

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



ESTUDIO GEOLÓGICO DEL VOLCÁN DE LODO SAN JOAQUÍN; PROCESOS VULCANO- SEDIMENTARIOS PRESENTES EN EL ÁREA MAYOR DE ANACO, CAMPO SAN JOAQUÍN, DISTRITO GAS ANACO, ESTADO ANZOÁTEGUI (1976-2012).

**TRABAJO FINAL DE GRADO
PRESENTADO POR LA
BACHILLER PEREZ
FRONTADO JESSICA PARA
OPTAR POR EL TÍTULO DE
GEÓLOGO**

CIUDAD BOLÍVAR, MARZO 2013

HOJA DE APROBACIÓN

Este trabajo de grado, intitulado “**Estudio geológico del volcán de lodo San Joaquín; procesos vulcano- sedimentarios presentes en el área mayor de Anaco, campo San Joaquín, distrito gas Anaco, estado Anzoátegui (1976-2012)**”, presentado por la bachiller **Pérez Frontado, Jessica Milagros**, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombres:

Firmas:

Profesor Jesús Enrique Santiago

Asesor Académico

Jurado

Jurado

Profesora Rosario Rivadulla
Jefe del Departamento de Geología

Ciudad Bolívar, _____ de _____.

DEDICATORIA

A mi Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi MADRE por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ti.

.

A mis abuelos tíos y hermanos por su motivación para hacer de mí el ser humano que soy hoy en día.

*“Nuestra recompensa se encuentra en el
Esfuerzo y no en el resultado.
Un esfuerzo total es una victoria completa”
Mahatma Gandhi*

Todo lo puedo en Cristo que me fortalece. Filipenses 4, 13

Jessica Pérez Frontado

AGRADECIMIENTOS

Es mi deseo como sencillo gesto de agradecimiento, darle mi gratitud en mi humilde obra de Trabajo de Grado plasmada en el presente informe, en primera instancia a mi Dios por brindarme su protección, su guía, paz y sabiduría para lograr este propósito. Muy especialmente le agradezco a mi madre por todo su amor y sus sacrificios, por haberme apoyado en todo momento y enseñarme que hay que trazarse metas y cumplirlas; a mi familia representada en la sabiduría de mis abuelos, la inspiración de tíos y tías, y el entusiasmo de hermanos, primos y primas.

A mis tutores el Profesor Jesús Santiago y el Geólogo Orlando Méndez por su gran dedicación, asesoría, valiosa orientación y sus buenos consejos ante el desarrollo de este proyecto; por la disponibilidad de asesorarme de manera desinteresada y los conocimientos y experiencia impartidos para finalizar con éxito este trabajo de grado. Muy agradecida con ustedes. A la gran casa de estudios, la Universidad de Oriente núcleo Bolívar, por abrirme las puertas al futuro, a todo su personal y sus profesores por todos los conocimientos impartidos y los momentos compartidos, especialmente a los profesores, Miguel Gómez, Iris Marcano y Jesús Álvarez por su colaboración desinteresada durante el desarrollo de este trabajo.

A mis “Roris” por los inolvidables momentos que compartí con todos ustedes durante mi carrera, con giras, tramos, estudios, fiestas y el estrés constante que ofrece la UDO en su día a día, de cada uno de ustedes me llevo hermosos recuerdos en mente y corazón. A todas y todos quienes de una u otra forma han colocado un granito de arena para el logro de este Trabajo de Grado, agradezco de forma sincera su valiosa colaboración.

Jessica Pérez Frontado

RESUMEN

El volcán de lodo de San Joaquín, perteneciente al Campo San Joaquín, abarca un área de 1,2Km², dentro del Distrito operacional PDVSA Gas Anaco. Se encuentra en la región centro-oriental de Venezuela, entre las poblaciones de Anaco y Santa Ana, ubicado en las coordenadas N 9° 21' 43" y W 64° 32'04" respectivamente. Esta área forma parte desde el punto de vista geológico de los campos del Área Mayor de Anaco, Subcuenca Maturín, Cuenca Oriental de Venezuela. En este trabajo se presentan el origen, evolución, efectos topográficos, estructurales y los impactos provocados por las operaciones petroleras obteniendo como resultado la formación y presencia del volcán de lodo y gas de San Joaquín. Esta manifestación superficial de gas y lodo es la resulta de las condiciones estructurales y estratigráficas de un área con abundante yacimientos de gas, proximos a la superficie como a grandes profundidades, el tectonismo compresional que afecta al flanco norte de la cuenca oriental, logró aflorar a la formación Oficina en las crestas erosionadas de los domos diapiriticos formados contra el corrimiento de Anaco. Estas condiciones geológicas unidas a la existencia de grietas tensionales en la cresta de el domo, y las altas presiones en profundidad produjeron un escape de gas y lodo a la superficie, cuyo flujo vertical es continuo y coincide con el pozo JM-25. La importancia de este volcanismo de lodo radica en que, los conductos volcánicos actúan como vía de transporte de fluido/materiales profundos a las cuencas sedimentarias, además de emitir metano, por lo que esta expulsión de flujo juega un papel importante en el balance global de fluidos y elementos químicos. Este estudio permitió identificar a través de mapas de presión y pérdida de circulación a la arena CO-A1 como portadora de gas a la superficie. El origen, dimensiones, características geológicas involucradas y evolución, hacen que el volcán de San Joaquín sea un caso de interés de estudio en el país.

CONTENIDO

Página

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN.....	v
CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS	xiv
LISTA DE APÉNDICES	xv
LISTA DE ANEXOS.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	4
SITUACIÓN A INVESTIGAR	4
1.1 Planteamiento del problema	4
1.2 Objetivo de la investigación	6
1.2.1 Objetivo general.....	6
1.2.2 Objetivos específicos	6
1.3 Justificación de la investigación.....	7
1.4 Limitaciones	7
1.5 Alcances de la investigación	7
CAPÍTULO II.....	8
GENERALIDADES	8
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio	8
2.2 Aspectos socio-económicos.....	9
2.3 Características físico-naturales del área de estudio	10
2.3.1 Clima.....	10
2.3.2 Hidrografía	13
2.3.3 Suelos	13
2.3.4 Geología.....	13
2.3.5 Geomorfología	14
2.3.6 Vegetación	15

2.3.7 Fauna.....	17
2.4. Geología regional	18
2.4.1 Cuenca Oriental de Venezuela	18
2.4.1.1 Límites de la cuenca	20
2.4.1.2 Evolución estructural de la Cuenca Oriental de Venezuela	24
2.4.1.3 Historia de la evolución tectónica y sedimentaria	26
2.4.1.4 Esquema del proceso evolutivo.....	26
2.5 Rasgos estructurales principales de la cuenca Oriental de Venezuela	30
2.6 Sistema de corrimientos frontales de Anzoátegui	30
2.6.1 Corrimiento de Anaco	31
2.7 Geológica local. Antecedentes	33
2.7.1 Área mayor de Anaco	33
2.7.2 Ambiente de sedimentación.....	34
2.7.3 Área mayor de Anaco y el campo San Joaquín	35
2.7.3.1 Estructura	37
2.7.3.2 Estratigrafía	38
CAPÍTULO III	45
MARCO TEÓRICO	45
3.1 Antecedentes.....	45
3.1.1 Primeras manifestaciones.....	45
3.2 Fundamentos teóricos	49
3.2.1 Volcanes de lodo	49
3.2.1.1 Características de un volcán de lodo	51
3.2.1.2 Ubicación de volcanes de lodo a nivel mundial.....	53
3.2.2 Volcanismo sedimentario.....	58
3.2.2.1 Fuerzas exógenas.....	62
3.2.2.2 Fuerzas endógenas.....	63
3.2.2.3 Génesis y formación de los volcanes de lodo	65
3.2.2.4 Expresión geofísica de los volcanes de lodo	66
3.2.2.5 Análisis del barro de los volcanes de lodo	66
3.2.3 Arcillas	68
3.2.3.1 Origen y clasificación de los minerales de arcilla	69
3.2.3.2 Química de las arcillas	70
3.2.3.3 Propiedades de la arcilla.....	72
3.2.3.4 Tipos de arcillas	73
3.2.4 Fotointerpretación	87
3.2.4.1 Geología y geomorfología.....	89
3.3 Definición de términos básicos	96
3.3.1 Correlación.....	96
3.3.2 Similitud.....	99
3.3.3 Ritmicidad	99

3.3.4 Variabilidad lateral.....	100
3.3.5 Marcadores.....	100
3.3.6 Facies	100
3.3.7 Facies sedimentarias	101
3.3.8 Cambios de facies	101
3.3.9 Secciones.....	101
3.3.10 Secciones estratigráficas	102
3.3.11 Secciones estructurales	102
CAPÍTULO IV	104
METODOLOGÍA DEL TRABAJO	104
4.1 Tipo de investigación	104
4.2 Diseño de la investigación.....	105
4.3 Selección del área de estudio.....	107
4.3.1 Recopilación cartográfica y bibliográfica	109
4.3.2 Planificación del trabajo de campo	109
4.3.3 Reconocimiento del área	109
4.3.4 Recolección y toma de muestras	110
4.4 Población de la investigación	111
4.5 Muestra de la investigación.....	111
4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	112
4.6.1 Instrumentos de recolección de datos	112
4.6.1.1 SIGEMAP (Sistema de Generación de Mapas)	113
4.6.1.2 GEOFRAME.....	114
4.6.1.3 GEOFRAME geología	115
4.6.1.4 Surfer 8.....	117
4.7 Identificación de las unidades geológicas correspondientes a la zona del volcán de lodo.....	117
4.7.1 Interpretación litológica	118
4.7.2 Elaboración de secciones estructurales	118
4.7.3 Interpretación de la sísmica 3D.....	121
4.7.3.1 Validación del plano de fallas del cuadrángulo San Joaquín-Guario-El Roble	121
4.8 Explicación la intervención de la industria petrolera en la formación del volcán de San Joaquín	123
4.8.1 Identificación de la arena causante de influjo	123
4.8.2 Estudio de la declinación de presión y producción de yacimientos, modelos de presión.....	124
4.8.2.1 Mapa de presiones	124
4.8.2.2 Mapa de zonas de pérdida de circulación.....	125
4.9 Explicación del origen y la evolución del volcán de lodo	125
4.10 Descripción de la morfología del volcán de lodo y sus inmediaciones.....	125

4.10.1 Toma de medidas en el área de estudio.....	126
4.10.1.1 Cálculo de la pendiente del cono volcánico.....	131
4.10.2 Levantamiento topográfico del área afectada.....	132
4.10.3 Fotointerpretación geológica.....	137
4.11 Determinación de los impactos ambientales a partir de la actividad del volcán de lodo.....	139
4.11.1 Evaluación de la atmósfera cercana al pozo JM-25.....	139
4.11.2 Identificación de los impactos ambientales.....	140
4.12 Determinación de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del flujo contenido en el volcán y las características granulométricas correspondientes al volcán de lodo.....	140
4.12.1 Ensayos de laboratorio.....	140
CÁPITULO V.....	144
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	144
5.1 Identificación de las unidades geológicas correspondientes a la zona del volcán de lodo.....	144
5.1.1 Interpretación litológica.....	148
5.1.2 Secciones estructurales.....	151
5.1.2.1 Secciones estructurales A-A' y B-B'.....	151
5.1.3 Interpretación de las secciones sísmicas 3D.....	151
5.1.3.1 Sección sísmica A-A'.....	152
5.1.3.2 Sección sísmica B-B'.....	153
5.1.4 Modelo estructural.....	157
5.2 Explicar el impacto de las operaciones petroleras en la formación y evolución del volcán.....	157
5.2.1 Pozo JM -25, Campo San Joaquín.....	157
5.2.1.1 Datos del pozo JM-25.....	159
5.2.1.2 Objetivo principal del pozo.....	160
5.2.1.3 Problemas ocurridos durante la perforación.....	160
5.2.1.4 Completación original.....	160
5.2.1.5 Trabajos de reacondicionamiento realizados al pozo.....	161
5.2.1.6 Trabajos de reparación realizados al pozo.....	163
5.2.2 Identificación de la arena causante del influjo del pozo JM-25.....	165
5.2.2.1 Estimación del comportamiento de presión del yacimiento JM-13, arena CO-A1.....	170
5.2.3 Modelo de presión del yacimiento JM-13.....	172
5.2.3.1 Mapas de presión.....	173
5.2.4 Mapa de zonas de pérdida de circulación.....	176
5.3 Explicación del origen y evolución del volcán de lodo.....	178
5.4 Descripción de la morfología del volcán de lodo y sus inmediaciones.....	185

5.5 Determinación de los impactos ambientales a partir de la actividad del volcán de Iodo.....	199
5.5.1 Evaluación de atmósfera alrededor al pozo JM-25.....	199
5.5.2 Identificación de los impactos ambientales	201
5.5.2.1 Impactos al medio físico	201
5.5.2.2 Impactos sobre el medio biológico.....	202
5.5.2.3 Impactos al medio socio – económico	203
5.6 Determinación de las características físico químicas y bacteriológicas del flujo contenido en el volcán así como también las características granulométricas correspondientes del mismo	204
5.6.1 Análisis físico, químico y bacteriológico de agua	204
5.6.1.1 Parámetro físico.....	205
5.6.1.2 Parámetro químico	205
5.6.1.3 Parámetro bacteriológico.....	206
5.6.2 Análisis granulométricos de muestras químicas de suelo	206
5.6.3 Análisis de microfósiles	209
5.6.4 Análisis de las muestras de suelo por difracción de rayos x.....	210
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	212
Conclusiones.....	212
Recomendaciones	213
REFERENCIAS	215
APÉNDICES.....	217

LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1 Ubicación geográfica del complejo San Joaquín (CNPC América Ltd, 1997).	8
2.2 Ubicación satelital de San Joaquín, Edo Anzoátegui (wikimapia, 2012).	10
2.3 Vegetación predominante en el área de San Joaquín.	14
2.5 Sabana Arbolada Del Estado Anzoátegui (Libro rojo de ecosistemas venezolanos).	16
2.6 Vegetación predominante en el área del volcán.	16
2.7 Ubicación espacial y extensión geográfica de la Cuenca Oriental de Venezuela (PDVSA, 2004).	19
2.8 Ubicación de la Cuenca Oriental de Venezuela respecto a las otras Cuencas (PDVSA, 2004).	20
2.9 Corte geológico conceptual Norte-Sur desde el cinturón de deformación del Caribe en Curazao hasta el Río Orinoco (Mendoza, 2001).	21
2.10 Corte Geológico noreste-sureste del flanco norte de la Subcuenca de Maturín (Mendoza, 2001).	22
2.11 Cuenca Oriental de Venezuela (PDVSA-INTEVEP, 1997).	29
2.12 Rasgos estructurales principales de la Cuenca Oriental de Venezuela (PDVSA, 2004).	30
2.13 Ubicación geográfica del área (PDVSA, 2004).	36
2.14 Estructura del Campo San Joaquín (PDVSA, 2000).	38
2.15 Columna estratigráfica del Área Mayor de Anaco.	39
2.16 Cotejo de las Nomenclaturas Tipos de las Arenas de la Formación Oficina entre el Área Mayor de Anaco y el Área Mayor de Oficina del Bajo Corrimiento de Anaco. (PDVSA-GAS, 2010).	43
3.1 Diagrama del área del volcán, muestra del primer flujo expulsado. (Méndez, 1985).	47
3.2 Sección de posible fuga de gas, asociado al pozo JM-25 Méndez, 1985).	48
3.3 Volcán de Lodo de La Esmeralda (Googleimagenes, 2012).	51
3.4 Esquema de un volcán de lodo.	67
3.5 Arcilla del período cuaternario (400.000años) (Googleimagenes, 2012).	68
3.6 Tipos de arcillas.	70
3.7 Partículas de Montmorillonita Idealizada.	74
3.8 Pirofilita Eléctricamente Neutra.	75
3.9 Estructura de la Esméctita.	76
3.10 Sustitución de Al^{3+} por Mg^{2+} causando una partícula cargada negativamente.	77
3.11 Estructura de la Illita.	78
3.12 Estructura de la Clorita.	80

3.13 Estructura de la Caolinita.	81
3.14 Representación gráfica de los colores en las rocas lutíticas (Bates y Jackson, 1980).....	86
4.1 Flujoograma de actividades.....	106
4.2 Entrada al complejo San Joaquín, Anaco (2012).	107
4.3 Localización de la zona de estudio, fisiografía e instalaciones emplazadas (2012).	108
4.4 Recolección y toma de muestras en el área de estudio del volcán de lodo de San Joaquín.	110
4.5 Ventana de entrada a la aplicación SIGEMAP (PDVSA, 2012).....	113
4.6 Ventana de entrada a GEOFRAME (PDVSA, 2012).	114
4.7 Ventana Application Manager (PDVSA, 2012).....	115
4.8 Ventana de aplicaciones de Geology Office (PDVSA, 2012).	116
4.9 Mapa de contornos realizado con Surfer 8 (Golden Software, 2002).	117
4.10 Mallado de correlación, programa GeoFrame (Schlumberger, 2012). El punto rojo representa la ubicación del Volcán de lodo.	120
4.11 Plano de falla del cuadrángulo San Joaquín-Guario El Roble (Departamento de Geofísica, Puerto La Cruz 2012).	122
4.12 Medición con cinta del perímetro del cráter del volcán.	126
4.13 Medición a pasos del perímetro del cráter del volcán de lodo de San Joaquín.	127
4.14 Área medida alrededor del cráter del volcán.	129
4.15 Diferencia de alturas en el interior del cráter del volcán.	130
4.16 Puntos señalados para la realización del levantamiento topográfico del área. ..	134
4.17 Calculo de área a través de la poligonal (2012).	135
4.18 Puntos tomados para realizar la poligonal.....	136
4.19 Imagen satelital del campo San Joaquín, escala 1:25.000 (IGSB, 1992). El recuadro rojo representa el área de estudio.	138
4.20 Tamices y agitador de tamiz empleados en el Laboratorio de Sedimentología (UDO Bolívar, 2012).....	141
4.21 Laboratorio de difracción de rayos x (UCV, 2010).	143
5.1 Actualización del Modelo Estructural de los domos que conforman el Área de San Joaquín y Guario (vista en perfil) Programa GeoFRAME (2012).	145
5.2 Actualización del Modelo Estructural de los domos que conforman el Área de San Joaquín y Guario (vista en planta) Programa GeoFRAME (2012).	146
5.3 Modelo estructural del Área Mayor de Anaco. Programa SIAGMAP (2012). ...	146
5.4. Mapa estructural y sección del área Mayor de Anaco (Young et al 1956; en Murany, 1972). El recuadro señala el área de estudio del presente trabajo.	147
5.5 Litología y casing presente en la perforación del pozo JM-25 (Fuente propia, 2012).	150
5.6 Sección sísmica del campo San Joaquín (PDVSA GAS, 2012).	152
5.7. Sección estructural B-B´.	154
5.8 Sección sísmica A-A´ (PDVSA GAS, 2012).	155

5.9 Sección sísmica B-B´ (PDVSA GAS, 2012).	156
5.10 Mapa estructural del cuadrángulo San Joaquín-El Roble- Guario (Fuente propia, 2012).	158
5.11 Modelo 3D del cuadrángulo San Joaquín-El Roble- Guario (Fuente propia, 2012).....	159
5.12 Esquema mecánico del Pozo JM-25 (PDVSA Gas Anaco, 2012).	164
5.13 Pérdidas de circulación en Domo Central del campo San Joaquín (PDVSA GAS, 2012).....	167
5.14 Influjos en el domo Central del campo San Joaquín (2005).	169
5.15 Mapa Isobárico (Fuente propia, 2012).	175
5.16 Mapa de gradiente de presión (Fuente propia, 2012).....	175
5.17 Mapa de zonas de pérdida de circulación (2012).	177
5.18 Manifestación y evolución del fenómeno (Méndez, 1985).	181
5.19 Orlando Méndez revisando las grietas radiales formadas luego de la cementación. (Méndez, 1976).	183
5.20 Avance del volcán de San Joaquín con respecto al pozo JM-25, 1977 (Méndez, 1977).	184
5.21 Densidad del lodo y sus grietas en época de sequía (Méndez, 1981)	184
5.22 Explosión de burbuja de lodo y gas en el centro del volcán para el año 1987 (Méndez, 1987).	185
5.23 Morfología del volcán de San Joaquín, año 2005 (Méndez, 2005).	186
5.24 Apreciación del descenso de flujo del Volcán de San Joaquín (2012).	188
5.25 Mapa topográfico del volcán de lodo, con expulsión de flujo año 2005 (2012).	191
5.26 Modelo 3D del volcán de lodo de San Joaquín, las flechas indican las zonas más propensas a acumular fluidos del interior hacia la superficie (2005).	193
5.27 Secciones para cálculo de pendiente en mapa topográfico.	194
5.28 Vista en planta y corte E-W del volcán de San Joaquin.	195
5.29 Fotografía satelital del área estudiada, escala 1:50000 (IGSB, 1992).	198
5.30 Presencia de hidrocarburos en el contenido interno del Volcán.	202
5.31 Muerte de la vegetación circundante al pozo JM-25 en la zona de influencia del volcán de lodo.	203
5.32 Muestras de microfósiles pertenecientes a la formación Oficina (Mendez, 1985).....	209
5.33 Análisis de difracción de rayos x de filosilicatos.	211

LISTA DE TABLAS

	Página
2.1 Climograma de San Joaquín Año 1983 (INAMEN Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2012).	11
2.2 Climograma de San Joaquín Año 2001 (INAMEG (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2012).	12
2.3 Características físico-naturales en el área del volcán de lodo.	17
3.1 Clasificación sugerida por Kugler (1965).	65
3.2 Arcillas Encontradas Comúnmente.	82
3.3 Clasificación granulométrica de los materiales contenidos en el subsuelo.	83
3.4 Clasificación de las lutitas según su espesor (Picard, 1971).	85
5.1 Litología presente en el pozo JM-25 durante la perforación en 1944 (PDVSA GAS, 2012).	149
5.2 Arenas contentivas de gas para el año 1976.	162
5.3 RFT corridos en la arena CO-A1, yacimiento JM-13 (PDVSA GAS, 2012). ...	173
5.4 Valores obtenidos en la medición.	190
5.5 Valores de volúmenes de materiales arrojados a superficie por el pozo JM-25 para el año 2004- 2005 (2012).	192
5.6 Resultados del monitoreo de atmósfera (2012).	199
5.7 Análisis de propiedades físico química del agua del volcán de San Joaquín (Centro de Geociencias UDO Bolívar, 2012).	204
5.8 Clasificación granulométrica del Análisis Químico del Suelo del Volcán de San Joaquín (Centro de Geociencias UDO Bolívar, 2012).	207

LISTA DE APÉNDICES

	Página
A POZOS CON PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN (1944-2004).....	218
A.1 Pozos ubicados en el Domo Central que presentaron pérdida de circulación entre los años 1941 hasta 2005 (2012).....	219
B POZOS EN EL DOMO CENTRAL QUE PRESENTARON INFLUJOS (1941- 1995) (2000-2004).....	223
B.1 Pozos ubicados en el Domo Central de San Joaquín que presentaron influjos entre los años 1941 hasta el 2004 (2012).	224
C TABLA CON DATOS DE ÁREA, DISTANCIA Y AZIMUTES PARA LA POLIGONAL.....	225
C.1 Valores de áreas, distancias, rumbos y azimutes (2012).....	226
D GRÁFICOS DE PRESIÓN REFERENTE A INYECCION DE GAS, POZO JM-13 ARENA CO-A1.....	227
D.1 Comportamiento de la presión y producción mensual del yacimiento JM-13, desde 1944 hasta 2005 (PDVSA GAS, 2012).....	228
D.2 Comportamiento de presión y producción acumulada del yacimiento JM-13, desde 1944 hasta 2005 (PDVSA GAS, 2012).....	229
D.3 Declinación de presión del yacimiento JM-13, de acuerdo a la producción acumulada para el periodo 1963-1976 (PDVSA GAS, 2012).....	230
D.4 Ajuste de la presión del yacimiento JM-13, de acuerdo a la producción acumulada para el periodo 1963-1976 (PDVSA GAS, 2012).....	231

LISTA DE ANEXOS

- 1 SECCIÓN SISMICA A-A'
- 2 SECCIÓN SISMICA B-B'
- 3 MAPA ESTRUCTURAL
- 4 MAPA ISOBÁRICO
- 5 MAPA DE GRADIENTE DE PRESIÓN
- 6 MAPA DE PÉRDIDA DE CIRCULACIÓN
- 7 SECCIÓN A-A', PERFIL TOPOGRÁFICO

INTRODUCCIÓN

Un volcán de lodo es una forma menor del relieve, formada por un cráter y un cono volcánico de poca altura y variadas extensiones debido a su escasa pendiente, su origen no es derivado con las verdaderas formaciones volcánicas magnéticas, salvo alguna que otra excepción, sino que se deben a emanaciones de gas relacionados con yacimientos petroleros. Pueden verse en Venezuela, Colombia, en casi todos los países petroleros y en algunos países del sur de Europa (Italia). La mayor concentración de este tipo de volcanes se encuentra en los alrededores del Mar Caspio y en Azerbaiyán.

Estos son creados por la extrusión a la superficie terrestre de materiales compuestos por una mezcla de fases sólidas, líquidas y gaseosas. La importancia de este vulcanismo de lodo radica en que los conductos volcánicos actúan como una vía de transporte de fluidos y materiales profundos a las cuencas sedimentarias además de emitir metano; por lo que esta expulsión de flujo juega un papel importante en el balance global de flujos y elementos químicos.

Además, existen volcanes de lodo y gas, que se han manifestado en el oriente de Venezuela. Son bien conocidos los volcanes de barro de Hervideros, cerca de Maturín, y muchos otros en Delta Amacuro (como el de Isla de Plata y el de Capure por citar algunos) y Anzoátegui. Tomando en cuenta la ubicación de nuestro país, se puede decir que numerosos volcanes de barro o diapiros de lodo están alineados con el sistema estructural de falla transcurrente, el anticlinal en el área de Pedernales y fallas de corrimiento, en dirección oeste, por el estado Monagas hasta cerca de la falla de Úrica.

En el cráter de los volcanes de lodo o en las salidas aisladas de sus cúspides planas existe siempre un charco de agua de lluvia acumulada... esporádicamente se desprenden burbujas de gas. El gas se compone de metano y otros gases... existen también mezclas de H₂S, CO₂ y CO. A intervalos, el desprendimiento de burbujas se intensifica.

La mayor parte de los volcanes de lodos son de forma cónica con diámetros que pueden oscilar entre 10 hasta cientos de metros. La altura de los conos pueden alcanzar hasta 100 metros, el tamaño de estos pueden depender del grado de movilización de fluidos y materiales del subsuelo.

El diapirismo de lodo se forma cuando los estratos o capas de rocas son levantadas por un tapón de lodo de menor densidad, moviéndose hasta arriba por la alta presión. Este material se deforma más fácilmente que las rocas que la confinan, por efecto de la presión y la temperatura, puede ascender como un cuerpo intrusivo acompañado de gases, atravesando por medio de fisuras y levantando los estratos que lo cubren. De esta forma se producen domos casi circulares vistos desde planta, cuando el lodo sale a la superficie, se produce un cambio abrupto en el terreno o deformación, en el consecuente flujo de material y la liberación de gases que posiblemente puede ser metano.

Y es así como, de repente, en 1976, surge un fenómeno de lodo y gas, con pretensiones de grandeza y personalidad propia, que es el volcán de San Joaquín y que, después de un espabilar geológico de 36 años continúa con vida. El volcán de lodo de San Joaquín se encuentra en el campo del mismo nombre, el cual está situado en la región central del Estado Anzoátegui, a unos 15 km al suroeste de Anaco, siguiendo la carretera que conduce a las poblaciones de San Joaquín y Santa Ana. Su origen, dimensiones y características geológicas y evolución, hacen de él un caso único en el país. “El volcán de lodo de San Joaquín es el resultado, en términos

geológicos, de las condiciones estructurales y estratigráficas de un área con abundantes yacimientos de gas, tanto cercanos a la superficie como a gran profundidad”

La presente investigación se estructura en cinco capítulos. En el capítulo I se presentan el planteamiento del problema, los objetivos, justificación y alcances del estudio. El capítulo II corresponde a las generalidades, enmarcado al volcán de lodo de San Joaquín del campo San Joaquín en Anaco. El marco teórico se muestra en el capítulo III. La metodología empleada para el desarrollo de la investigación se desarrolla en el capítulo IV. El capítulo V se destinó a la presentación y análisis de los resultados obtenidos en cada una de las etapas de la metodología aplicada. Por último, se presentaran las conclusiones y recomendaciones generadas del análisis de los resultados como consecuencia final del estudio.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Planteamiento del problema

El campo San Joaquín fue descubierto en el año 1934, como resultado del estudio de fotografías aéreas y reconocimientos geológicos de superficie. Luego de estos estudios se procedió a realizar levantamientos sismográficos de reflexión (usando cargas de dinamita). El pozo descubridor del campo, el JMN-1 fue perforado en el año 1938 por la Creole Petroleum Corporation.

El campo San Joaquín forma parte de una serie de domos o estructuras dómicas con rumbo N 50° E y N 60° E respectivamente, donde se presentan acumulaciones de petróleo y gas, esta serie de domos están erosionados en sus crestas, permitiendo el afloramiento del Miembro Blanco de la Formación Oficina.

Herberg, Hunkhouser y Saas, geólogos pioneros del campo reportaron la existencia de dos volcanes de lodo a 4 kms del pueblo de San Joaquín en el año 1947, cuando se hacían los levantamientos sismográficos en la zona.

Debido a la presencia de gas en los estratos superiores, siempre se han presentado problemas durante la perforación de los pozos, tales como pérdida de lodo de circulación y emanaciones de gas, citando por ejemplo al pozo JM-25. En San Joaquín sucedía un proceso reactivo de fallas radiales, las cuales permiten la migración de gas a través de las arcillas fracturadas y estratos mojados llevando consigo lodo. Esta combinación al llegar a superficie forma una especie de cráter formándose así los volcanes de lodo reportado

Los volcanes de lodo o “Mud Volcano” son muy comunes en Birmania, El Mar Caspio y Azerbaiyán, y su erupción periódica o continua, depende de la presión de gas y de los obstáculos que atraviese.

Para el año de 1976 se produjo un agrietamiento repentino alrededor del pozo JM-25, ubicado en el campo San Joaquín, permitiendo que ocurriera la migración sin control de gas, petróleo, agua y arcilla a la superficie, generando una acumulación considerable de materiales alrededor del pozo, dichas acumulaciones tomaron forma de una fosa, llena de lodo, quedando sepultado totalmente el cabezal del pozo. Este evento no se pudo controlar a tiempo. A partir de ese momento el volcán de lodo de San Joaquín fue aumentando de tamaño, altura y diámetro en la medida que el gas expulsado lo hacía en forma más libre sobre el lodo...

En Venezuela el estudio de este tipo de fenómenos es escaso, el estudio del volcán presente en San Joaquín está datado en el año 1985 por el geólogo Orlando Méndez, por lo que surge la necesidad de continuar la investigación; el propósito del proyecto consistirá en la obtención de datos geológicos que abarca el estudio estructural, la evolución geomorfológica, el estudio de la perforación petrolera, que permitan analizar la génesis del volcán, efectos topográficos y estructurales, así como los sedimentos encajantes y los daños colaterales causados al ambiente, permitiendo interpretar, comparar, y evaluar el área en forma geológica, estructural, morfológica y ambiental logrando así identificar la actual condición del mismo. Se pretende progresar en el conocimiento científico de la naturaleza de dicho fenómeno, se determinarán los parámetros fisicoquímicos del medio sedimentario y diagenético, también establecer los episodios de actividad volcánica actual.

1.2 Objetivo de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Estudiar geológicamente al volcán de lodo San Joaquín; procesos vulcano sedimentario presentes en el área Mayor de Anaco, Campo San Joaquín, Distrito Gas Anaco, Estado Anzoátegui (1976-2012).

1.2.2 Objetivos específicos

1. Identificar las unidades geológicas correspondientes a la zona del volcán de lodo.
2. Explicar el impacto de las operaciones petroleras en la formación y evolución del volcán.
3. Explicar el origen y la evolución del volcán de lodo.
4. Describir la morfología del volcán de lodo y sus inmediaciones.
5. Determinar las implicaciones ambientales a partir de la actividad del volcán de lodo.
6. Determinar las características fisicoquímicas y bacteriológicas del flujo contenido en el volcán y las características granulométricas correspondientes al volcán de lodo.

1.3 Justificación de la investigación

Este trabajo se realiza con la finalidad de obtener un estudio detallado del volcán de lodo de San Joaquín; cuyo estado ha permanecido sin control desde el año 1976, cuando comenzaron fuertes emanaciones de gas en el pozo y en sus alrededores, generando así la formación de un volcán. Se plantea indagar la génesis del volcán de lodo de San Joaquín, ya que originalmente existían dos percepciones (una de origen natural, y provocada por actividad petrolera) en el origen del mismo; su evolución y las posibles implicaciones ambientales producto de la emanación de gases y de la constante actividad petrolera presente en la zona.

1.4 Limitaciones

La dificultad de obtener información referente al área en estudio, la información operacional en el área de San Joaquín es muy antigua y clasificada, no disponible su acceso al público.

1.5 Alcances de la investigación

Obtener un estudio detallado de las condiciones geológicas- geomorfológicas y el efecto de las operaciones petroleras en el origen del volcán de lodo de San Joaquín, una posible estimación del margen de vida del mismo, en vista de que continua emanando gases, incluyendo la posibilidad de manifestación de otro volcán, debido a la intensa actividad petrolera que se mantiene en el campo San Joaquín, Anaco. Este estudio abarca la evaluación geológica del área, evaluación geomorfológica, efectos topográficos y estructurales y la determinación de contaminación ambiental producto de emanaciones de hidrocarburos (gas y petróleo); proporcionando datos que sirvan de base a proyectos futuros, enfocados a este tipo de estudios.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación geográfica del área de estudio

El volcán de lodo de San Joaquín se encuentra en el campo San Joaquín, situado en la región central del Estado Anzoátegui, a unos 15 kilómetros al suroeste de Anaco, en las coordenadas geográficas.: N 9° 21' 41"y W 64° 32'04", su acceso es por la autopista Cantaura- Anaco, vía Santa Ana Estado Anzoátegui, Venezuela (Figura 2.1)

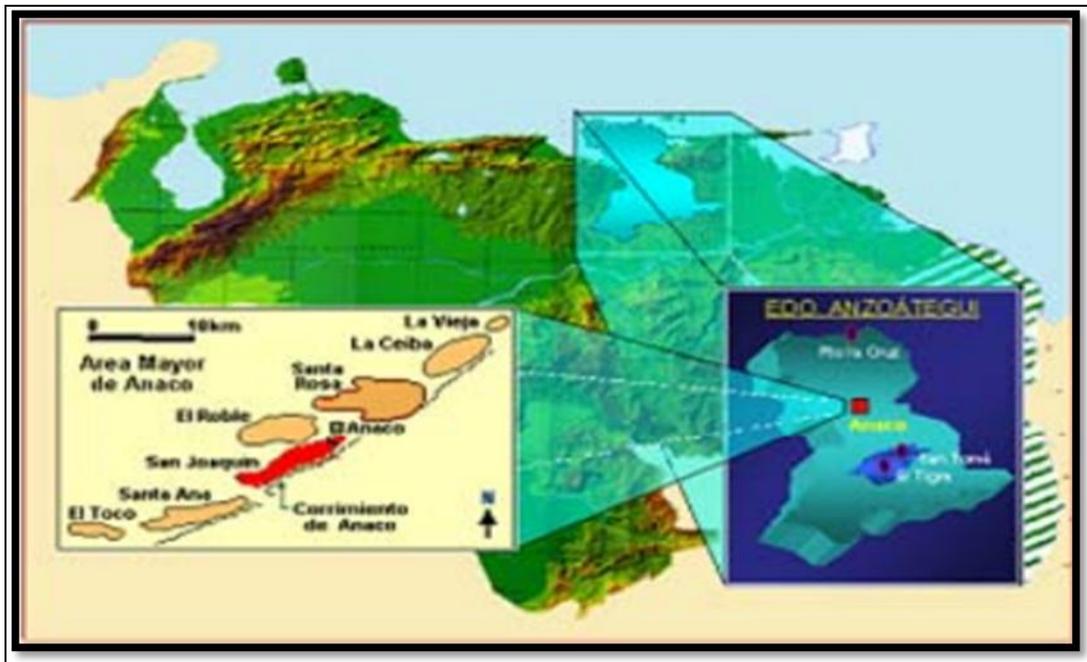


Figura 2.1 Ubicación geográfica del complejo San Joaquín (CNPC América Ltd, 1997).

2.2 Aspectos socio-económicos

Anaco, ciudad de Venezuela situada en el estado Anzoátegui, capital del municipio de Anaco. Está localizada a 220 m de altitud, en una mesa que se extiende por Los Llanos altos orientales. Constituye un punto nodal de la carretera que une Puerto La Cruz con El Tigre y Ciudad Bolívar y las de Maturín y Aragua de Barcelona. Nace como campamento al lado del cual se formó la ciudad, dándole auge a la ciudad, por la explotación petrolera, a la que apoya con su industria de suministros diversos, servicios y comercio. Es centro de distribución de petróleo y gas natural, siendo cabecera de la Nueva Red Nacional de Gas.

