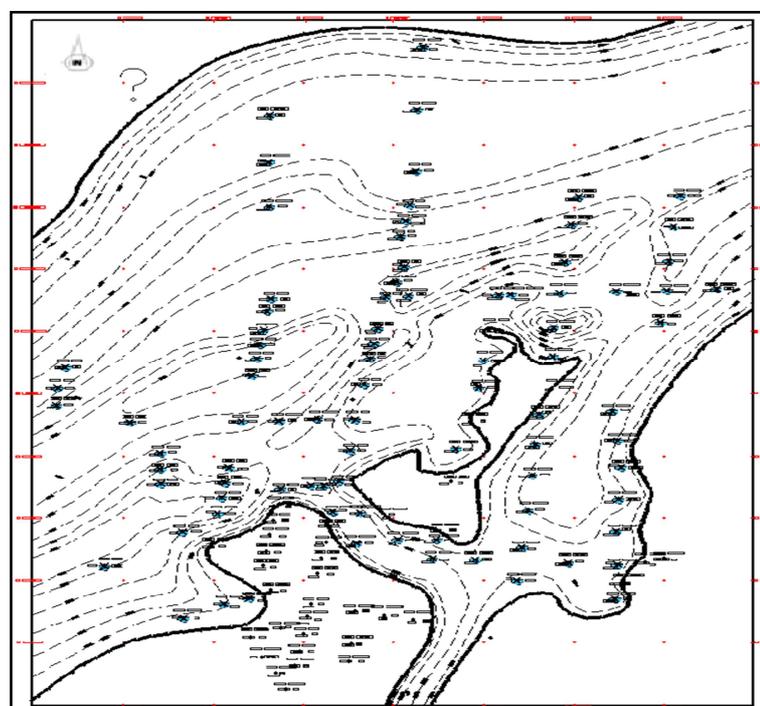


Figura 5.13. Mapa isópaco de la arena MaguaP-3.

5.5 Elaboración de mapas estructurales

Mediante la construcción de los mapas estructurales de los horizontes de interés se describieron las estructuras geológicas que afectan el área de estudio; para esto se contó con la correlación pozo a pozo, la cual fue fundamental en este análisis ya que se utilizaron los topes estructurales en TVDSS para este fin.

Las formaciones Mesa y Las Piedras no presentaron estructuras geológicas complejas, ni fallas aparentes. Se destaca la amplia extensión de la Mesa de Guanipa en el área de estudio y tiene una altura promedio sobre el nivel del mar de 750' (+/- 230 mts) m.s.n.m.

En los mapas estructurales se observó que las formaciones Mesa y Las Piedras, están representadas por un homoclinal con buzamiento simple que es menor a 1° en dirección Noreste y algunas ondulaciones o pequeños plegamientos los cuales se deben a las irregularidades de la superficie estructural que está orientada en dirección al rumbo Noroeste- Sureste. (Anexos 1 y 2). (Figuras 5.14 y 5.15).

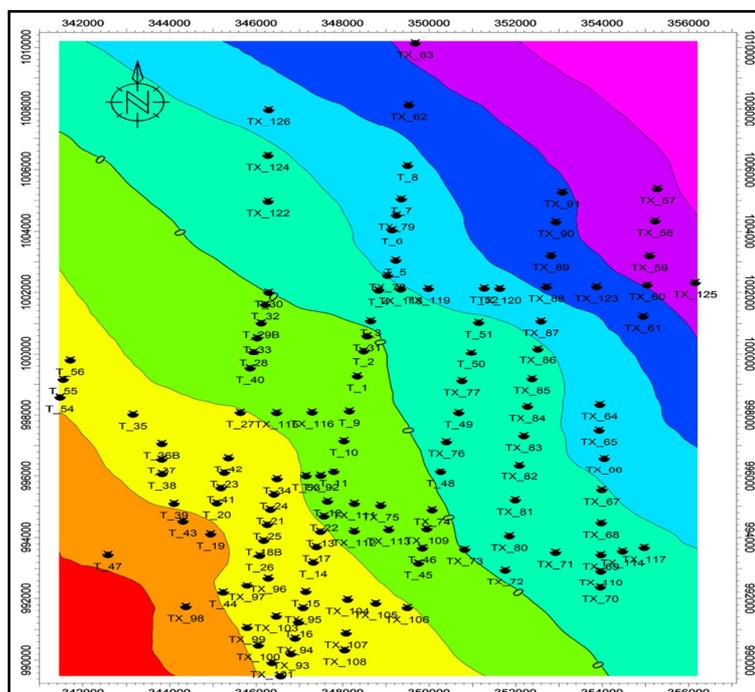


Figura 5.14. Mapa estructural de la arena MaguaP-2.

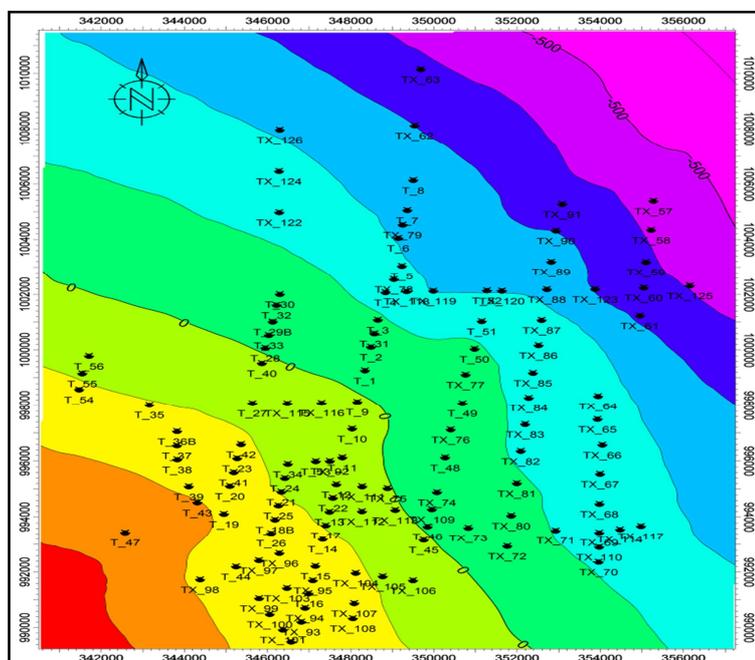


Figura 5.15. Mapa estructural de la arena MaguaP-3.

5.6 Elaboración de mapas de electrofacies

Un ambiente sedimentario es una parte de la superficie terrestre caracterizada por un conjunto de condiciones bajo las cuales se acumulan los sedimentos. Tal conjunto de condiciones incluye la geología, la geomorfología, el clima, la flora y la fauna; y si el ambiente es subacuático, profundidad, salinidad, temperatura y movimiento del agua.

En el mapa correspondiente a MaguaP-2 se observan tres canales donde dos de ellos se fusionan para formar uno solo, a diferencia de MaguaP-3 que presenta un solo canal principal. En ambos casos se puede apreciar la existencia de llanuras de inundación en el centro de los canales pero que no son de gran significación y que la dirección de flujo es preferentemente de Suroeste a Noreste.

Para la interpretación del ambiente donde se depositaron las arenas MaguaP-2 y MaguaP-3, se tomó en cuenta que las formaciones Mesa – Las Piedras se sedimentaron en ambientes fluviales a deltáicos (Léxico estratigráfico de Venezuela, 2007); sobre la base de ésta premisa y con el análisis de electrofacies, según la forma de las curvas de SP de la arena, en los perfiles eléctricos, se pudo establecer el ambiente sedimentario de dichas arenas, apoyando además el análisis en las curvas de resistividad.

El ambiente sedimentario de las arenas MaguaP-2 y MaguaP-3, integra un modelo geológico tipo canal, con electrofacies cilíndricas de contacto abrupto en el tope y en la base, y en otros casos grano decrecientes hacia el tope, características comunes de facies de canal y otras de tipo irregular que definen la llanura de inundación, representado en los mapas

Dicho modelo se trata de canales meandriformes que fueron montándose uno sobre otro y formando lentes y mantos, que hace que los acuíferos se comporten como unidades interconectadas, coalescentes y de una extensión limitada por el área que comprenden las mismas formaciones. Estos canales, una vez sedimentados, fueron erosionados por los canales activos, quedando conectados la gran mayoría de ellos tanto horizontal como verticalmente. (Anexos 3y 4). (Figuras 5.16 y 5.17).

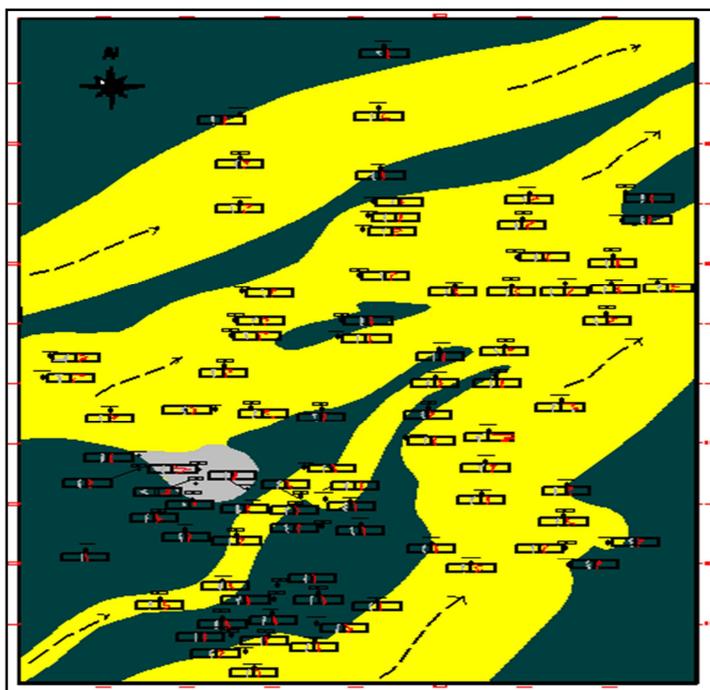


Figura 5.16. Mapa de ambiente de la arena MaguaP-2.

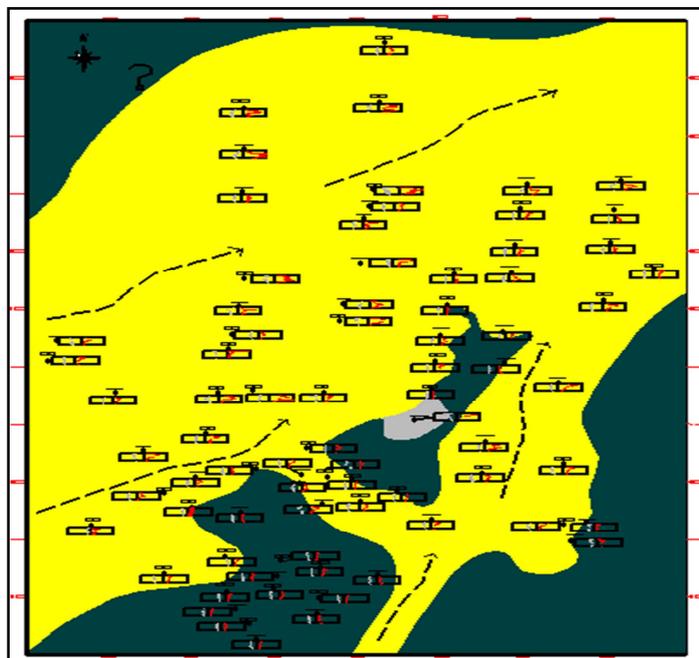


Figura 5.17. Mapa de ambiente de la arena MaguaP-3.

5.7 Elaboración de mapa de distribución areal de agua

Se realizó con la ayuda de la herramienta Petrel tomando en cuenta toda el área de estudio la cual abarca una extensión de 352 km². En el mismo se puede observar las zonas más prospectivas para perforaciones futuras, éstas se ubican hacia la parte central del mapa y coinciden con la orientación de sedimentación Suroeste – Noreste del área y con los depocentros de los canales de las arenas de interés. (Anexo 15 y figura 5.17).

5.8 Estimación del volumen de agua para MaguaP-2, MaguaP-3 y de toda el área de estudio

Después de haber realizado los mapas isópacos de las arenas MaguaP-2 y MaguaP-3, y el mapa de Distribución areal de Agua se procedió a realizar los cálculos volumétricos con ayuda de la herramienta Sigemap. El cálculo arrojó que la arena MaguaP-2 posee un volumen de 1135,7 Hm³, MaguaP-3 posee 2025,55 Hm³ y el área total posee 58424,53 Hm³, valores que fueron multiplicados por la porosidad (35%) para obtener el volumen de agua contenido en la roca y el resultado fue el siguiente: 397,495 Hm³ para MaguaP-2, 708,94 Hm³ para MaguaP-3 y 20448,6 Hm³ para toda la columna Mesa – Las Piedras del área de estudio.

De igual forma, se hizo una equivalencia en barriles de agua contenida en la roca cuyos resultados fueron: 2,5 MM de barriles para MaguaP-2, 4,6 MM para MaguaP-3 y 128 MM para toda la columna Mesa – Las Piedras del área de estudio. (Tabla 5.1).

Tabla 5.1 Resultados de cálculo de volumen de agua para MaguaP-2, MaguaP-3 y para las formaciones Mesa – Las Piedras en toda el área de estudio.

Volumen total	MaguaP-2	MaguaP-3	Formaciones Mesa – Las Piedras
Hm³	397,495	708,94	20448,6
Litros	$3,97495 \cdot 10^1$ 1	$7,0894 \cdot 10^1$ 1	$2,04486 \cdot 10^{13}$
Barriles (MM)	2,5	4,6	128

5.9 Caracterización la calidad del agua del área de estudio

Estos resultados son basados en datos de análisis físico-químicos y bacteriológicos obtenidos con la colaboración de C.A. HIDROLÓGICA DEL CARIBE (HIDROCARIBE) y comparados con los límites máximos permisibles según las Normas de Calidad del Agua Potable de la Organización Mundial de la Salud, y la Norma de Calidad del Agua Potable que se encuentra en la Gaceta Oficial N° 36.395 de febrero 1998 de la República Bolivariana de Venezuela. (Apéndice C).

Los resultados de los análisis indican que los valores no exceden los límites máximos permisibles para el agua potable, de hecho estos valores se encuentran muy por debajo de estos límites, evidenciando que el agua es potable y óptima para el consumo. (Apéndice D. Tablas 5.2 y 5.3).

Sin embargo en los análisis perteneciente al pozo de la comunidad Mapiricure y del pozo del caserío Tascabaña se pudo observar que los valores del pH estaban un poco por debajo de los límites mínimos tolerados, es decir el agua es ácida pero no llega a ser corrosiva. Entonces en estos casos lo que se necesita es estabilizar el pH y para ello se puede utilizar una solución de hidróxido de sodio (NaOH) que es un mínimo y económico tratamiento.

5.9.1 Análisis químico comparativo

5.9.1.1 Alcalinidad: el límite máximo es de 500 mg/l y viene expresada por la concentración de carbonato de calcio. Los valores obtenidos varían entre 8 mg/l – 95 mg/l. Según la Organización Mundial de la Salud.

5.9.1.2 Calcio y magnesio: las concentraciones de calcio varían entre 1.6 mg/l a 8.8 mg/l siendo el límite máximo permitido 200 mg/l. El magnesio fluctúa entre 0,48 mg/l – 3.6 mg/l y su límite permisible es de 120 mg/l. Una concentración alta de estos elementos provoca la dureza del agua, con el consiguiente gasto excesivo de jabón y la precipitación de concentrados insolubles en las tuberías de calentadores. Según la Organización Mundial de la Salud.

5.9.1.3 Cloruros: el límite máximo permisible es de 600 mg/l. Las muestras analizadas arrojaron valores desde 7.0 mg/l – 17.7 mg/l. Según la Organización Mundial de la Salud.

5.9.1.4 Dureza total: el límite máximo permitido es de 500 mg/l; los datos obtenidos indican que el agua en el área de estudio es blanda, cuyos valores se encuentran en un rango de 8 a 37 mg/l. Según la Organización Mundial de la Salud.

5.9.1.5 pH: los niveles obtenidos de los pozos de la comunidad Mapiricure y los del caserío Tascabaña indican que las aguas son medianamente ácidas sin llegar a ser corrosivas. Los valores fluctúan entre 5.7 y 6.3 siendo los límites permitidos entre 6.5 – 8.5 según la Organización Mundial de la Salud. Estos niveles pueden ser normalizados con un simple tratamiento.

5.9.1.6 Sulfatos: todos los valores de sulfatos están muy por debajo del límite permisible variando desde 0.2 mg/l hasta 2.9 mg/l siendo el límite máximo permisible de 400 mg/l. Según la Organización Mundial de la Salud.

En el aspecto bacteriológico solo se obtuvieron análisis del pozo que se encuentra en el caserío Tascabaña el cual arrojó que la muestra está libre de Organismos Coliformes Fecales y Totales según Gaceta Oficial 36.395 de Febrero de 1998, ya que los resultados de la muestra se encuentra dentro del rango permisible.

Debido a esto, desde el punto de vista bacteriológico, estas aguas son aptas para el consumo humano sin ningún tratamiento previo. (Apéndice D.4). (Tabla 5.3).

Tabla 5.2 Resultados de análisis físico-químicos

Parámetro	Límite máximo permisible	Análisis		
		Pozo comunidad Mapiricure	Pozo comunidad Kashama	Pozo caserío Tascabaña
Alcalinidad (Mg/lit)	500	8	95	36
Calcio (Mg/lit)	200	1.6	8.8	1.6
Magnesio (Mg/lit)	120	2.16	3.6	1.92
Cloruro (Mg/lit)	600	7.0	7.5	17.7
Dureza Total (Mg/lit)	500	9.0	37	12
pH	6.5 – 8.5	5.7	6.8	6.3

Tabla 5.3 Resultados de análisis bacteriológicos

Parámetro	Análisis	
	Límite máximo Permisible	Pozo caserío Tascabaña
Organismos Coliformes Fecales	Ausentes	Ausentes
Organismos Coliformes Totales	Ausentes	Ausentes

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. El contacto entre las formaciones Mesa – Las Piedras es difícil de determinar, sin embargo la Formación Las Piedras está marcada por una disminución de la resistividad con respecto a la Formación Mesa; ésta, contiene agua dulce y es la unidad con mayor importancia acuífera de toda el área, lo que hace incrementar la resistividad.