La presencia de las empresas petroleras y de servicios ligadas a ellas, estimuló la construcción y dio lugar a la existencia de una fuerza de trabajo de un relativo alto nivel de ingreso, por ende, de una cierta capacidad de gasto, que permitió el desarrollo indirecto de otras actividades. Estos hechos determinaron que Anaco se convirtiera rápidamente en un centro densamente poblado donde, por encima de la actividad petrolera, sobresale el dinámico desarrollo del comercio y los servicios a la población. La principal industria del área de Anaco es la explotación gasífera, se le conoce como el corazón gasífero de Venezuela y uno de los más importantes del hemisferio. La principal empresa que explota dicho hidrocarburo es Petróleos de Venezuela (PDVSA)

Dentro de esta zona se encuentra la población de San Joaquín, Municipio Anaco. Tiene 7500 habitantes aproximadamente. La principal actividad económica de este pueblo es la derivada de la industria del petróleo y del gas. Esta zona pertenece a “la subcuenca petrolífera de Maturín que abarca el oriente venezolano, los resultados satisfactorios de las perforaciones de 1937 en Santa Ana demostraron como la subcuenca comprendía también las tierras de Anzoátegui (PDVSA GAS. 1998).

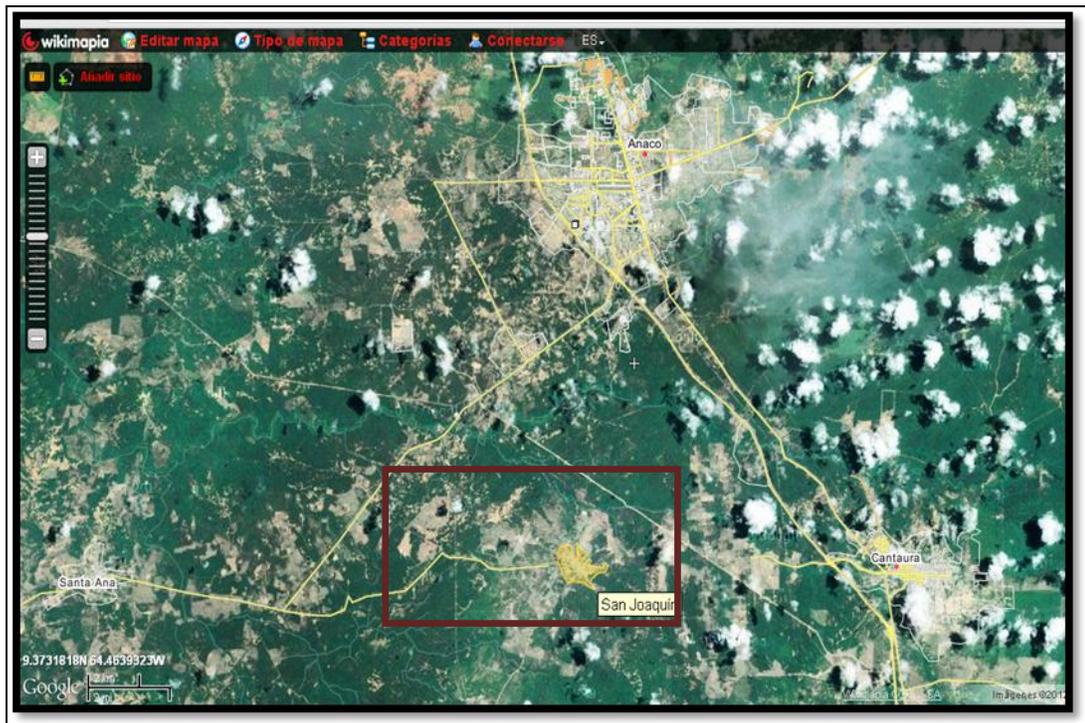


Figura 2.2 Ubicación satelital de San Joaquín, Edo Anzoátegui (wikimapia, 2012).

2.3 Características físico-naturales del área de estudio

2.3.1 Clima

Una alta temperatura, entre los 25 y 31 °C, caracteriza a la entidad en sus sectores más bajos. La franja del Norte es semi-árida, con excepción de la serranía de Bergantín, colindante con el Estado Sucre, cuyo clima presenta un período de lluvias prolongado y un corto período de sequía. En el Sur, sobrepasando un área de transición, el clima dominante es de sabana, con dos períodos bien marcados. El nivel de las precipitaciones fluctúa entre los 530 y 1400 mm. al año.

Tabla 2.1 Climograma de San Joaquín Año 1983 (INAMEN Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2012).

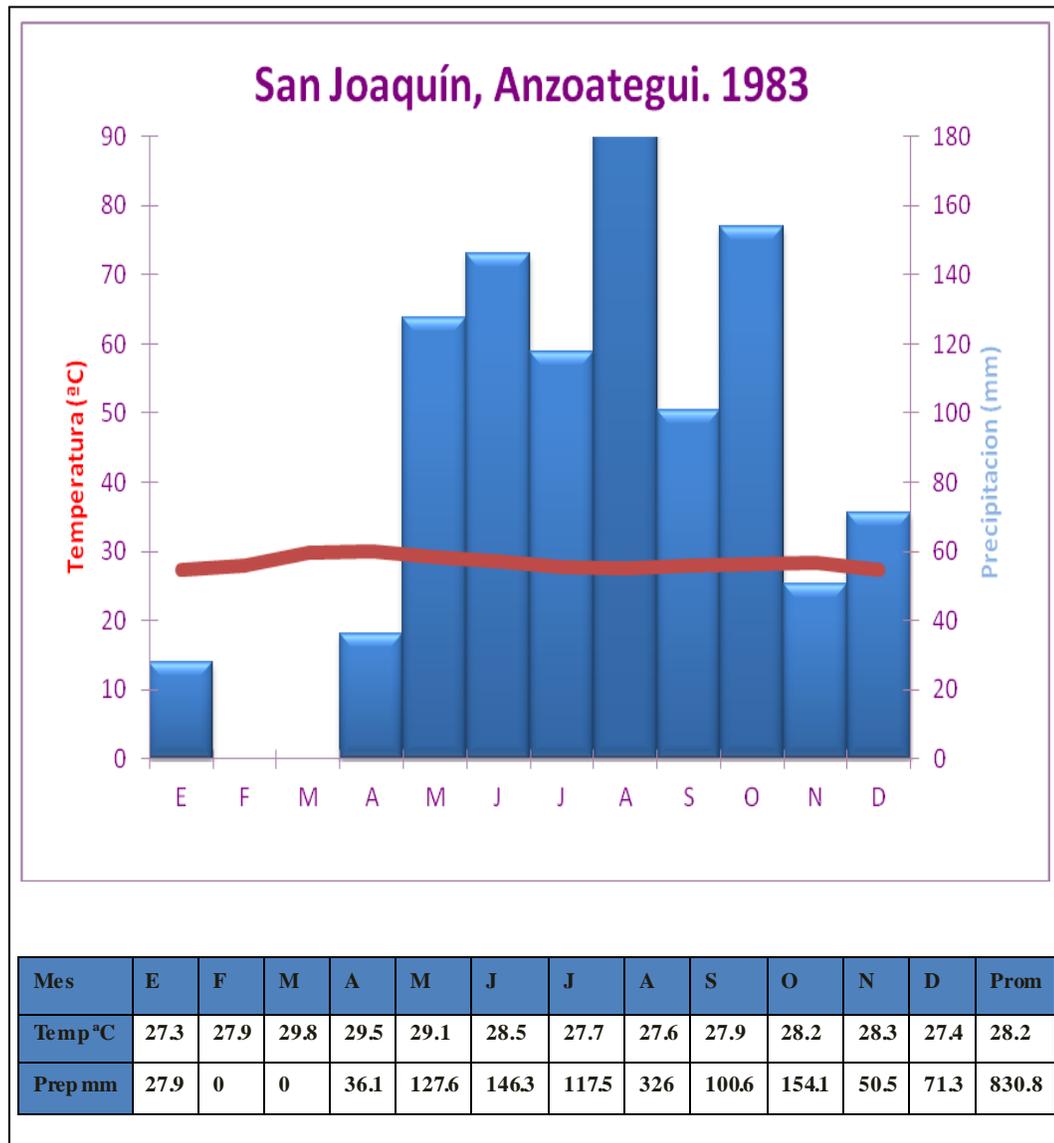
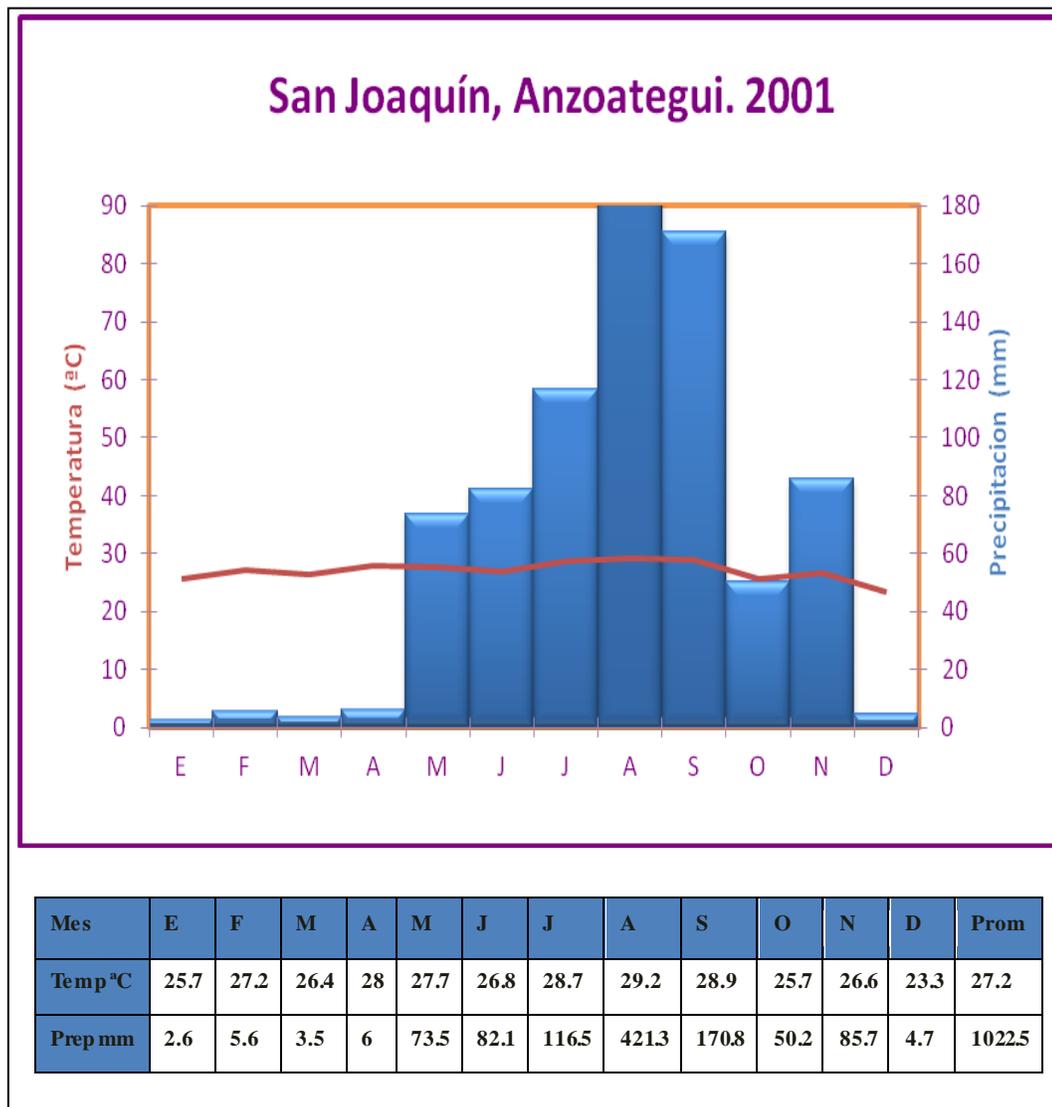


Tabla 2.2 Climograma de San Joaquín Año 2001 (INAMEG (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2012).



En los Llanos Orientales domina el clima tropical lluvioso de sabana y estación seca rigurosa, mientras que en la estación de lluvias se registran precipitaciones de alrededor de 1.000 mm. En promedio y una alta temperatura media anual que llega a los 32C°. Las precipitaciones superiores se alcanzan en la ribera del Orinoco, alcanzando en algunas áreas 1.600 mm. de lluvia al año. (INAMEG, 2012).

2.3.2 Hidrografía

Los domos asimétricos presentes en el área de estudio controlan el drenaje del área, la evidencia superficial de estos domos (Norte y Sur) puede observarse en el diseño del drenaje del área, donde los ríos Guarío y Aragua cambian sus cursos y fluyen alrededor de las crestas. (Méndez, 1985).

2.3.3 Suelos

La Formación Oficina contiene las arenas de mayor producción en el área de Anaco y presenta un notable incremento en su espesor desde el Sur hacia el Norte y desde el Este hacia el Oeste, lo que da indicio del aporte desde Nor-Oeste, profundizando la cuenca al Sur Este. Se caracteriza por la presencia de lechos intercalados de areniscas cuyo color varía de gris a crema claro, con lutitas grises, lignitos, delgadas intercalaciones calcáreas y arcillas verdes en menor cantidad. En la parte del área se puede observar que esta aflorante la formación Oficina, específicamente el Miembro Blanco; compuesto de arenas poco consolidadas color verdoso y marrón claro, limos y arcillas plásticas.

2.3.4 Geología

Los estratos pertenecientes a esta área son de origen reciente, de las eras Terciaria y Cuaternaria. Del Mioceno Inferior y Medio, la formación Oficina está presente en el subsuelo de todo el flanco Sur de los Estados Anzoátegui y Monagas. Su litología característica consiste en una alternancia monótona de arenas y lutitas con abundantes lignitos de muy poco espesor, pero de gran extensión lateral. Individualmente, las areniscas son lenticulares, pero los paquetes de areniscas se extienden a grandes distancias, facilitando la correlación a través de la cuenca. El ambiente de sedimentación corresponde a un complejo fluvio-deltaico de grandes

dimensiones, donde son comunes las arenas lenticulares y de relleno de canales de ríos

2.3.5 Geomorfología

En el área central de Anzoátegui, las Formaciones Oficina y Freites afloran en las crestas erosionadas de los domos de Santa Ana, San Joaquín y Guarío. La Formación Mesa disminuye de altitud hacia el Estado Delta Amacuro, pasando gradualmente de sabana a caños de marea y de éstos a una planicie fluvial fragmentada y cenagosa. La parte baja del Delta del Orinoco es una planicie extensamente inundada que pasa a planicies fangosas hasta llegar a la Costa Atlántica

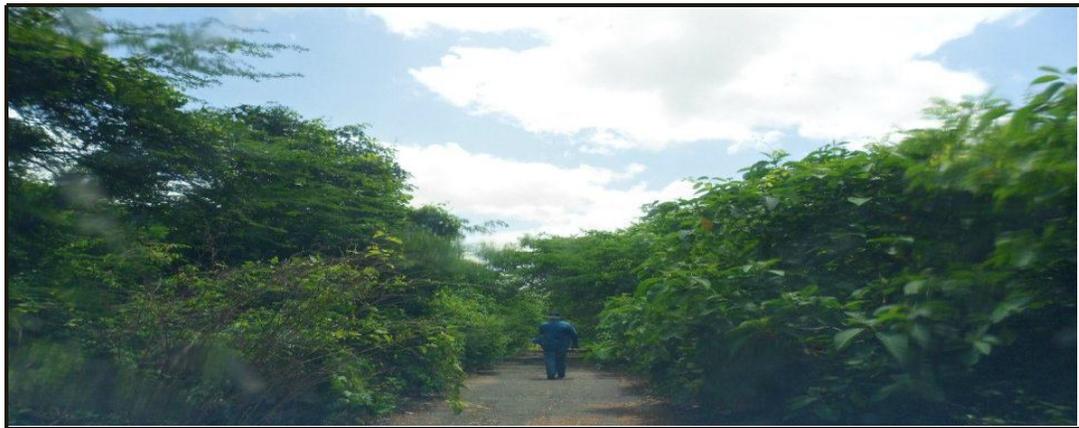


Figura 2.3 Vegetación predominante en el área de San Joaquín.

En el campo San Joaquín, específicamente en el área donde está el volcán de San Joaquín se observa un cambio abrupto en el relieve. (Figura 2.4); donde se desarrolla un área abierta y sin vegetación, provocado por las arcillas provenientes de los flujos de barro, este flujo sepulta la vegetación.



Figura 2.4 Rasgos geomorfológicos en el área del Volcán de lodo.

Higgins y Saunders (1973) consideran que la palabra “TASSIK” puede ser aplicada como un término descriptivo para designar aéreas abiertas asociada con los volcanes de barro en zonas selváticas y de sabanas. El término “TASSIK” fue usado por primera vez por Heim (1940) en su descripción del diapirismo activo en las islas Molucas (océano Pacífico), donde este autor utilizó el vocablo indígena para asignar tal característica asociada con los volcanes de lodo.

2.3.6 Vegetación

La vegetación del estado Anzoátegui es la típica intertropical. Se encuentra determinada, en gran medida, por altitud, clima y tipo de suelo, donde se alternan zonas de matorrales especies xerófilas de pequeña talla; y una vegetación herbácea y arbolada en las áreas de transición. Esto incluye variedades resistentes o adaptadas al ambiente como el araguaney, la ceiba, el cereipo o árbol de olor (árbol emblemático del estado) y otras especies (Figura 2.5).



Figura 2.5 Sabana Arbolada Del Estado Anzoátegui (Libro rojo de ecosistemas venezolanos).

Pero se observa un cambio de vegetación en el área donde se encuentra el volcán de San Joaquín. La zona del volcán se caracteriza en la entrada por una vegetación de sabana luego avanzando hacia el volcán la vegetación es distinta, hay muchos arbustos (cujíes, mayas, cardones, entre otros); esta mezcla de vegetación se debe a una relación geobotánica debido a una flora muy característica presente en este volcán de lodo (Figura 2.6).



Figura 2.6 Vegetación predominante en el área del volcán.

Algunos tipos de plantas encontradas dentro del área son típicas del clima tropical xerofito, debido a una flora característica dominante dentro del área como por ejemplo los cardones, y los cujíes, cuya clasificación fue realizada por Rodríguez y Suarez (2008).

2.3.7 Fauna

En las sabanas y mesas del centro del estado, habita una fauna asociada tradicionalmente con los llanos occidentales tales como cachicamos, venados, conejos, culebras como mapanare, iguanas y matos, alberga una gran variedad de aves como alcaravanes y loros; así como mamíferos que se refugian en la sabana, entre los que se destacan La lapa, el oso hormiguero y el cuspon o cachicamo gigante.

La descripción de las características físicos - naturales presentes en la zona de estudio se muestran en forma resumida a continuación en la Tabla 2.3

Tabla 2.3 Características físico-naturales en el área del volcán de lodo.

TOPICO	DESCRIPCIÓN
Precipitación Promedio Anual (mm)	758,4
Evaporación Promedio Anual (mm)	2463,9
Temperatura Promedio Anual (°C)	26,5
Hidrología	La zona se encuentra enmarcada en el sector Sureste de la cuenca del río Unare, sub-cuenca del río Güere, microcuenca del río Aragua. Los principales afluentes del río Aragua son hacia su margen derecha los ríos Guarío y Anaco y hacia su margen izquierda el río Orocopiche.
Geomorfología	El área de estudio se caracteriza por presentar geformas más o menos uniformes, caracterizadas por la presencia de una planicie interceptada por valles. A nivel de sub-paisaje

Continuación tabla 2.3 Características físico-naturales en el área del volcán de lodo.

	predomina la llanura de explayamiento con relieves ondulados con desniveles ligeros entre el fondo y la cresta, denominados a nivel de forma como Lomas.
Suelo	Predominan suelos pocos evolucionados, superficiales a moderadamente profundos, texturas finas, moderada fertilidad que los hace limitados en su aptitud.
Vegetación	Predominan tres formaciones vegetales básicas, las cuales están representadas por: Bosque de galería, sabana y matorral. Básicamente estas formaciones han sido subdivididas de acuerdo a la estructura y niveles de cobertura en: Bosques bajos medios, Bosques bajos densos, Matorrales densos, Matorrales medios y Matorrales ralos.
Fauna	La fauna es propia de la geografía típica de los llanos orientales venezolanos, agrupan una variada gama de especie de la fauna silvestre, quienes habitan los distintos ecótonos que ofrecen los bosques, matorrales y sabanas.

2.4. Geología regional

2.4.1 Cuenca Oriental de Venezuela

Está localizada al Noreste entre los 8° y 11° de latitud Norte y los 61° y 66° de longitud Oeste.

La cuenca limita al Sur con el Escudo Precámbrico Guayanés, el Arco de El Baúl al Oeste, hacia el Este la cuenca continua por debajo del Golfo de Paria, incluyendo la parte situada al Sur de la Cordillera Septentrional de la Isla de Trinidad

y se hunde en el Atlántico, y al Norte con la Cordillera de la Costa y los Cinturones Ígneos y Metamórficos de Araya-Paria (Figura 2.7).

La Cuenca Oriental de Venezuela, se profundiza sobre la Plataforma Deltana y el Sur de Trinidad. González de Juana (1980) le asigna en Venezuela una longitud aproximada de 800 km. en sentido Oeste-Este, una anchura promedio de 200 km. de Norte a Sur y un área aproximada de 165.000 km², en tanto que su área total en tierra y costa afuera es de cerca de 200.000 km². Representa la segunda Cuenca petrolífera más importante del país (Figura 2.8).

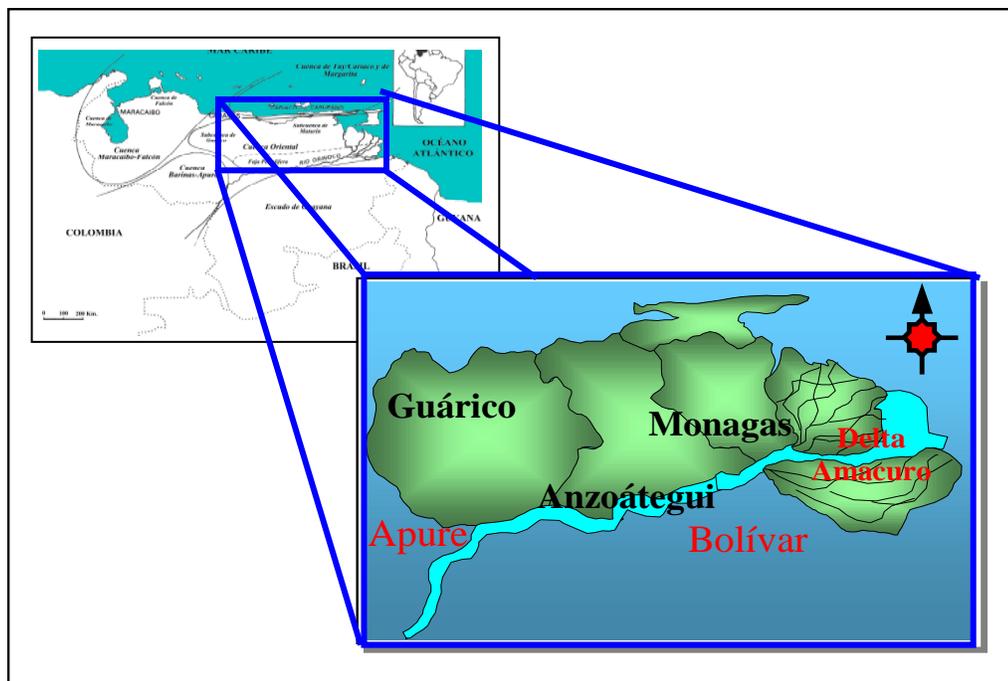


Figura 2.7 Ubicación espacial y extensión geográfica de la Cuenca Oriental de Venezuela (PDVSA, 2004).

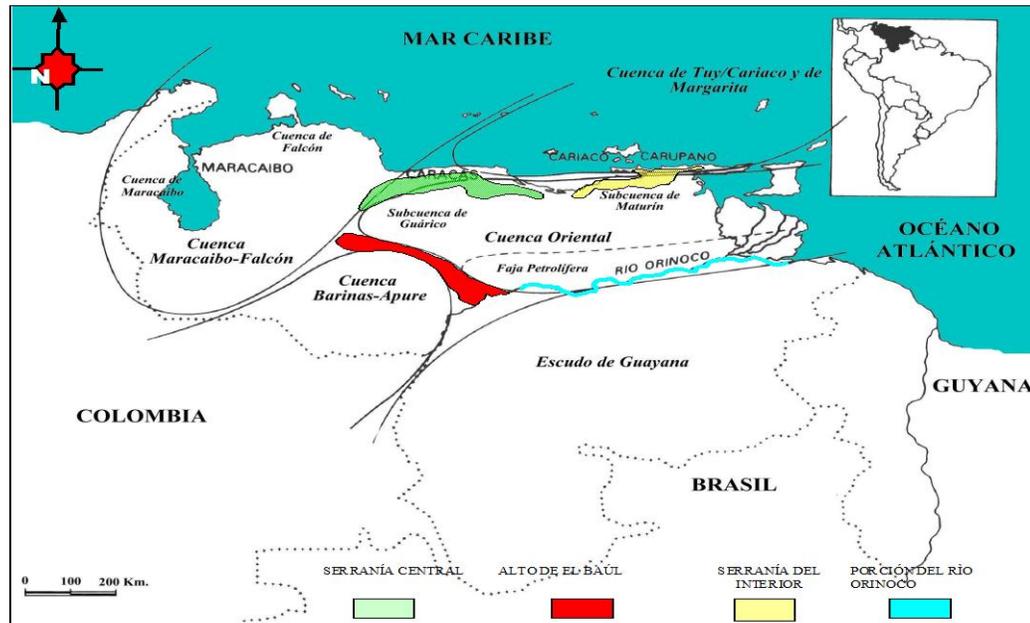


Figura 2.8 Ubicación de la Cuenca Oriental de Venezuela respecto a las otras Cuencas (PDVSA, 2004).

Estructuralmente y estratigráficamente es una cuenca, que contiene la acumulación de hidrocarburos más grande del mundo, donde se cuenta con numerosas reservas de petróleo y gas, debido a la amplia deposición de sedimentos durante el Cretácico, a los múltiples espesores reservorios de areniscas y a la amplia deformación estructural.

2.4.1.1 Límites de la cuenca

Limita al Norte con la línea que demarca el piedemonte de la Serranía del Interior Central y Oriental (cinturón móvil, plegado y fallado), los cinturones ígneo-metamórficos de la Cordillera de La Costa/Villa de Cura y de Araya/Paría y la Falla de El Pilar que la separa del Caribe; al Sur con el curso del río Orinoco, desde la desembocadura del río Arauca, hacia el Este de Boca Grande, siguiendo aproximadamente el borde septentrional del Cratón de Guayana, al Este continúa por

debajo del Golfo de Paria, abarcando la parte ubicada al Sur de la Cordillera Septentrional de la Isla de Trinidad y se hunde en el Atlántico Ecuatorial al Oeste de la costa del Delta del Orinoco; y hacia el Oeste con el levantamiento o Arco de El Baúl y su conexión estructural con el Cratón, el cual sigue aproximadamente el curso de los ríos Portuguesa y Pao. Basándose en las características sedimentológicas, tectónicas y estratigráficas la Cuenca Orienta de Venezuela se subdivide en dos subcuencas, como lo son:

1. Subcuenca de Guárico (al Oeste), y
2. Subcuenca de Maturín (al Este)

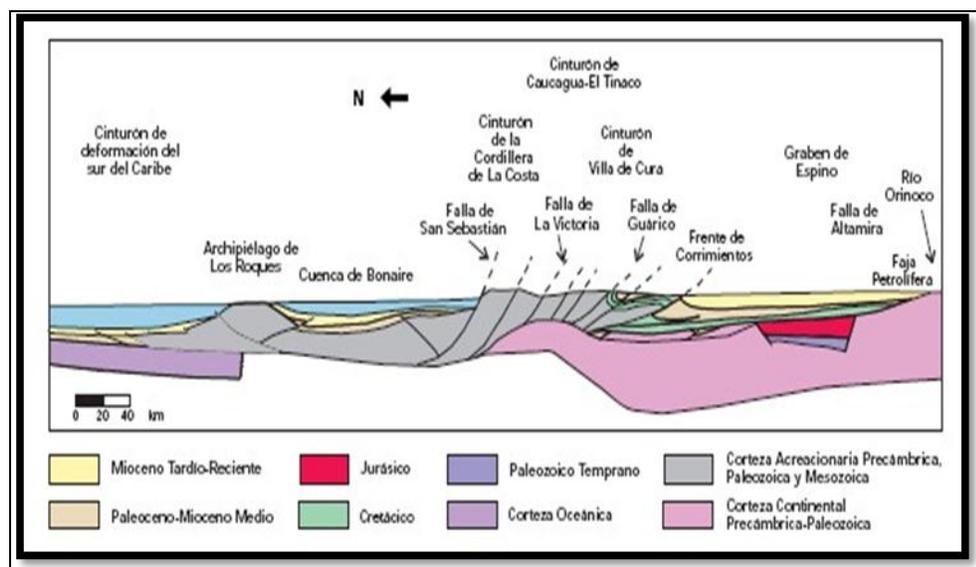


Figura 2.9 Corte geológico conceptual Norte-Sur desde el cinturón de deformación del Caribe en Curazao hasta el Río Orinoco (Mendoza, 2001).

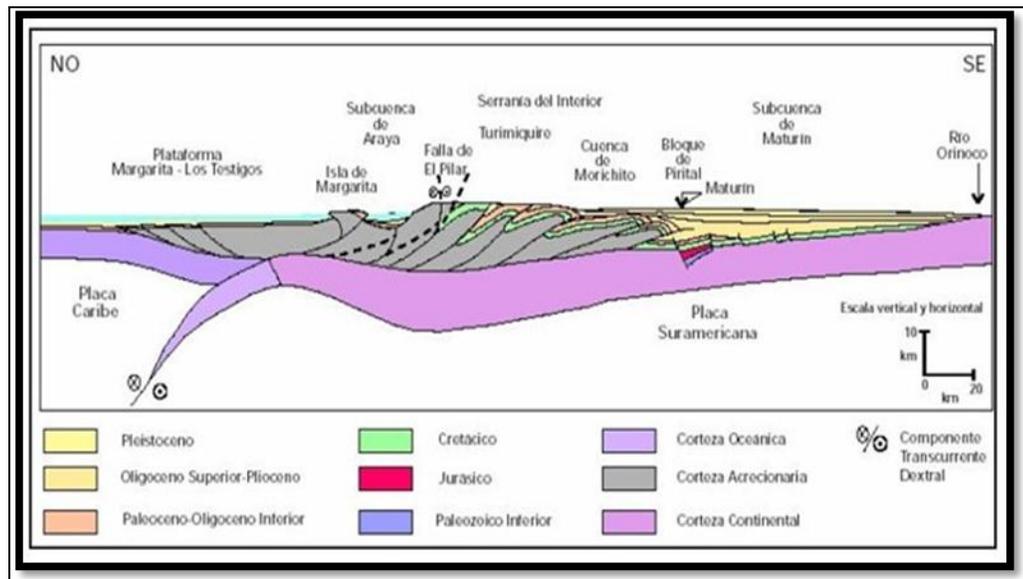


Figura 2.10 Corte Geológico noreste-sureste del flanco norte de la Subcuenca de Maturín (Mendoza, 2001).

Las dos Subcuenca, localizadas al Noreste de Venezuela, son de tipo “FORELAND”; y están separadas por unos anticlinales en superficie, y en el subsuelo por el sistema de fallas de Anaco y sus estructuras inversas asociadas. (Figura 2.7 y Figura 2.8).

El límite que separa la Subcuenca de Guárico de la de Subcuenca Maturín es el Arco de Úrica, el cual estuvo intermitentemente activo durante el Mioceno-Holoceno Sin embargo, James (2000, p. 142) sostiene que ambas subcuencas están separadas por la falla o Corrimiento de Anaco-Altamira, debido a la considerable actividad sedimentaria de ésta, que permite considerar suplantarse la falla de Úrica.

La cuenca posee más de 20000 pies de sedimentos Paleozoicos, Cretácicos y Terciarios, localizados entre las cadenas montañosas Terciarias situadas al Norte y el Escudo Guayanés emplazado al Sur. La cuenca actual es asimétrica; su flanco Sur presenta una ligera inclinación hacia el Norte, hasta que es interceptado por una zona

de complejos cambios tectónicos y plegamientos (mayores buzamientos), que constituyen el flanco Norte.

Este último se encuentra conectado a la zona plegada y fallada que constituye el flanco meridional de las cordilleras que limitan la cuenca en su parte Norte. Toda la cuenca se inclina hacia el Este, de manera tal que la parte más profunda se encuentra al Noreste, hacia Trinidad, donde se estima que pudieron acumularse unos 40000 pies de sedimentos.

En Venezuela se ha obtenido producción de petróleo de ambos flancos de la cuenca, bajo condiciones estratigráficas y estructurales diferentes.

En el flanco Sur, los yacimientos petrolíferos se encuentran generalmente al Norte de las fallas. El entrampamiento es el resultado de los siguientes mecanismos estructurales-estratigráficos:

1. Una falla normal al Sur.
2. Buzamiento regional hacia el Noreste.
3. Acuñaamiento arenoso lateral.

Sánchez (1990), dividió la Cuenca Oriental de Venezuela en varias subregiones o áreas principales productoras de petróleo, desde el punto de vista operacional, y diferenciadas entre sí ya sea por el tipo de acumulación o por las características geológicas, ellas son:

1. Área Mayor de Oficina.

2. Norte de Anzoátegui: Área de Guaribe-Chaparro en el extremo Noroccidental.
3. Área Mayor de Anaco al Sur, y el Área de Úrica al este.
4. Área Centro de Anzoátegui y Monagas.
5. Área Norte de Monagas: Quiriquire, Jusepín, Santa Bárbara.
6. Área de Guárico.
7. Área Mayor de Temblador.
8. Pedernales (Delta).
9. Faja Petrolífera del Orinoco.

2.4.1.2 Evolución estructural de la Cuenca Oriental de Venezuela

En la parte septentrional de la Cuenca Oriental de Venezuela, al Norte del Corrimiento de Anaco y al Oeste de la Falla de Úrica, se encuentra un área extensa caracterizada estructuralmente por domos y braquianticlinales fallados, varios de los cuales han demostrado la presencia de acumulación de hidrocarburos.

Han sido agrupados como la subregión Norte de Anzoátegui. Comprende el Área Guaribe - Chaparro en el extremo Noroccidental, el Área Mayor Anaco al Sur, y el Área de Úrica al Este.

La historia tectónica del Norte de Anzoátegui presenta una sucesión de largos lapsos extensivos y de períodos cortos compresivos desde el Oligoceno hasta el Cuaternario.

Una primera compresión se observa principalmente en Quiamare y Cerro Pelado, entre el Mioceno inferior y la base del Mioceno Medio, debajo del tope del Miembro Verde de la Formación Oficina. Una segunda compresión que levantó la Serranía del Interior durante el Mioceno medio a superior, originó en el Norte de Anzoátegui la elevación, pliegues y fallamiento de las rocas anteriores.

Las antiguas fallas de crecimiento (evidenciadas en Cerro Pelado y Anaco, desde el tope del Cretáceo hasta el tope del Miembro Naranja de la Formación Oficina) evolucionaron a fallas inversas, y la Falla de Úrica se comporta como una falla transpresiva.

El fallamiento de Úrica, de rumbo Noroeste es una amplia zona de dislocación de más de 10 Km. de ancho que se extiende por 400 Km. desde el Sur de Barcelona hasta las cercanías de Tucupita. La zona de falla de Úrica actuó en el Norte de Anzoátegui como una fractura transpresiva dextral, separando dos bloques entre el Mioceno Medio y Superior y el Plioceno con características estructurales diferentes.

El sector oriental se caracteriza por pliegues volcados y sobre corrimientos hacia el Sur. La zona occidental no presenta verdaderos corrimientos, sino pliegues amplios afectados por fallas de rumbo, subparalelas a la zona de falla de Úrica y con un movimiento dextral.

2.4.1.3 Historia de la evolución tectónica y sedimentaria

Las acumulaciones petrolíferas en la Cuenca Oriental de Venezuela pudieran considerarse como un evento correspondiente al Terciario, sin embargo, resulta interesante conocer los distintos eventos por los cuales ha evolucionado.

Desde el Paleozoico la Cuenca estuvo apoyada sobre el borde estable del Cratón de Guayana. Suaves movimientos de levantamientos y hundimientos de este borde dieron lugar a las transgresiones y regresiones.

La historia de la Cuenca Oriental de Venezuela, se sitúa en el Devónico–Carbonífero, hace unos 350 millones de años, se reconocen tres grandes ciclos, el primero corresponde al Paleozoico Medio-Superior; el segundo comienza durante el Cretácico Medio y se hace regresivo durante el Terciario Inferior y el tercero se desarrolló durante el Terciario Superior y fue definitivo para la configuración de la Cuenca petrolífera en el estado actual.

2.4.1.4 Esquema del proceso evolutivo

1. Devónico-Carbonífero (350-250 m.a.): sedimentación de las Formaciones Carrizal y Hato Viejo en una depresión pericratónica situada en el borde septentrional del Cratón de Guayana. Ambas formaciones se consideran transicionales. Posible sedimentación en planicies costeras mal conocidas y aparatos deltaicos conexos.