2. Entre las arenas MaguaP-2 y MaguaP-3 existe conexión hidráulica debido a las facies de canales que están dispuestos en toda el área.

3. Los acuíferos de las formaciones Mesa-Las Piedras, pertenecen hidráulicamente a un solo sistema, por lo tanto están interconectados entre sí tanto en sentido horizontal como verticalmente.

4. Las secciones y mapas estructurales no presentaron estructuras complejas, solamente homoclinales con buzamiento suave menor a 1° y un rumbo en dirección Noroeste-Sureste. La Formación Las Piedras en el área de estudio no presenta fallas, lo cual concuerda con la información de la geología regional

5. Los mayores espesores de arena neta acuífera se encuentran hacia el depocentro de los canales con valores que van de los 30 a los 60 pies, y los menores hacia la llanura de inundación disminuyendo hasta 0 pies.

6. Los mantos acuíferos de las formaciones Mesa y Las Piedras están limitados lateralmente por la extensión de las mismas.

7. Las formaciones Mesa – Las Piedras, referida al área de estudio, se depositó en un ambiente fluvial, con presencia de canales meandriformes.

8. Basándonos en el Mapa de Distribución Areal de agua podemos concluir que las áreas más prospectivas para la producción de agua están en la parte central de la zona de estudio específicamente donde están ubicados los pozos TX-91, TX-87, T-5 y TX-81. La utilización de este mapa permitirá perforaciones mejores planificadas, a bajo costo, a bajo riesgo y exitosas.

9. La suma de los volúmenes de agua obtenidos para MaguaP-2 y MaguaP-3 nos da un resultado de $1,106435 \cdot 10^{12}$ litros y si a eso le añadimos el volumen de agua de las formaciones Mesa – Las Piedras de toda el área de estudio que son $2,04486 \cdot 10^{13}$ litros obtendríamos $2,155035 \cdot 10^{13}$ litros. Este volumen abastecería durante 10 años a toda Venezuela y durante 203 años a todo el estado Anzoátegui, considerando un consumo diario de 200 litros de agua por persona y basándose en las proyecciones actuales de la población del INE (Instituto Nacional de Estadística).

10. Los acuíferos presentes generalmente se comportan como acuíferos libres o semiconfinados recargables, puesto que se infiere que los acuíferos en época de sequía recargan a los ríos del área ayudando a mantener el flujo de escorrentía en la superficie; sin embargo, en épocas de lluvia, los acuíferos son recargados directamente por las precipitaciones y en las zonas de saturación de los ríos.

Recomendaciones

Dirigidas a PDVSA, San Tomé. Gerencia de Yacimientos.

1. Es necesario generar una nueva data del subsuelo del área de estudio corriendo registros desde superficie de gamma ray, porosidad, y densidad neutrón

para así poder hacer cálculos petrofísicos de las formaciones y obtener resultados más fidedignos y veraces. Estos registros deben ser digitalizados y guardados en una base de datos

2. Al momento de realizar perforaciones de pozos de agua se hace indispensable la utilización de los mapas isópacos y el mapa de distribución areal de agua elaborado en este trabajo ya que con esto se realizarían perforaciones a bajo costo y a bajo riesgo.

3. En los pozos de petróleo que estén más cercanos a los pozos en estudio se recomienda cañonear las arenas de interés para obtener muestras de agua y hacerle los análisis respectivos para verificar la potabilidad de las mismas.

4. Verificar mediante tecnologías más precisas como la sísmica la inexistencia de fallas. Además la sísmica también servirá para validar las estructuras geológicas en el área de estudio.

5. Mediante los registros actualizados se podrán hacer cálculos del volumen de agua actual, ya que debido al aumento de la actividad agropecuaria y por consiguiente constantes riegos, y el crecimiento de los poblados en el área (Tascabaña, Cachama, Mapiricure, etc.) existe la posibilidad de la disminución de la cantidad de agua en ciertas zonas.

6. Establecer programas de manejo y conservación de las aguas subterráneas del área que fomenten el uso de tecnologías limpias, cambios de patrones de cultivo para fomentar la conservación de los suelos, aplicación de la evaluación ambiental como instrumento para la toma de decisiones y la formulación e implantación de planes para prevención de desastres.

7. Se deben diseñar sistemas de redes de cloacas y tratamiento de aguas servidas, y orientar a las comunidades a que eliminen los pozos sépticos y así prevenir un mayor impacto a los mantos acuíferos de la zona.

8. La medida mas importante que se puede tomar es informar, sensibilizar y concientizar a la población sobre el valor que tiene el agua, ya que este líquido es indispensable para la existencia de la vida y por ello merece la atención y esfuerzo de los entes gubernamentales y de toda la sociedad.

REFERENCIAS

Acosta, E. (2006). **MANUAL DE INTERPRETACIÓN PETROFÍSICA**. PDVSA-San Tomé, p 188.

Alfonsi, P. (1999). **SEDIMENTOLOGÍA DE CLÁSTICOS Y ELECTROFACIES**. Centro Internacional de educación y Desarrollo. PDVSA Exploración y Producción. Maracaibo. Venezuela, p 115.

Allen, George. (1989). **SEDIMENTOLOGÍA DE LOS DEPÓSITOS CLÁSTICOS**. Total Exploración Laboratory, pp 44-77.

American Public Health Association, (A.P.H.A.). (1995). **AMERICAN JOURNAL OF PUBLIC HEALTH**. 17 de enero de 2010, (<http://www.apha.org/meetings>).

Amisial, R., Jégat, H. (1984). **APROVECHAMIENTO Y MODELOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS**. Banco de Programas. CIDIAT. Mérida, p 75.

Balbrin, Oscar. (1991). **ESTRATIGRAFÍA SECUENCIAL DE LA CUENCA ORIENTAL DE VENEZUELA**. Ediciones Foninves, Caracas, Venezuela, p 175.

CORPOVEN S.A. (1991). **CURSO DE PETROFÍSICA PARA GEÓLOGOS E ING. DE EXPLOTACIÓN**. Gerencia general de geología, pp 10-28.

Corporación Venezolana de Guayana - Técnica Minera, C.A. (1997). **INFORME DE AVANCE NC-20-16. SUELOS, VEGETACIÓN.** Gerencia de Proyectos Especiales. Proyecto Inventario de los Recursos Naturales de la Región Sur – Oriental. Tomo II, pp: 315-317.

Custodio, E., Llamas, R. (1976). **HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA.** Ediciones Omega, Barcelona, España. Tomo I, p 1154.

Franco, M (1985). **CÁLCULO DEL BALANCE HÍDRICO Y LA ESTIMACIÓN DEL ORDEN DE MAGNITUD DE LAS RESERVAS RENOVABLES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.** Editorial Foninves. Caracas, Venezuela, p 97.

González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J. M., Picard- Cadillat, X. (1980). **GEOLOGÍA DE VENEZUELA Y SUS CUENCAS PETROLÍFERAS.** Ediciones Foninves, Caracas, Venezuela. Tomo II, pp. 600-922.

Hedberg. (1950). **GEOLOGY EASTERN VENEZUELA BASIN (ANZOATEGUI-MONAGAS-SUCRE EASTERN GUARICO PORTION).** Bull., Geol. Soc. Amer, pp 1173-12515.

Holmes, Arthur (1962). **GEOLOGÍA FÍSICA.** Editorial OMEGA, Barcelona España, pp 63- 120,371-398

Hurtado de Barrera, J. (2000). **EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.** Edición SYPAL, pp 54-72.

Limarino, Carlos O. (2004). **AMBIENTE FLUVIAL: SISTEMAS FLUVIALES.** 15 de marzo 2010. (<http://www.limarino.com.ar>).

Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. (1998, Febrero 13) **GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA DE VENEZUELA N° 36.395**. Enero, 2010.

Organización Mundial de la Salud, (O.M.S). (1976). **GUÍAS PARA LA CALIDAD DE AGUA POTABLE**. Tercera edición, capítulos 7 y 8. 2 de Marzo de 2010, (<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/guiasoms3corr.pdf>).

Petróleos de Venezuela S.A – CIED.(1997). **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE YACIMIENTOS**. Segunda edición, pp 2-30.

Petróleos de Venezuela – Intevep. (1997). **CÓDIGO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA (CGV)**. 3 de Febrero de 2010, (<http://www.pdv.com/lexico/correlac/oriente.htm>).

Petróleos de Venezuela S.A (2010). **DIAGRAMAS DE CURVAS DE REGISTROS ELECTRICOS**, 15 de Marzo de 2010, (<http://www.pdvsa.logosweb/webchannel>).