2. Orogénesis Herciniana o evento Tecto-Termal Permo-Triásico (250-200 m.a.): levantamiento vertical del borde cratónico y retirada general de los mares hacia el Norte. Comienzo de un largo período de erosión. No se conoce actividad tectónica compresiva en la Cuenca de Venezuela propiamente dicha.

3. Triásico-Jurásico (220-160 m.a.): actividad volcánica en el Macizo del Baúl, límite Occidental de la cuenca. Período de erosión sobre la mayor parte de la cuenca.

4. Barremiense-Aptiense-Albiense (120-115 m.a.): inicio de la transgresión Cretácea dirigida de Norte a Sur y desarrollada sobre la penillanura precretácica. La transgresión es típicamente oscilante y alcanzan gran amplitud, pero en todo caso se conservan ambientes más marinos hacia el Norte y más continentales hacia el Sur.

5. Cenomaniense-Conianense (100-85 m.a.): máxima cobertura marina y desarrollo de ambientes euxínicos en el Norte (Formación Querecual) Hacia el Sur se extienden ambientes marinos costeros, gradualmente más terrígenos hacia el extremo Sur; más al Norte y Noroeste se encuentra la Formación El Tigre, la cual presenta calizas fosilíferas (Miembro Infante)

6. Santiense-Maestrichtiense (85-65 m.a.): sedimentación de lutitas marinas, algunas arenas finas e intervalos de fánitas silíceas al Norte (Formación San Antonio) En la región Sureste comienza la regresión marcada por areniscas masivas de la Formación San Juan.

7. Orogénesis del final del Cretáceo (80-65 m.a.): fenómenos tecto-termales de importancia, que afectaron las rocas Mesozoicas, en alguna parte del Mar Caribe al Norte de las costas de Venezuela central y oriental, produciendo metamorfismo regional acompañado de intrusiones ácidas.

8. Paleoceno-Eoceno Medio (65-45 m.a.): el levantamiento de las masas metamórficas delimitó hacia el Sur una extensa cuenca donde se depositaron sedimentos del Ciclo Terciario Inferior.

Dicha cuenca se extendía de Sur a Norte desde una línea de playa situada aproximadamente al Sur de los campos de petróleo de Mulata- Santa Bárbara hasta no menos de 175 kilómetros hacia el Norte, en regiones del Mar Caribe actual.

9. Eoceno Superior- Oligoceno (45-25 m.a.): hiatus Post-Eoceno Medio y levantamiento de la parte Norte de la cuenca. Sedimentación transgresiva en Guárico de la Formación La Pascua, de aguas someras procedentes de la cuenca de Barinas, seguida de un cuerpo lutítico de aguas marinas someras y tranquilas (Formación Roblecito).

La transgresión progresa hacia el este y en la región de Barcelona, el hiatus y transgresión mencionados se encuentran sobre la Formación Caratas y por debajo de la Formación Los Jabillos del Oligoceno Medio. Entre las grandes productoras de petróleo se encuentran las Formaciones La Pascua y Merecure en el flanco Sur de la cuenca.

10. Mioceno (20 m.a.): se producen cambios en la forma de la cuenca y en la distribución de los sedimentos. Desde el flanco Norte de la cuenca hacia el Sur se observa gradación entre las Formaciones Capiricual, Quiamare al Norte y la Formación Oficina hacia el Sur. Durante este período el tectonismo adquiere especial importancia y se manifiesta con mayor intensidad en el flanco Norte de la cuenca.

La Serranía del Interior fue intensamente plegada y fallada por movimientos compresivos Norte-Sur, indicados por largos pliegues, asimetría, fuertes volcamientos hacia el Sur y numerosas fallas de corrimientos.

En contraste con la provincia compresional del Norte, el flanco meridional refleja efectos tensionales, indicados por fallas normales con desplazamientos unas

veces hacia el Cratón y otras hacia la cuenca. La única excepción conocida es el Corrimiento de Anaco, que cruza de uno a otro flanco de la cuenca y al parecer está genéticamente relacionado con otros corrimientos del flanco Norte.

11. Plioceno (± 5 m.a.): mientras los ambientes marinos continuaron retrocediendo hacia el Este, extensos ambientes fluvio-deltaicos se establecieron sobre una gran parte de la cuenca; en ellos se sedimentó la Formación Las Piedras. El episodio final de esta evolución está representado por la Formación Mesa, de ambiente continental. (Figura 2.11).

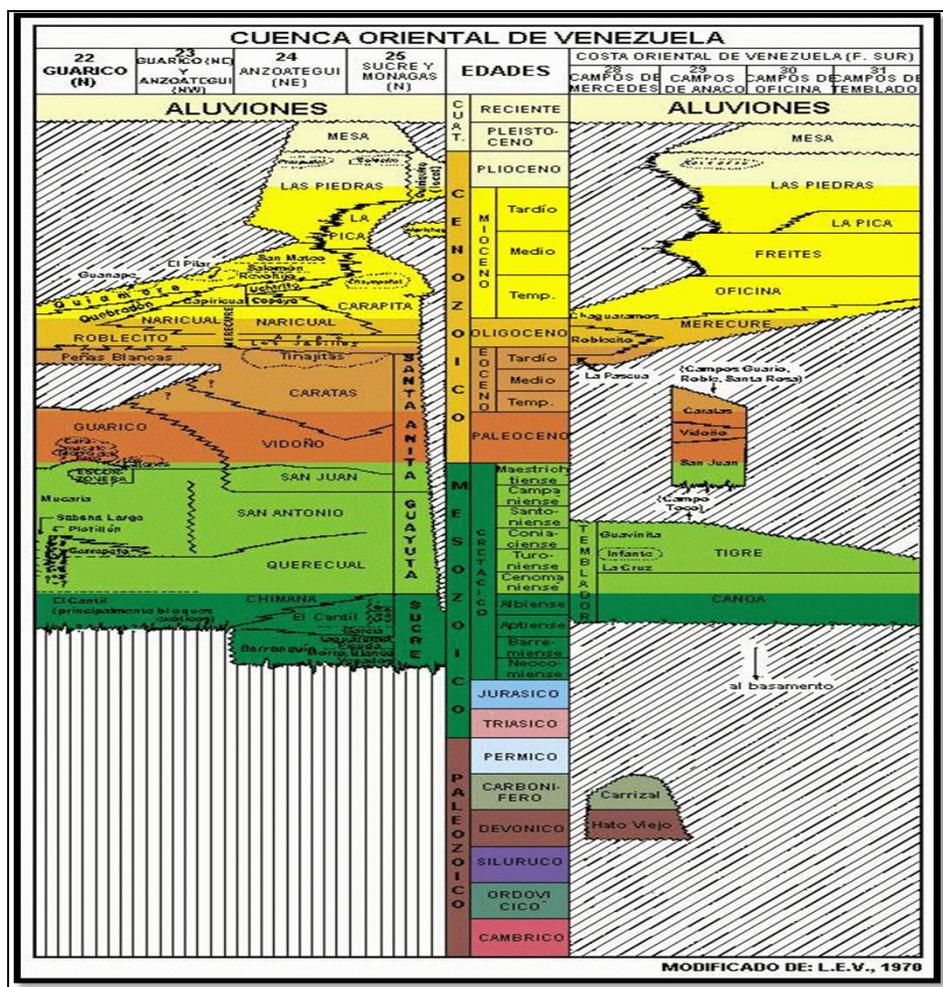


Figura 2.11 Cuenca Oriental de Venezuela (PDVSA-INTEVEP, 1997).

2.5 Rasgos estructurales principales de la cuenca Oriental de Venezuela

Debido a la compleja evolución de la cuenca se pueden encontrar diversos elementos estructurales tales como: el Corrimiento Frontal de Guárico, el Corrimiento de Anaco, el Sistema de Corrimientos Frontales de Anzoátegui y Monagas y el Sistema de Fallas del Flanco Sur de la cuenca (Figura 2.12)

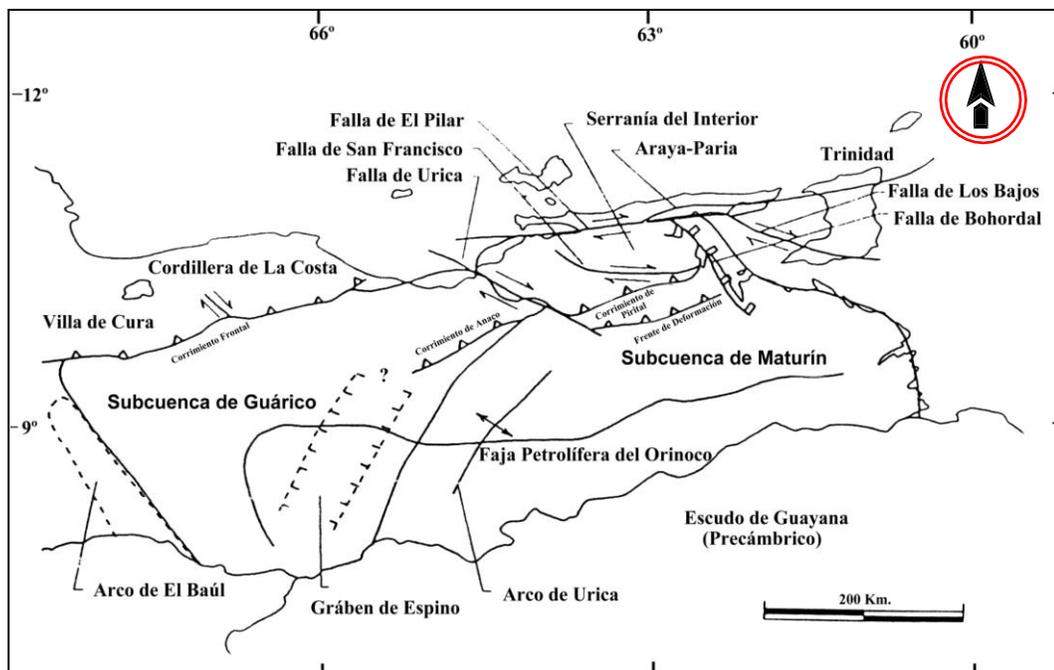


Figura 2.12 Rasgos estructurales principales de la Cuenca Oriental de Venezuela (PDVSA, 2004).

2.6 Sistema de corrimientos frontales de Anzoátegui

Este sistema de corrimientos se sitúa al sur de la Serranía del Interior Oriental, especialmente al este de la depresión de Barcelona. Se extiende en el subsuelo de las planicies con anchuras variables entre 15 y 40 km y una longitud aproximada de 150

km. Entre las numerosas fallas que conforman este sistema resalta la más meridional, denominada el Corrimiento de Pirital (González de Juana et al., 1980)

2.6.1 Corrimiento de Anaco

Se encuentra en la parte central del Estado Anzoátegui, en la subcuenca de Maturín con un rumbo N45°E, de longitud aproximada de 85km, desde el sur del Campo El Toco hasta el este del Campo La Ceiba (González de Juana et al., 1980). Constituye el límite entre el Área Mayor de Anaco y el Área Mayor de Oficina (Banks y Driver, 1957).

Cuatro campos petroleros están relacionados a la línea del corrimiento, que enumerados del suroeste al noreste son:

1. Campo El Toco, desarrollado sobre el domo del mismo nombre.
2. Campo Santa Ana que se desarrolla sobre un domo alargado en el cual se distinguen cuatro culminaciones dómicas menores.
3. Campo San Joaquín, con tres culminaciones dómicas y un pronunciado declive hacia el noreste, en el cual se ha desarrollado el campo Guarío, individualizado por razones administrativas más bien que estructurales.
4. Campo Santa Rosa, ubicado hacia el Noreste, donde se localiza el domo de Santa Rosa.

El plano de falla es cóncavo hacia arriba y buza 45°N en Santa Ana; a medida que la falla se profundiza parece confundirse con el buzamiento de los estratos, y

puede transformarse en un corrimiento a lo largo de un plano de estratificación (Murany, 1972).

La falla de Anaco desaparece progresivamente al sur del área de El Toco, o puede pasar en forma gradual a una serie de fallas normales; mientras que al norte de Santa Rosa la falla penetra en un área estructuralmente compleja, cerca de la Falla de Úrica, y parece interceptar el eje estructural de la Cuenca de Maturín.

La mayor parte del conocimiento de la Falla de Anaco deriva de la perforación intensiva de los domos al noroeste, o sea en el lado del bloque sobrecorrido de la falla (Murany, 1972).

En el lado norte se encuentran una serie de domos alargados ligeramente en echelon pero en general alineados. Estos domos son sin excepción asimétricos, con el flanco inclinado dirigiéndose al sureste, lo cual indica presión desde el noreste. La similitud de todas estas estructuras individuales ha sido estudiada para declarar un origen común. Se considera que tales domos son simples pliegues de arrastre ocasionados por el movimiento hacia el sur de las masas que constituyen el flanco Norte (Funkhouser et al., 1948).

Banks y Driver (1957) a partir de mapas sísmicos e isópacos de la Formación Oficina concluyeron que la Falla de Anaco se formó originalmente como una falla normal con buzamiento al noroeste, la cual más tarde comenzó a invertir su desplazamiento en tiempos del Oligoceno Inferior o quizás más temprano; basándose en el adelgazamiento anormal de ciertos estratos en el lado sur de la falla que pudo actuar como labio levantado. Ellos reconocieron que la inversión del movimiento de la Falla de Anaco fue causada por compresión.

2.7 Geológica local. Antecedentes

2.7.1 Área mayor de Anaco

Las primeras exploraciones en el área Mayor de Anaco fueron descritas por Funkhouser (1948) El primer pozo perforado en esta área fue el Santa Rosa Nro. 1 (RG-1) y su ubicación se basó en una línea sísmica hecha a lo largo del área en 1931. El RG-1 fue perforado por Mene Grande Oil Company el 14 de febrero de 1934.

Según Villaroel Virgilio (1988), el descubrimiento de los anticlinales de Santa Ana y San Joaquín fue hecho en 1934, gracias a estudios de geología de superficie y fotogeología. Entre 1935 y 1936 las compañías Creole y Mene Grande realizaron estudios geológicos de superficie de los domos de San Joaquín y Santa Ana, así como estudios de líneas sísmicas.

La geología de superficie, las fotografías aéreas y los levantamientos sismográficos aportaron suficientes datos para iniciar la exploración con taladro en esta aérea. El pozo descubridor del campo el JMN-1, fue perforado en 1938 por la Creole Petroleum Corporation y, para el año 1940, ya habían sido descubiertos los campos Santa Ana, Guarío y Santa Rosa. En 1947, el total de pozos perforados en los campos de Anaco alcanzaba a 71, los cuales probaron el potencial de petróleo, condensado y gas de las formaciones Oficina y Merecure.

Funkhouser y Hedberg (1947) definen la secuencia estratigráfica de la zona, la cual está representada por las formaciones Merecure (Oligoceno), Oficina (Oligoceno-Mioceno), Freites (Mioceno Medio) y Sacacual (Plioceno) Además realizan las primeras descripciones del Corrimiento de Anaco y de los domos asimétricos asociados a esta estructura.

Banks y Driver (1957) plantean el origen del corrimiento de Anaco como una profundización de una falla normal que posteriormente se invierte, formando una serie de domos asimétricos en el bloque deprimido.

Renz (1957) realiza una revisión de la columna estratigráfica del área, representada por las Formaciones San Antonio (Cretácico), San Juan (Cretácico), Vidoño (Cretácico), Merecure (Oligoceno), Oficina (Mioceno), Freites (Mioceno) y Mesa (Pleistoceno)

Campos et al. (1988), plantean la existencia de una gran divergencia de la secuencia de la Formación Merecure y parte inferior de Oficina al Sur de la falla de Anaco. En base a esto, en este trabajo, se postula la hipótesis de que la falla de Anaco pudiera estar jugando como inversa o corrimiento durante el Oligoceno-Mioceno Temprano, mientras que al Sur de esta falla se desarrollaría una cuenca tipo “foreland”. La tectónica compresiva alcanzó su paroxismo al final del Mioceno Medio, ocasionando la reactivación más importante del Corrimiento de Anaco, desarrollándose los domos alineados que caracterizan la zona de estudio.

2.7.2 Ambiente de sedimentación

La composición relativamente uniforme de los crudos en el Área Mayor de Anaco sugiere un origen común, y el fuerte componente parafinoso probablemente se relaciona con una herbácea en un ambiente fluvial a deltaico, el cual es menos marino que la sección productora. El acceso a una fuente más profunda, más joven y menos marino puede ser más proporcionado por la falla inversa de Anaco, que coloca las facies marinas sobre las facies terrestres y probablemente permite la intercomunicación de múltiples fuentes productoras.

Esta interpretación es apoyada por la semejanza de los petróleos parafinosos que están por encima y por debajo de la zona de falla en el Campo Santa Rosa. El ambiente sedimentario de la Formación Oficina ha sido considerado tradicionalmente como deltaico a marino de aguas someras.

Sin embargo, mediante el análisis sedimentológico y bioestratigráfico de los núcleos del pozo RG-231 el ambiente marino ha sido extendido hasta nerítico medio.

El Miembro Colorado, el cual es el miembro inferior de la Formación Oficina, es de edad Mioceno Inferior y presenta ambientes de sedimentación de tipo transicional, que van desde costeros con acción de oleaje y de marea hasta deltaico. Estos ambientes han sido interpretados en base al análisis de las electroformas de los perfiles de pozo (GR, SP y Rt)

2.7.3 Área mayor de Anaco y el campo San Joaquín

El Área Mayor de Anaco localizada en la Cuenca Oriental de Venezuela, Subcuenca de Maturín, se ubica en el bloque levantado al Norte del Corrimiento de Anaco, con un rumbo aproximadamente N 50° E, que se caracteriza por la presencia de múltiples estructuras dómicas en las cuales se localizan grandes acumulaciones de hidrocarburos, que han originado el surgimiento de campos petrolíferos tales como: San Joaquín, Santa Ana, Toco, Guarío, y Santa Rosa, entre otros (Figura 2.13) Es importante destacar que la historia estructural de esta área se encuentra altamente influenciada por esfuerzos de tensión y de compresión, que han dado origen a numerosos levantamientos y plegamientos en la zona.

El área de estudio se encuentra ubicada en el Área Mayor de Anaco, en un grupo de campos localizados en un prominente alto estructural alineado en dirección

Suroeste-Noreste, a unos 10 Km. al Noreste de la población de Anaco, en el centro del Estado Anzoátegui.

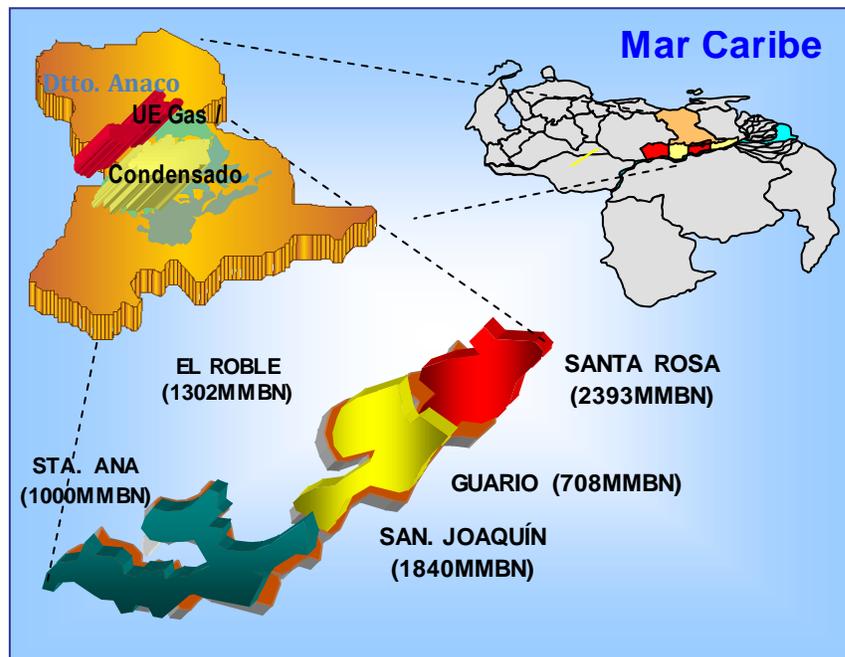


Figura 2.13 Ubicación geográfica del área (PDVSA, 2004).

El Área Mayor de Anaco se caracteriza por una falla inversa producto de un efecto tectónico compresional, esta posee un rumbo Noreste con buzamiento promedio de 45° al Noroeste y es conocida como Corrimiento de Anaco, en cuyo bloque levantado se encuentra ubicado el campo mencionado con tres culminaciones dómicas y un pronunciado declive hacia el Noroeste en el cual se ha desarrollado el Campo Guarío, individualizado por razones administrativas más que geológicas.

El levantamiento de Anaco que comprende las culminaciones dómicas mencionadas, es un conjunto asimétrico con buzamientos que alcanzan entre 25° -

27° en el flanco sur en contraste con solo 2° a 5° en el Campo El Roble donde se llega a observar verdadera terraza tectónica (Almarza, 1996)

La información oficial que suministra el libro de reservas de PDVSA (2003), en el campo San Joaquín/Guario para la Formación Oficina reporta una gravedad que varía entre 34 y 60° API, porosidad promedio de 9-25%, permeabilidad entre 10 y 200 m.D., y un GOES de 8123 MMMPCN.

2.7.3.1 Estructura

El Campo San Joaquín/Guario está conformado por tres domos asociados a una silla tectónica, en cuyas crestas aflora la Formación Oficina. El domo Sur alargado en dirección N50°E y el norte alargado en dirección N60°E, correspondiente al Campo San Joaquín y otro domo en igual dirección que en el domo Norte del Campo San Joaquín correspondiente al Campo Guario.

Estos domos son asimétricos donde sus flancos presentan buzamientos locales de 25° al Noreste y 80° al sureste.

Se han encontrado fallas normales con desplazamientos de 150 pies aproximadamente (pozo JM-24) y una profunda silla tectónica está presente entre los domos Norte y Sur del campo San Joaquín, las discrepancias en la acumulación y espesores de la zona productora indican que estos domos están definitivamente separados. Sin embargo, la silla tectónica entre el domo norte del Campo San Joaquín y el domo de Guario no es muy pronunciada, por lo que estos dos domos pueden tener yacimientos comunes. (Figura 2.14).

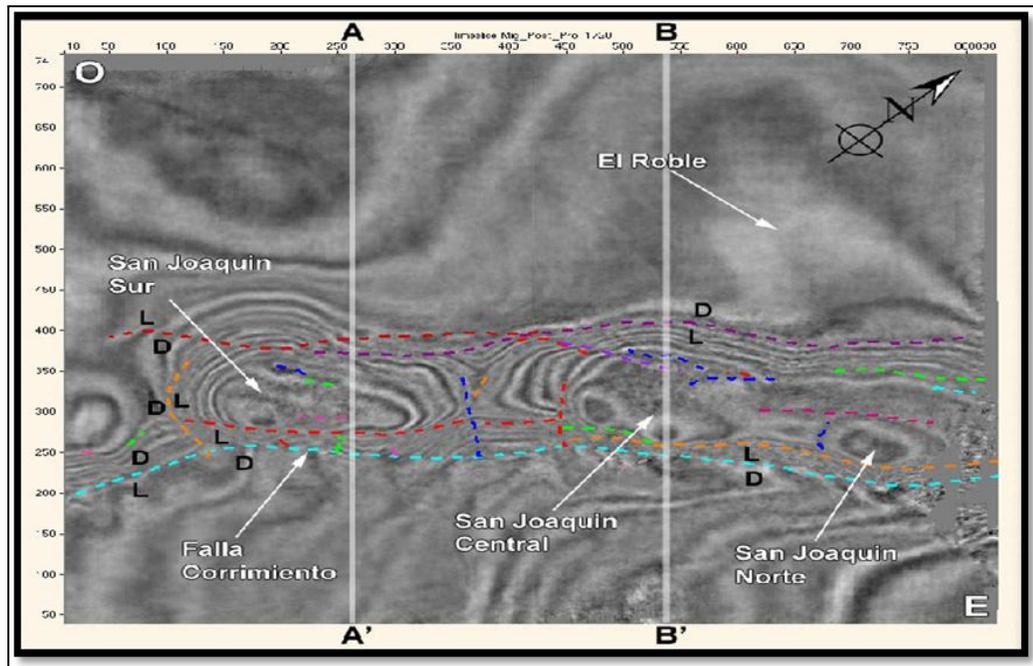


Figura 2.14 Estructura del Campo San Joaquín (PDVSA, 2000).

2.7.3.2 Estratigrafía

La secuencia sedimentaria del subsuelo en esta área se extiende desde el Cretáceo hasta el Oligoceno, y está representada por las formaciones: Freites, Oficina, Merecure, Caratas, Vidoño, San Juan, El Grupo Sucre (Chimana, El Cantil y Barranquin), estos dos últimos pasan transicionalmente hacia el suroeste a su equivalente lateral, el cual es el Grupo Temblador. De estas unidades las más prospectivas son las formaciones Oficina, Merecure y San Juan.

Fuera de las crestas de los domos las formaciones penetradas en el campo de San Joaquín son, Oficina y Merecure, todas correspondientes al Terciario. La sección cretácica no ha sido alcanzada acá con taladros.

A continuación se describen en orden ascendente la estratigrafía de cada una de las formaciones presentes en el área del volcán, extraídas del Léxico Estratigráfico de Venezuela (PDVSA- Intevep, 2005) (Figura 2.15).



Figura 2.15 Columna estratigráfica del Área Mayor de Anaco.

- Formación Merecure: de edad Oligoceno – Mioceno Inferior. Esta formación marca la transgresión del Oligoceno y el desarrollo de la cuenca durante el Oligoceno Medio y el Mioceno Inferior.

En el área esta formación se caracteriza por la abundancia de areniscas masivas de grano medio, mal estratificada, sucia, mal escogida y con estratificación

cruzada. Presenta intercalaciones de pequeñas capas de lutitas, que aparecen y desaparecen lateralmente, lo cual nos indica que la deposición fue en un ambiente de gran actividad, de origen continental y fluvial.

En la zona del bajo corrimiento esta formación, es penetrada en el campo Guarío, donde presenta un espesor promedio de 284.99 metros (935 pies), en el Campo Santa Ana presenta un espesor aproximado de 121.92 metros (400 pies) y en el campo San Joaquín un espesor aproximado de 216.103 metros (709 pies).

- Formación Oficina: de edad Mioceno Superior a Medio. Está presente en el subsuelo de todo el flanco Sur de los estados Anzoátegui y Monagas. Hedberg describe a la formación Oficina como una alternancia de lutitas grises, gris oscuro y gris marrón, intercaladas e interestratificadas con areniscas y limolitas de color claro y grano fino a grueso. Componentes menores, pero importantes son las capas delgadas de lignitos y lutitas ligníticas, arcillas verdes y gris claro.

González de Juana y Méndez consideran que la Formación Oficina se sedimentó en un inmenso complejo fluvio – deltaico, donde son comunes las arenas lenticulares y de relleno de canales de ríos.

Campos establece que la Formación Oficina del Norte del corrimiento de Anaco, se acumuló en condiciones marinas marginales a neríticas, con mayor influencia marina en la parte media.

Funkhouser y Hedberg En el Área Mayor de Anaco la Formación Oficina ha sido subdividida en siete intervalos de uso práctico basados en características de perforación, perfiles eléctricos, paleontología, etc., mal llamados miembros que en

orden estratigráfico diferenciaron basados en perfiles eléctricos y datos paleontológicos. Estos miembros son desde la base hasta el tope los siguientes:

Miembro Colorado: representa la parte basal de la formación Oficina. Contiene areniscas de grano fino de color gris claro y algunas areniscas de grano grueso, aunque las lutitas ocupan buena parte del espesor total. En el área de estudio este miembro presenta el campo Santa Ana con un espesor promedio de 470.31 metros (1543 pies), en el campo San Joaquín presenta aproximadamente un espesor promedio de 373 metros (1224 pies) y en el campo Guarío un espesor promedio de 325 metros (1067 pies).

Miembro Amarillo: consiste principalmente de lutitas grises oscuras e intercalaciones de lutitas, areniscas y pocas arenas. Tiene un espesor promedio en el campo Santa Ana de 166.73 metros (547 pies).

En el campo San Joaquín este miembro presenta un espesor promedio de 146 metros (479 pies), en el campo Santa Rosa su espesor es superior a los 213.36 metros (700 pies) y en el campo Guarío tiene un espesor aproximado de 154.23 metros (506 pies).

Miembro Verde: su litología consiste principalmente de lutitas de color gris oscuro, areniscas y lutitas inter-laminadas y areniscas de grano medio a fino. Además, están presentes calizas y lutitas ligníticas.

Presenta un espesor promedio en el campo Santa Ana de 167.64 metros (550 pies), en el campo San Joaquín de 212.75 metros (698 pies) y en el campo Guarío presenta un valor aproximado 222.81 metros (731 pies).

Miembro Naranja: consiste principalmente de lutitas fósiles grises e inter laminaciones de lutitas y areniscas.

También incluye delgadas areniscas, lignitos, calizas y arcillas. Presenta un espesor promedio de 280.72 metros (921 pies) en el campo Santa Ana y en el campo Guarío tiene un espesor aproximado de 488.59 metros (1603 pies).

Miembro Moreno: litológicamente consiste de lutitas fósiles gris oscuro, incluye también algunas capas delgadas de areniscas calcáreas, lignitos y arcillas verdosas. Presenta un espesor de 442.87 metros (1453 pies) en el campo Santa Ana y 370.03 metros (1214 pies) en el campo Guarío.

Miembro Azul: este miembro es penetrado por muy pocos pozos, en el campo Guarío presenta un espesor promedio de 510.84 metros (1676 pies).

Consiste predominantemente de lutitas grises oscuras intercaladas con areniscas micáceas de grano fino y lutitas fósiles. Además, incluye delgadas capas de calizas y lignitos

Miembro Blanco: consiste predominantemente de lutitas grises a gris oscuro carbonáceas y lutitas ligníticas, inter laminaciones de areniscas, lutitas y arcillas verdes. Este miembro se encuentra ausente en la sección por debajo del corrimiento.

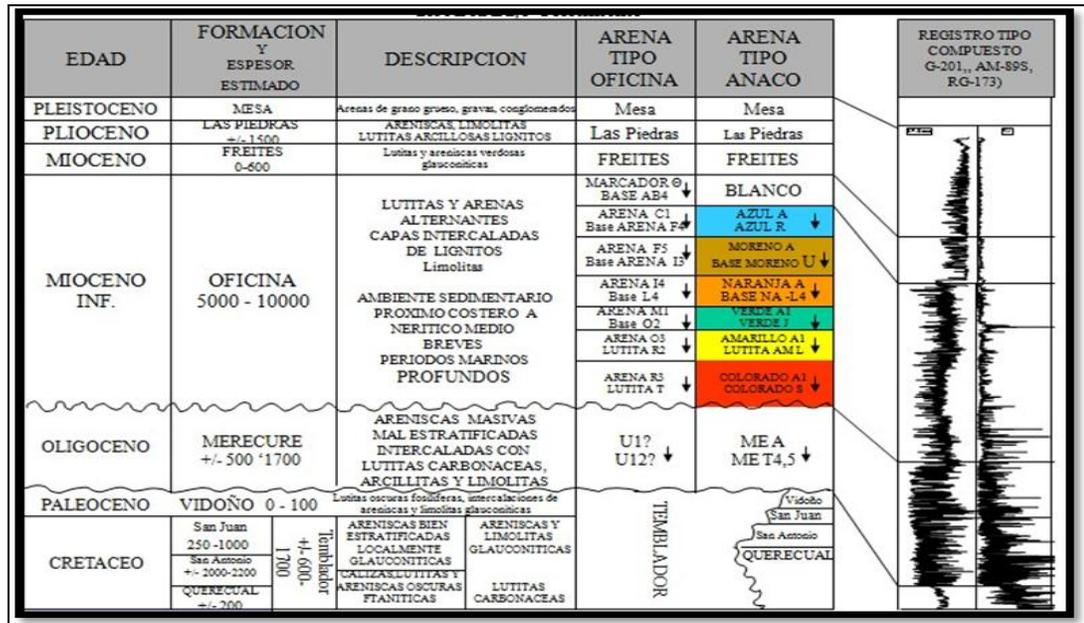


Figura 2.16 Cotejo de las Nomenclaturas Tipos de las Arenas de la Formación Oficina entre el Área Mayor de Anaco y el Área Mayor de Oficina del Bajo Corrimiento de Anaco. (PDVSA-GAS, 2010).

El campo San Joaquín se desarrolló sobre los domos norte y sur del mismo nombre. El rumbo del eje de estas estructuras es de N 60° E y N 50°E respectivamente.

La columna estratigráfica muestra los efectos del fallamiento inverso (más de 3000 pies de sección repetida) y de la erosión sobre las crestas de los domos. Estos procesos erosivos han dejado expuestas las formaciones Oficina y Freites, con lo cual quedan conectados con superficies de estratos que pueden servir de vías de escape a yacimientos someros de gas. La producción de petróleo liviano, condensado y gas en este campo proviene de arenas profundas de las formaciones Oficina y Merecure. También se han encontrado arenas muy someras cargadas con gas. En la sección productora de Oficina solo el 10% corresponde a arenas. El 90% restante está constituido principalmente por arcillas, lutitas y limolitas, que son las mejores rocas

madres para los flujos de barro, los cuales extrusionados producen volcanes de lodo, como el de San Joaquín.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes

Se realizaron consultas bibliográficas a estudios previos efectuados en la zona de estudio y que están relacionados con la ejecución y desarrollo del presente proyecto. A continuación se muestran los aportes efectuados por Orlando Méndez “Volcán de Lodo de San Joaquín”, 1985:

Méndez realizó un estudio a detalle desde el momento de formación del Volcán de Lodo, en el año 1976 hasta 1985, donde reflejó que el volcán de lodo de San Joaquín es el resultado de muchas variantes en términos geológicos, donde influye la condición estructural y estratigráfica además de estar presente en un área con abundante yacimiento de gas (cerca a superficie como a gran profundidad).

Desde los comienzos de la exploración petrolera en Anzoátegui en la década de 1930-1940, las cuadrillas de geología de superficie reportaron la existencia de manifestaciones gasíferas y algunos pequeños volcanes de lodo semiactivos, asociados con manantiales en las proximidades de la población de San Joaquín.

3.1.1 Primeras manifestaciones

Para el año 1976 en el campo de San Joaquín se llevaban a cabo proyectos de recuperación secundaria y de almacenamiento de gas. Los fenómenos vinculados con el volcán de lodo de San Joaquín se iniciaron en mayo de ese mismo año, a unos 300 metros al sur del pozo JM-25 perforado por la Creole Petroleum Corporation, en 1944, y en el área central del domo comenzó a fluir, intempestivamente gas, petróleo,

barro y agua, lo cual fue calificado como un mene; sin embargo, su actividad se manifestaba eruptivamente, con expulsión de materiales a alturas superiores a los 10 metros, acompañado esto con fuertes ruidos; no llegó a observarse la geomorfología típica de un volcán, probablemente porque el cono no llegó a sobrepasar el nivel de laguna formada. En esta se observaba además un oleaje radial a partir del punto de surgencia.

En junio del mismo año, el embalse estaba lleno en un 70%. Hubo necesidad de construir un segundo dique anexo que fue conectado al primero. (Figura 3.1) el fenómeno creció en intensidad. La mayor cantidad del material expulsado era petróleo liviano de color verdoso y agua salobre, con menores proporciones de barro. Un mes más tarde ya estaba llenos ambos embalses, se construyeron otros dos de menor tamaño. La actividad disminuyó sensiblemente, se hizo intermitente y finalmente caso casi completamente.

El petróleo acumulado fue extraído mediante tuberías, bomba de succión y transportado mediante camiones cisternas.

El pozo JM-25, inyector de gas, cerrado para esa fecha, fue desde un principio asociado con este fenómeno por varias razones: su proximidad, su posición en la cresta del domo, el posible deteriorado estado del pozo después de más de 30 años de servicio y el aumento anómalo de las presiones en el cabezal.

El pozo JM-25 fue perforado por la Creole Petroleum Corporation en 1944 hasta una profundidad de 7696pies (2346,341 metros). Durante las operaciones se produjo un reventón de gas seco a 850 pies (259,15 metros). Este gas procedía de una arena de espesor menor a 2.5pies (0,76 metros) que no pudo ser detectada con el perfil eléctrico. La presión inicial fue de 55 LPC, luego se redujo a 35 LPC. Después de varios intentos, el reventón fue controlado con barro de 13.6lbs/gal.

Posteriormente se produjo otro fuerte flujo de gas que también fue controlado. En consecuencia, se decidió colocar un tapón de cemento con el objeto de eliminar los continuos amagos de reventón (Figura 3.1)

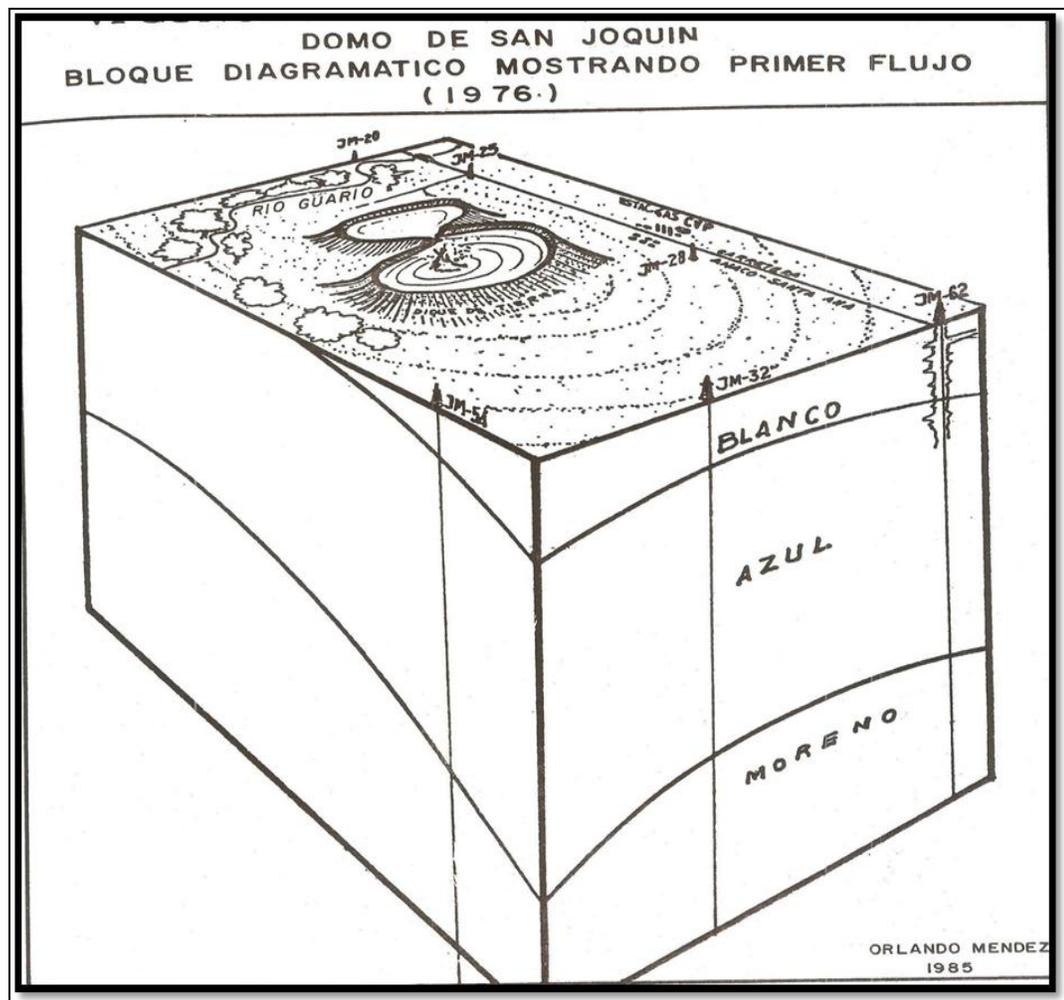


Figura 3.1 Diagrama del área del volcán, muestra del primer flujo expulsado. (Méndez, 1985).

Aquí los volúmenes de gas, petróleo, barro y agua procedentes de estratos de poca profundidad, o de arenas profundas cargada natural o artificialmente con gas,

convergióron hacia el pozo JM-25, quizás por detrás del revestimiento. Estando cerrado este pozo, el flujo se canalizó a través de un estrato con buena permeabilidad, que aflora o se comunica por grietas con la superficie produciéndose el manadero.

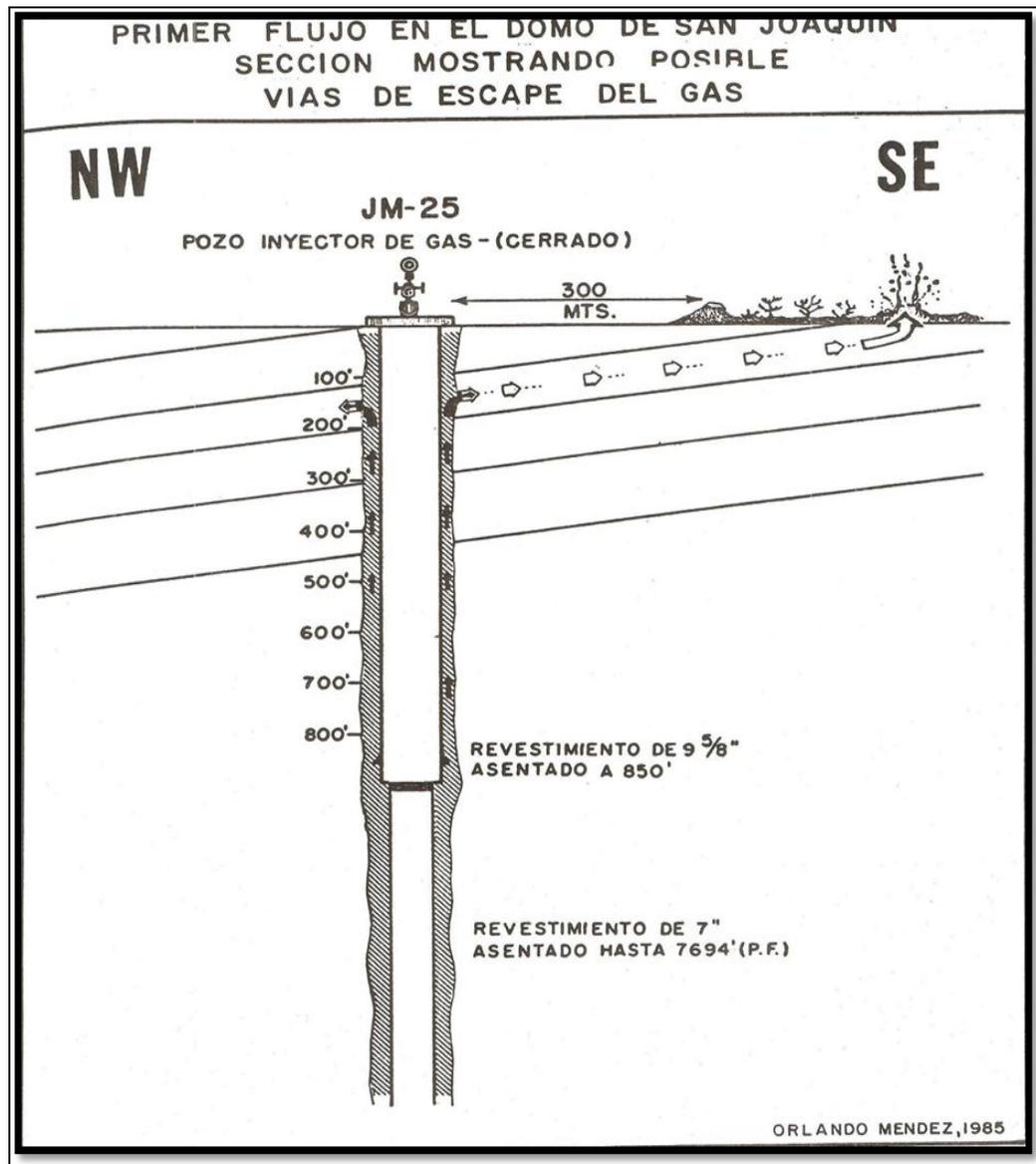


Figura 3.2 Sección de posible fuga de gas, asociado al pozo JM-25 (Méndez, 1985).

Otra explicación podría ser el escape de fluidos a través de fracturas radiales, que generalmente se desarrollan en las crestas de los domos, como resultado de fuerzas tensionales. De hecho, en los alrededores de los embalses se observaron algunas grietas, que aunque aparentaban ser de poca profundidad, constituían posibles vías de escape de fluidos. (Méndez, 1985).

Este antecedente servirá como base fundamental para la realización del proyecto planteado, ya que posee información importante con respecto a la formación de este volcán, comparando los datos del estudio inicial con el proyecto actual se obtendrá una interpretación más detallada de la actual condición del volcán en sus aspectos físico- químicos, al igual que una evaluación ambiental de la zona.

3.2 Fundamentos teóricos

3.2.1 Volcanes de lodo

Son una forma menor del relieve y están conformados por un cráter y un cono volcánico de poca altura, amplio y de suave pendiente.

Un volcán de lodo es una abertura en la superficie de barro y gas o vapor, pero no magma en erupción. Los volcanes de lodo generalmente no son el resultado de procesos volcánicos, pero generalmente están relacionados con entornos donde hay depósitos de hidrocarburos y gas, la presión en profundidad produce esa liberación de gas y vapor, que mezclados con sedimentos de grano fino (lutitas, arcillas y limolitas) y agua caliente, forma una especie de barro o lodo que es exhalado lentamente de un hoyo profundo en el terreno, y cuyas erupciones tienen una temperatura de 2° C sobre la temperatura del ambiente. Las temperaturas son mucho más frías que en procesos volcánicos.

Un volcán de lodo puede ser el resultado de una estructura encementada creada por una presión barro diapiro que alcanza la superficie de la Tierra o fondo del océano. Sus temperaturas pueden ser tan baja como el punto de congelación de los materiales eyectados, especialmente cuando la ventilación está asociado con la creación de depósitos de hidrocarburos de hidratos clatrato.

Los volcanes de lodo son a menudo asociados con depósitos petroleros y tectónicos de zonas de subducción y cinturones orogénicos ; cuando los gases de hidrocarburos han erupcionado. También se asocia a menudo con volcanes de lava , en el caso de tal proximidad, los volcanes de lodo emiten gases incombustibles incluyendo helio , mientras volcanes de lodo asociados con yacimientos de gas y petróleo emiten metano.

Aproximadamente 1.100 volcanes de lodo se han identificado en tierra y en aguas poco profundas. Se ha estimado que más de 10mil pueden existir en taludes continentales y llanuras abisales

Las estructuras más grandes están a 10 Km. de diámetro y llegar a 700 metros de profundidad. Cerca del 86% de los gases liberados son metano, con mucho menos dióxido de carbono y nitrógeno emitidos.

Los materiales expulsados son a menudo una mezcla de sólidos finos suspendidos en hidrocarburos y otros líquidos como agua (frecuentemente salada o acida) (Simkin. T y Siebert. L, 2011).



Figura 3.3 Volcán de Lodo de La Esmeralda (Googleimágenes, 2012).

3.2.1.1 Características de un volcán de lodo

- Gryphon: empinado cono de menos de 3 metros de barro que extruye.
- Cono de lodo: cono con menos de 10 metros de altura, que extruye lodo y fragmentos de roca.
- Cono escoria o costra: cono formado por calentamiento de los depósitos de lodo en caso de incendio.
- Salse : charcas con filtraciones de gas.
- Primavera: agua dominante con salidas menores de 0,5 metros.
- Escudo de lodo

En este tipo de volcanes, el ascenso de gases emanados de depósitos de petróleo a menudo poco profundos eleva una arcilla sumamente hidratada la cual llega a formar charcas o lagunas donde se ve la emanación de las burbujas. Los gases emanados en los volcanes de lodo están formados principalmente por hidrocarburos gaseosos y de otro tipo como metano y anhídrido carbónico, así como gases sulfurosos en menor proporción. La arcilla también contiene ciertas cantidades de hidrocarburos sólidos y proporciones de sal bastante importantes. La distinta composición de los materiales eyectados da origen a una amplia gama de tipos de volcanes de fango. Por ejemplo, si abundan las lentas emisiones de hidrocarburos sólidos y líquidos y escasa proporción de arcilla se producen lagos de asfalto, como el de Guanoco, en la parte oriental de Venezuela, que es el más grande depósito de asfalto natural del mundo; o el de La Brea, en Trinidad, que es el segundo en importancia a escala mundial. Puede encontrarse una gran cantidad de gases asociados en las erupciones de los volcanes de lodo (helio, anhídrido carbónico, metano, etc.).

Si entre los gases predominan los que emiten combustibles con características similares al gasóleo, pueden producirse llamas por la combustión espontánea del gas a presión al contacto con el aire (en forma similar al fenómeno producido por los fuegos fatuos). En estos volcanes pueden presentarse explosiones e incendios por la enorme presión que pueden llegar a soportar: recordemos que el combustible para los motores diesel se inflama en una combustión espontánea, la que puede producirse después de la deshidratación progresiva del lodo al contacto con la superficie, con lo cual se puede llegar a sellar la salida del gas y, al aumentar progresivamente la presión, entrar en una erupción no tan violenta como en las erupciones volcánicas propiamente dichas, no deja de tener cierto peligro, aunque nunca se han registrado problemas graves en este sentido.

Un caso especial de volcán de lodo es el provocado por alguna explotación petrolera, como sucedió en la parte oriental de la isla de Java en mayo del año 2006, cuando la inyección de gas y agua durante una exploración ocasionó una especie de válvula de escape, donde fue expelida una enorme cantidad de lodo, tal como aparece relatado en el número correspondiente a enero del 2008 en la revista National Geographic (Andrew Marshall “bajo el Volcán”... El cinturón de fuego de Indonesia 2008) su versión original en inglés. En esta erupción, el lodo invadió 12 aldeas y obligó a la evacuación de unas 10.000 familias.

Si la arcilla que sube se encuentra poco hidratada, los conos volcánicos suelen alcanzar cierta altura, como puede verse en el volcán de El Totumo, en Colombia. En cambio, si se trata de un lodo muy líquido, la altura del cono volcánico es muy escasa. El volcán de lodo de Yagrumito (Estado Monagas, Venezuela) es de unos 2 ó 3 m de altura relativa y ocupa unos 2000 m² (incluyendo las charcas de lodo y los barrizales sin vegetación) aunque el cono solamente no debe pasar de unos 400 m².

La abertura del cráter debe tener unos 50 cm de diámetro. Las distintas épocas de sequía y de lluvia también inciden en la altura del cráter, la altura se eleva en la época de sequía y desciende durante la de lluvias al contribuir en mayor grado a la hidratación del lodo. La cantidad de sal presente en el barro seco es tan grande que lo hace atractivo para las vacas de la sabana, que acuden a la zona para lamer ese barro con el fin de obtener la sal necesaria (o mejor, el sodio que necesitan) para su producción de leche (recordemos que el ingrediente esencial de la leche es el caseinato de sodio) (Simkin y Siebert 2011).

3.2.1.2 Ubicación de volcanes de lodo a nivel mundial

En el mundo existen un gran número de volcanes de lodo. (Simkin y Siebert. 2011)

- Europa: hay algunos volcanes de lodo repartidos por Europa, decenas de ellos en la península de Taman, en Rusia, y en la península de Kerch, en el sudeste de Ucrania. En Italia, son comunes en el frontal norte de los Alpes y en Sicilia. Otro lugar de Europa donde pueden encontrarse este tipo de volcanes es cerca de Berca, en Rumanía, muy próximo a las montañas de los Cárpatos.

- Asia. Indonesia: las perforaciones o un terremoto podrían haber formado el río de lodo de Sidoarjo el 29 de mayo de 2006, en el subdistrito de Porong, al este de Java, Indonesia. El lodo cubrió un total de unas 440 hectáreas, 4,40 kilómetros cuadrados, e inundó cuatro poblaciones, casas, carreteras, arrozales, y factorías. Más de 24 000 personas se vieron obligadas a marcharse de sus casas y 14 murieron durante este fenómeno. En esta ocasión, la empresa implicada en las perforaciones de gas fue PT Lapindo Brantas y el terremoto que podría haber provocado la erupción del volcán de lodo fue el terremoto de Yogyakarta del 27 de mayo de 2006. En el año 2008, se calificó como el volcán de lodo más grande del mundo y, según han determinado los geólogos que lo han estado monitoreando desde entonces, está mostrando signos de un colapso catastrófico. Este tipo de derrumbamiento podría cambiar la orografía del terreno repentinamente.

- Asia Central: hay muchos volcanes de lodo en las costas del mar Negro y del Mar Caspio. De hecho, existen muchos depósitos de sedimentos extensos alrededor del mar Caspio.

En Azerbayán existe un volcán de lodo de 200 metros de altura, que en ocasiones produce erupciones con llamas. En este país y en la zona costera del Caspio, se encuentran unos 400 volcanes de lodo, más de la mitad del total de todos los continentes. En el año 2001, uno de los volcanes de lodo, situado a 15 kilómetros

de Bakú, atrajo todos los titulares de las noticias cuando comenzó a expulsar llamaradas a 15 metros de altura.

En Azerbayán, las erupciones son provocadas desde embalses de lodo muy profundos, conectados a la superficie incluso en periodos durmientes.

Irán y Pakistán también cuentan con este tipo de volcanes en el complejo montañoso de Makran, en el sur de ambos países. De hecho, el volcán más extenso y alto de este tipo se encuentra en Balochistán, en Pakistán.

Irán cuenta con volcanes de lodo en las provincias de Hormozgán, Sistán y Baluchistán, así como en Golestán.

En Pakistán hay más de 80 volcanes de lodo activos en la provincia de Balochistán. En el oeste, en el distrito Gwadar, los volcanes de lodo son muy pequeños y suelen situarse en el sur de Jabal-e-Mehdi. Sin embargo, también hay muchos más en el noreste de Ormara. El resto se encuentra en el distrito de Lasbella, dispersados entre el sur de Gorongatti hasta Koh Kuk en el norte de Miani Hor en el valle Hangol. En esta región, la altura de este tipo de volcanes alcanza entre 244 y 472 metros.

El volcán de lodo más famoso de Pakistán es el Chandaragup. Su cráter más grande mide unos 137,16 metros de diámetro.

La mayor parte de los volcanes de lodo de esta región se encuentran en terrenos de difícil acceso.

India: En la isla de Baratang, parte del archipiélago Grande en las islas Andamán, océano Índico, tiene varias zonas de actividad volcánica de lodo. En esta región se produjo una erupción importante en el año 2003

Filipinas: En las islas Tortuga, en la provincia de Tawi-Tawi, en la frontera de Filipinas con Malasia, se pueden encontrar volcanes de lodo en tres de las islas, Lihiman, Great Bakkungan y Boan. La zona noreste de la isla Lihiman es conocida por sus extrusiones de lodo de carácter violenta, mezcladas con rocas, creando un cráter de 20 metros de anchura en una zona montañosa. También se han observado erupciones submarinas.

- Otras zonas asiáticas:

China: cuenta con numerosos volcanes de lodo en la provincia de Xinjiang. También se pueden encontrar este tipo de volcanes en la República de la Unión de Myanmar, dos volcanes de lodo en el sur de Taiwán, un número sin determinar en la isla de Palau Tiga, en la costa oeste del estado Malasio de Sabah, en Borneo. Sin olvidar un incidente que tuvo lugar durante unas perforaciones frente la costa de Brunei, en Borneo, que en 1979 causó un volcán de lodo cuya erupción duró 30 años.

- América del Norte: en América del Norte pueden encontrarse volcanes de lodo en la costa Mendocino, en California. También hay volcanes de lodo en las montañas Wrangell, en Alaska. Sus emisiones mayormente son de nitrógeno y de CO₂. Los volcanes están relacionados con procesos magmáticos. A unos 24 kilómetros de la playa Redondo, en California, se encuentra un volcán sin nombre, de 30 metros de altura y unos 100 metros de altura, y a 800 metros bajo la superficie del océano Pacífico.

También puede encontrarse toda una mina de volcanes de lodo en el Mar Salton, una zona geotermal cercana a la ciudad de Niland, en California.

El volcán de Smooth Ridge, se encuentra cerca del Cañón de Monterrey, en California.

Bajo la superficie del Mar de Beaufort, se encuentra el volcán de lodo de Kaglulik, cerca de la frontera de Alaska con Canadá, donde se cree que podría haber depósitos de petróleo.

El volcán de lodo Maquinna, se encuentra a 16-18 kilómetros al oeste de la isla Vancouver, en la Columbia Británica, Canadá.

Hay un amplio número de volcanes de lodo en Trinidad y Tobago, en el Caribe.

Por supuesto, no nos podemos olvidar del volcán de lodo de Yellowstone. Situado en el Parque Nacional de Yellowstone. La zona es bastante activa. Yellowstone es un súper volcán y contiene una zona geotermal con una cámara magmática cerca de la superficie, contando con la emisión de gases, dióxido de carbón.

- América del Sur:

Venezuela: la zona este de Venezuela contiene varios volcanes de lodo. Todos ellos, como en Trinidad, tienen su origen relacionado con los depósitos de petróleo.

El volcán de lodo de Yagrumito, se encuentra a unos 6 kilómetros de Maturín, Venezuela. Su lodo contiene agua, gas biogénico, y una cantidad sin determinar de

hidrocarburos, así como una gran cantidad de sal, imprescindible para la dieta de los animales necesaria para la producción de leche.

Colombia: en Colombia, el volcán de lodo de El Totumo, marca la división entre Bolívar y el Atlántico. El volcán asciende unos 15 metros y puede albergar entre 10 y 15 personas en su cráter. Muchos turistas lo visitan debido a las características positivas para la salud de su lodo. Este volcán se encuentra próximo a una ciénaga o lago.

3.2.2 Volcanismo sedimentario

El término “volcanismo sedimentario” fue aplicado por Kugler (1933) a “estratos saturados de gas, petróleo o agua, bajo presión, con una energía latente suficiente y capaz para producir un fenómeno geológico similar a los acusados por intrusiones magmáticas y erupciones”.

El volcanismo sedimentario, según Freeman (1968) “Es un concepto aplicado a los procesos de los cuales rocas clásticas diapíricas son forzadas a salir a la superficie desde una gran profundidad, con una predominancia de sedimentos arcillosos no consolidados”. Aun así, no todos los sedimentos diapíricos alcanza la superficie pero, no hay duda de que su movimiento de ascensión esta casi siempre controlado por la geología estructural de la zona.

El volcanismo sedimentario es un tipo de diapirismo asociado con la alta presión resultante de la liberación del gas y/o agua de un barro o una lutita por lo que, exceptuado su baja temperatura y la diferencia de composición de las rocas afectadas, este proceso se asemeja mucho al volcanismo ígneo, de aquí su nombre.

Los volcanes de barro están confinados a regiones sostenidas por arcillas hidratadas, lutitas, arenas, cantos rodados, desplazamientos gravitacionales submarinos de masas consolidadas o sedimentos plásticos deformados, y otros tipos de sedimentos no consolidados (Levorsen, 1954). Estos tipos de sedimentos son comunes en estratos del Terciario, especialmente en cuencas donde el índice de depositación ha excedido la rata normal de subsidencia de la misma, presentándose presiones anormales.

El volcanismo sedimentario está estrechamente relacionado con depósitos de hidrocarburos en varios países, tales como la India, Rumania, Trinidad y por supuesto Venezuela.

Muchas de las áreas de volcanes de lodo conocidas en el mundo contienen abundantes “diques clásticos” compuestos por areniscas y arcillas, y un pequeño número de estos lo forman conglomerados de guijarros (Kugler, 1933 y Freeman, 1968). Contrarios a esta idea se presentan los autores Higgins y Saunders (1973) cuando manifiestan que en muchos diques estudiados no encontraron una relación directa de estos con los volcanes de barro ya que si el dique esta relleno con material homogéneo, ya sea arena o arcilla, no es causa suficiente para invocar alguna conexión con los volcanes de lodo, a menos que se llegue a probar de que se trata de un flujo de barro.

En zonas donde existan actividad de volcanes de barro, la formación de conos, cuencas u otras estructuras de barro, va a depender, principalmente de la viscosidad del lodo, las características de los canales de extrusión y del tipo de volatilidad en la abertura de salida. (Freeman, 1968)

Las cuencas de barro (Mund basins) generalmente son llanas, de forma circular y están compuestas por barro de baja viscosidad, estando formadas en subsidencias,

las cuales son inducidas por la pérdida de material en el subsuelo, como consecuencia de erupciones de lodo en la superficie, mientras que los conos de barro (Mud cones) están formados por la superimposición de capas de flujos viscosos de barro (Kugler, 1933 y Freeman, 1968)

Los canales de extrusión de lodo se dividen geoméricamente en dos tipos básicos: planos y cilíndricos (Freeman, 1968)

1. Los canales planos (Planar Channels): provienen de fallas y fracturas.

2. Los canales cilíndricos (Cylindrical Channels): están formados por la intersección de dos o más canales planos, estando ubicados, los conos y cuencas de lodo en la intersección de las fracturas.

Solo Shih (1967) provee una descripción detallada de los rasgos superficiales de los volcanes de lodo. En su trabajo realizado en Taiwán, edifica su clasificación, básicamente en la inclinación de los flancos del cono, pero agregando también el diámetro del cráter, agrupándolos de la siguiente forma:

1. Tipo A: con la inclinación de los flancos mayor de 20° , con respecto a la horizontal, teniendo un cráter de pocas decenas de centímetros.

2. Tipo B: con la inclinación de los flancos entre 5° y 20° , con un cráter de una decena de centímetros.

3. Tipo C: el ángulo de las laderas es menor de 5° y el cráter es de 2 metros

4. Tipo D: es el tipo “Caldera” con el cráter de varios metros.

5. Tipo O: un pequeño orificio de lodo, con un cráter en el orden de los centímetros.

Higgins y Saunders (1973) consideran que es raro encontrar una distribución constante de los tipos de volcanes de cualquier centro eruptivo, a la vez que estos varían de tipo entre año y año, por lo cual consideran a la clasificación de Shih como aplicable solamente al momento de realizarse el estudio; para obtener una forma estandarizada de los mismos. Además de lo expresado anteriormente, estos autores consideran más significativamente desconocer el diámetro de la abertura del cráter y usar solamente el ángulo de los flancos del cono, ya que encontraron en Trinidad varios ejemplos anómalos, según la clasificación de Shih.

Un rasgo común de casi todos los volcanes de lodo activos en Trinidad es el desarrollo de un área abierta en el medio de la densa vegetación (Higgins y Saunders, 1973). El término "TASSIK" fue usado por primera vez por Heim (1940) en su descripción del diapirismo activo en las islas Molucas (Océano Pacífico), donde el autor utilizó el vocablo indígena para designar una abertura circular, sin vegetación, en la selva, debido a la presencia de las arcillas provenientes de los flujos de barro. Higgins y Saunders (op. Cit.) Consideran que la palabra "tassik" puede ser bien usada como un término descriptivo para designar áreas abiertas asociadas con los volcanes de lodo en zonas selváticas.

Los flujos de lodo frescos son generalmente de color gris azulado, pudiendo llegar a tener un color gris amarillento (Freeman, 1960). Los flujos de lodo no forman verdaderas capas, por el contrario estos están caracterizados por una textura espumosa, vesicular y contiene abundantes pelotillas, laminadas y concéntricas de arcillas, producto de la acción expansiva y batiente de los gases (Freeman, óp. Cit.) Tanto las pelotillas como la textura vesicular son consideradas por Kugler (1933) como un "caso típico" de los flujos impulsados por gas.

Se han observado bloques erráticos, guijarros, arena y fósiles comúnmente mezclados con el barro y transportados hasta la superficie (Freeman, óp. Cit.). Esta micro fauna fósil diagnostica se encuentra asociada a las rocas sedimentarias erráticas o al barro (Freeman, óp. Cit.).

Acerca del origen de los volcanes de lodo, Kugler (1965) menciona lo siguiente: “Como todas las formas geológicas complejas, el volcanismo sedimentario debe su existencia a una variedad de causas”. Ciertos geólogos como Goubkin (1934) dan cierta importancia a la relación existente entre las estructuras diapiricas y los volcanes de lodo, pero sería errado asumir que únicamente estos sean productos de estructuras que ocasionen escapes de gas. Sin embargo, el pre requisito esencial en todos los casos, es la presencia de hidrocarburos atrapados bajo presiones supra normales, cualquiera que sea la causa de la misma. Para una explicación de todos los tipos de volcanismo se consideran las siguientes causas:

A. Exógenas

B. Endógenos

a) Compresión Orogénica

b) Movimientos Isostáticos post orogénicos

c) Diferencia de densidad y adelgazamiento de los sedimentos.

d) Una combinación de a, b y c

3.2.2.1 Fuerzas exógenas

Al perforar un reservorio de alta presión, particularmente en la presencia de formaciones fracturadas, se pueden producir la formación accidental de volcanes de lodo, a su vez, grietas de desecación por encima de un depósito de gas somero o la

erosión de la capa de arcilla cubertora, pueden causar la formación de volcanes de barro, si el agua se encuentra presente.

3.2.2.2 Fuerzas endógenas

Los procesos diagenéticos pueden causar fisuras en las capas, a lo largo de las cuales gas, fluidos y sedimentos pueden escapar. Sin embargo, es el diastrofismo la principal causa de los volcanes de lodo en Venezuela. Ellos están localizados generalmente, sobre los anticlinales, con un núcleo central de sedimentos plásticos elevándose bajo alta presión. Esta presión geostática, es transmitida a cualquier reservorio superpuesto con gas o fluidos. Los sedimentos arcillosos, del núcleo móvil pueden transportar grandes bloques de roca más antiguas que la matriz. Además, se piensa como probable que el agua y el gas liberado diastroficamente puede formar fisuras de tensión en los sedimentos competentes por encima del núcleo del diapiro, y por la interacción del gas, petróleo y del agua se pueden formar una lutita arenosa y guijarrosa. A su vez, el gas fue considerado como la principal fuerza responsable de la ascensión del lodo el cual en su camino, puede romper y transportar grandes bloques de la roca madre (Kugler, 1933).

Estos estudios subsecuentes se ha establecido que esas lutitas arenosas y guijarrosas son sedimentos hidroclásticos pobremente clasificados, los cuales se han formado en la plataforma submarina o en depresiones abisales. Estos sedimentos, a menudo, están relacionados con grandes deslizamientos submarinos. Bajo presión orogénica, estas acumulaciones anormalmente delgadas de sedimentos incompetentes, tienden a ascender y producen núcleos de una densidad de origen específica más livianas que las grauvacas, limos y lutitas de origen sin o post orogénicos depositadas en sus flancos.

La densidad del volumen del flujo de lodo calcáreo es aproximadamente 2,0 o menos, mientras que la de los limos más jóvenes de los flancos es aproximadamente de 2,4 o más. Por lo tanto, la roca madre de los flujos de barro cumple con la “Ley de inversión de densidad”, el pre requisito para un cinturón móvil. Ahora bien, mientras que la formación de los flujos de lodo por ser explicable por la diferencia de densidad entre el núcleo y la roca madre, algunos de estos flujos son muy grandes para ser considerados únicamente por este medio, a menos de que se asuma la presencia, en el subsuelo de grandes masas de lodo impregnados de gas, lo cual no parece compatible con lo estrecho de los canales de alimentación (Gansser, 1960)

El gas, el petróleo y el agua salada ayudan a lubricar el movimiento ascensional del núcleo, el cual, en su etapa inicial recibe pocos o ningún sedimento en su región axila. A su vez, cuando el núcleo saturado de gas alcanza un estado donde la presión geostática es menor que la presión del gas, es cuando se pueden esperar erupciones, y si el gas extrusionado toma fuego, se presentara cierta similitud con el volcanismo pirogénico.

Evidencias submarinas del volcanismo sedimentario han sido observadas desde el comienzo de la historia y han sido relatadas como “Aguas hirvientes”, “Mares burbujeantes”, o la aparición repentina de islas, como sucedió en la cercanía de la costa sur de Trinidad en 1911; en el sitio conocido como Chatman Bay.

Las salidas de los volcanes de lodo pueden migrar de una parte a otra, a lo largo del eje del diapiro.

La siguiente clasificación es sugerida por Kugler (1965) para agrupar los fenómenos mencionados anteriormente y sus productos

Tabla 3.1 Clasificación sugerida por Kugler (1965).

FENOMENOS	PRODUCTOS RESULTANTES
Masas incompetentes de pelitas móviles con fragmentos de roca	Estructuras diapiricas
Ley de inversión de densidad de la pelitas móviles con hidrocarburos y agua	Extrusiones de barro transportando grandes bloques de roca y volcanes de barro “lava sedimentaria”
Acumulaciones de gas y agua (o petróleo) bajo presión	Volcanes de barro con arcilla, limo, arena y pequeños bloques subordinarios.

3.2.2.3 Génesis y formación de los volcanes de lodo

Se resaltan las siguientes características:

- *Edad*: todas las ocurrencias conocidas están relacionadas a formaciones Neógenas. Se pueden encontrar compuestos más antiguos asociados con los volcanes de barro, pero es opinión de los autores, de que son solamente componentes en un olitostroma Neógeno y no representan desgarramiento de la roca madre de los lados del diapiro. Por lo que, es de suma importancia averiguar la edad de la matriz. Además, la edad del volcanismo sedimentario en cada región, va a estar directamente relacionada con las posibles rocas madres.

- *Naturaleza de las rocas madres*: hay generalmente un tipo de roca madre en común, cualquiera que fuera el nivel estratigráfico envuelto; estas son arcillas

marinas de aguas relativamente profundas, originalmente depositadas en una plataforma inestable, lo que puede causar deslizamientos pene contemporáneo.

- *Mecanismos eruptivos*: después de la deposición de capas más jóvenes en los flancos y probablemente, sobre la cresta de la estructura original, la continua inestabilidad de las arcillas de baja densidad, bajo presión, las puede obligar a ascender y así, intrusionar capas más jóvenes hasta alcanzar la superficie. Los líquidos y el gas bajo presión pueden jugar un papel importante en el movimiento ascendente. Otras de las causas principales dentro del volcanismo sedimentario está subordinada al tectonismo.

3.2.2.4 Expresión geofísica de los volcanes de lodo

- Gravedad: un análisis sobre los datos gravimétricos realizados sobre los volcanes de lodo, indican que estos producen una baja gravedad bien marcada, sobre impuesta al gradiente de gravedad local.

- Sismicidad: indica que las zonas de los volcanes de barro son áreas sin reflexión.

- Registro eléctrico: el registro eléctrico corresponde a una lutita a alta presión con una característica baja resistividad, densidad y velocidad.

3.2.2.5 Análisis del barro de los volcanes de lodo

- Tamaño de grano: la composición del lodo es predominantemente arcilloso, con una fracción variable de arena muy fina y de limo, siendo las muestras de flujo de barro, pobremente escogidas.

- Análisis de arcillas: los minerales de arcilla son una mezcla de illitas-montmorillonita y caolinitas.

La illita forma gran parte de los ejemplos de las formaciones mientras que la montmorillonita es más común en las arcillas de los volcanes de lodo. Kerrs, et.al (1970) indican que la illita no es estable bajo ciertas condiciones de humedad y tiende a alterar a la montmorillonita. Además, la formación de caolinita requiere condiciones no alcalinas, mientras que el ataque por aguas alcalinas tiende a producir montmorillonita.

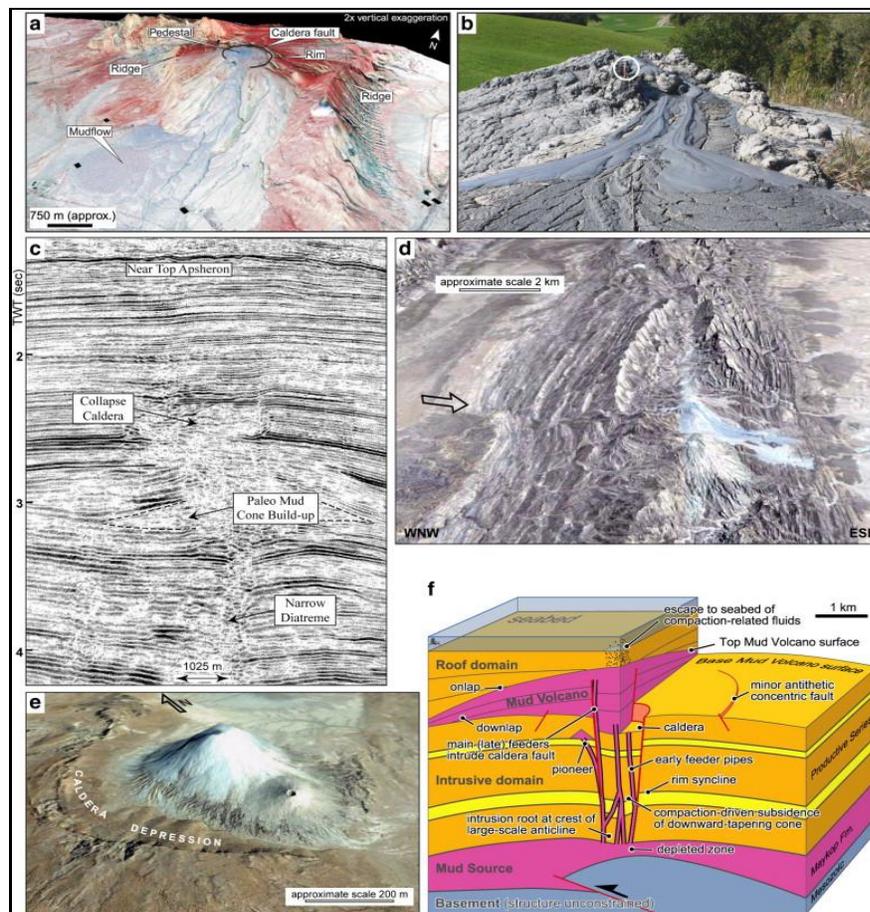


Figura 3.4 Esquema de un volcán de lodo.

- Química del agua: los valores del pH del agua de los volcanes están ubicados entre 8,1 y 9,4; indicando así su naturaleza alcalina.
- Temperatura: los autores notaron que no era muy diferente de la temperatura ambiente.
- Análisis de gas: los gases de los volcanes de lodo, son en su mayoría inflamables.

3.2.3 Arcillas

Las arcillas son cualquier sedimento o depósito mineral que es plástico cuando se humedece y que consiste de un material granuloso muy fino, formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a 2 micras, y que se componen principalmente de silicatos de aluminio hidratados (1 micra es la diezmilésima parte de un centímetro).



Figura 3.5 Arcilla del período cuaternario (400.000años)
(Googleimágenes, 2012).

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

3.2.3.1 Origen y clasificación de los minerales de arcilla

Los minerales arcillosos pueden proceder de la alteración de la roca magmática o metamórfica, y después del transporte, dar arcillas detríticas (es el caso más frecuente). Pueden formarse en una cuenca de sedimentación en cuyo caso son minerales arcillosos autigénicos o neoformados.