Petróleos de Venezuela S.A (2010). **SALA DE ESTUDIOS INTEGRADOS**. Distrito San Tomé, Anzoátegui, Venezuela.

Purdue University. (2005). **PARTS OF AN AQUIFER**. 10 de Enero de 2010, (<http://www.ecn.purdue.edu>).

Rivadulla, Rosario. (2004). **CARTOGRAFÍA DE SUPERFICIE Y SUBSUELO**. FundaGeominas, Ciudad Bolívar, pp 63-97.

Rojas, L. (1996). **TALLER DE CARTOGRAFIA DEL SUBSUELO**. Gerencia de subsuelo y reservas. Puerto la Cruz, pp 60-70.

Salazar, J. (2003). **GEOLOGÍA DE LOS HIDROCARBUROS**. 7 de Marzo de 2010. (http://ruditic.blogspot.com/2009_06_01_archive.html).

Santos, Antonio (1974). **ESTUDIO DEL MEDIO POROSO EN LAS FORMACIONES MESA LAS PIEDRAS PARA EL DESARROLLO DE AGUAS SUBTERRÉNEAS EN EL ÁREA MAYOR DE OFICINA CUADRÁNGULO DE OFICINA ESTADO ANZOÁTEGUI**. Mene Grande Oil Company, Departamento de Explotación, Sección de Geología, Estudio especial #1, pp 12-69.

Schlumberger, (1998) **INTERPRETACIÓN DE PERFILES**. Volumen I. Fundamentos. Editado por Schlumberger. New York, pp 11, 12, 35, 57,65-77.

Schlumberger. (1999) **INTERPRETACIÓN DE PERFILES DE POZOS**. CIED-PDVSA. Puerto La Cruz, Venezuela, p 145.

Serra, O. (1986). **ANÁLISIS DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS MEDIANTE PERFILES DE POZOS**. Schlumberger, Caracas, Venezuela, pp 131-135.

APÉNDICES

APÉNDICE A

BASE DE DATOS DE LA CORRELACIÓN

Tabla A.1 Base de datos de la correlación de MaguaP-2.

NOMBRE DE LA ARENA: MAGUAP-2										
PROYECTO	POZO	TOPE TVD	BASE TVD	ELEVACION M.R	TOPE TVDSS	BASE TVDSS	ESPESOR TOTAL	ESPESOR ANA	COORDENADAS U.T.M	
									NORTE	ESTE
SOCONY	T-1	904	956	923	-19	33	52	31	999.287.350	348.341.012
SOCONY	T-2	890	936	909	-19	27	46	15	1.000.136.585	348.484.918
SOCONY	T-3	946	991	900	46	91	45	0	1.001.105.710	348.649.379
SOCONY	T-4	928	980	887	41	93	52	10	1.002.094.737	348.833.934
SOCONY	T-5	1000	1060	891	109	169	60	26	1.003.062.783	349.228.373
SOCONY	T-6	990	1050	846	144	204	60	18	1.004.073.068	349.143.065
SOCONY	T-7	1035	1083	862	173	221	48	0	1.005.071.949	349.357.676
SOCONY	T-8	1035	1090	836	199	254	55	0	1.006.151.145	349.502.672
SOCONY	T-9	908	949	935	-27	14	41	0	998.148.338	348.155.778
SOCONY	T-10	880	925	938	-58	-13	45	0	997.179.023	348.031.325
SOCONY	T-11	900	934	961	-61	-27	34	0	996.150.226	347.796.613
SOCONY	T-12	928	962	971	-43	-9	34	7	995.191.000	347.652.217
SOCONY	T-13	869	899	994	-125	-95	30	0	994.211.868	347.487.736
SOCONY	T-14	830	864	1023	-193	-159	34	0	993.222.736	347.323.213
SOCONY	T-15	842	883	1025	-183	-142	41	0	992.243.648	347.148.742

SOCONY	T-16	822	855	1000	-178	-145	33	0	991.254.513	346.984.228
SOCONY	T-17	870	900	1001	-131	-101	30	0	993.722.348	347.395.498
SOCONY	T-18B	793	823	990	-197	-167	30	10	993.927.977	346.176.563
SOCONY	T-19	735	778	972	-237	-194	43	0	994.133.653	344.947.624
SOCONY	T-20	836	868	981	-145	-113	32	0	995.132.886	345.092.201
SOCONY	T-21	868	900	998	-130	-98	32	0	994.927.159	346.331.137
SOCONY	T-22	935	968	984	-49	-16	33	0	994.711.433	347.570.022
SOCONY	T-23	849	888	999	-150	-111	39	21	996.121.980	345.266.732
SOCONY	T-24	870	904	1000	-130	-96	34	0	995.416.727	346.413.379
SOCONY	T-25	830	869	982	-152	-113	39	10	994.437.544	346.258.895
SOCONY	T-26	794	835	990	-196	-155	41	8	993.438.454	346.084.326
SOCONY	T-27	850	897	961	-111	-64	47	20	998.100.070	345.635.807

Continuación Tabla A.1

NOMBRE DE LA ARENA: MAGUAP-2										
PROYECTO	POZO	TOPE TVD	BASE TVD	ELEVACION M.R	TOPE TVDSS	BASE TVDSS	ESPESOR TOTAL	ESPESOR ANA	COORDENADAS U.T.M	
									NORTE	ESTE
SOCONY	T-28	885	935	932	-47	3	50	13	1.000.098.431	345.944.998
SOCONY	T-29B	902	951	922	-20	29	49	13	1.001.037.524	346.119.320
SOCONY	T-30	931	983	929	2	54	52	10	1.002.026.609	346.293.878
SOCONY	T-31	884	935	908	-24	27	51	0	1.000.616.148	348.567.124
SOCONY	T-32	890	951	920	-30	31	61	23	1.001.637.030	346.212.083
SOCONY	T-33	910	960	934	-24	26	50	18	1.000.558.002	346.027.113
SOCONY	T-34	890	940	994	-104	-54	50	0	995.916.340	346.485.670
SOCONY	T-35	820	880	983	-163	-103	60	20	998.041.608	343.155.760
SOCONY	T-36B	790	849	957	-167	-108	59	18	997.088.601	343.821.312
SOCONY	T-37	810	849	953	-143	-104	39	0	996.578.659	343.818.965
SOCONY	T-38	838	868	968	-130	-100	30	0	996.078.669	343.826.664
SOCONY	T-40	847	907	937	-90	-30	60	21	999.548.871	345.862.468
SOCONY	T-41	875	906	1000	-125	-94	31	11	995.622.410	345.184.442
SOCONY	T-42	840	878	986	-146	-108	38	13	996.621.502	345.359.022
SOCONY	T-43	725	755	958	-233	-203	30	0	994.546.570	344.309.578

SOCONY	T-44	769	811	967	-198	-156	42	0	992.222.489	345.238.830
SOCONY	T-46	1003	1034	1015	-12	19	31	0	993.680.992	349.845.048
SOCONY	T-47	697	729	973	-276	-244	32	0	993.464.703	342.574.762
SOCONY	T-48	988	1018	970	18	48	30	0	996.148.745	350.266.340
SOCONY	T-49	997	1048	966	31	82	51	0	998.096.563	350.685.263
SOCONY	T-50	960	1005	911	49	94	45	0	1.000.064.978	350.974.312
SOCONY	T-51	937	979	890	10	89	42	10	1.001.054.043	351.148.862
SOCONY	T-52	1050	1108	872	13	236	58	13	1.002.163.323	351.273.979
SOCONY	T-53	904	940	972	-68	-32	36	8	996.013.216	347.156.048
SOCONY	T-54	760	800	901	-141	-101	40	11	998.599.403	341.468.471
SOCONY	T-55	770	828	887	-117	-59	58	23	999.179.018	341.541.139
SOCONY	T-56	780	840	888	-108	-48	60	38	999.808.208	341.704.030

Continuación Tabla A.1

NOMBRE DE LA ARENA: MAGUAP-2										
PROYECTO	POZO	TOPE TVD	BASE TVD	ELEVACION M.R	TOPE TVDSS	BASE TVDSS	ESPESOR TOTAL	ESPESOR ANA	COORDENADAS U.T.M	
									NORTE	ESTE
SOCONY	TX-57	1208	1259	824	384	435	51	0	1.005.404.135	355.278.508
SOCONY	TX-58	1200	1257	846	354	411	57	7	1.004.364.536	355.223.691
SOCONY	TX-59	1171	1230	843	328	387	59	8	1.003.205.284	355.098.333
SOCONY	TX-60	1190	1249	855	335	394	59	18	1.002.265.669	355.043.989
SOCONY	TX-61	1151	1190	868	283	322	39	20	1.001.256.250	354.949.331
SOCONY	TX-62	1127	1185	886	241	299	58	25	1.008.140.779	349.531.922
SOCONY	TX-63	1265	1323	935	330	388	58	0	1.010.159.843	349.681.315
SOCONY	TX-64	990	1027	868	122	159	37	34	998.361.329	353.946.092
SOCONY	TX-65	1035	1068	903	132	165	33	33	997.521.505	353.932.223
SOCONY	TX-66	1037	1070	904	133	166	33	25	996.601.089	354.047.970
SOCONY	TX-67	997	1050	927	70	123	53	0	995.561.483	353.993.195
SOCONY	TX-68	1063	1100	993	70	107	37	11	994.491.695	353.978.280
SOCONY	TX-69	1092	1138	994	98	144	46	16	993.461.855	353.973.553
SOCONY	TX-70	1067	1123	1009	58	114	56	5	992.392.067	353.958.649
SOCONY	TX-71	1060	1108	990	70	118	48	30	993.536.719	352.924.027