En otros casos pueden proceder de una reorganización mineralógica durante la diagénesis (minerales arcillosos diagenéticos). Las arcillas detríticas son corrientemente denominadas arcillas primarias o heredadas, y las otras arcillas secundarias.

Las arcillas se pueden clasificar según su capacidad de adsorción de agua. Las arcillas hidrofílicas son aquellas en las que los cationes entre las capas son intercambiables, estos cationes pueden ser sustituidos por moléculas de agua.

Las arcillas hidrofóbicas son aquellas en las cuales la unión entre las capas son lo suficientemente fuertes, de modo tal que el intercambio de cationes por moléculas de agua es menor.

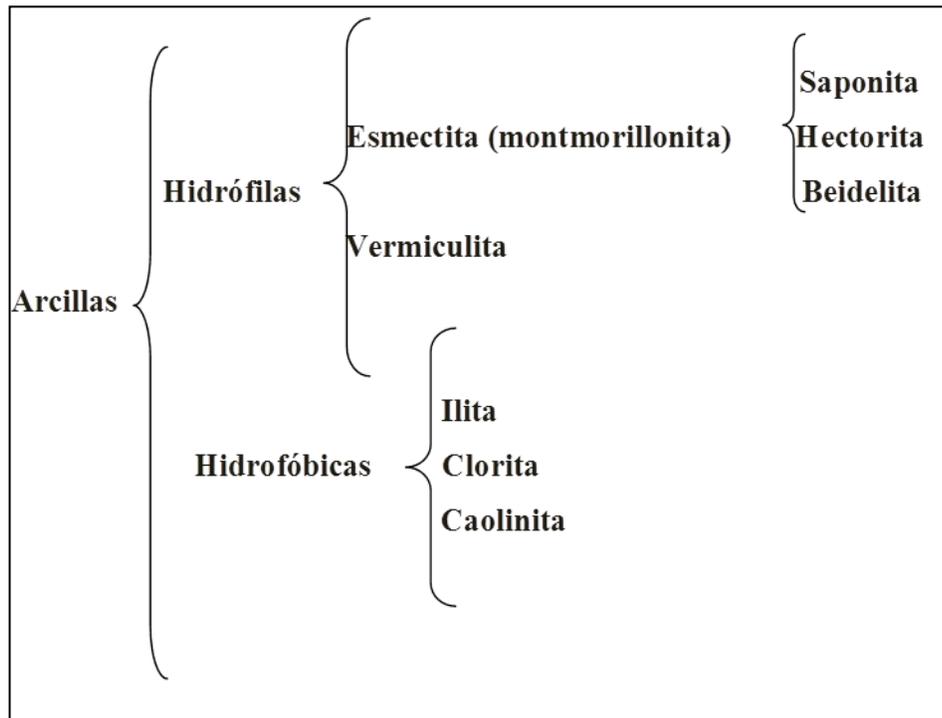


Figura 3.6 Tipos de arcillas.

3.2.3.2 Química de las arcillas

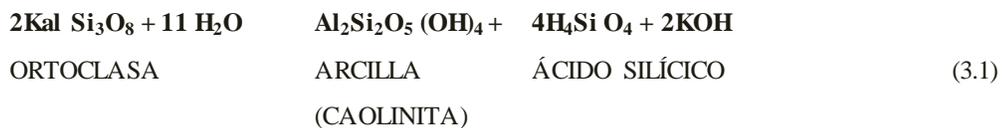
Un entendimiento riguroso de las arcillas puede ser la herramienta más valiosa del ingeniero de fluidos. La arcilla puede ser añadida intencionalmente, o puede entrar en el fluido como contaminante importante mediante la dispersión de los sólidos de perforación. En cualquier caso, la arcilla se convierte en una parte activa del sistema. Por este motivo, es necesario entender la química básica de las arcillas para controlar correctamente los fluidos base agua. La química de las arcillas también es importante en lo que se refiere a las interacciones entre los fluidos base agua y las lutitas que afectan la estabilidad del pozo.

Arcilla es un término amplio que se usa comúnmente para describir los sedimentos, suelos o rocas compuestos de partículas minerales y materia orgánica de

granos extremadamente finos. Un buen ejemplo son las arcillas (a veces llamadas arcillas tipo “gumbo” (arcillas plásticas) encontradas en los jardines o a lo largo de las riberas. Estas arcillas son frecuentemente blandas y plásticas cuando están mojadas, pero se vuelven duras cuando están secas. Esta propiedad física de “blanda cuando mojada, dura cuando seca” se puede relacionar con la presencia de ciertos minerales arcillosos.

Los minerales arcillosos como se nombró anteriormente, son minerales de silicato aluminico de granos finos que tienen micro estructuras bien definidas. En la clasificación mineralógica, los minerales arcillosos están clasificados como silicatos estratificados porque la estructura dominante se compone de capas formadas por capas de sílice y alúmina. Cada capa consta de una estructura laminar y delgada, llamada capa unitaria. La mayoría de los minerales arcillosos tienen una morfología laminar.

Es posible que se presenten varias reacciones dependiendo de la intensidad de la meteorización y la presencia de otros cationes como el Mg^{++} . En la alteración de la ortosa, parte del ácido silícico y el aluminio puede recombinarse y, en presencia de agua, formar arcilla:



Según las unidades repetidas de la estructura, los minerales arcillosos también se pueden clasificar de acuerdo a la relación de capas de sílice a capas de alúmina, tal como 1:1, 2:1 y 2:2, además de si estos minerales arcillosos son estratificados o en forma de aguja. Debido a sus pequeños tamaños de partículas, las arcillas y los

minerales arcillosos son analizados con técnicas especiales tales como la difracción de rayos X y la microscopía electrónica

3.2.3.3 Propiedades de la arcilla

- **Plasticidad:** mediante la adición de una cierta cantidad de agua, la arcilla puede adquirir la forma que uno desee. Esto puede ser debido a la figura del grano (cuanto más pequeña y aplanada), la atracción química entre las partículas, la materia carbonosa así como una cantidad adecuada de materia orgánica.

- **Merma:** debido a la evaporación del agua contenida en la pasta se produce un encogimiento o merma durante el secado.

- **Refractariedad:** todas las arcillas son refractarias, es decir resisten los aumentos de temperatura sin sufrir variaciones, aunque cada tipo de arcilla tiene una temperatura de cocción.

- **Porosidad:** el grado de porosidad varía según el tipo de arcilla. Esta depende de la consistencia más o menos compacta que adopta el cuerpo cerámico después de la cocción. Las arcillas que cuecen a baja temperatura tienen un índice más elevado de absorción puesto que son más porosas.

- **Color:** las arcillas presentan coloraciones diversas después de la cocción debido a la presencia en ellas de óxido de hierro, carbonato cálcico.

3.2.3.4 Tipos de arcillas

Existe un gran número de minerales arcillosos, pero los que nos interesan en relación con los fluidos de perforación pueden ser clasificados en tres tipos. El primer tipo consta de arcillas en forma de aguja no hinchables como la atapulgita o la sepiolita. Estas arcillas son incorporadas al sistema como viscosificantes y no están casi nunca presentes en las lutitas de las formaciones. El segundo tipo son las arcillas laminares no hinchables (o ligeramente hinchables): ilita, clorita y caolinita, las cuales están descritas más adelante. El tercer tipo son las montmorillonitas laminares muy hinchables. El segundo y el tercer tipo de minerales arcillosos se encuentran en las lutitas de las formaciones, en el orden siguiente y en cantidades decrecientes: (1) ilita, (2) clorita, (3) montmorillonita y (4) caolinita. Como están presentes en las formaciones perforadas, estas arcillas se dispersan en cantidades variables dentro del sistema de fluido de perforación. La montmorillonita presente en las lutitas es generalmente la montmorillonita cálcica, porque está en equilibrio con el agua de la formación, la cual es generalmente rica en calcio.

La montmorillonita sódica (bentonita de Wyoming) también se añade normalmente a un fluido para aumentar la viscosidad y reducir el filtrado. Las propiedades de filtración y geológicas del fluido dependen de las cantidades de las diferentes arcillas contenidas en el fluido. Como la montmorillonita es añadida intencionalmente a un fluido para controlar estas propiedades, los otros tipos de arcillas pueden ser considerados como contaminantes, visto que no son tan eficaces como una arcilla comercial. La arcilla que existe naturalmente tiene una estructura apilada o estratificada, en la cual cada capa unitaria tiene un espesor de aproximadamente 10 ángstrom (Å). Esto significa que cada milímetro de espesor consta de aproximadamente un millón de capas de arcilla.

Cada capa de arcilla, es altamente flexible, muy fina, y tiene un área superficial enorme. Las arcillas son generalmente del tipo de dos capas como la caolinita o del tipo de tres capas como la montmorillonita, la clorita o la ilita. Cada partícula de arcilla laminar se compone de un apilamiento de capas unitarias paralelas. Cada capa unitaria consta de una combinación de hojas de sílice dispuestas tetraédricamente (en pirámide) y hojas de alúmina o magnesia dispuestas octaédricamente (ocho caras).

- Las arcillas de tres capas: se componen de capas unitarias constituidas por dos hojas tetraédricas de cada lado de una hoja octaédrica, en cierto modo como un emparedado (Figura 3.7)

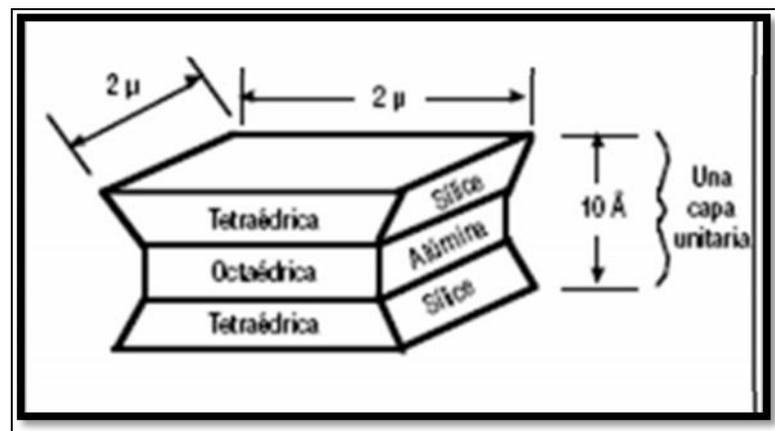


Figura 3.7 Partículas de Montmorillonita Idealizada.

- Las arcillas de dos capas: se componen de capas unitarias constituidas por una hoja tetraédrica y una hoja octaédrica. Las arcillas pueden ser eléctricamente neutras o estar cargadas negativamente. Por ejemplo, la pirofilita $[Al_2Si_4O_{10} - (OH)_2]$, una arcilla neutra, como aparece en la Figura 3.7, es similar a la montmorillonita cargada negativamente.

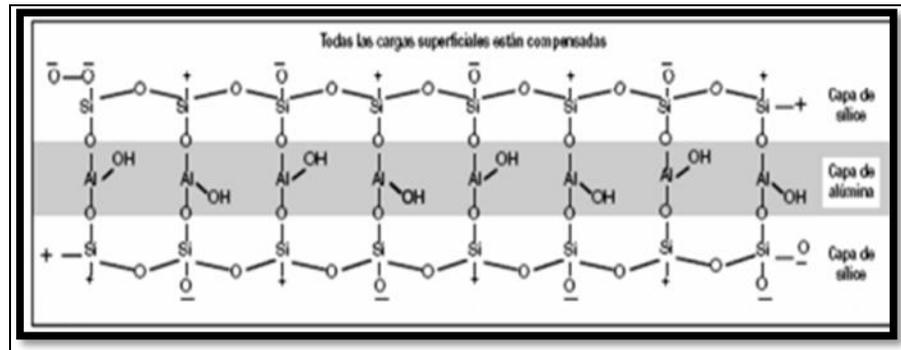


Figura 3.8 Pirofilita Eléctricamente Neutra.

- Arcillas esmécticas o montmorillonitas (arcillas de tres capas) $\text{Na}_{0,33} \text{Al}_{1,6} \text{Mg}_{0,33} \text{Si}_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_2$: si se sustituye un átomo de aluminio (Al^{3+}) por un solo átomo de magnesio (Mg^{2+}) en la estructura reticular (disposición de los átomos), ésta tendrá un electrón excedente o una carga negativa (Figura 3.8). La carga negativa neta es compensada por la adsorción de cationes (iones positivos) en las superficies de la capa unitaria, tanto en las superficies interiores como en las superficies exteriores del apilamiento.

Los cationes que se adsorben en las superficies de las capas unitarias pueden ser cambiados por otros cationes y se llaman los cationes intercambiables de la arcilla. La cantidad de cationes por peso unitario de la arcilla se mide y se registra como capacidad de intercambio catiónico (CEC). El catión puede ser un ion de simple carga como el sodio (Na^+) o un ion de doble carga como el calcio (Ca^{2+}) o el magnesio (Mg^{2+}). De este modo, tenemos montmorillonita sódica, montmorillonita cálcica y/o montmorillonita magnésica.

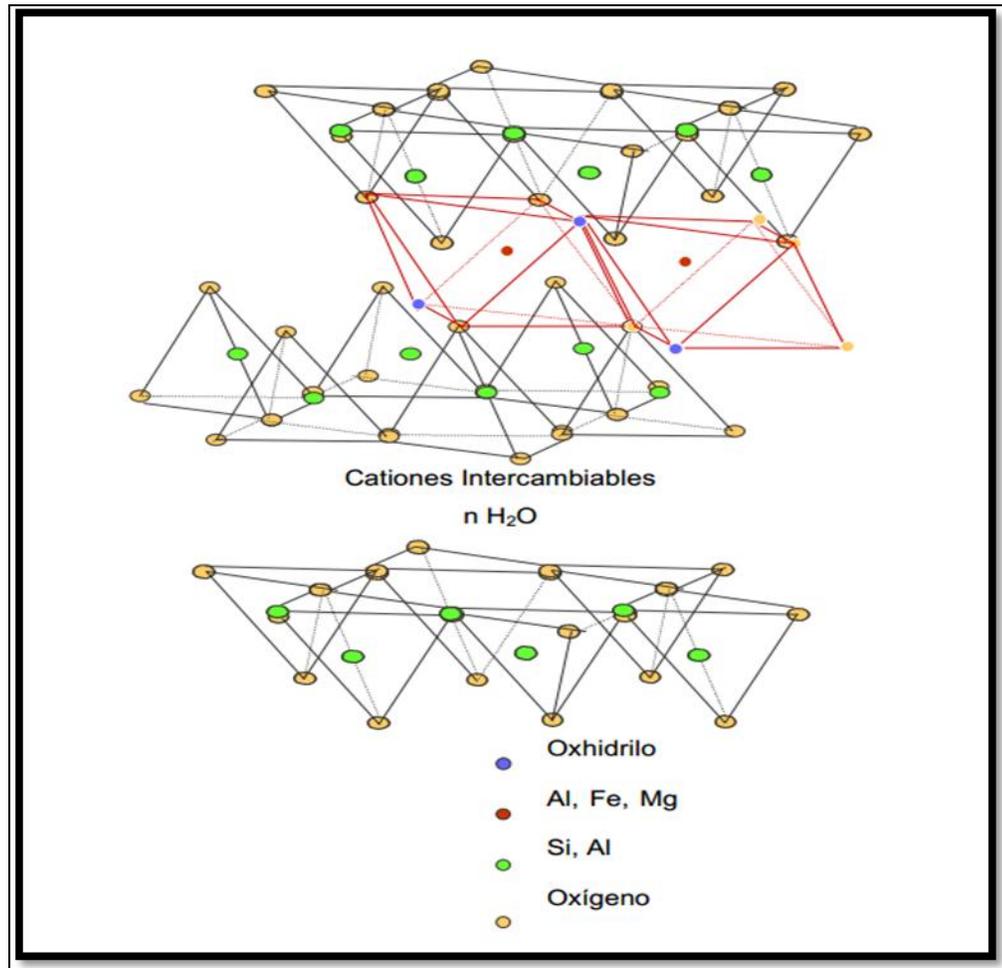


Figura 3.9 Estructura de la Esméctita.

Aunque la bentonita de Wyoming esté generalmente definida como montmorillonita sódica, el calcio y el magnesio intercambiables pueden constituir de 35 a 67% de la capacidad total de intercambio. La propiedad más típica de las montmorillonitas es la capacidad de hinchamiento entre capas (hidratación) con el agua.

Además de la sustitución del aluminio (Al^{3+}) por el magnesio (Mg^{2+}) en la red de montmorillonita, muchas otras sustituciones pueden ser realizadas. Por lo tanto, el

nombre montmorillonita se usa frecuentemente como nombre de grupo que incluye muchas estructuras minerales específicas. Sin embargo, en los últimos años, se ha aceptado cada vez más el nombre esméctica como nombre de grupo, reservando el término montmorillonita para los miembros predominantemente aluminosos del grupo. Este grupo de minerales incluye la montmorillonita y otros minerales específicos.

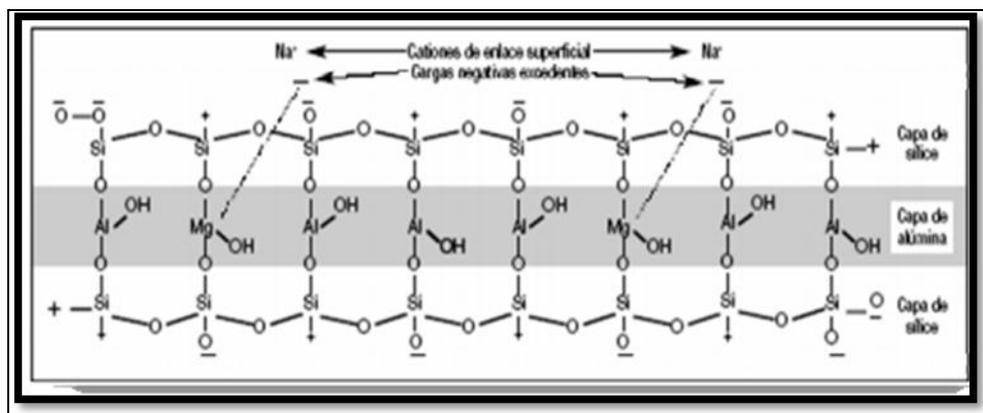


Figura 3.10 Sustitución de Al^{3+} por Mg^{2+} causando una partícula cargada negativamente.

La arcilla esméctica se reconoce en las microfotografías por su apariencia de hojuelas continuas, formando estructuras en forma de colmena. El agua de baja concentración salina y otras moléculas polares, incluyendo orgánicas, pueden expandir la esméctica, hasta separar completamente las capas.

- Iilitas (arcillas de tres capas) $(K_{1,8} (Al_{1,6} Fe_{0,2} Mg_{0,2}) (Si_{3,4} Al_{0,6}) O_{10}(OH)_2)$: las iilitas tienen la misma estructura básica que las montmorillonitas, pero no muestran la capacidad de hinchamiento entre capas. En vez de la sustitución de Al^{3+} por Mg^{2+} como en la montmorillonita, la iilita tiene una sustitución de Si^{4+} por Al^{3+} , lo cual aún produce una carga negativa. Los cationes compensadores son principalmente el ion potasio (K^+), como lo indica la Tabla 3.1. La carga negativa

neta de la red que resulta de estas sustituciones, mediante los iones potasio compensador, es generalmente mayor que la carga de la montmorillonita, pudiendo ser hasta una vez y media más grande que ésta. (Figura 3.11)

El espacio entre las capas unitarias es de $2,8 \text{ \AA}$. El diámetro iónico de K^+ es de $2,66 \text{ \AA}$. Esto permite que el K^+ encaje perfectamente entre las capas unitarias, formando un enlace que impide el hinchamiento en la presencia de agua. Como las capas unitarias no se hinchan ni se separan al ser expuestas al agua, los iones potasio (K^+) presentes entre las capas unitarias no están disponibles para el intercambio. Sólo los iones potasio que se encuentran en las superficies exteriores pueden ser cambiados por otros cationes.

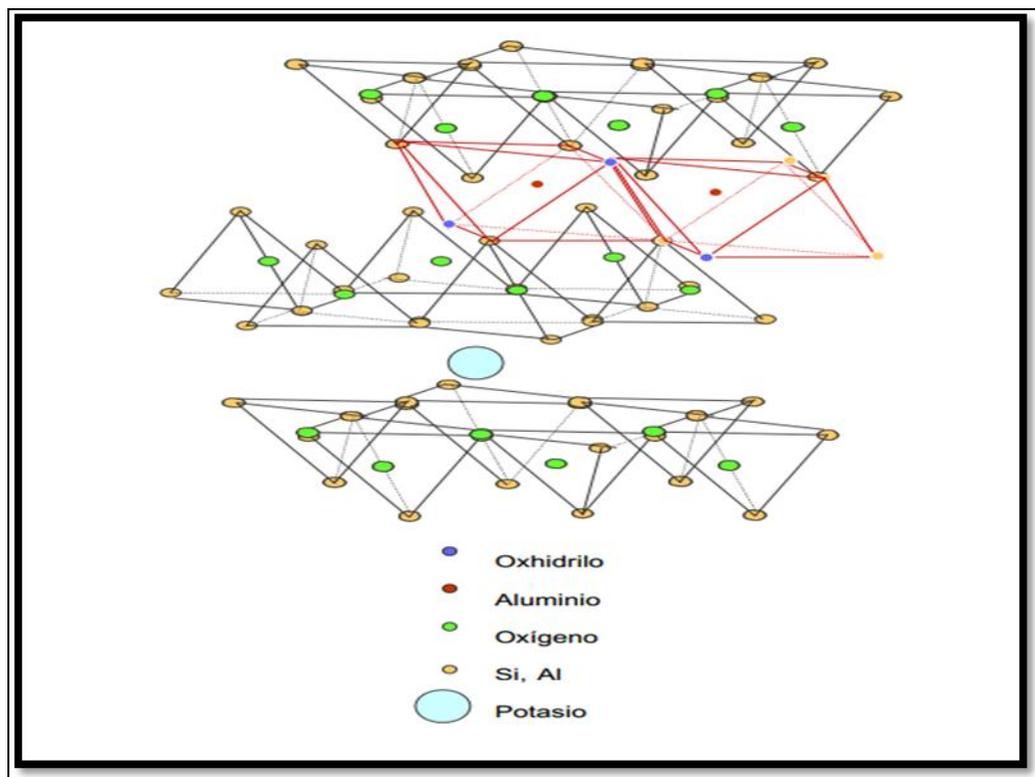


Figura 3.11 Estructura de la Illita.

La Illita se reconoce en microfotografías por su forma de agujas o cabellos. Es muy propensa a quebrarse y migrar por el movimiento de fluidos. Entre los minerales arcillosos 2:1, la esmética, Illita, y capas mixtas de Illita y esmética son encontradas durante la perforación de formaciones de lutitas, causando frecuentemente distintos problemas relacionados con la estabilidad del pozo y el mantenimiento del fluido de perforación.

La naturaleza problemática de estos minerales arcillosos puede estar relacionada con los cationes débilmente enlazados entre las capas y las cargas débiles de las capas que producen el hinchamiento y la dispersión al entrar en contacto con el agua. A medida que la profundidad de entierro aumenta, la esmética se convierte gradualmente en arcillas de capas mixtas de Illita/esmética, y finalmente en Illita y mica. Como resultado, las formaciones de lutitas se vuelven generalmente menos hinchables pero más dispersivas en agua, a medida que la profundidad aumenta.

- Cloritas (arcillas de tres capas) $(\text{MgFe})_5 (\text{AlSi}_3) (\text{AlO}_{10}) (\text{OH})_8$: en estas arcillas, los cationes compensadores de carga entre las capas unitarias de tipo montmorillonita son reemplazados por una capa de hidróxido de magnesio octaédrico, o brucita (Tabla 3.1). Esta capa tiene una carga positiva neta debido a la sustitución de ciertos Mg^{2+} por Al^{3+} en la capa de brucita. Las cloritas se encuentran frecuentemente en antiguos sedimentos marinos enterrados a grandes profundidades, y normalmente no causan ningún problema importante a menos que estén presentes en grandes cantidades (Figura 3.12).

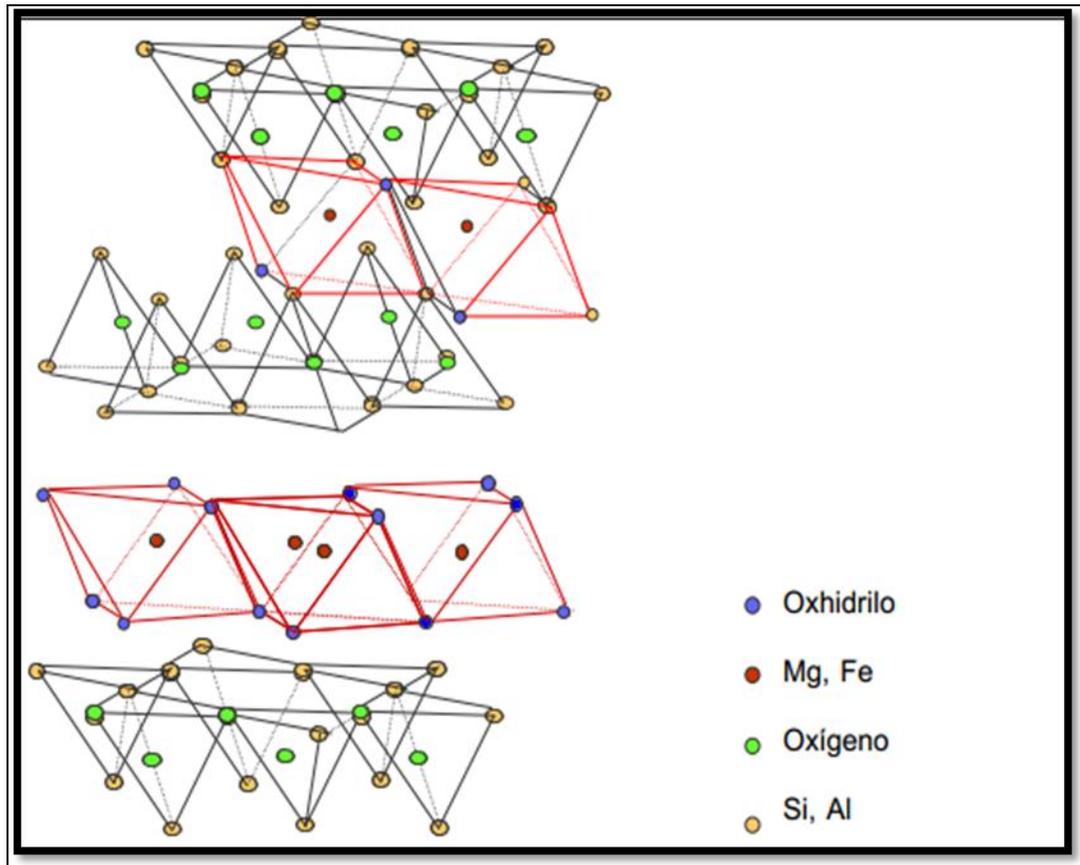


Figura 3.12 Estructura de la Clorita.

La capacidad de intercambio catiónico de la clorita varía de 10 a 20 meq/100 g, principalmente debido a los enlaces rotos. La distancia entre capas de clorita suele ser de aproximadamente 14 Å. La clorita también puede formar arcillas de capas mixtas con otros minerales arcillosos tales como la esméctica.

La arcilla resultante de capas mixtas tendría las propiedades de ambos tipos de minerales arcillosos. Se reconoce en microfotografías porque sus láminas planas están dispuestas en forma de rosetas u hojas de repollo. Esta arcilla no es propensa a disgregarse y migrar ni a expandirse, pero, por su alto contenido de hierro, es muy problemática a la hora de inyectar ácido clorhídrico en la formación.

- Caolinitas (arcillas de dos capas) $\text{Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 (\text{OH})_4$: la caolinita es una arcilla no hinchable cuyas capas unitarias están fuertemente ligadas mediante enlaces de hidrógeno, sin embargo puede fracturarse y migrar, por efecto de la concentración iónica del medio. Se reconoce fácilmente en microfotografías por su aspecto de láminas paralelas perfectamente colocadas unas sobre otras. La caolinita no contiene cationes entre capas ni tiene cargas superficiales porque no se produce casi ninguna sustitución en las hojas tetraédricas u octaédricas (Figura 3.13).

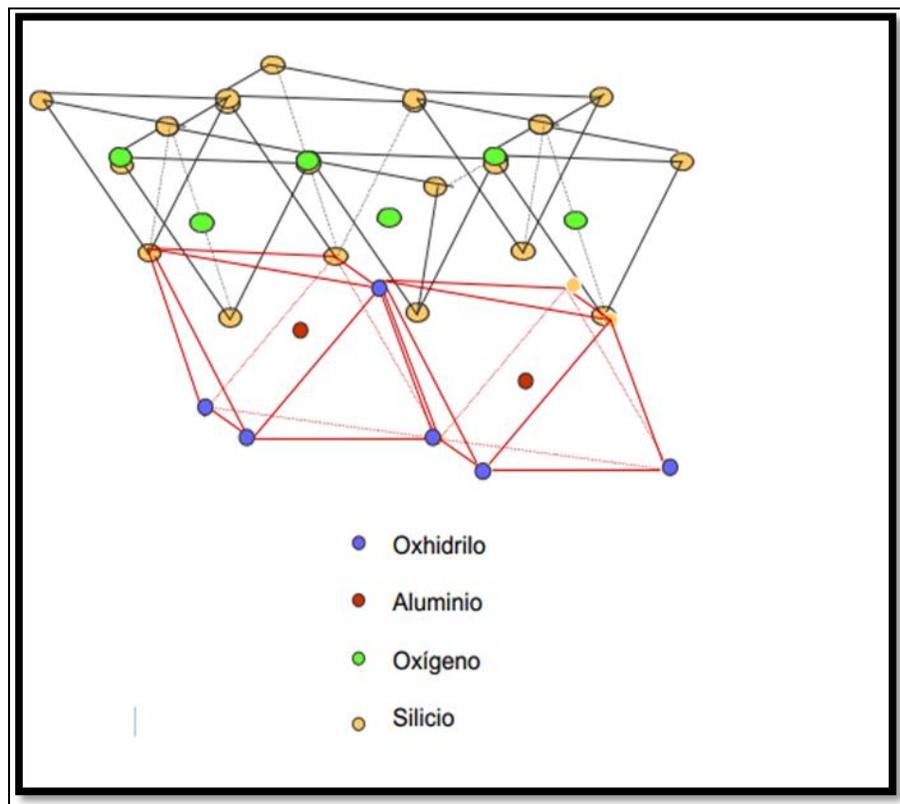


Figura 3.13 Estructura de la Caolinita.

Sin embargo, algunas pequeñas cargas pueden resultar de los enlaces rotos o las impurezas. Por lo tanto, la caolinita tiene una capacidad de intercambio catiónico

relativamente baja (de 5 a 15 meq/100 g). La caolinita se encuentra comúnmente como componente menor a moderado (5 a 20%) de las rocas sedimentarias tales como las lutitas y las areniscas.

La Tabla 3.2 contiene un resumen de los minerales arcillosos presenta una comparación esquemática de las diferentes estructuras de las arcillas.

Tabla 3.2 Arcillas Encontradas Comúnmente.

Grupo	Estructura	Carga	Catión de intercambio	Distancia inter-atómica Å	Hincha-miento
Caolinita	Cadena 1.1	Nula	Ninguno	7.2	Ninguno
Esméctica	Cadena 2.1	0.3-0.6	Na+, Ca+, K+, Mg+	11-15	Variable
Vermiculita	Cadena 2.1	1.0-4.0	K+, Mg+	14-15	Variable
Ilita	Cadena 2.1	1.3-2.0	K+	10	Nulo
Mica	Cadena 2.1	2.0	K+	10	Ninguno
Sepiolita	Cadena 2.1	nula	Ninguno	12	Nulo
Clorita	Cadena 2.2	Variable	Capa de brucita	14	Nulo

- **Granulometría:** en geología, este análisis granulométrico permite diferenciar diversas clases de materiales independientemente de su naturaleza química. Dentro de la clasificación granulométrica de las partículas del suelo, las arcillas ocupan el siguiente lugar (Tabla 3.3)

Tabla 3.3 Clasificación granulométrica de los materiales contenidos en el subsuelo.

Partículas	Tamaño de grano
Arcillas	<0.002 mm
Limos	0.002- 0.06mm
Arenas	0.06- 2mm
Gravas	2mm- 60mm
Cantos rodados	60- 250mm
Bloques	>250mm

No obstante lo anterior, la clasificación USCS que es utilizada habitualmente en ingeniería usa los límites de tamaños máximos de 4,75 mm para las arenas y de 0,075 mm para las arcillas y limos.

- **Lutita:** es una roca sedimentaria compuesta por partículas del tamaño de la arcilla y del limo. Estas rocas detríticas de grano fino constituyen más de la mitad de todas las rocas sedimentarias. Las partículas de estas rocas son tan pequeñas que no pueden identificarse con facilidad sin grandes aumentos y por esta razón, resulta más

difícil estudiar y analizar las lutitas que la mayoría de las otras rocas sedimentarias. Términos en español e inglés: MUDROCK y MUDSTONE (equivalente a Lutita), Mudrock (término general), Mudstone (lutita sin fisibilidad o laminación), SHALE: (lutita con fisibilidad), SILTSTONE (-Mudstone) –CLAYSTONE =limolita – arcillita, SLATE: roca metamórfica o lutita con esquistosidad.

Se denominan limolitas y argilitas según si la medida de las partículas es, respectivamente, superior o inferior a 1/256 mm; cuando no son coherentes reciben los nombres de limos y arcillas. Las lutitas que contienen alrededor del 50% de carbonato de calcio (del 35% al 65%) se denominan margas y suelen ser de colores azulados.

Las diminutas partículas de la lutita indican que se produjo un depósito como consecuencia de la sedimentación gradual de corrientes no turbulentas relativamente tranquilas. Entre esos ambientes se cuentan los lagos, las llanuras de inundación de ríos, lagunas y zonas de las cuencas oceánicas profundas. Incluso en esos ambientes "tranquilos" suele haber suficiente turbulencia como para mantener suspendidas casi indefinidamente las partículas de tamaño arcilloso.

Las lutitas difieren de areniscas y conglomerados en particular en su granulometría más fina. Debido a su tamaño de las partículas finas, el tamaño de grano de lutitas no se puede determinar por los métodos de cribado. El tamaño de partículas de las lutitas que pueden ser desglosados. También, algunas lutitas están firmemente cimentadas que no pueden ser desglosados en partículas individuales, lo que hace imposible determinar el tamaño exacto (Tabla 3.2)

El tamaño de grano y la clasificación de los sedimentos fangosos y rocas sedimentarias son muy variables. Datos de Picard (1971) sugieren que los modernos lodos contienen en promedio alrededor del 45 por ciento de limo, el 40 por ciento de

arcilla, y el 15 por ciento de arena. El tamaño de grano es uno de los principales parámetros utilizados en la clasificación de estas rocas.

Tabla 3.4 Clasificación de las lutitas según su espesor (Picard, 1971).

Espesores	Estratificación		Clivaje	Composición	
30 cm	Delgada	Capas	Slabby	↑	
3 cm	Muy delgada				
10 mm	Gruesas	Laminación	Flaggy	Contenido de arcillas y materia orgánica	
5 mm	Medianas		Platy		
1 mm	Delgada		Fissile		
0.5 mm	Muy delgada		Papery		↓

La Fisilidad se define como la propiedad que poseen algunas rocas de dividirse fácilmente en capas finas a lo largo de poco espaciados, más o menos planas, y aproximadamente paralelas a las superficies (Bates y Jackson, 1980)

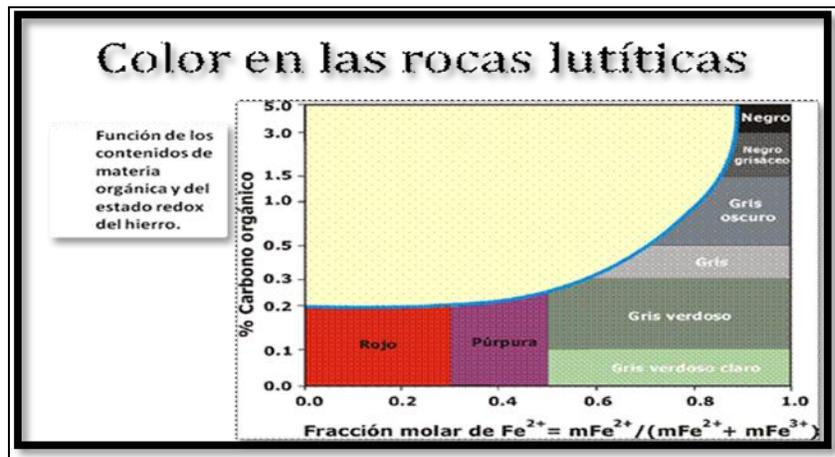


Figura 3.14 Representación gráfica de los colores en las rocas lutíticas (Bates y Jackson, 1980)

A veces, la composición química de la roca proporciona información adicional. Un ejemplo es la lutita negra, que es negra porque contiene abundante materia orgánica (carbono). Cuando se encuentra una roca de este tipo, indica con fuerza que la sedimentación se produjo en un ambiente pobre en oxígeno, como un pantano, donde los materiales orgánicos no se oxidan con facilidad y se descomponen.

Conforme se acumula el limo y la arcilla, tienden a formar capas delgadas, a las que se suele hacer referencia como Láminas. Inicialmente las partículas de las láminas se orientan al azar. Esta disposición desordenada deja un elevado porcentaje de espacio vacío (denominado espacio de poros), que se llena con agua. Sin embargo, esta situación cambia normalmente con el tiempo conforme nuevas capas de sedimento se apilan y compactan el sedimento situado debajo

Conforme se acumula el limo y la arcilla, tienden a formar capas delgadas, a las que se suele hacer referencia como Láminas. Inicialmente las partículas de las láminas se orientan al azar. Esta disposición desordenada deja un elevado porcentaje de espacio vacío (denominado espacio de poros), que se llena con agua. Sin

embargo, esta situación cambia normalmente con el tiempo conforme nuevas capas de sedimento se apilan y compactan el sedimento situado debajo.

Durante esta fase las partículas de arcilla y limo adoptan una alineación mas paralela y se amontonan. Esta reordenación de los granos reduce el tamaño de los espacios de poros, expulsando gran parte del agua. Una vez que los granos han sido compactados mediante presión, los diminutos espacios que quedan entre las partículas no permiten la circulación fácil de las soluciones que contienen el material cementante. Por consiguiente, las lutitas suelen describirse como débiles, porque están poco cementadas y, por consiguiente, no bien litificadas.

Aunque la lutita es más común que las otras rocas sedimentarias, normalmente no atrae tanto la atención como otros miembros menos abundantes de este grupo. La razón es que la lutita no forma afloramientos tan espectaculares como suelen hacer la arenisca y la caliza. En cambio, la lutita disgrega con facilidad y suele formar una cubierta de suelo que oculta debajo la roca no meteorizada. Esto se pone de manifiesto en el Gran Canon, donde las suaves pendientes de lutitas meteorizadas, pasan casi desapercibidas y están cubiertas por vegetación, en claro contraste con los empinados acantilados producidos por las rocas más duraderas.

3.2.4 Fotointerpretación

Es el proceso por el que se extrae la información contenida en la fotografía aérea. En una primera fase se trata de reconocer y ubicar los diferentes elementos que aparecen representados. Se requieren ciertos conocimientos acerca de los procesos geomorfológicos, formaciones vegetales y usos del suelo del área de trabajo; hace falta además tener en cuenta la escala del fotograma y el tamaño de los objetos representados. Resulta por tanto una técnica instrumental útil en estudios territoriales.

El primer paso sería orientar los fotogramas. Puede hacerse a partir de la dirección de las sombras y de la hora indicada en el reloj del fotograma o bien, de forma más exacta, mediante un mapa topográfico de la zona.

Existen diferentes elementos en los fotogramas que pueden utilizarse para la identificación de elementos en las mismas, bien a simple vista o bien con el apoyo de la visión estereoscópica:

1. Tamaño de los elementos (teniendo siempre en cuenta la escala del fotograma).
2. La forma de los elementos.
3. Las sombras, que pueden dar pistas sobre la forma del objeto ocultas en una vista aérea.
4. El tono que indica la reflectividad en la región del visible.
5. Textura, distribución de colores en una fotografía.
6. Distribución de los elementos

El método de trabajo tradicional ha sido el dibujo de los diferentes objetos que aparecen en la fotografía en acetato transparente al mismo tiempo que se observa el par de fotogramas con estereoscopio. Sin embargo puede resultar complicado y resulta preferible dibujar sobre el fotograma escaneado al mismo tiempo que se observan los fotogramas con el estereoscopio. Además es posible corregir y georreferenciar de forma semiautomática un fotograma escaneado, de este modo puede integrarse en un Sistema de Información Geográfica. Existen también

estereoscopos adaptados para trabajar en la pantalla del ordenador.

3.2.4.1 Geología y geomorfología

- Topografía: la acentuación de las diferencias topográficas que proporciona la fotografía aérea nos permite obtener una visión global del paisaje. A partir de la topografía puede llegarse a conclusiones de interés acerca Sin embargo más que en una visión global de la topografía puede ser interesante centrarse en las discontinuidades de detalle de la altitud que van a revelar la existencia de geoformas debidas a los procesos de modelado, erosión diferencial, escarpes, además de las grandes líneas estructurales.

- Litología: diversos son los elementos que pueden ayudar a identificar litologías.

1. Tonos característicos
2. Formas de modelado a que dan lugar
3. Tipología de la red de drenaje a que dan lugar
4. Comportamiento de la vegetación en relación a los diferentes tipos de roca.

Las rocas sedimentarias presentan planos de estratificación y un bandeo característico fácilmente identificable en la fotografía aunque, en algunos casos, pueden aparecer ocultos por la vegetación. Sin embargo a veces las discordancias litológicas pueden aparecer resaltadas debido a las preferencias de la vegetación por un tipo de roca u otro.

Las arcillas se caracterizan por un color oscuro, más claro en el caso de las arcillas arenosas. La red de drenaje aparece muy desarrollada y de alta densidad. Resulta difícil identificar fracturas o fallas debido a que la plasticidad de la arcilla las enmascara.

Las margas son arcillas que contienen entre un 35 un 65 % de CO_3Ca por lo que su color es algo más claro y su morfología es semejante a la de las arcillas. Sin embargo dependiendo de la composición pueden dar lugar a morfologías y colores muy diferentes.

Las arenas dan lugar a relieves bajos, formando llanuras irregulares drenadas por redes dendríticas cuya densidad dependerá del grado de cohesión y humedad de las arenas. Los interfluvios tienen formas suaves al contrario que en el caso de las arcillas. Si aparecen mezclas de arenas y arcillas las características de drenaje se combinan.

Los conglomerados presentan características muy cambiantes en función de los materiales de los que están formados, dando lugar a una gran variedad de formas y relieves. En general forman plataformas extensas, horizontales o algo inclinadas extensas, que protegen de la erosión otros materiales más débiles.

Por su falta de elasticidad suelen fracturarse en caso de sufrir esfuerzos tectónicos. Estas fracturas pueden reconocerse, no sólo por la presencia de escarpes, sino también a que tanto la vegetación como la red de drenaje se concentran en ellas. Las calizas, por ser rocas sedimentarias, pueden aparecer mezcladas con proporciones diversas de otros materiales como arena, arcilla o marga. Las calizas más puras suelen ser más resistentes dando, por tanto, lugar a relieves más fuertes.

Los estratos calizos son continuos y con bordes suaves y redondeados y forman resaltes sobre otros estratos menos resistentes. En el caso de que hayan experimentado pliegues complejos su identificación puede resultar compleja. En el caso de estratos de calizas puras, horizontales o sub horizontales y afectados por procesos de fracturación, estos se ven sometidos a procesos de karstificación que se muestran en la fotografía aérea como alineaciones de dolinas y la aparición de poljes. Por otra parte la infiltración del agua supone la ausencia de red de drenaje y la escasez de la vegetación.

Es habitual la presencia de capas intercaladas de estratos calizos intercalados con margas o margo-calizas perfectamente identificables en el caso de que los pliegues no sean muy complejos.

- Estructura: con el uso de la fotografía aérea resulta sencillo identificar fallas y fracturas de gran tamaño aunque no las pequeñas. Tampoco suele poder distinguirse entre falla y fractura. En general son más fáciles de identificar en ambientes áridos y semiáridos.

Las fallas en las que la componente vertical del desplazamiento es más importante que la horizontal modifica la topografía con lo que su identificación en el campo es más sencilla. La inclinación del plano de falla solo puede apreciarse cuando origina escarpes y toda la morfología de facetas, barrancos y conos de deyección asociada.

Todas las modificaciones que pueden sufrir este tipo de estructuras a posteriori debido a los procesos erosivos (retroceso y pérdida de altura del escarpe) son difícilmente observables en fotografía aérea.

Las fracturas suelen actuar como zonas de acumulación de agua. EL resultado es un incremento de la acción de los procesos erosivos que se pone de manifiesto en la topografía y es fácilmente detectable en fotointerpretación.

En cuanto a los plegamientos, la erosión diferencial acentúa la diferenciación entre estratos y suele provocar inversiones del relieve (anticlinales desventrados y sinclinales colgados). En los sinclinales la charnela sinclinal suele coincidir con una zona deprimida apareciendo sierras alargadas cuya vertiente más suave mira hacia el eje del sinclinal.

La topografía de domos y cubetas es similar a la de anticlinales y sinclinales (respectivamente) pero con planta anular. Se puede reconocer la presencia de un estrato y su dirección de buzamiento ya que el talud de menor pendiente mira hacia este. La parte convexa del talud mira en dirección contraria al buzamiento.

- Drenaje: la exageración del relieve en una fotografía aérea permite apreciar detalles de la red de drenaje que no resultan fáciles de detectar en un mapa a la misma escala. La precisión obtenida no puede igualarse con visitas de campo que además no permiten una visión de conjunto.

Ayudan a la identificación de litologías y estructuras ya que la red de drenaje está sujeta a numerosos controles por parte de litología, topografía y estructura.

La densidad de la red de drenaje disminuye con la dureza de la roca. En ausencia de control estructural la red tiende a ser dendrítica. En el caso de control por plegamientos aparecen redes paralelas o subparalelas, radiales (centrífugas o centrípetas), anulares (centrífugas o centrípetas). Los cauces son de tipo anastomosado.

En el caso de control por fracturación la red de drenaje corre por fallas y fracturas debido a que son zonas de menor resistencia. En consecuencia las redes de fracturas tienden a formar redes de tipo angular.

- Depósitos fluviales: los depósitos aluviales en los cauces de los ríos de cierta entidad son difíciles de reconocer directamente debido a problemas de escala y a la existencia de vegetación, sin embargo se pueden localizar por su posición topográfica. Las terrazas fluviales son fáciles de identificar:

1. Superficies más o menos planas.
2. Borde escarpado y a cierta altura respecto al cauce actual del río.
3. Discontinuas.
4. Aparecen varios niveles, tantos más antiguos (bajos) más altos.

Los conos de deyección: aparecen sobre llanuras en la desembocadura de torrentes temporales. Su forma les hace ser fácilmente reconocibles en fotografía aérea.

Coluviones: Son depósitos formados por materiales arrancados de las laderas. Suelen presentar una morfología anómala respecto a la zona.

Costras: en lo alto de glaciares de acumulación. Son depósitos horizontales de un color generalmente más oscuro. Transito suave entre la parte plana y el escarpe, forma palmeada.

- Vegetación y usos del suelo: la vegetación aparece en general como manchas de tonos oscuros que dependerán de factores diversos como tipo de vegetación y estado vegetativo (cuanto más sana sea la planta más oscuro será el tono), humedad del suelo (cuanto mayor sea la humedad tanto en el suelo como en la planta más oscuro será el tono), época del año (los cereales dan lugar a manchas oscuras en invierno y claras en verano), inclinación solar, etc.

En general va a ser la forma que adopten las manchas visibles en la fotografía lo que nos va a dar las pistas más fiables para identificar componentes de vegetación natural o cultivada. La gran ventaja de la fotografía aérea sobre las imágenes de satélite es que el tamaño de pixel o tamaño de grano es inferior al tamaño de los objetos que se quieren identificar cuando se estudia vegetación. Esta afirmación es, sin embargo, cada vez menos cierta ya que se dispone hoy en día de imágenes de satélite con una resolución de 1 metro.

Es importante tener en cuenta la escala aproximada del fotograma para estimar las dimensiones reales de los objetos que estamos viendo a partir de su dimensión sobre el papel. Individuos de diferentes especies vegetales pueden tener formas similares, en cuanto a su proyección sobre la superficie, pero variar en tamaño.

Otro elemento fundamental es la forma con que se disponen las manchas que observamos. Una disposición regular, formando mallas o siguiendo las curvas de nivel, indica normalmente cultivos; mientras que la vegetación natural suele disponerse en forma más irregular o con adaptaciones complejas a factores ambientales.

Estos factores ambientales constituyen una información contextual que resulta también de gran valor para identificar diferentes especies o usos del suelo debido a

que condicionan la actividad de la vegetación directamente o a través del tipo de suelo a que dan lugar.

1. Topografía constituye un conjunto de factores primordiales. En primer lugar, la pendiente, orientación, área drenada, rugosidad.

2. Litología. Algunos tipos de roca no permiten el desarrollo de la vegetación o, en todo caso, de una vegetación muy pobre (yesos por ejemplo). Sin embargo terrenos aluviales o suelos desarrollados sobre rocas carbonatadas con escasa pendiente van a permitir un desarrollo importante de la vegetación.

3. Geomorfología. Determinadas geoformas (fallas, fracturas, barrancos, etc.) pueden dar lugar a una concentración de agua que favorezca el desarrollo de la vegetación.

4. Clima a grandes rasgos a cada tipo climático le corresponde un tipo de vegetación, pero en el análisis de fotografías aéreas es necesario tener en cuenta las variaciones micro climáticas que pueden dar lugar a cambios en la vegetación. Por ejemplo determinadas especies son más susceptibles de aparecer en umbría que en solana, la altitud va a condicionar el microclima y por tanto las especies que aparezcan

Por tanto resulta útil conocer la distribución espacial de todos estos factores antes de iniciar el trabajo de identificación de especies

3.3 Definición de términos básicos

3.3.1 Correlación

A partir del estudio de los perfiles de pozos se puede obtener información acerca de condiciones geológicas, propiedades de yacimiento y geofísica. Asociando varios pozos, se puede obtener información complementaria, la que permitirá desarrollar una reconstrucción arquitectónica en el tiempo y el espacio de los estratos y de la evolución de sus propiedades (PDVSA, 2004)

A la escala práctica de los perfiles de pozos y de interpretación sísmica, las capas pueden ser correlacionadas para definir unidades de sedimentos, depositadas durante un determinado tiempo. Esta es la llamada correlación cronoestratigráfica, que se distingue de la correlación litoestratigráfica en que, esta última define unidades físicas de rocas comunes, depositadas en ambientes sedimentarios similares, independientemente de la estratificación.

La correlación de capas cronoestratigráficas, mediante perfiles de pozos, depende principalmente de la continuidad lateral de los sedimentos. La correlación por sísmica, proporciona una mejor visión de estratificación cronoestratigráfica de gran escala que la que se puede lograr a través de los perfiles de pozos. Sin embargo, el detalle de definición de capas individuales es mayor en los perfiles de pozos (PDVSA, 2004)

A fin de correlacionar una secuencia discontinúa de afloramientos, se buscan generalmente ciertos patrones característicos, tales como el tipo de litología, color, textura, rasgos sedimentarios y secuencias de flora y fauna. En el subsuelo, se usan las características equivalentes mostradas por eventos o grupos de eventos en los perfiles.

El objetivo primario del estudio de pozos es establecer correlaciones cronoestratigráficas entre ellos empleando niveles bases o guía y realizar correlaciones entre facies. También generar secciones y mapas que contribuirán en la exploración y serán de gran ayuda para el descubrimiento de acumulaciones de hidrocarburos económicamente viables

La aplicación del principio de la casualidad nos permite aseverar que la persistencia de cierto criterio entre un punto de observación (un pozo) y otro es una prueba de que las causas originales fueron las mismas en ambos lugares. Por esta razón, si observamos rasgos de perfiles similares, podemos concluir que:

1. Las condiciones sedimentarias fueron las mismas en ambos sitios.

2. Probablemente se trata de la misma formación, a menos que el fenómeno en tiempo (verticalmente en el perfil), o es repetido dentro del mismo intervalo estratigráfico.

Todos los fenómenos geológicos de importancia considerable, tales como períodos de soterramiento, erosión, transgresión o movimientos tectónicos dejarán su impresión en las mediciones de los perfiles, de la misma manera que lo hacen en las rocas y formaciones, sin tener en cuenta las facies y el ambiente. Estos rasgos indicarán por ello la presencia de estos fenómenos geológicos. Esto es tan cierto que en muchos lugares los perfiles de pozos son la base para formaciones litoestratigráficas, y cada unidad litológica de una cuenca puede ser definida en términos de un perfil tipo, que será usado como referencia tanto para la litología como para las características del perfil en sí (PDVSA, 2004).

Algunas guías básicas válidas, las cuales son usadas en el proceso de correlación de perfiles son:

1. Detectar las arenas de mayor espesor utilizando la curva de SP o la de Rayos Gamma.
2. Primero se debe de correlacionar la sección lutítica.
3. Inicialmente, se emplea la curva de resistividad short (corta) normal amplificada, la cual usualmente provee la más confiable correlación de lutitas.
4. Es recomendable comenzar a correlacionar desde el tope del registro, no en el medio.
5. Usar lápices de colores para identificar puntos específicos de correlación.
6. En áreas de gran fallamiento, primero correlacione la parte inferior del registro y luego la superior.
7. No debe de forzar la correlación.

Una correcta correlación, es lo apropiado para una interpretación geológica confiable. Los mapas geológicos del subsuelo basados en correlación de registros son tan confiables como la correlación utilizada en su construcción. Mientras que la correlación entre los pozos, es un factor importante en el estudio de un yacimiento, el objetivo primario de tal estudio es la evolución lateral de las características petrofísicas de los reservorios, conjuntamente con una detallada y precisa reconstrucción de la geometría de las diferentes facies y del yacimiento (PDVSA, 2004)

Existen tres conceptos fundamentales empleados en el proceso de correlación de perfiles, y son los siguientes:

3.3.2 Similitud

Está basado esencialmente en la forma de las curvas, o sea la frecuencia, amplitud y posición de los eventos del perfil en sucesiones verticales. Este concepto será utilizado para correlaciones de gran detalle, para estudios muy precisos y un espaciado mínimo entre puntos de control (PDVSA, 2004)

Debe tenerse cuidado en aplicar este concepto a correlaciones sobre distancias considerables, especialmente cuando la similitud de la forma no es perfecta. Por otro lado, sí la similitud es perfecta, uno puede concluir que la correlación es válida y respeta la crono estratigrafía.

3.3.3 Ritmicidad

La sedimentación ocurre a manera de secuencias, ritmos o ciclos relacionados a fenómenos geológicos de cierta importancia, de manera que tendrán características regionales, indistintamente del tipo de sedimentación.

Las secuencias están separadas entre sí por superficies limitantes que implican una interrupción en la sedimentación anterior al retorno, a las condiciones de sedimentación similares y a las que generaron la base de la secuencia precedente. Esto con frecuencia lleva a una evolución general similar, o lo que es lo mismo, genera electrosecuencias comparables entre sí.

Este es un concepto muy importante, ya que permite identificar fenómenos geológicos mostrando una buena sincronización y aún predecir cierto retardo o diferencia temporal entre una parte de la cuenca y otra. Tales fenómenos incluyen interrupciones en la sedimentación debido a movimientos tectónicos, períodos transgresivos, ciclos eustáticos, erosión e hiatos en la sedimentación (PDVSA, 2004)

3.3.4 Variabilidad lateral

Este concepto está basado en dos tipos de evidencias:

1. Un juicio subjetivo acerca de la calidad de la correlación generalmente está basado en el grado de similitud entre la forma de cada perfil y su correspondiente equivalente en el otro pozo, el número de pozos mostrando esta similitud característica, y el intervalo dentro del cual se observa esta similitud.

2. La relación lateral de las facies no es al azar, debido a que de acuerdo con la ley de Walther, a la escala de la secuencia sedimentaria existe una relación entre secuencias elementales yuxtapuestas y superpuestas. Esto significa, que en el mismo instante en una cuenca dada, puede producirse la sedimentación de arenas, limos, arcillas y carbón.

3.3.5 Marcadores

Se consideran como marcadores, niveles con características litológicas o físicas bien individualizadas, los cuales se pueden discernir claramente en perfiles e identificarse en pozos vecinos. Los niveles con estas características tienen gran importancia para las correlaciones, pues abarcan áreas en las que el resto de las litologías pueden variar (PDVSA, 2004)

3.3.6 Facies

Conjunto de características, litológicas y paleontológicas que definen una unidad estratigráfica y que permiten diferenciarlas de las demás. Este término es utilizado también en petrología y mineralogía (PDVSA, 2004). También se ha empleado como:

1. Descriptivo.
2. Genético.
3. Unidad estratigráfica.

Se hace extensivo el uso de éste término para denominar al conjunto de características genéticas reinantes durante el depósito. El concepto de Unidad Estratigráfica, se refiere a un volumen de roca que se puede medir; el concepto de “Facies”, no implica una distribución espacial, ni se refiere a un volumen, sino a un conjunto de características que se pueden observar en un grupo de estratos, como es: la composición, textura, color, estructuras sedimentarias y fósiles (PDVSA, 2004)

3.3.7 Facies sedimentarias

Una facies sedimentaria es una secuencia de roca sedimentaria que se caracteriza por su geometría (forma), litología, estructuras sedimentarias, paleo-corrientes y fósiles (PDVSA, 2004)

3.3.8 Cambios de facies

Es una variación lateral o vertical, con características litológicas o paleontológicas en depósitos sedimentarios contemporáneos. Esto es debido a cambios en el ambiente depositacional (PDVSA, 2004)

3.3.9 Secciones

Las secciones o cortes geológicos son un elemento de gran utilidad para ver o resolver en forma gráfica algunos problemas que los mapas por si solos no pueden

hacer. De una manera general, puede decirse que se constituyen a partir de registros eléctricos tomados en pozos perforados, alineados uno al lado del otro salvo en algunas excepciones en secciones estructurales (PDVSA, 2004)

3.3.10 Secciones estratigráficas

Las secciones estratigráficas son secciones de correlación que se usan para identificar unidades semejantes que permitan establecer la continuidad lateral de las mismas, así como las relaciones verticales entre las unidades que forman la columna estratigráfica. Se construyen con registros eléctricos colocados uno al lado del otro equiespaciados, tomando un marcador geológico reconocible claramente en todos los registros. El datum se coloca a 500 o 1000 pies por encima de este marcador señalándolo con una línea de color rojo o azul. Las secciones estratigráficas en detalle sirven para determinar el ambiente sedimentario en el cual tuvo lugar la deposición (PDVSA, 2004). Los objetivos de la sección estratigráfica son:

1. Resolver problemas de producción por comunicación entre pozos.
2. Determinación del riesgo perforatorio de un pozo de desarrollo o avanzada.
3. Fijar límites entre yacimientos.
4. Reconocer áreas de baja permeabilidad.

3.3.11 Secciones estructurales

Las secciones estructurales tratan de emular un corte verdadero o retrato de la roca del subsuelo. El datum aquí es un valor numérico de profundidad, desde el cual se cuelgan los perfiles de los pozos que se estudian. Las líneas que unen unidades

litológicamente iguales, representan el buzamiento aparente de las capas, las fallas tienen sus dimensiones reales, los desplazamientos de bloques y las deformaciones de las capas también se muestran tal como son. Estas secciones entonces son muy útiles para resolver problemas estructurales en áreas de gran deformación y cizallamiento (PDVSA, 2004)

En cuanto al rumbo o dirección que deben tener estas secciones, se harán de acuerdo con lo que se quiere ver, y no se harán necesariamente iguales a las estratigráficas. Una sección estructural se hará principalmente perpendicular a la estructura o a la falla y hará mostrar el buzamiento de ambas. Como las secciones estructurales muestran altos y bajos buzamientos y posiciones relativas, conviene que sus valores de profundidad estén referidos a un plano horizontal de referencia universal. Los valores reales de profundidad bajo el nivel del mar se obtienen restando la profundidad del registro, la altura desde donde fue tomado este ($\text{altura} = \text{Elevación del terreno sobre el nivel del mar} + \text{Altura de la mesa rotatoria del taladro}$). Lo ideal de una sección estructural es que su escala horizontal y vertical sean iguales (PDVSA, 2004)

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DEL TRABAJO

4.1 Tipo de investigación

Este estudio es una investigación de campo, descriptiva analítica y comparativa.

Según Zorrilla (1993), “La investigación de campo o investigación directa es la que se efectúa en el lugar y tiempo en que ocurren los fenómenos objeto de estudio”.

En este caso se dice que es de campo porque se organizó un grupo de trabajo el cual consistió en la recolección y búsqueda de muestras, en puntos específicos del volcán de lodo, donde se tomaron muestras en profundidad y superficie.

Según Danhke (1986), “Los estudios descriptivos buscan desarrollar una imagen o fiel representación (descripción) del fenómeno estudiado a partir de sus características.

El énfasis está en el estudio independiente de cada característica, es posible que de alguna manera se integren las mediciones de dos o más características con el fin de determinar cómo es o como se manifiesta el fenómeno”.

En este caso se dice que es descriptiva ya que se detallan para ser luego analizados

Según Hurtado de Barrera (2000) “La investigación analítica consiste en el análisis de las definiciones relacionadas con el tema, para estudiar sus elementos en forma exhaustiva y poderlo comprender con mayor profundidad”

4.2 Diseño de la investigación

Esta investigación fue diseñada a ejecutarse en cuatro etapas: una etapa de recolección de información bibliográfica y cartográfica, una etapa de campo para efectuar reconocimiento de la zona, ubicar puntos de trabajo donde posteriormente se recolectarían las muestras, una etapa de laboratorio y por último una etapa de análisis de resultados.

La metodología usada en la realización de este trabajo, describe cada uno de los pasos empleados, definiendo los criterios y cálculos realizados.

La figura 4.1 muestra el flujograma de la metodología empleada, incluyendo actividades realizadas tanto en la fase exploratoria del trabajo de campo, como en la fase de laboratorio e interpretación de resultados.

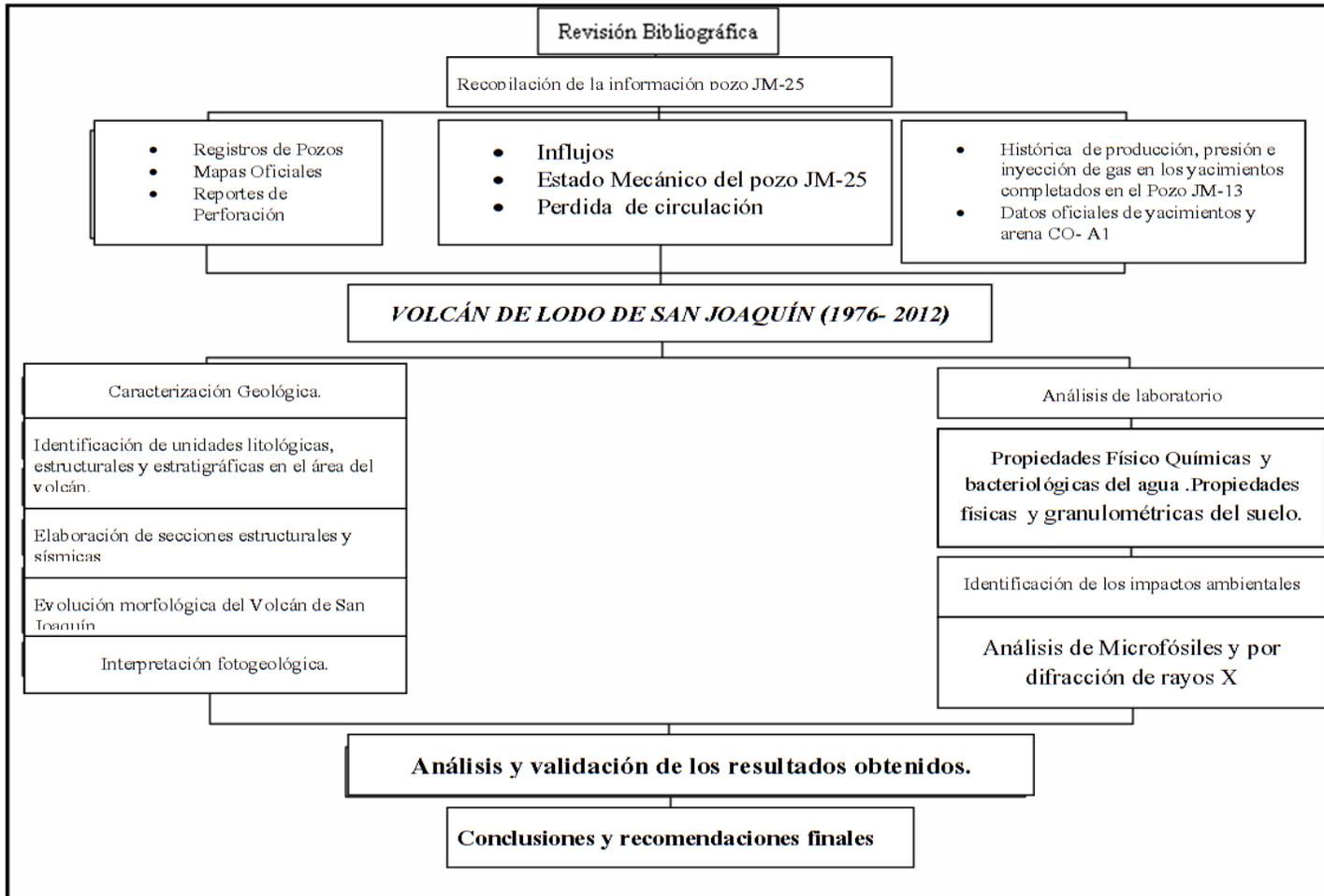


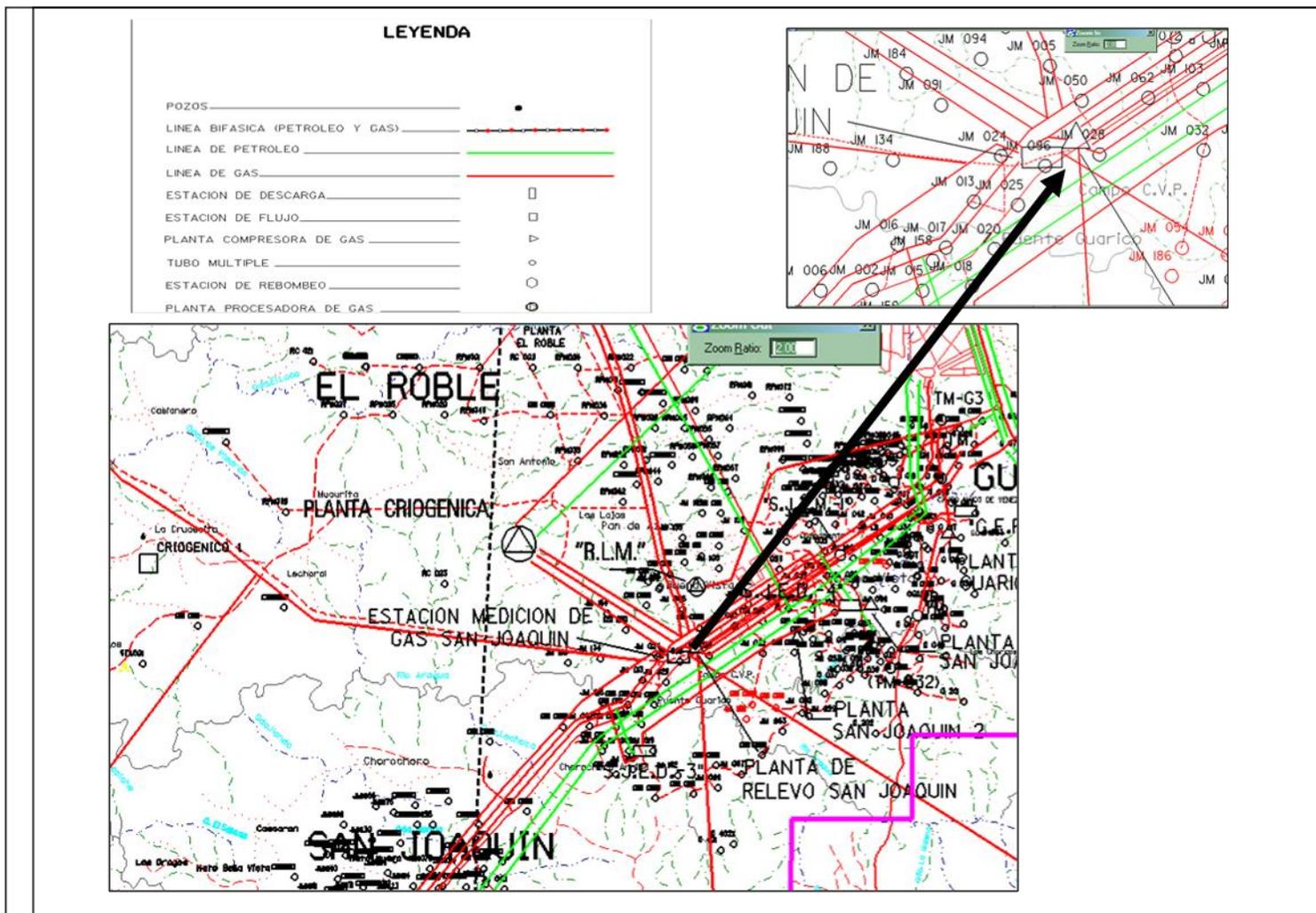
Figura 4.1 Flujograma de actividades.

4.3 Selección del área de estudio

Para la realización de este trabajo se seleccionó el área donde se encuentra el volcán de lodo de San Joaquín con latitud $9^{\circ} 21'432''$ N y una longitud de $64^{\circ} 31'604''$ W aproximadamente, El Campo San Joaquín se encuentra ubicado aproximadamente a 15 km. al Sur Oeste de la población de Anaco, en la parte central del Estado Anzoátegui, Cuenca Oriental de Venezuela, Subcuenca de Maturín, en el bloque levantado al Norte del Corrimiento de Anaco. Ubicado en el área denominada "Corazón Gasífero de Venezuela", por la riqueza que de este elemento posee el subsuelo.



Figura 4.2 Entrada al complejo San Joaquín, Anaco (2012).



4.3.1 Recopilación cartográfica y bibliográfica

Como primer paso en el desarrollo de este trabajo se recopiló toda la información técnica y teórica que existe en los informes, estudios previos, internet, revistas, carpetas de historia entre otros.

En segundo lugar se realizó una revisión a la carpeta del pozo JM-25, para obtener datos del estado mecánico del pozo así como los problemas operacionales relacionados con influjo y pérdidas de circulación ocurridos durante la perforación de éste.

Luego se realizó una revisión de las condiciones operacionales de perforación y estado mecánico de los pozos adyacentes al JM-25, para ello se recopiló la información de los reportes finales de los pozos existentes en el archivo de la empresa.

4.3.2 Planificación del trabajo de campo

En esta etapa se diseña la ejecución de la investigación de una manera eficiente y optima; realizando la planificación de las salidas de campo y diferentes técnicas que llevaran a cabo para la obtención de la información requerida de campo en la realización del trabajo. El trabajo tuvo una duración de dos (2) semanas.

4.3.3 Reconocimiento del área

El reconocimiento del área, fue realizado por vía terrestre para ubicar la estación de trabajo, lo cual permitió observar las distintas estructuras, suelo, vegetación, morfología y demás características resaltantes del campo San Joaquín. En esta etapa se estableció el área de mayor interés para el estudio, así como su

ubicación geográfica, con la utilización de GPS. Este reconocimiento del área tuvo como objetivo, el análisis del área en cuanto a las características geológicas y accesibilidad, del personal y equipos, para lograr a cabo con eficacia la tarea propuesta.

4.3.4 Recolección y toma de muestras

Se recolectaron un total de cuatro (4) muestras de 2 kilos aproximadamente de cada una de las distintas partes que conforma el volcán, desde la base hasta el tope, las cuales fueron colocadas en envases con sus respectivas etiquetas.

También se tomó muestra del contenido de flujo que presentaba el interior del volcán. (Figura 4.4)



Figura 4.4 Recolección y toma de muestras en el área de estudio del volcán de lodo de San Joaquín.

4.4 Población de la investigación

Según Balestrini, (2001), “una población o universo puede estar referido cualquier conjunto de elementos de los cuales pretendemos indagar y conocer sus características, o una de ellas, y para el cual serán válidas las conclusiones obtenidas en la investigación”.

De esta forma, para el estudio en consideración, la población que se estudia está constituida por el volcán de lodo de San Joaquín y todos los elementos físico-naturales relacionados con el fenómeno.

4.5 Muestra de la investigación

Según Balestrini (2001), Definen la muestra como “un subgrupo de la población. Es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población”.

Para la presente investigación, la muestra para el estudio será tomada en forma no aleatoria; la misma estará representada principalmente por el pozo JM-25 ubicado en el Domo Central del campo San Joaquín y por las arenas completadas en el mismo; en este caso la cantidad de muestras que fueron seleccionadas para efectuarle a los análisis fueron cinco (5); representadas por un total de cuatro (4) muestras de material geológico contenido en el volcán y sus alrededores (lodo, hidrocarburos), así como una (1) muestra de líquido para análisis del agua contenido en el interior del mismo.

4.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según Hernández (2002) “La técnica indica cómo se va a recoger la información y el instrumento señala cual información selecciona”, es decir, la técnica es una guía funcional acerca de los pasos que ha de seguir el investigador para recolectar eficientemente la información de interés para el estudio.

a) Revisión bibliográfica: suministra información de distintas fuentes referente al tema en estudio, contribuyendo así con aportes técnicos, los cuales permiten facilitar el desarrollo de la investigación; entre estos tenemos: Libros, trabajos de grado, publicaciones en Internet, artículos.

b) Observación directa: esta permitirá observar e identificar de forma física la situación actual del problema, por medio de un contacto directo con el área en estudio sin intermediario.

c) Asesorías académicas: a través de asesorías brindadas por el tutor académico y de expertos en diversas áreas, se permite esclarecer las dudas existentes en el lapso de la elaboración del proyecto.

Las técnicas aplicadas en esta investigación fueron la observación directa, anotaciones, identificación de muestras, fotografías, mapas, cartografía, coordenadas, etc.