SOCONY	TX-72	1040	1095	1031	9	64	55	30	992.962.187	351.761.531
SOCONY	TX-73	1049	1098	1027	22	71	49	0	993.636.451	350.824.733
SOCONY	TX-74	986	1039	995	-9	44	53	0	994.909.801	350.070.666
SOCONY	TX-75	948	993	987	-39	6	45	0	995.055.307	348.881.465
SOCONY	TX-76	1008	1043	983	25	60	35	0	997.148.001	350.400.925
SOCONY	TX-77	986	1030	942	44	88	44	13	999.136.090	350.760.049
SOCONY	TX-78	964	995	860	104	135	31	30	1.002.573.738	349.036.129
SOCONY	TX-79	1030	1090	869	161	221	60	8	1.004.552.534	349.245.278
SOCONY	TX-80	1050	1098	1012	38	86	48	16	994.071.608	351.856.610
SOCONY	TX-81	1031	1070	979	52	91	39	38	995.230.834	351.991.920
SOCONY	TX-82	1077	1109	987	90	122	32	30	996.380.246	352.087.195
SOCONY	TX-83	1026	1068	947	79	121	42	39	997.339.639	352.191.599

Continuación Tabla A.1

NOMBRE DE LA ARENA: MAGUAP-2										
PROYECTO	POZO	TOPE TVD	BASE TVD	ELEVACION M.R	TOPE TVDSS	BASE TVDSS	ESPESOR TOTAL	ESPESOR ANA	COORDENADAS U.T.M	
									NORTE	ESTE
SOCONY	TX-84	1032	1066	946	86	120	34	25	998.299.125	352.276.011
SOCONY	TX-85	951	1008	881	70	127	57	0	999.198.525	352.380.147
SOCONY	TX-86	982	1037	905	77	132	55	21	1.000.192.770	352.514.721
SOCONY	TX-87	974	1019	865	109	154	45	44	1.001.097.308	352.588.892
SOCONY	TX-88	1053	1110	830	223	280	57	15	1.002.206.581	352.714.008
SOCONY	TX-89	1092	1150	852	240	298	58	11	1.003.215.962	352.818.670
SOCONY	TX-90	1111	1170	856	255	314	59	59	1.004.335.278	352.933.844
SOCONY	TX-91	1120	1172	841	279	331	52	18	1.005.294.453	353.083.277
SOCONY	TX-92	908	940	969	-61	-29	32	0	996.021.636	347.496.053
SOCONY	TX-93	884	926	1042	-158	-116	42	14	990.235.427	346.809.582
SOCONY	TX-94	881	912	1045	-164	-133	31	0	990.734.948	346.901.858
SOCONY	TX-95	834	870	1015	-181	-145	36	0	991.723.991	347.086.367
SOCONY	TX-96	796	835	990	-194	-155	39	0	992.707.617	346.280.955
SOCONY	TX-97	790	833	983	-193	-150	43	16	992.449.917	345.789.821
SOCONY	TX-98	738	786	955	-217	-169	48	10	991.756.521	344.376.775

SOCONY	TX-99	822	860	993	-171	-133	38	0	991.080.036	345.793.546
SOCONY	TX-100	841	873	1003	-162	-130	32	0	990.508.904	346.050.907
SOCONY	TX-101	853	894	1014	-161	-120	41	11	989.947.495	346.368.309
SOCONY	TX-102	869	910	1022	-153	-112	41	25	989.516.625	346.566.320
SOCONY	TX-103	821	860	995	-174	-135	39	0	991.446.894	346.465.160
SOCONY	TX-104	903	936	1060	-157	-124	33	0	991.989.190	348.117.476
SOCONY	TX-105	928	961	1060	-132	-99	33	0	991.866.197	348.766.844
SOCONY	TX-106	940	970	1053	-113	-83	30	0	991.722.836	349.496.109
SOCONY	TX-107	881	918	1039	-158	-121	37	0	990.899.471	348.082.490
SOCONY	TX-108	904	953	1052	-148	-99	49	0	990.359.680	348.050.024
SOCONY	TX-109	998	1052	1005	-7	47	54	0	994.300.442	349.947.880
SOCONY	TX-110	1065	1113	1000	65	113	48	0	992.931.937	353.971.122

Continuación Tabla A.1

NOMBRE DE LA ARENA: MAGUAP-2										
PROYECTO	POZO	TOPE TVD	BASE TVD	ELEVACION M.R	TOPE TVDSS	BASE TVDSS	ESPESOR TOTAL	ESPESOR ANA	COORDENADAS U.T.M	
									NORTE	ESTE
SOCONY	TX- 111	949	975	979	-30	-4	26	13	995.118.131	348.271.818
SOCONY	TX- 112	948	983	994	-46	-11	35	0	994.228.248	348.267.731
SOCONY	TX- 113	964	1000	999	-35	1	36	0	994.274.530	349.067.858
SOCONY	TX- 114	1066	1112	987	79	125	46	0	993.579.514	354.474.029
SOCONY	TX- 115	869	919	952	-83	-33	50	19	998.096.163	346.475.707
SOCONY	TX- 116	861	914	939	-78	-25	53	7	998.112.345	347.295.700
SOCONY	TX- 117	1083	1128	988	95	140	45	10	993.697.173	354.974.505
SOCONY	TX-	951	996	897	54	99	45	15	1.002.132.349	349.344.053

	118									
SOCONY	TX-120	1065	1120	891	174	229	55	11	1.002.151.641	351.633.883
SOCONY	TX-122	918	977	848	70	129	59	30	1.004.996.383	346.277.642
SOCONY	TX-123	1091	1131	817	274	314	40	5	1.002.211.153	353.873.886
SOCONY	TX-124	1022	1080	930	92	150	58	28	1.006.476.247	346.274.516
SOCONY	TX-125	1259	1304	866	393	438	45	21	1.002.340.459	356.154.189
SOCONY	TX-126	1045	1098	887	158	211	53	0	1.007.986.014	346.291.537

TVD: profundidad vertical verdadera **ANA:** Arena Neta Acuífera **EMR:** elevación de La mesa rotaria

TVDSS: profundidad vertical verdadera referida al nivel del mar

Tabla A.2 Base de datos de la correlación de MaguaP-3.

NOMBRE DE LA ARENA: MAGUAP-3										
PROYECTO	HOLE	TOPE TVD	BASE TVD	ELEVACION M.R	TOPE TVDSS	BASE TVDSS	ESPESOR TOTAL	ESPESOR ANA	COORDENADAS U.T.M	
									NORTE	ESTE
SOCONY	T-1	956	1004	923	33	81	48	25	999.287.350	348.341.012
SOCONY	T-2	936	986	909	27	77	50	44	1.000.136.585	348.484.918
SOCONY	T-3	991	1043	900	91	143	52	36	1.001.105.710	348.649.379
SOCONY	T-4	990	1040	887	103	153	50	39	1.002.094.737	348.833.934
SOCONY	T-5	1060	1119	891	169	228	59	38	1.003.062.783	349.228.373
SOCONY	T-6	1052	1114	846	206	268	62	23	1.004.073.068	349.143.065
SOCONY	T-7	1083	1136	862	221	274	53	39	1.005.071.949	349.357.676
SOCONY	T-8	1090	1145	836	254	309	55	49	1.006.151.145	349.502.672
SOCONY	T-9	949	1000	935	14	65	51	13	998.148.338	348.155.778
SOCONY	T-10	925	973	938	-13	35	48	31	997.179.023	348.031.325
SOCONY	T-11	934	980	961	-27	19	46	8	996.150.226	347.796.613
SOCONY	T-12	962	1011	971	-9	40	49	21	995.191.000	347.652.217
SOCONY	T-13	899	947	994	-95	-47	48	0	994.211.868	347.487.736
SOCONY	T-14	864	916	1023	-159	-107	52	0	993.222.736	347.323.213
SOCONY	T-15	883	925	1025	-142	-100	42	0	992.243.648	347.148.742