4.6.1 Instrumentos de recolección de datos

Para la recopilación de datos se revisó la información contenida en los archivos físicos y computarizados de la empresa. Las herramientas que se utilizaron para obtener la información fueron las siguientes:

1. Material bibliográfico (libros, revistas, etc.)
2. Carpetas de pozos y reportes finales de perforación.
3. GPS, cinta de medición.
4. Internet.
5. Software o programas computarizados, que se detallan a continuación:

4.6.1.1 SIGEMAP (Sistema de Generación de Mapas)

La información geológica y el posicionamiento de los pozos son procesada bajo el sistema SIGEO y los datos adicionales como el límite de roca, los contactos condensado petróleo original, agua petróleo original, los límites arbitrarios, etc. pueden ser capturados de manera puntual y digitalizados directamente de los mapas existentes. (Figura 4.5). El ambiente de edición consiste en hacerle al mapa todos los arreglos de forma que cumplan con la normativa exigida por el Ministerio de Energía y Minas

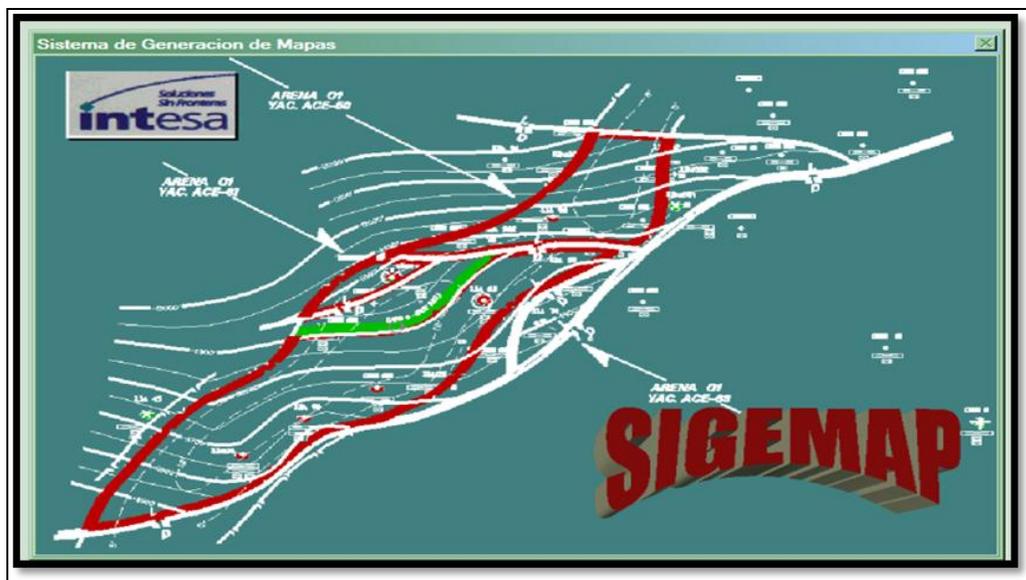


Figura 4.5 Ventana de entrada a la aplicación SIGEMAP (PDVSA, 2012).

4.6.1.2 GEOFRAME

Este software tiene varias aplicaciones pero describiremos las usadas en la elaboración de este estudio. Gracias a una base de datos para cada proyecto GeoFrame, todos los intérpretes, Geólogos, Geofísicos, Petrofísicos e Ingenieros pueden tener acceso a los mismos datos y aplicaciones.

GeoFrame simplifica la secuencia de tareas de los sectores de exploración y Producción (E & P) y al mismo tiempo estimula el trabajo en equipo con lo cual se reduce el tiempo del ciclo de interpretación de datos. (Figura 4.6 y 4.7)

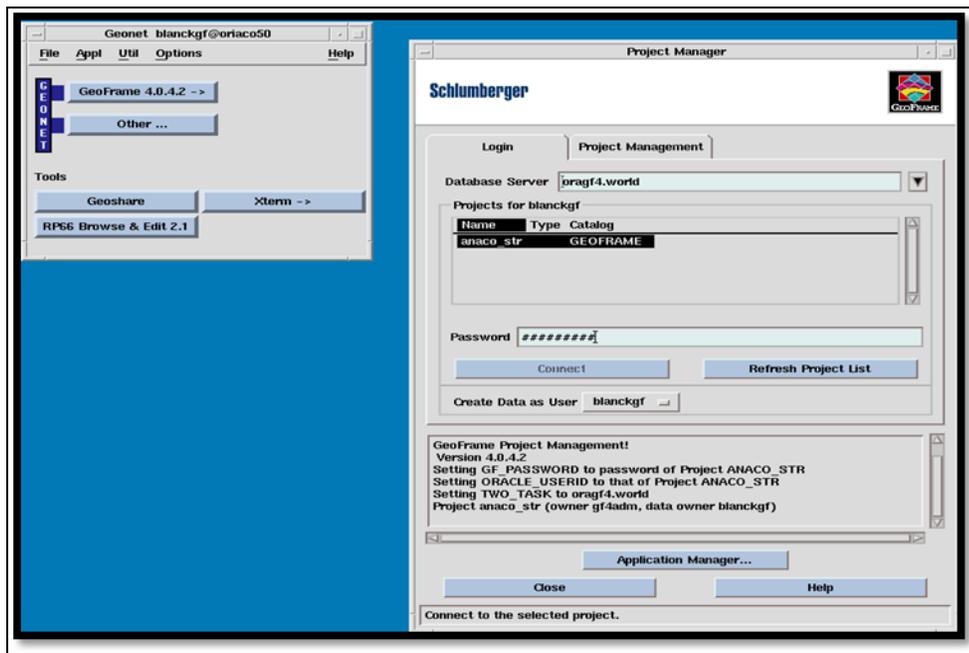


Figura 4.6 Ventana de entrada a GEOFRAME (PDVSA, 2012).



Figura 4.7 Ventana Application Manager (PDVSA, 2012).

4.6.1.3 GEOFRAME geología

Como parte del sistema integrado de caracterización de yacimientos de GeoFrame, GeoFrame Geología hace posible el aumento de la productividad y como consecuencia mejora su competitividad.

GeoFrame Geología constituye una poderosa herramienta de aplicación integrada para el manejo de proyectos, análisis de registros, interpretación geológica, elaboración de mapas y visualización en tres dimensiones.

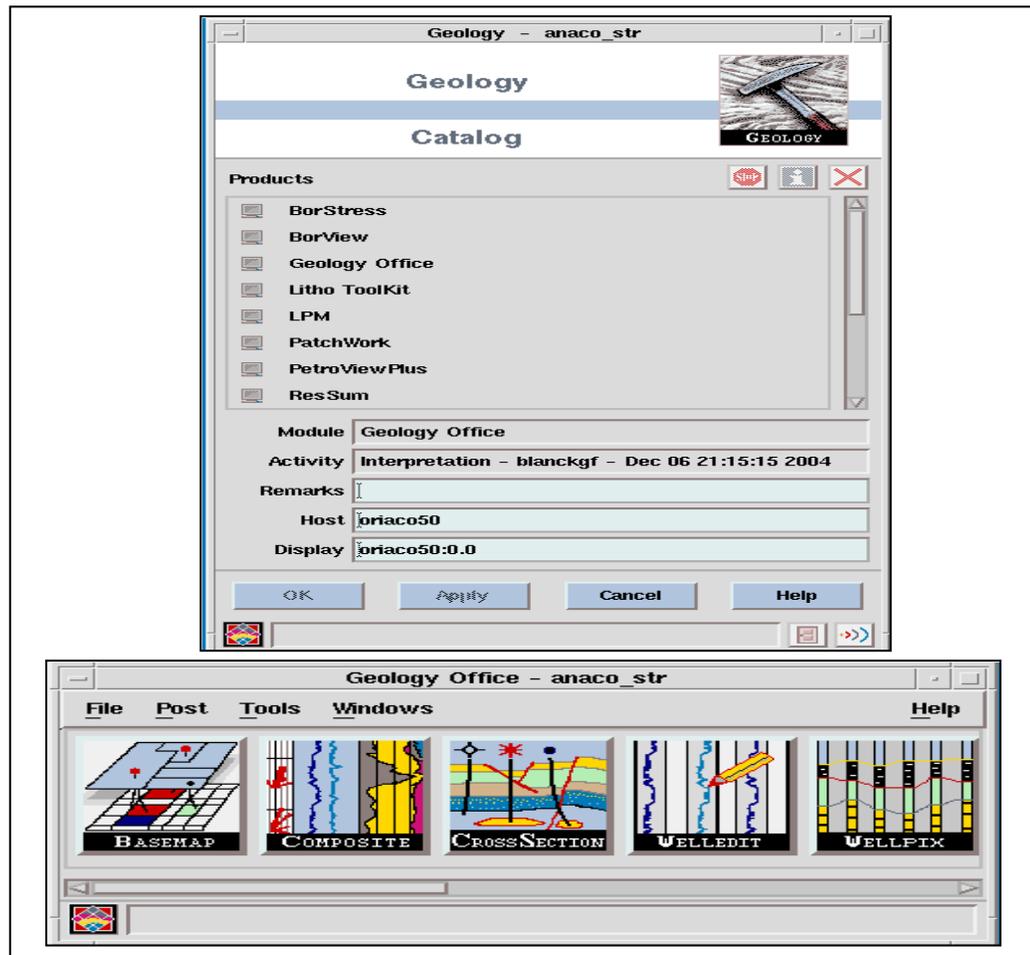


Figura 4.8 Ventana de aplicaciones de Geology Office (PDVSA, 2012).

Proporciona todas las herramientas necesarias para editar curvas de registros, que incluyan desplazamientos de profundidad, desplazamiento de línea de base, eliminación de saltos de ciclos, remiendos, empalmes, edición de datos de núcleos, ajuste de profundidad y operaciones matemáticas (Figura 4.8).

4.6.1.4 Surfer 8

Este permite realizar mapas, usando para ello archivos de cuadrículas o grid. Con estos archivos de cuadrículas se pueden construir mapas de contornos, mapas bases, mapas de superficies,. Además permite digitalizar puntos, crear perfiles, calcular áreas y volúmenes, así como crear poligonales y superponer mapas. (Figura 4.9)

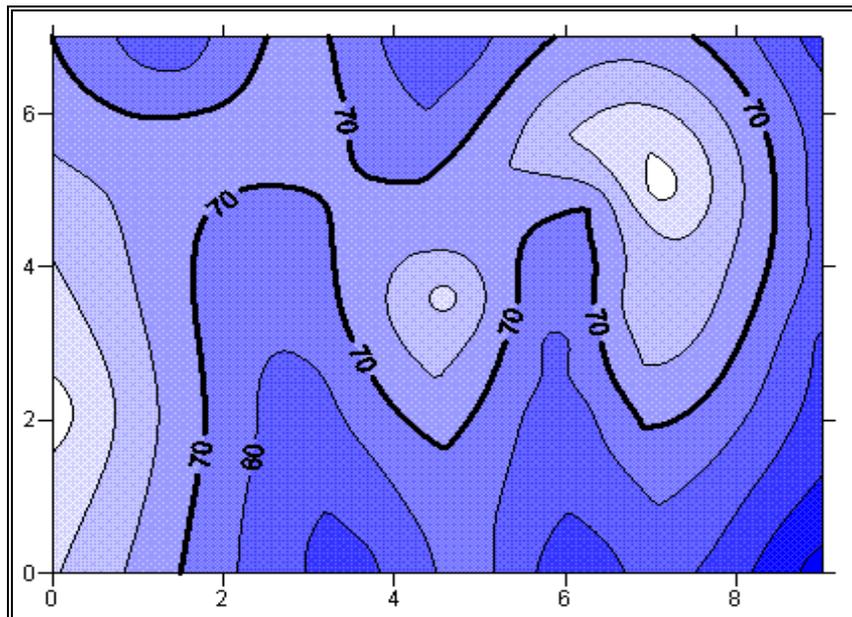


Figura 4.9 Mapa de contornos realizado con Surfer 8 (Golden Software, 2002).

4.7 Identificación de las unidades geológicas correspondientes a la zona del volcán de lodo

En esta etapa del trabajo se procedió a describir los principales rasgos geológicos que se encuentran en el área de estudio; es decir, se realizó la

identificación del campo San Joaquín, específicamente del área donde se ubica el pozo JM-25 también se procedió a identificar las características geológicas (litología, rasgos estructurales presentes).

Se realizó la observación geológica; la cual fue basada en la apreciación de los relieves que conforman el área de estudio, concluyéndose que ésta se encuentra formada dentro de una serie de domos asimétricos formados contra el corrimiento de Anaco, y una serie de fracturas radiales, desarrolladas en las crestas de el domo central producto de fuerzas tensionales que constituyeron posibles vías de escapes de fluidos (anexo 1).

4.7.1 Interpretación litológica

En visita a campo se apreciaron las unidades presentes dentro del área del volcán (área con abundante arcilla), en el trabajo de oficina revisando la carpeta con la información referente al pozo (JM-25) al momento de su perforación y análisis posteriores del lodo emanado, se encontró informe con la litología presente.

4.7.2 Elaboración de secciones estructurales

La sección estructural muestra la variación en alturas 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 la secuencia estratigráfica, es decir, en general se conserva un alto grado de paralelismo entre los planos estratigráficos. Primeramente se procede a realizar las secciones manuales de la siguiente manera:

a) Se cuelgan los registros tomando un datum determinado o Subsea.

b) Los registros de los otros pozos deben ser colgados al mismo datum inicial, para ellos se suma la Mesa Rotaria y el valor que resulte será al que debe colgarse al otro registro.

c) Se mide la distancia de los pozos a estudiar y se elige una escala apropiada para colgar los registros en el papel o cartulina y se procede a dibujar la arena y colocar las estructuras presentes en el subsuelo.

Es importante notar que las secciones estructurales al igual que las estratigráficas después de elaborarse manualmente fueron digitalizadas y/o generadas nuevamente en Geoframe-Stralog, y por último ploteadas en Geoquest.

Se realizaron 2 secciones estructurales:

a) Secciones A-A', B-B'. Dirección Suroeste – Noreste

La correlación de pozos y el respectivo mallado fue validada en forma digital a través de la aplicación Wellpix de la plataforma GEOFRAME de la compañía Schlumberger (Figura 4.10)

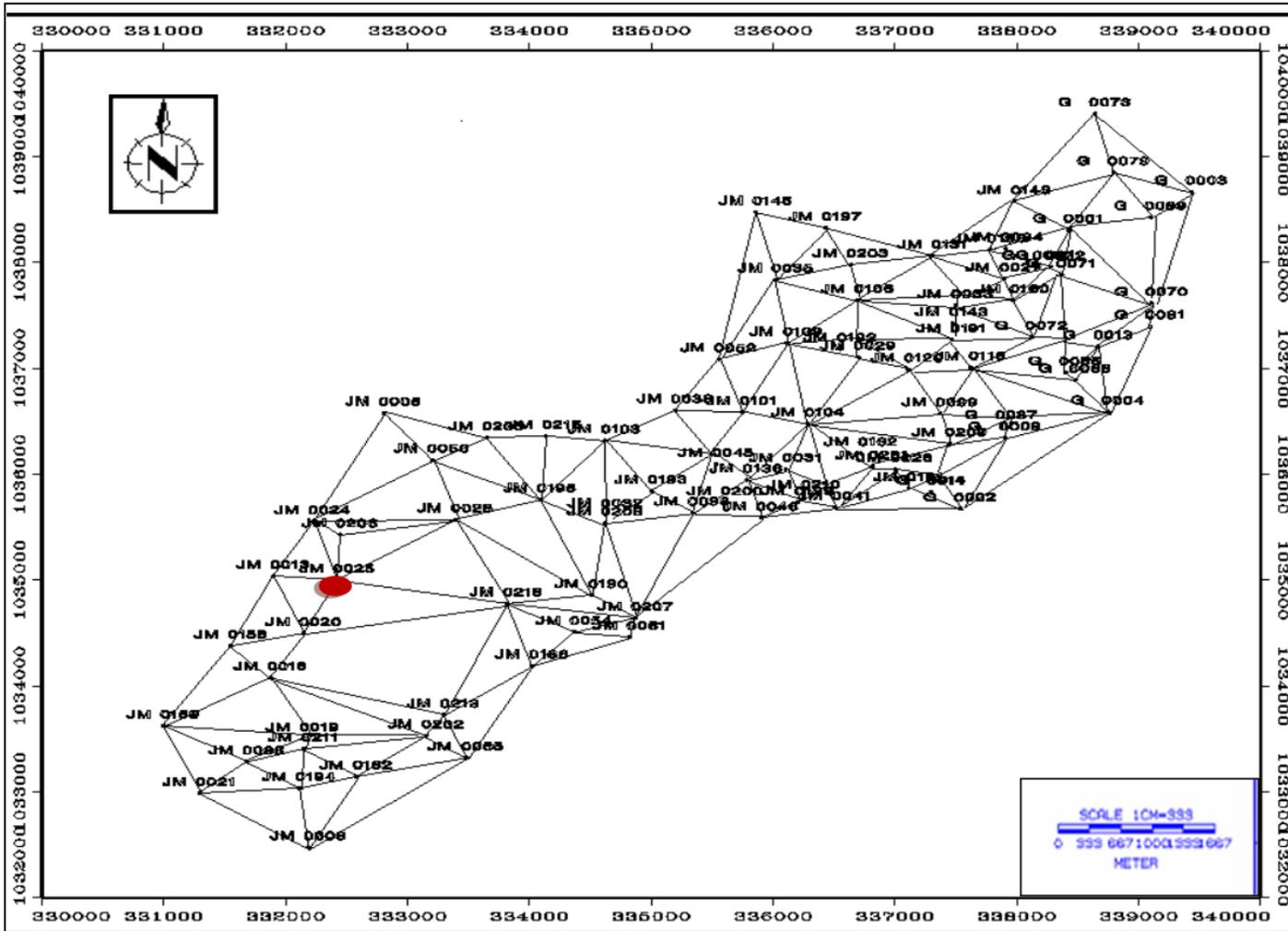


Figura 4.10 Mallado de correlación, programa GEOFrame (Schlumberger, 2012). El punto rojo representa la ubicación del Volcán de Ido.

4.7.3 Interpretación de la sísmica 3D

Con la ayuda del Departamento de Geofísica de Puerto la Cruz se logró obtener resultados de Sísmica 3D en el área de estudio. Esto ayuda para darle una explicación geológica al nuevo modelo estructural presentado en este trabajo.

Se solicitaron dos líneas sísmicas con los siguientes sentidos Suroeste - Noreste y Noroeste –Sureste; estas direcciones son una paralela al Corrimiento de Anaco y una perpendicular a este respectivamente. La interpretación de las líneas sísmicas tomada en el área, arrojó datos muy significativos que permitieron darle mayor soporte al estudio.

4.7.3.1 Validación del plano de fallas del cuadrángulo San Joaquín-Guario-El Roble

La validación del plano de fallas consistió en observar las profundidades en las cuales el pozo penetraba la falla y su desplazamiento, para tener claro la ubicación correcta de ésta, su capacidad de sello y cómo influenciaba en los límites de los diferentes yacimientos del área en estudio. Esta validación se hizo en toda la columna estratigráfica, es decir, no sólo en la Formación Oficina. En total se revisaron todos los pozos contenidos dentro de este plano, certificando así, el intervalo fallado a lo largo de toda la columna estratigráfica del Área Mayor de Anaco en el cuadrángulo San Joaquín-Guario-El Roble, en donde no se observaron cambios.(Figura.4.11).

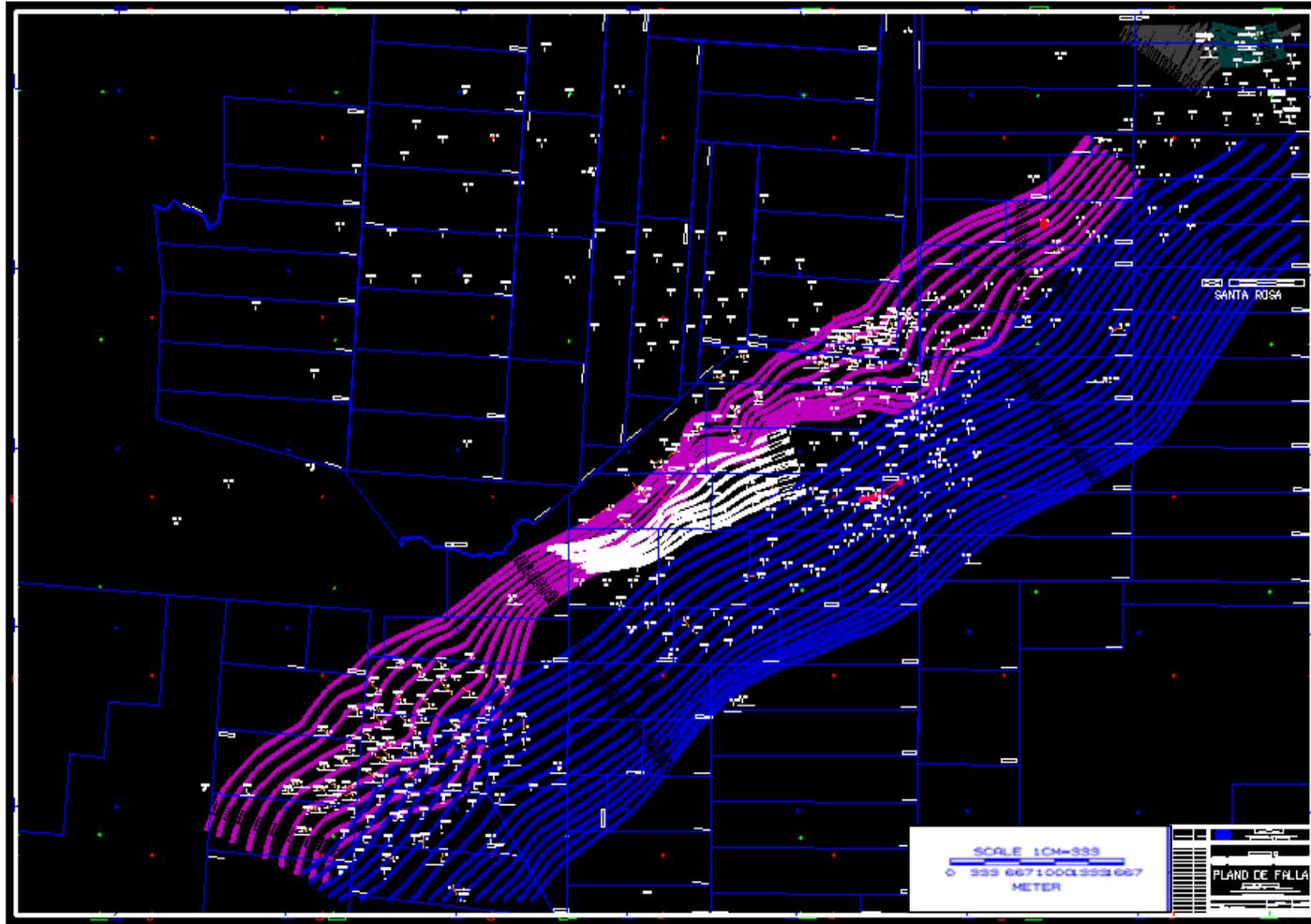


Figura 4.11 Plano de falla del cuadrángulo San Joaquín-Guario El Roble (Departamento de Geofísica, Puerto La Cruz 2012).

4.8 Explicación la intervención de la industria petrolera en la formación del volcán de San Joaquín

Para explicar las transformaciones que ha experimentado el terreno, es necesario comprender las causas que originaron las mismas. Cambios que de una manera u otra comienza por el sector económico. En primer lugar se realizó una revisión a la carpeta del pozo JM-25, para obtener datos del estado mecánico del pozo así como los problemas operacionales relacionados con influjo y pérdidas de circulación ocurridos durante la perforación de éste, arenas completadas y trabajos realizados en el mismo.

Luego se realizó una revisión de las condiciones operacionales de perforación y estado mecánico de los pozos adyacentes al JM-25, para ello se recopiló la información de los reportes finales de los pozos existentes en el archivo de la empresa.

Seguidamente se revisó las condiciones de los yacimientos completados en el mismo, a través de mapas oficiales, tanto bases y de yacimientos, estudios técnicos, registros de pozos, topes y bases, datos de presión y producción del yacimiento reportado en los programas corporativos y carpetas de historias de producción de los pozos; con el fin de conocer cuáles son los problemas comunes asociados a la perforación de esta zona así las posibles situaciones que pudieron generar la formación del volcán.

4.8.1 Identificación de la arena causante de influjo

Después de realizar el estudio del estado mecánico del pozo, así como análisis de las posibles situaciones que pudieron causar el descontrol del pozo JM-25 se identificó la posible arena que está aportando gas a la superficie., la identificación de

la arena fue respaldada por la elaboración de mapas de presión y de zonas de pérdidas de circulación al nivel de la arena identificada que permitieron observar anomalías alrededor del pozo JM-25.

4.8.2 Estudio de la declinación de presión y producción de yacimientos, modelos de presión

Los estudios de declinación de presión y producción de los yacimientos completados en el pozo JM-25, así como sus respectivos modelos de presión, fueron suministrados por la empresa y permitieron establecer e identificar la arena o yacimiento aportador de gas al influjo, mediante la realización de un análisis de comportamiento de producción y presión con respecto al tiempo

4.8.2.1 Mapa de presiones

Se realizaron dos mapas de presiones para sustentar la selección de la arena identificada, estos son un mapa de presión o isobárico al nivel de la arena (anexo 1) y un mapa de gradiente de presión (anexo 2). Ambos mapas se realizaron con los datos de pruebas RFT, tomados en los pozos que atraviesan la arena al nivel de la misma, para ello se seleccionaron solo los pozos a los cuales se le realizaron pruebas que datan del año 2001 hasta el 2003, ya para un mapa de presiones no debe existir mucha diferencia de tiempo entre las pruebas de presión realizadas a los pozos para considerarse representativa. Los mapas fueron automatizados usando la aplicación CPS-3 del programa GEOFRAME de la compañía Schlumberger.

4.8.2.2 Mapa de zonas de pérdida de circulación

El objetivo de la realización de este mapa era identificar de manera gráfica las zonas donde ocurrían pérdidas de circulación en la arena (anexo 3), ya que esta es considerada como una arena de pérdida. Para la elaboración del mapa se utilizó los datos de pérdidas de circulación registrados por los pozos al atravesar la arena. Se obviaron aquellos que presentaban pérdidas menores a 60 barriles de lodo de perforación ya que a partir de esa cantidad, es que son tomados para el campo San Joaquín como representativo para las mismas.

4.9 Explicación del origen y la evolución del volcán de lodo

En esta etapa del trabajo se recurre a indagar los eventos relacionados a la formación de este fenómeno, Méndez en sus informes ofrece información detallada que data desde sus inicios en 1976 hasta el año 1985, haciendo referencia a la génesis y al proceso evolutivo del volcán hasta la fecha mencionada. Mediante interpretación fotográfica, informes y visitas a campo eventuales, se pudo llevar un orden cronológico del evento desde su origen hasta la actualidad, donde se puede apreciar las distintas fases ocurridas a lo largo del tiempo, y todos los eventos relacionados con el mismo

4.10 Descripción de la morfología del volcán de lodo y sus inmediaciones

Por observación directa de la zona mediante visita de campo y apoyándose de fotografías aéreas de la zona en estudio, se pudo apreciar los cambios sufridos en la morfología del campo San Joaquín, específicamente donde se ubica el volcán, antiguo pozo JM-25. Para actualizar los datos con respecto a las condiciones actuales del volcán se procede a realizar las medidas de áreas respectivas tanto al cráter como al volcán.

4.10.1 Toma de medidas en el área de estudio

Se aplicó dos métodos de precisión para medir el perímetro que conforma el área del cráter del volcán. Un primero método de medida con cinta métrica, y un segundo método que fue la medida de pasos

a. Medida con cinta; en la topografía es común el uso de cinta métrica en las mediciones de longitudes y dimensiones del terreno, cuando no se cuenta con una herramienta más sofisticada o cuando la medición con cinta cumple con los requerimientos de precisión exigidos en la medición. Tomando un punto de partida en cualquier lugar ubicado dentro del área del volcán se coloca el primer piquete que servirá como referencia de punto de inicio para proceder a bordear el círculo que conforma el cráter del volcán. Se tensa la cinta luego lo más horizontal posible y se va tomando nota de la medición que va arrojando. (Figura 4.12).



Figura 4.12 Medición con cinta del perímetro del cráter del volcán.

Luego el cadenero trasero se coloca en el próximo piquete y el delantero avanza lo más que pueda, siendo guiado de la misma manera por el asistente guía que se encuentra sobre el alineamiento, se coloca el segundo piquete y se toma la segunda lectura parcial (Figura 4.12) y así cuantas veces sea necesario hasta completar medir todo el alineamiento. Luego de cubrir todo el alineamiento se hace el conteo del número de cintadas y sumatorias de las distancias parciales y se determina la longitud del alineamiento. Este es un tipo de levantamiento que se utiliza generalmente para trabajos que requieren precisión, especialmente para indicar características específicas del terreno.

b. Medida empleando constante de paso; esta técnica empleada en geología, nos permite manejar con cierto margen de error (ya que los pasos de cada persona son diferentes) a la hora de tomar medida, si el método empleado con cinta es válido para probar que el perímetro del cráter volcán posee la medida registrada. (Figura 4.13). En la medida de pasos se tomaron dos (2) pasos. Uno con una medida de paso de setenta y cuatro (74) cm y otro con medida de sesenta y siete (67) centímetros.



Figura 4.13 Medición a pasos del perímetro del cráter del volcán de lodo de San Joaquín.

1. Método con constante de pasos

Paso A: $(74) * 435 = 321.90$ mts.

Paso B: $(67) * 480 = 321.60$ mts

2. Margen de error correspondiente a la constante de paso con respecto a la medida con cinta

$(\text{Distancia medida}) - (\text{distancia de pasos})$

Margen de error A: $(327 \text{ mts}) - (321.90 \text{ mts}) = 5.1$ mts.

Margen de error B: $(327 \text{ mts}) - (321.60 \text{ mts}) = 5.4$ mts.

Ambos resultados rectifican con aproximación que son válidos los dos (2) métodos aplicados para la medida del perímetro de un área determinada.

3. Cálculo del área alrededor del cráter del volcán

Basándonos en el Teorema de Euclides, se puede determinar el área que conforma el cráter del volcán; donde el radio (r) y el diámetro (D) son las incógnitas



Figura 4.14 Área medida alrededor del cráter del volcán.

Tenemos que:

$$D = L/\pi$$

$$D = 327\text{mts} / 3.1416$$

$$D = 104.087 \text{ mts.}$$

Tenemos que:

$$r = D/2$$

$$r = 104.087/2$$

$$r = 52.043 \text{ mts.}$$

Tenemos que el área es:

$$A = \pi * r^2$$

$$A = 3.1416 * (52.043)^2$$

$$A = 8.508,94 \text{ m}^2$$

4. Cálculo de la pendiente del volcán

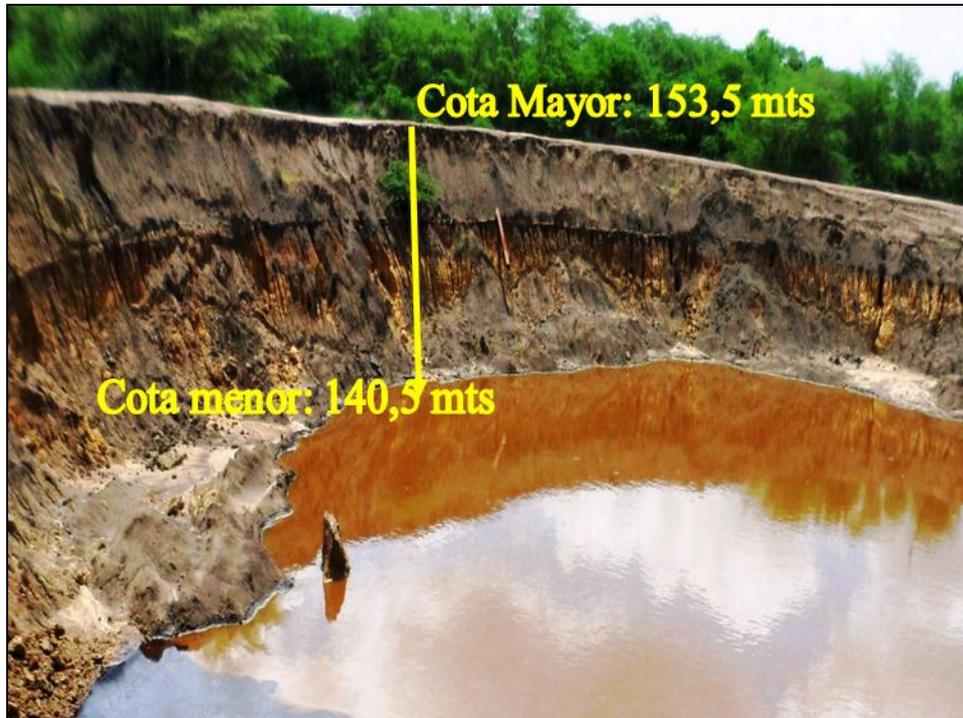


Figura 4.15 Diferencia de alturas en el interior del cráter del volcán.

5. Cálculo del cráter del volcán

Dv: Cota Sup – cota Inf

$$Dv: 153,5 \text{ m} - 140,5 \text{ m} = \mathbf{Dv: 13 \text{ m}}$$

Dh: 3m

$$\%Pend: (Dv/Dh) * 100$$

$$\%Pend: (13/ 3) m * 100$$

$$\%Pend: 433,14 \%$$

$$P: \text{Arc Tg } (Dv/Dh)$$

$$P: \text{Arc Tg } (13/3)$$

$$P: 77^\circ 0'19, 38''$$

4.10.1.1 Cálculo de la pendiente del cono volcánico

Con la ayuda del plano topográfico se calculó la pendiente del cono volcánico, para determinar las zonas con mayor declinación. Con el fin de determinar cuáles son las zonas donde hay mayor acumulación de material producto de la expulsión de lodo del volcán. Se tomaron las zonas donde hay mayor unión de las cotas para ver el comportamiento de la inclinación del cono del volcán.

Se elaboraron cuatro secciones:

1. A- A'; Dirección Norte.
2. B – B'; Dirección Sureste.
3. C – C'; Dirección Sur.
4. D- D'; Dirección Noroeste.

Sección A- A'

$$Dv: 4,5 \text{ mts}; Dh: 170 \text{ mts}$$

$$\%pend: (4,5/ 170)*100= 2,65\%$$

$$\text{Ang: arc tg } (4,5/170) = 1^\circ 30'58,68''$$

Sección B -B'

Dv: 5mts; Dh: 175mts

%pend: $(5/175)*100= 2,86\%$ Ang: $\text{arc tg}(5/175) = 1^\circ 38' 11,68''$ **Sección C -C'**

Dv: 5mts; Dh: 125mts

%pend: $(5/125)*100= 4 \%$ Ang: $\text{arc tg}(5/125) = 2^\circ 17' 26, 2''$ **Sección D -D'**

Dv: 5mts; Dh: 125mts

%pend: $(5/125)*100= 4 \%$ Ang: $\text{arc tg}(5/125) = 2^\circ 17' 26, 2''$ **% Pend prom:** $\sum \text{pend} (2, 65 + 2, 86 + 4 + 4)/4$ **%Pend prom= 3,38****4.10.2 Levantamiento topográfico del área afectada**

Se realizó un levantamiento topográfico del área a través de una poligonal cerrada y un levantamiento batimétrico usando para ello un equipo portátil GPS, modelo Etrex Summit, marca Garmin, que contiene brújula digital y altímetro barométrico, con un error de aproximadamente 5 m para coordenadas UTM.

Se observó en primer lugar fotografías aéreas del lugar para luego en conjunto con la observación directa del lugar seleccionar los puntos necesarios para realizar el levantamiento topográfico. Cada punto escogido fue utilizado para medir las coordenadas UTM y la elevación con respecto al nivel relativo medio del mar, usando

el GPS y fue dibujado en un croquis realizado a mano para obtener una ubicación relativa de ellos.

Con los datos de los puntos utilizados para realizar la poligonal cerrada se obtuvo el área de afectación usando para ello los cálculos correspondientes a la poligonal cerrada que fueron colocados en una hoja de cálculo Excel. Los puntos utilizados fueron previamente establecidos por fotografías aéreas y por observación directa del área afectada al momento de realizar el levantamiento.

Para la realización de la poligonal se utilizaron 4 puntos del borde del talud que confina el área afectada, estos puntos son: JM-25 I, JM-25 K, JM-25 L y JM-25-O (Figura 4.16). Los valores de superficie calculados a través de la poligonal se muestran en el Apéndice E

Seguidamente con los datos obtenidos por cada uno de los puntos que se utilizaron en el levantamiento se creó un mapa que fue digitalizado a través del programa Surfer 8 de Golden Software, el cual permitió calcular el volumen aproximado de material arrojado por el pozo entre los años 2004 y 2005.

Se realizó un segundo levantamiento topográfico con la condición actual del volcán, tomando los mismos puntos referenciales pero con la diferencia del punto central y su respectivo descenso de flujo, para apreciar la diferencia en metros del perfil topográfico, desde el tope hasta su base.