SOCONY	T-16	855	898	1000	-145	-102	43	0	991.254.513	346.984.228
SOCONY	T-17	900	949	1001	-101	-52	49	0	993.722.348	347.395.498
SOCONY	T-18B	823	872	990	-167	-118	49	0	993.927.977	346.176.563
SOCONY	T-19	778	832	972	-194	-140	54	0	994.133.653	344.947.624
SOCONY	T-20	868	920	981	-113	-61	52	18	995.132.886	345.092.201
SOCONY	T-21	900	950	998	-98	-48	50	0	994.927.159	346.331.137
SOCONY	T-22	968	1020	984	-16	36	52	0	994.711.433	347.570.022
SOCONY	T-23	888	929	999	-111	-70	41	15	996.121.980	345.266.732
SOCONY	T-24	904	953	1000	-96	-47	49	0	995.416.727	346.413.379
SOCONY	T-25	869	926	982	-113	-56	57	6	994.437.544	346.258.895
SOCONY	T-26	835	882	990	-155	-108	47	0	993.438.454	346.084.326
SOCONY	T-27	903	952	961	-58	-9	49	25	998.100.070	345.635.807

Continuación Tabla A.2

NOMBRE DE LA ARENA: MAGUAP-3										
PROYECTO	HOLE	TOPE TVD	BASE TVD	ELEVACION M.R	TOPE TVDSS	BASE TVDSS	ESPESOR TOTAL	ESPESOR ANA	COORDENADAS U.T.M	
									NORTE	ESTE
SOCONY	T-28	935	982	932	3	50	47	5	1.000.098.431	345.944.998
SOCONY	T-29B	951	1002	922	29	80	51	30	1.001.037.524	346.119.320
SOCONY	T-30	983	1032	929	54	103	49	38	1.002.026.609	346.293.878
SOCONY	T-31	935	983	908	27	75	48	38	1.000.616.148	348.567.124
SOCONY	T-32	951	1002	920	31	82	51	34	1.001.637.030	346.212.083
SOCONY	T-33	960	1002	934	26	68	42	10	1.000.558.002	346.027.113
SOCONY	T-34	917	965	994	-77	-29	48	32	995.916.340	346.485.670
SOCONY	T-35	880	918	983	-103	-65	38	16	998.041.608	343.155.760
SOCONY	T-36B	849	893	957	-108	-64	44	33	997.088.601	343.821.312
SOCONY	T-37	849	896	953	-104	-57	47	20	996.578.659	343.818.965
SOCONY	T-38	864	914	968	-104	-54	50	18	996.078.669	343.826.664
SOCONY	T-40	907	954	937	-30	17	47	11	999.548.871	345.862.468
SOCONY	T-41	897	950	1000	-103	-50	53	11	995.622.410	345.184.442
SOCONY	T-42	878	921	986	-108	-65	43	33	996.621.502	345.359.022
SOCONY	T-43	755	812	958	-203	-146	57	30	994.546.570	344.309.578

SOCONY	T-44	811	866	967	-156	-101	55	10	992.222.489	345.238.830
SOCONY	T-46	1034	1084	1015	19	69	50	21	993.680.992	349.845.048
SOCONY	T-47	729	780	973	-244	-193	51	20	993.464.703	342.574.762
SOCONY	T-48	1018	1069	970	48	99	51	0	996.148.745	350.266.340
SOCONY	T-49	1048	1098	966	82	132	50	0	998.096.563	350.685.263
SOCONY	T-50	1005	1050	911	94	139	45	10	1.000.064.978	350.974.312
SOCONY	T-51	998	1050	890	108	160	52	0	1.001.054.043	351.148.862
SOCONY	T-52	1108	1159	872	236	287	51	16	1.002.163.323	351.273.979
SOCONY	T-53	940	990	972	-32	18	50	36	996.013.216	347.156.048
SOCONY	T-54	800	840	901	-101	-61	40	31	998.599.403	341.468.471
SOCONY	T-55	828	870	887	-59	-17	42	16	999.179.018	341.541.139
SOCONY	T-56	840	893	888	-48	5	53	15	999.808.208	341.704.030

Continuación Tabla A.2

NOMBRE DE LA ARENA: MAGUAP-3										
PROYECTO	HOLE	TOPE TVD	BASE TVD	ELEVACION M.R	TOPE TVDSS	BASE TVDSS	ESPESOR TOTAL	ESPESOR ANA	COORDENADAS U.T.M	
									NORTE	ESTE
SOCONY	TX-57	1259	1302	824	435	478	43	25	1.005.404.135	355.278.508
SOCONY	TX-58	1257	1313	846	411	467	56	0	1.004.364.536	355.223.691
SOCONY	TX-59	1230	1290	843	387	447	60	10	1.003.205.284	355.098.333
SOCONY	TX-60	1249	1306	855	394	451	57	11	1.002.265.669	355.043.989
SOCONY	TX-61	1190	1240	868	322	372	50	34	1.001.256.250	354.949.331
SOCONY	TX-62	1185	1240	886	299	354	55	46	1.008.140.779	349.531.922
SOCONY	TX-63	1323	1371	935	388	436	48	25	1.010.159.843	349.681.315
SOCONY	TX-64	1027	1069	868	159	201	42	30	998.361.329	353.946.092
SOCONY	TX-65	1068	1110	903	165	207	42	20	997.521.505	353.932.223
SOCONY	TX-66	1070	1127	904	166	223	57	11	996.601.089	354.047.970
SOCONY	TX-67	1050	1109	927	123	182	59	23	995.561.483	353.993.195
SOCONY	TX-68	1100	1157	993	107	164	57	16	994.491.695	353.978.280
SOCONY	TX-69	1138	1190	994	144	196	52	15	993.461.855	353.973.553
SOCONY	TX-70	1123	1169	1009	114	160	46	16	992.392.067	353.958.649
SOCONY	TX-71	1108	1157	990	118	167	49	18	993.536.719	352.924.027

SOCONY	TX-72	1095	1140	1031	64	109	45	8	992.962.187	351.761.531
SOCONY	TX-73	1098	1147	1027	71	120	49	13	993.636.451	350.824.733
SOCONY	TX-74	1039	1092	995	44	97	53	0	994.909.801	350.070.666
SOCONY	TX-75	993	1033	987	6	46	40	0	995.055.307	348.881.465
SOCONY	TX-76	1043	1086	983	60	103	43	18	997.148.001	350.400.925
SOCONY	TX-77	1030	1082	942	88	140	52	11	999.136.090	350.760.049
SOCONY	TX-78	995	1048	860	135	188	53	51	1.002.573.738	349.036.129
SOCONY	TX-79	1090	1149	869	221	280	59	15	1.004.552.534	349.245.278
SOCONY	TX-80	1098	1150	1012	86	138	52	13	994.071.608	351.856.610
SOCONY	TX-81	1070	1128	979	91	149	58	39	995.230.834	351.991.920
SOCONY	TX-82	1109	1164	987	122	177	55	36	996.380.246	352.087.195
SOCONY	TX-83	1068	1110	947	121	163	42	28	997.339.639	352.191.599

Continuación Tabla A.2

NOMBRE DE LA ARENA: MAGUAP-3										
PROYECTO	HOLE	TOPE TVD	BASE TVD	ELEVACION M.R	TOPE TVDSS	BASE TVDSS	ESPESOR TOTAL	ESPESOR ANA	COORDENADAS U.T.M	
									NORTE	ESTE
SOCONY	TX-84	1066	1115	946	120	169	49	7	998.299.125	352.276.011
SOCONY	TX-85	1008	1057	881	127	176	49	0	999.198.525	352.380.147
SOCONY	TX-86	1037	1080	905	132	175	43	11	1.000.192.770	352.514.721
SOCONY	TX-87	1019	1073	865	154	208	54	56	1.001.097.308	352.588.892
SOCONY	TX-88	1110	1165	830	280	335	55	25	1.002.206.581	352.714.008
SOCONY	TX-89	1150	1204	852	298	352	54	44	1.003.215.962	352.818.670
SOCONY	TX-90	1170	1211	856	314	355	41	41	1.004.335.278	352.933.844
SOCONY	TX-91	1172	1223	841	331	382	51	25	1.005.294.453	353.083.277
SOCONY	TX-92	940	995	969	-29	26	55	34	996.021.636	347.496.053
SOCONY	TX-93	926	960	1042	-116	-82	34	0	990.235.427	346.809.582
SOCONY	TX-94	912	963	1045	-133	-82	51	0	990.734.948	346.901.858
SOCONY	TX-95	870	902	1015	-145	-113	32	0	991.723.991	347.086.367
SOCONY	TX-96	835	880	990	-155	-110	45	0	992.707.617	346.280.955
SOCONY	TX-97	833	872	983	-150	-111	39	7	992.449.917	345.789.821
SOCONY	TX-98	786	827	955	-169	-128	41	7	991.756.521	344.376.775

SOCONY	TX-99	860	903	993	-133	-90	43	0	991.080.036	345.793.546
SOCONY	TX-100	873	913	1003	-130	-90	40	7	990.508.904	346.050.907
SOCONY	TX-101	894	928	1014	-120	-86	34	0	989.947.495	346.368.309
SOCONY	TX-102	910	945	1022	-112	-77	35	0	989.516.625	346.566.320
SOCONY	TX-103	860	901	995	-135	-94	41	0	991.446.894	346.465.160
SOCONY	TX-104	936	980	1060	-124	-80	44	0	991.989.190	348.117.476
SOCONY	TX-105	961	1000	1060	-99	-60	39	0	991.866.197	348.766.844
SOCONY	TX-106	970	1009	1053	-83	-44	39	0	991.722.836	349.496.109
SOCONY	TX-107	918	960	1039	-121	-79	42	0	990.899.471	348.082.490
SOCONY	TX-108	945	991	1052	-107	-61	46	0	990.359.680	348.050.024
SOCONY	TX-109	1052	1108	1005	47	103	56	5	994.300.442	349.947.880
SOCONY	TX-110	1113	1152	1000	113	152	39	0	992.931.937	353.971.122

Continuación Tabla A.2

NOMBRE DE LA ARENA: MAGUAP-3										
PROYECTO	HOL E	TOP E TVD	BAS E TVD	ELEVACIO N M.R	TOPE TVDS S	BASE TVDS S	ESPESO R TOTAL	ESPESO R ANA	COORDENADAS U.T.M	
									NORTE	ESTE
SOCONY	TX- 111	975	1030	979	-4	51	55	23	995.118.131	348.271.81 8
SOCONY	TX- 112	983	1042	994	-11	48	59	25	994.228.248	348.267.73 1
SOCONY	TX- 113	1000	1047	999	1	48	47	13	994.274.530	349.067.85 8
SOCONY	TX- 114	1112	1160	987	125	173	48	0	993.579.514	354.474.02 9
SOCONY	TX- 115	919	965	952	-33	13	46	38	998.096.163	346.475.70 7
SOCONY	TX- 116	914	966	939	-25	27	52	41	998.112.345	347.295.70 0
SOCONY	TX- 117	1128	1179	988	140	191	51	0	993.697.173	354.974.50 5

SOCONY	TX-118	998	1056	897	101	159	58	59	1.002.132.34 9	349.344.05 3
SOCONY	TX-120	1120	1166	891	229	275	46	13	1.002.151.64 1	351.633.88 3
SOCONY	TX-122	977	1022	848	129	174	45	18	1.004.996.38 3	346.277.64 2
SOCONY	TX-123	1131	1188	817	314	371	57	26	1.002.211.15 3	353.873.88 6
SOCONY	TX-124	1080	1132	930	150	202	52	43	1.006.476.24 7	346.274.51 6
SOCONY	TX-125	1304	1363	866	438	497	59	34	1.002.340.45 9	356.154.18 9
SOCONY	TX-126	1098	1151	887	211	264	53	48	1.007.986.01 4	346.291.53 7

APÉNDICE B

RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL VOLUMEN DE AGUA

Tabla B.1 Resultados del cálculo de volumen de agua para MaguaP-2, MaguaP-3 y para las formaciones Mesa y Las Piedras en toda el área de estudio.

VOLUMEN DE AGUA CONTENIDA	
MAGUAP-2	
Volumen total (mts ³)	397.495.000
Volumen total (Hm ³)	397,495
Volumen total (litros)	3,97495*10 ¹¹
Volumen total (MM Barriles)	2,5
MAGUAP-3	
Volumen total (mts ³)	708.940.000
Volumen total (Hm ³)	708,94
Volumen total (litros)	7,0894*10 ¹¹
Volumen total (MM Barriles)	4,6
FORMACIONES MESA-LAS PIEDRAS	
Volumen total (mts ³)	2,04486*10 ¹⁰
Volumen total (Hm ³)	20448,6
Volumen total (litros)	2,04486*10 ¹³
Volumen total (MM Barriles)	128

APÉNDICE C

VALORES Y PARÁMETROS DE POTABILIDAD DEL AGUA

Tabla C.1 Sustancias químicas que afectan a la potabilidad del agua
(Organización Mundial de la Salud).

SUSTANCIA	CONCENTRACIÓN MÁXIMA ACEPTABLE (MG/L)
Sólidos Totales	1500
Color (ppm de la escala de platino-cobalto)	50
Turbidez en SiO ₂	25
Gusto	----
Olor	----
Hierro (Fe)	1
Manganeso (Mn)	0.5
Cobre (Cu)	1.5
Zinc (2 n)	15
Calcio (Mg)	200
Magnesio (Mg)	150
Sulfatos (SO ₄)	400
Cloruros (Cl)	600
pH (unidades de pH)	6.5-8.5
Sulfato magnesio-sódico	1000
Sustancias fenólicas	0.002
Contaminantes orgánicos	0.5
Tensoactivos (detergentes)	1

Tabla C.2 Sustancias tóxicas (Organización Mundial de la Salud).

SUSTANCIA	CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMITIDA (MG/L)
Plomo	0.05
Arsénico	0.05
Selenio	0.01
Cromo (hexavalente)	0.05
Cianuro	0.2
Cadmio	0.01
Bario	1
Plata	0.05

Tabla C.3 Indicadores químicos de contaminación (Organización Mundial de la Salud).

INDICADOR	LÍMITE MÍNIMO PARA CONSIDERAR QUE HAY CONTAMINACIÓN (MG/L)
Demanda química de oxígeno (DQO)	10
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	6
Nitrógeno total (Excluido NO ₃)	1
NH ₃	0.5
Carbono (extracto de cloroformo)	0.5
Grasas	1

Tabla C.4 Normas Sanitarias de Calidad del Agua Potable. Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 36.395. (1998).

COMPONENTES RELATIVOS A LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA		
Características	Unidad	Valor Máximo Aceptable
Coliformes fecales	(NMP/100ml)	Ausentes
Coliformes totales	(NMP/100ml)	Ausentes
Agentes patógenos	-----	Ausentes
Heterótrofos aerobios	(100ufc/cml)	600
Plancton	USA/ml	300

APÉNDICE D

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y
BACTERIOLÓGICOS

Tabla D.1. Análisis físico-químico del Pozo Comunidad Mapiricure.



C.A. HIDROLOGICA DEL CARIBE
LABORATORIO DE AGUAS LAS MERCEDES



ANALISIS N°: 00428

ANALISIS DE AGUA FISICO-QUIMICO

UNIDAD SOLICITANTE: GERENCIA CORPORATIVA ANZOATEGUI SUR
 SITIO DE CAPTACION : POZO COMUNIDAD MAPIRICURE (MUNICIPIO ANACO)
 FECHA Y HORA DE CAPTACION : 28/04/2010 10:16 A.M
 FECHA DE LLEGADA : 28/04/2010 3:07 A.M
 FECHA DE ANALISIS : 28/04/2010 3:10 A.M
 ANALISTA: T.S.U YRAIDA VELASQUEZ

PARAMETROS DE CAPTACION	SEGUN MUESTRA	VALOR FUERA DE NORMA	LIMITES MAX. PERMISIBLES
ALCALINIDAD TOTAL MG/LT	8		
CALCIO mg/l	1,6		200
CLORUROS MG/LT	7,0		600
COLOR APARENTE (Pt/Co)	1,0		5
COND ESPECIFICA A 25° C	54,4		1500
DIOXIDO DE CARBONO LIBRE	32,12		
DUREZA TOTAL mg/l	9,0		500
HIERRO TOTAL mg/l	---		1,0
INDICE DE LANGELIER	---		
MAGNESIO mg/l	2,16		120
MANGANESO TOTAL mg/l	---		0,1
NITRITO mg/l (NO ₂)	0,00		0,03
PH	5,7	X	6,0-8,5
SILICE mg/l	---		
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS MG/L	27,09		1500
SULFATO mg/l	0,2		400
TURBIEDAD (N.T.U)	0,36		<25

NOTA: AGUA SER-TIPO 1A. PARAMETROS SEGUN GACETA OFICIAL N° 1631 DICIEMBRE 1998 NORMAS PARA LA CLASIFICACION Y CONTROL DE CALIDAD DE CUERPOS DE AGUAS Y VERTIDOS O EFLUENTES LIQUIDOS DECRETTO N° 883 CAPTULO 8 ARTICULO 3





SUPV. DE CALIDAD DE AGUA



Tabla D.2. Análisis físico-químico del Pozo Comunidad Kashama.



Hidro Caribe
C.A. HIDROLOGICA DEL CARIBE
LABORATORIO DE AGUAS LAS MERCEDES



ANALISIS N°: 00429

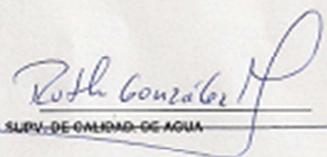
ANALISIS DE AGUA FISICO-QUIMICO
UNIDAD SOLICITANTE: GERENCIA CORPORATIVA ANZOATEGUI SUR
SITIO DE CAPTACION : POZO KASHAMA (MUNICIPIO FREITES)
FECHA Y HORA DE CAPTACION : 28/04/2010 11:09 A.M
FECHA DE LLEGADA : 28/04/2010 03:07 P.M
FECHA DE ANALISIS : 28/04/2010 03:10 P.M
ANALISTA: T.S.U YRAIDA VELASQUEZ

PARAMETROS DE CAPTACION	SEGUN MUESTRA	VALOR FUERA DE NORMA	LIMITES MAX. PERMISIBLES
ALCALINIDAD TOTAL MG/LT	95		
CALCIO mg/l	8,8		200
CLORUROS MG/LT	7,5		600
COLOR APARENTE (Pt/Co)	1,0		5
COND ESPECIFICA A 25° C	178,1		1500
DIOXIDO DE CARBONO LIBRE	30,35		
DUREZA TOTAL mg/l	37,0		500
HIERRO TOTAL mg/l	---		1,0
INDICE DE LANGELIER	---		
MAGNESIO mg/l	3,6		120
MANGANESO TOTAL mg/l	---		0,1
NITRITO mg/l (NO2)	0,0		0,03
PH	6,8		6,0-8,5
SILICE mg/l	---		
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS MG/L	89,02		1500
SULFATO mg/l	2,9		400
TURBIEDAD (N.T.U)	3,47		<25

NOTA: AGUA SUB-TIPO 1A. PARAMETROS SEGUN GACETA OFICIAL N° 8221 DICIEMBRE 1995 NORMAS PARA LA CLASIFICACION Y CONTROL DE CALIDAD DE CUERPOS DE AGUAS Y VERTIDOS O EFLUENTES LIQUIDOS DECRETO N° 803 CAPITULO II ARTICULO 3



LABORATORISTA



SUP. DE CALIDAD DE AGUA



SUP. INTEND. DE PROD. Y TTMTO.

Tabla D.3. Análisis físico-químico del Pozo Caserío Tascabaña.



 C.A. HIDROLOGICA DEL CARIBE
 FILIAL HOROVEN

C.A. HIDROLOGICA DEL CARIBE
 LABORATORIO DE AGUAS PLANTA CLORADORA LAS MERCEDES EL TIGRE
 REPORTE DE ANALISIS FISICO QUIMICO

SOLICITADO POR : P.D.V.S.A.
 PROCEDENCIA: CASERIO TASCABAÑA
 FECHA: 07/04/2008

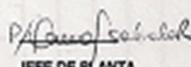
PARAMETROS	POZO	CALLE SAN MIGUEL CASA #3	LIMITES MAX. PERMISIBLES
ALCALINIDAD TOTAL MG / LT	38	35	
CALCIO MG / LT	1,6	2,4	200
CLORUROS MG / LT	17,7	17,7	250
COLOR (UND)	1	1	5
CONDUCTANCIA ESPC. A 25°C			1500
DIOXIDO DE CARBONO LIBRE	38,36	56	
DUREZA TOTAL MG / LT	12	8	250
HIERRO TOTAL MG / LT			0,1
MAGNESIO MG / LT	1,92	0,48	
NITRITO MG / LT	0	0	0,03
PH	6,3	6,1	6.5-8.5
SILICE MG / LT	22,56	11,89	
TURBIEDAD N TU	0,97	2,96	5

NOTA: AGUA SUB-TIPO 1-A DESDE EL PUNTO DE VISTA SANITARIO SOLO PUEDEN SER ACONDICIONADAS CON SOLA ADICION DE DESINFECTANTES. PARAMETROS SEGUN GACETA OFICIAL N° 6021 DECRETO 883.

OBSERVACION: SE REQUIERE ESTABILIZAR EL PH.



 LABORATORISTA



 JEFE DE PLANTA





 SUPERVISOR

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/5

Título	Caracterización geológica de las arenas acuíferas Maguap-2 y Maguap-3, en las formaciones Mesa - Las Piedras, entre los campos Cachama Norte, Chimire C, Chimire R, Caico Este, Pradera y Tascabaña, al Noroeste de la Ciudad de El Tigre, Estado Anzoátegui.
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Jaramillo A., Antonio J.	CVLAC	17.870.134
	e-mail	Antons7@gmail.com
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Caracterización geológica
Arenas acuíferas
Acuíferos
Mesa de Guanipa
Aguas subterráneas
Estimación de volumen de agua

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/5

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Departamento de Geotecnia	Ingeniero Geologo

Resumen (abstract):

El área de estudio está localizada geográficamente aproximadamente a 8 Km. al Noroeste de El Tigre en el estado Anzoátegui, entre los campos Cachama Norte, Chimire C, Chimire R, Caico Este, Pradera y Tascabaña la cual forma parte del Área Mayor de Oficina de la Cuenca Oriental de Venezuela. La zona pertenece geopolíticamente a los municipios Pedro María Freites y Anaco del estado Anzoátegui, y abarca una extensión de 352 Km². Este trabajo tiene como objetivo general caracterizar geológicamente las arenas acuíferas MaguaP-2 y MaguaP-3, de las formaciones Mesa y Las Piedras, entre los campos citados anteriormente pertenecientes al Distrito San Tomé para así evaluar en detalle la distribución horizontal, vertical y disponibilidad de las aguas subterráneas en el área, con el fin de suministrar información y asesoramiento técnico a Petróleos de Venezuela S.A., comunidad, industria agropecuaria local y a las empresas relacionadas con el suministro de aguas. Para llevar a cabo este estudio se empleo una metodología la cual está conformada por una demarcación geográfica del área de estudio, elaboración del mapa base, identificación litoestratigráfica de las diferentes arenas, correlación litoestratigráfica de cada uno de los intervalos definidos, determinación de espesores de arena neta acuífera, elaboración de secciones estratigráficas y estructurales, mapas isópacos y estructurales de las arenas en estudio, interpretación sedimentológica a partir de las electrofacies para cada una de las arenas y finalmente estimar el volumen de agua existente en las formaciones Mesa-Las Piedras con respecto al área de estudio. Se determinó que las arenas estudiadas presentan continuidad lateral en toda el área, permitiendo de esta manera su interconexión hidráulica y coalescencia vertical. Mediante las secciones y mapas estructurales se pudo establecer que las formaciones Mesa y Las Piedras no presentan estructuras complejas ni fallas aparentes, solo muestran un homoclinal con buzamiento suave menor a 1° hacia el Noreste y algunas ondulaciones que se deben a las irregularidades de la superficie. A través del análisis de las electrofacies se pudo definir que el ambiente depositacional de las arenas es de tipo fluvial, representado por canales meandriiformes; teniendo que los mayores espesores de arena acuífera se encuentran hacia los depocentros de los canales con valores de 50 a 60 pies. Los acuíferos en su mayoría son del tipo libre a semiconfinados, y se recargan directamente por infiltración. El volumen de agua determinado para las formaciones Mesa y Las Piedras es de 2,04486*10¹³ litro.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/5

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail				
Abud, Jorge	ROL	C <input type="checkbox"/>	A <input type="checkbox"/>	T <input checked="" type="checkbox"/>	J <input type="checkbox"/>
		A <input type="checkbox"/>	S <input type="checkbox"/>	U <input type="checkbox"/>	U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	4.984.842			
	e-mail	Jorgeabuds@yahoo.com			
	e-mail				
Marcano, Iris	ROL	C <input type="checkbox"/>	A <input type="checkbox"/>	T <input type="checkbox"/>	J <input checked="" type="checkbox"/>
		A <input type="checkbox"/>	S <input type="checkbox"/>	U <input type="checkbox"/>	U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	5.990.907			
	e-mail	Irismar_1958@hotmail.com			
	e-mail				
Ciatti, Gabriela	ROL	C <input type="checkbox"/>	A <input type="checkbox"/>	T <input type="checkbox"/>	J <input checked="" type="checkbox"/>
		A <input type="checkbox"/>	S <input type="checkbox"/>	U <input type="checkbox"/>	U <input type="checkbox"/>
	CVLAC	11.167.753			
	e-mail	gabriellaciatti@hotmail.com			
	e-mail				

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2010	10	14

Lenguaje: spa _____

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/5

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
Tesis-Characterización geológica de las arenas acuíferas maguap-2 y maguap-3.doc	application/msword

Alcance:

Espacial: _____ opcional.

Temporal: _____ opcional

Título o Grado asociado con el trabajo: Ingeniero Geólogo

Nivel Asociado con el Trabajo: Pregrado

Área de Estudio: Departamento de Geotecnia

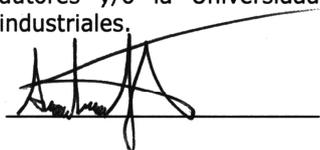
Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado: Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/5

Derechos:

**De acuerdo al artículo 44 del reglamento de trabajos de grado
“Los Trabajos de grado son exclusiva propiedad de la
Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizadas a otros
fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo,
quien lo participara al Consejo Universitario”**

Condiciones bajo las cuales los autores aceptan que el trabajo sea distribuido. La idea es dar la máxima distribución posible a las ideas contenidas en el trabajo, salvaguardando al mismo tiempo los derechos de propiedad intelectual de los realizadores del trabajo, y los beneficios para los autores y/o la Universidad de Oriente que pudieran derivarse de patentes comerciales o industriales.



AUTOR 1

AUTOR 2

AUTOR 3



TUTOR

AUTOR 4



JURADO 1

Gabiella D. Ciatti G.

JURADO 2

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS:

Gabiella D. Ciatti G.