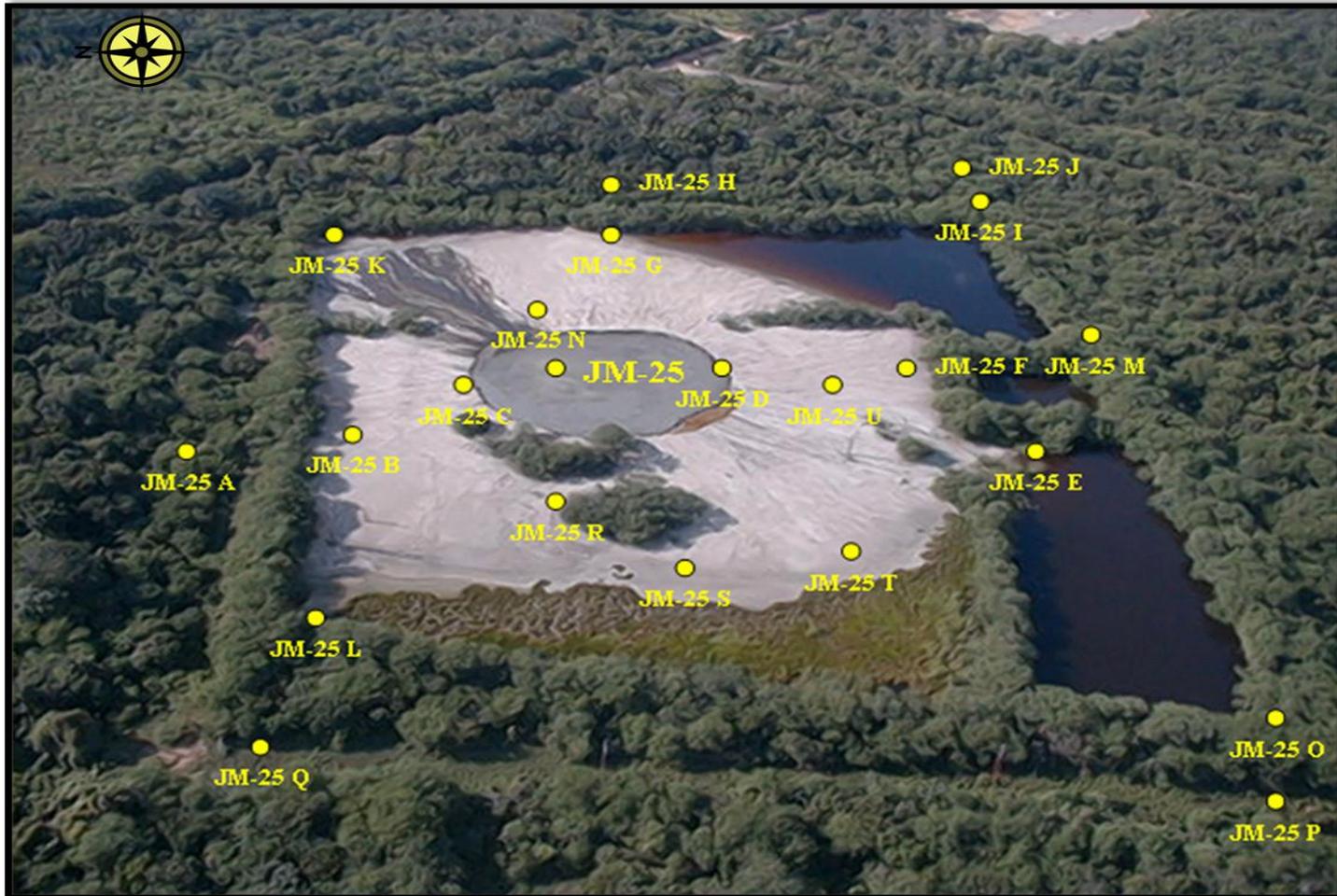


Figura 4.16 Puntos señalados para la realización del levantamiento topográfico del área.

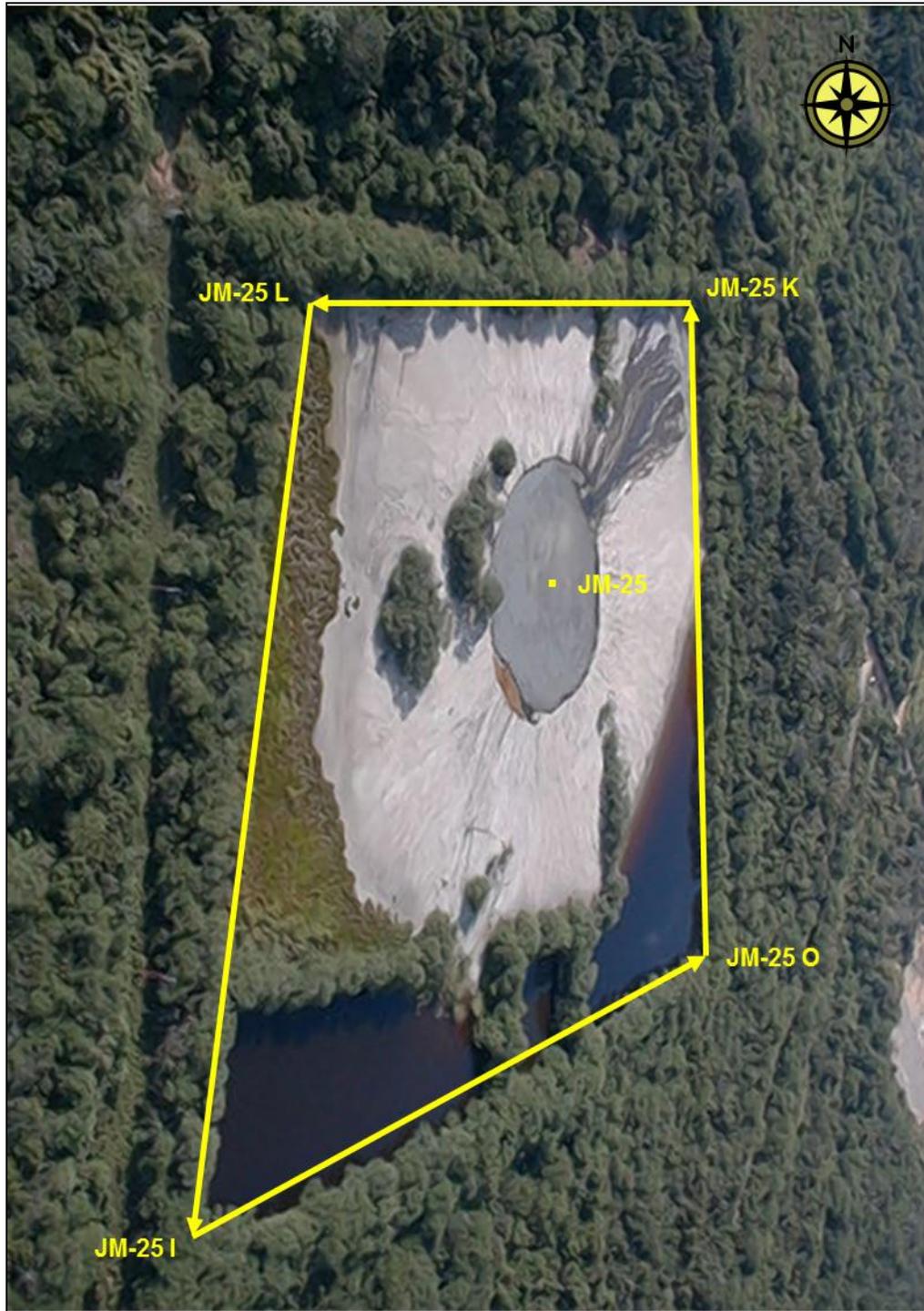


Figura 4.18 Puntos tomados para realizar la poligonal.

4.10.3 Fotointerpretación geológica

La fotografía aérea es un caso particular de la teledetección en la que se utilizan plataformas a baja altura (aviones en lugar de satélites) con lo que la escala es mayor. Tradicionalmente se caracterizaba también por la utilización del papel como soporte y de las longitudes de onda del visible o infrarrojo.

Sin embargo en los últimos años el desarrollo de las cámaras digitales ha permitido la aparición de fotografía aérea digital y el uso de diversas bandas del espectro.

La fotointerpretación es una técnica empleada para estudiar y analizar la información contenida en una fotografía aérea, para así visualmente tener una percepción remota del lugar estudiado, mediante este proceso se extrae dicha información, destacando todos los elementos que se encuentran presentes en la misma, tales como: la vegetación, los drenajes, la topografía, la geología y toponimia, por nombrar lo más relevante, con el fin de tener el resultado previo de el lugar de interés antes de ser visitado, siendo esto de mucha utilidad en aquellos lugares de poca accesibilidad.

Esta técnica es de mucha importancia para los estudios geológicos, pues permite tener una idea muy clara de la morfología y geología del lugar analizado, así como en algunos casos, la génesis del mismo.



Figura 4.19 Imagen satelital del campo San Joaquín, escala 1:25.000 (IGSB, 1992). El recuadro rojo representa el área de estudio.

4.11 Determinación de los impactos ambientales a partir de la actividad del volcán de lodo

En esta etapa se planificó una metodología que permitirá remediar la situación, en conformidad con las leyes ambientales. Para el cumplimiento del objetivo se obtuvo el apoyo del personal capacitado de Seguridad Higiene y Ambiente de PDVSA Gas Anaco (SHA).

Para el diseño de la metodología fue necesario conocer las normas correspondientes a trabajos bajo ambientes seguros y de manejos de riesgo, utilizando para ellos manuales utilizados por la empresa, que contienen información al respecto

La metodología elaborada necesitó en primer lugar la caracterización ambiental del material arrojado por el pozo JM-25 a la superficie para determinar la cantidad de material expulsado por el pozo a la superficie y las propiedades contaminantes del mismo. Esta caracterización fue realizada de la siguiente manera:

4.11.1 Evaluación de la atmósfera cercana al pozo JM-25

Se obtuvo los permisos correspondientes para ingresar al área ya que esta es catalogada como un área restringida por la empresa, debido al peligro que implica los gases tóxicos y explosivos arrojados al ambiente por el pozo. Tomando en consideración la evaluación de la atmósfera, se adecuo un horario de trabajo de 3:10 p.m. a 3:35 p.m. para realizar las labores por ser este el horario donde se realizó la evaluación y donde se cree que están las mejores de condiciones atmosféricas que permitan el trabajo bajo un ambiente de seguridad para el personal que iba realizar la tarea. Esta evaluación fue realizada en compañía del personal de PDVSA SHA Anaco.

La evaluación de la atmósfera cercana al pozo JM-25, fue realizada siguiendo la normativa establecida para evitar accidentes y utilizando un equipo explosímetro detector de gases Dräger Draeger Xam 2000, que permite evaluar la concentración de gases tóxicos y explosivos en la zona.

4.11.2 Identificación de los impactos ambientales

Se realizó una descripción de las características ambientales del área de afectación a través del uso de fuentes bibliográficas presentes en la empresa que reflejan la misma, así como la observación directa de la zona. También se identificaron los impactos ambientales causados por el reventón del pozo y la expulsión del material del pozo a la superficie, basándose en la evaluación del área.

4.12 Determinación de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del flujo contenido en el volcán y las características granulométricas correspondientes al volcán de lodo.

4.12.1 Ensayos de laboratorio

Para esta fase se tomaron de cada una de las cuatro (4) muestras de quinientos (500) gramos aproximadamente, para así realizar los siguientes pasos:

1. Secado de las muestras; este es el primer secado después de haber tomado las muestras, como ya se dijo anteriormente se toman quinientos (500) gramos de cada una de las muestras, esta se coloca en platos de anime de veinte (20) centímetros de diámetro, para así dejarlas secar al aire libre bajo techo, por un tiempo aproximado de siete (7) días.

2. Tamizado de las muestras; ya secas las muestras se pasan cada una por los tamices numero veinte (20), treinta y cinco (35), sesenta (60), ciento veinte (120), doscientos treinta (230) y doscientos setenta (270) por un tiempo aproximado de cinco (5) minutos, una vez transcurrido el tiempo cada una de las muestras son separadas por tamiz dando un total de siete (7) muestras, colocando así cada fracción en sobre de papel bond con su respectiva identificación. Luego se desecha lo que pasa por el tamiz número sesenta (60) y lo retenido en dicho tamiz, en el caso de este trabajo se describe mas no se analiza ya que los fragmentos son muy pequeños. (Figura 4.20)



Figura 4.20 Tamices y agitador de tamiz empleados en el Laboratorio de Sedimentología (UDO Bolívar, 2012).

a) Análisis físicos, químicos y bacteriológicos de muestra de agua: en esta etapa de la investigación se procedió a recopilar los resultados de los ensayos técnicos

de laboratorio realizado a la muestra tomada de agua, la realización de este ensayo fue realizada en el laboratorio del Centro de Geociencias UDO Bolívar.

b) Análisis químicos de las muestras de suelo: en esta etapa de la investigación se procedió a recopilar los resultados de los ensayos técnicos de laboratorio realizado a las muestras de suelo, la realización de estos ensayos fue realizada en el laboratorio del Centro de Geociencias UDO Bolívar.

c) Análisis de las muestras de microfósiles: en el laboratorio de Sedimentología de la Escuela de Ciencias de la Tierra en la Universidad de Oriente- Núcleo Bolívar, se realizó el tamizado de muestras recolectadas en campo. Una vez tamizadas las distintas muestras se procede a la recolección de los diferentes microfósiles, recolectando un total de seis (6) especímenes; seguidamente se utiliza para el segundo análisis el microscopio estereográfico, para luego tomarles fotografías, y así ilustrar la presencia de microfósiles y proceder a su clasificación.

d) Análisis por difracción de rayos x a las muestras de suelo: en el laboratorio de la Universidad Central de Venezuela (UCV) se procedió a analizar dos (2) muestras aleatorias por difracción de rayos X, técnica que consiste en determinar la composición de muestras de suelos o minerales, así como para la identificación de metales y otros elementos. El laboratorio cuenta con un difractómetro marca Brucker, modelo D8 adaptado para difracción de rayos x bajo el método de polvo (Figura4.21).

Cada sustancia mineral forma cristales con una celda unidad y simetría determinada, que resulta en un patrón de difracción característico. La difracción por el método de polvo es muy usada para este tipo de aplicaciones, por ser sencillo comparar el espaciado entre los anillos de difracción con los valores compilados por el Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS).

Las proporciones relativas de dos o más minerales presentes en una misma muestra se obtienen comparando las intensidades de sus respectivas líneas con aquellas de muestras de composición conocida. Un ejemplo de esta aplicación es la identificación de minerales arcillosos, la fracción del suelo cuyas partículas minerales tienen un tamaño inferior a $2\ \mu\text{m}$.



Figura 4.21 Laboratorio de difracción de rayos x (UCV, 2010).

CÁPITULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Identificación de las unidades geológicas correspondientes a la zona del volcán de lodo

El campo de San Joaquín se encuentra en el flanco sur de la cuenca oriental de Venezuela (COV), forma parte de los campos petroleros del Área Mayor de Anaco, que incluyen además a los campos El Toco, Guario, Santa Ana y Santa Rosa.

Se asocia el origen del volcán de barro tanto por el resultado de los movimientos tectónicos como por la acumulación de presión de gas, que en combinación, producen expresiones estructurales características, tales como: anticlinales y fallas, permitiendo así la extrusión del barro, a través de los planos de los diapiros, hasta alcanzar la superficie.

El campo San Joaquín nos muestra el típico entrapamiento de hidrocarburos en una estructura dómica. Este domo al igual que el de Santa Ana tiene de particular el afloramiento del Miembro Blanco de la Formación Oficina. En el lado norte se encuentran una serie de domos alargados ligeramente en echelon pero en general alineados. Estos domos son sin excepción asimétricos, con el flanco inclinado dirigiéndose al sureste, lo cual indica presión desde el noreste (Figura 5.1 y Figura 5.2). La similitud de todas estas estructuras individuales ha sido estudiada para declarar un origen común.

La falla de Anaco y sus domos son obvias estructuras compresionales, estos rasgos compresionales están comparativamente separados de rasgos similares en el noreste. Al noreste de Anaco, la Serranía del Interior esta deformada por un serie de

fallas de rumbo, pliegues y corrimientos (Murany, 1972). El campo San Joaquín se desarrolló sobre los domos norte y sur del mismo nombre. El rumbo del eje de estas estructuras es N 60° E y N 50° E respectivamente.

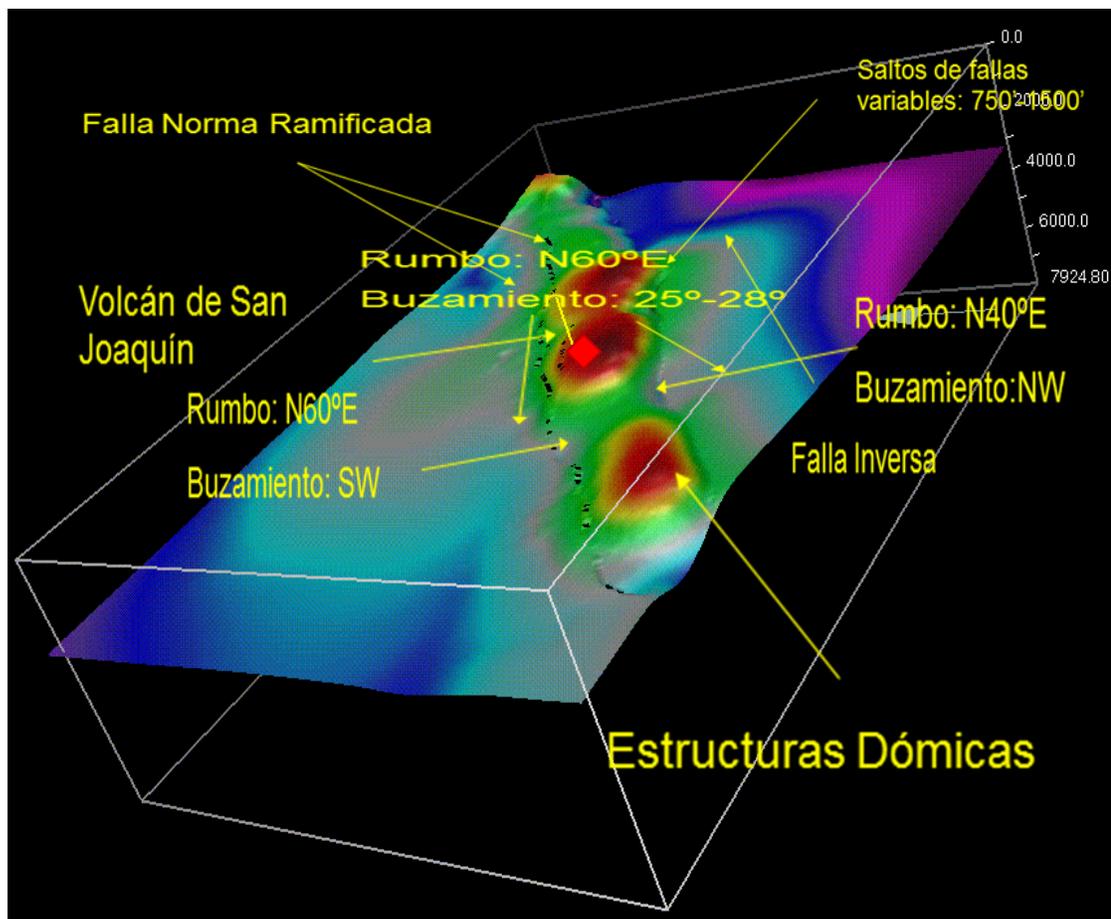


Figura 5.1 Actualización del Modelo Estructural de los domos que conforman el Área de San Joaquín y Guarío (vista en perfil) Programa GeoFRAME (2012).

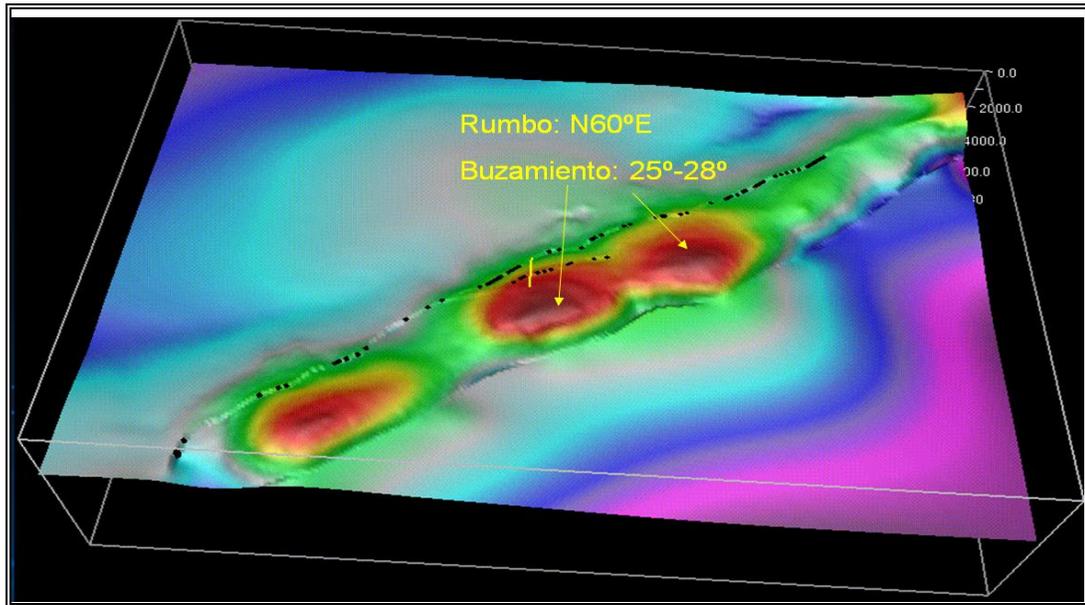


Figura 5.2 Actualización del Modelo Estructural de los domos que conforman el Área de San Joaquín y Guarío (vista en planta) Programa GeoFRAME (2012).

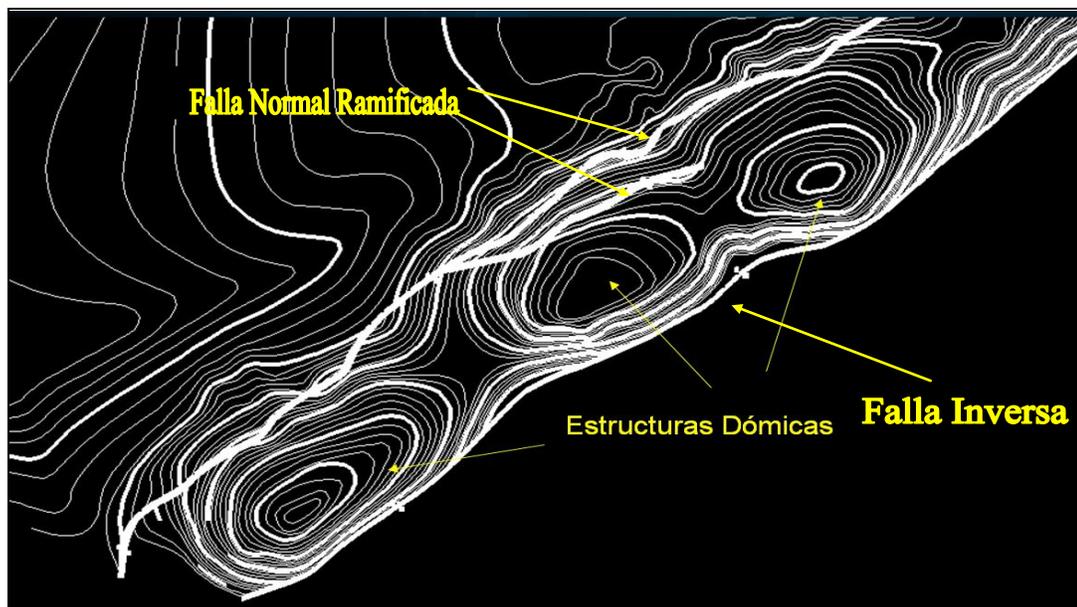


Figura 5.3 Modelo estructural del Área Mayor de Anaco. Programa SIAGMAP (2012).

Banks y Driver (1957) a partir de mapas sísmicos e isópacos de la Formación Oficina concluyeron que la Falla de Anaco se formó originalmente como una falla normal con buzamiento al noroeste, la cual más tarde comenzó a invertir su desplazamiento en tiempos del Oligoceno Inferior o quizás más temprano; basándose en el adelgazamiento anormal de ciertos estratos en el lado sur de la falla que pudo actuar como labio levantado. Ellos reconocieron que la inversión del movimiento de la Falla de Anaco fue causada por compresión.

Se considera que esta situación no es extraña, por causa del afloramiento de la Formación Oficina, haciendo muy factible que cualquier tipo de hidrocarburos, especialmente gas, contenido en una arena del Miembro Blanco, emane hacia la superficie, arrastrando barro de los estratos superiores, estos fenómenos han sido reportados anteriormente en este campo.

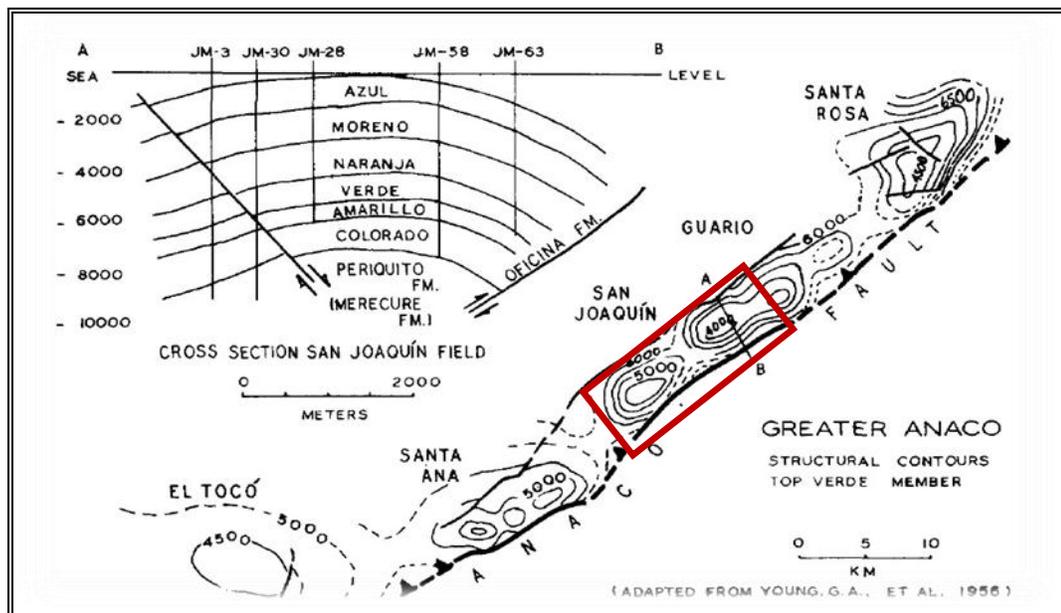


Figura 5.4. Mapa estructural y sección del área Mayor de Anaco (Young et al 1956; en Murany, 1972). El recuadro señala el área de estudio del presente trabajo.

Como los procesos erosivos no se detienen, si no que continúan su labor de transformación del relieve terrestre, acercan a la superficie arenas conteniendo gas, disociado del petróleo, emigra hacia las partes estructurales más altas del domo a través de las capas impermeables fracturadas.

Posiblemente en esta área ocurrió un proceso de reactivación de fallas, las cuales permiten la migración de gas a través de las arcillas fracturadas y estratos mojados llevando consigo barro o lodo.

Al llegar a la superficie esta mezcla forma una especie de cráter, originándose un volcán de lodo. Los volcanes de lodo están confinados a regiones sostenidas por arcillas hidratadas, lutitas, arenas, sedimentos plásticos deformados y otros tipos de sedimentos no consolidados.

Esta asociación litológica está presente en la Formación Oficina, que es precisamente donde está la roca madre del lodo expulsado en el volcán de San Joaquín.

Estos tipos de sedimentos son comunes en estratos del Terciario, especialmente en cuencas donde el índice de deposición ha excedido la rata normal de subsidencia de la misma, presentándose presiones anormales.

5.1.1 Interpretación litológica

Los informes suministrados por la empresa PDVSA Gas Anaco, suministraron información referente a la litología presente en el área del volcán, durante la perforación del pozo JM-25 realizado por la Creole Petroleum Company en 1944, y la profundidad alcanzada por el mismo durante el proceso, como se refleja en la tabla 5.1 a continuación.

Tabla 5.1 Litología presente en el pozo JM-25 durante la perforación en 1944 (PDVSA GAS, 2012).

Profundidad de la Formación OFICINA.	En metros (m)	Edad de la Formación:	<i>Mioceno- Oligoceno.</i>
Desde (m)	Hasta (m)	Formaciones geológicas:	
0	1095,12	<ul style="list-style-type: none"> • Arcilla y lutita con numerosas capas de arena con lutita. • Arena que probablemente contiene gas. 	
10953,12	1112,80		
1112,80	1472.56	<ul style="list-style-type: none"> • Lutita y varias capas de arena con lutita. Este intervalo contiene numerosas capas de lignito • Arena con petróleo 	
1472,56	1485,67		
1485,67	1567,99	<ul style="list-style-type: none"> • Arena y lutita • Arena con señales de petróleo y gas, pero no en cantidades comerciales. 	
1567,99	1591,46		
1591,46	1838,11	<ul style="list-style-type: none"> • Lutita con pocas capas de arena con lutita • Arena con agua salada. 	
1838,11	1852,13		
1852,13	1914,02	<ul style="list-style-type: none"> • Lutita 	
1914,02	1923,78	<ul style="list-style-type: none"> • Arena con petróleo. 	
1923,78	2346,34	<ul style="list-style-type: none"> • Lutita con varias capas de arena no comercial. 	

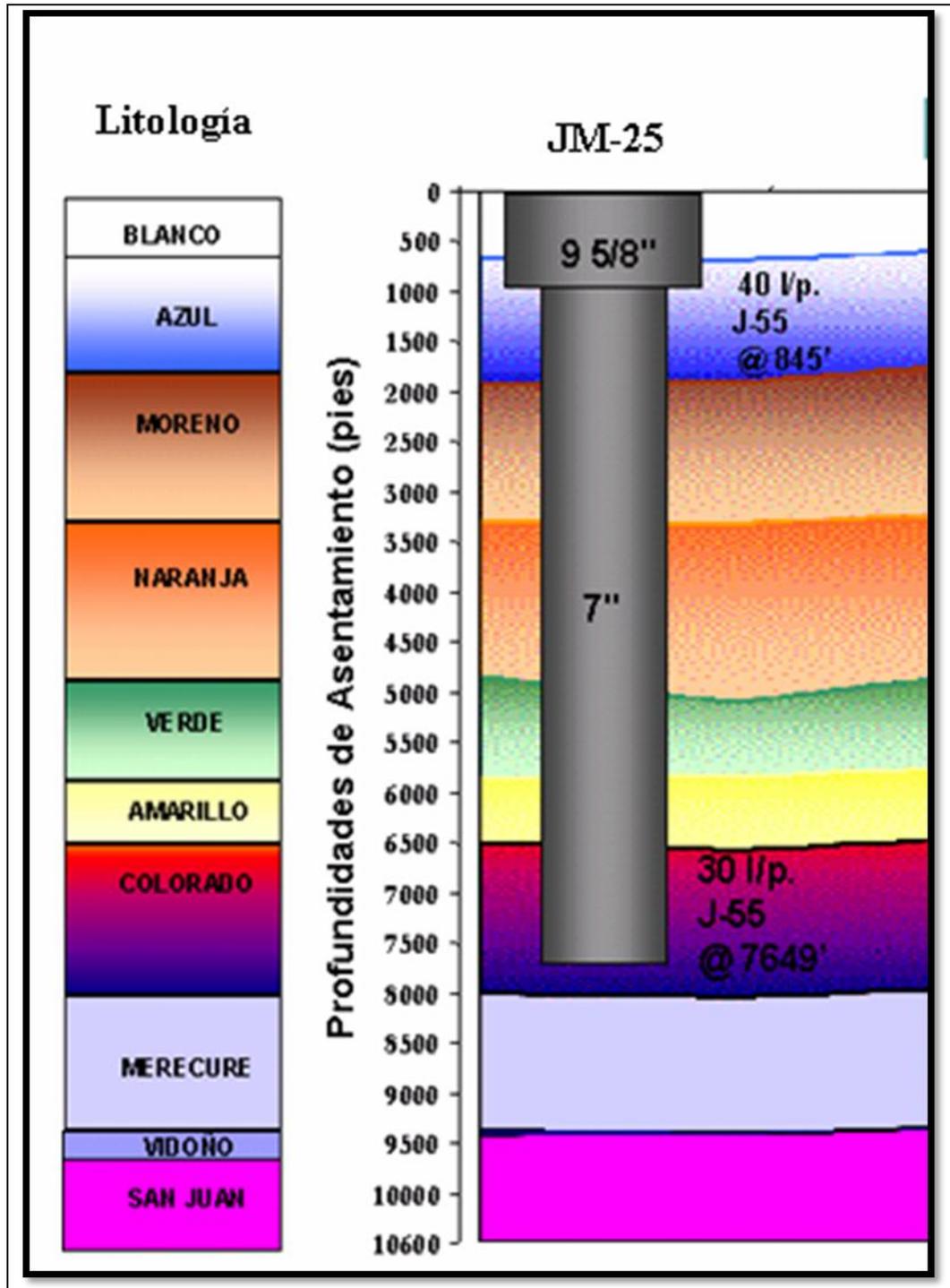


Figura 5.5 Litología y casing presente en la perforación del pozo JM-25
(Fuente propia, 2012).

5.1.2 Secciones estructurales

Se generaron 2 secciones estructurales (anexos 1 y 2) con el objetivo de mostrar la variación de profundidades que presentan los horizontes geológicos cercanos a la arena en estudio a lo largo de un plano vertical y las deformaciones de capas.

Las secciones estructurales realizadas se presentan a continuación en forma breve:

5.1.2.1 Secciones estructurales A-A' y B-B'

Estas secciones dirección SW- NE y los pozos: JM-194, JM-202, JM-186, JM-190, JM-46, G-87, G-85, G-70 (Figura 5.7) y JM-158, JM-20, JM-25, JM-28, JM-195, JM -193, JM-104, JM-120, JM-191, G-89 respectivamente.

En estas secciones se nota las estructuras dómicas presente en el campo San Joaquín, observándose el Domo Central hacia la parte SW y el Domo Norte en dirección NE, separándolos se encuentra la silla tectónica, que se muestra en la parte central de las secciones.

5.1.3 Interpretación de las secciones sísmicas 3D

Se solicitaron dos líneas sísmicas en las direcciones SW-NE y NW-SE; estas direcciones son una paralela al Corrimiento de Anaco y una perpendicular a este respectivamente.

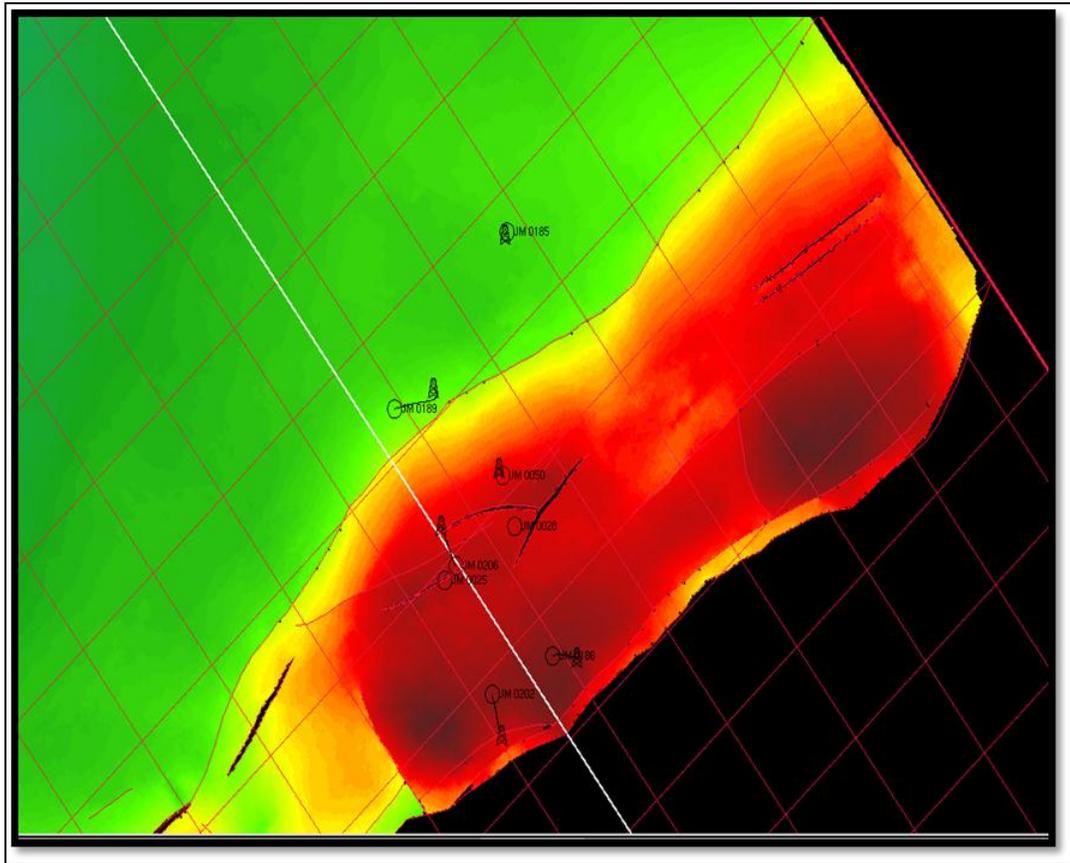


Figura 5.6 Sección sísmica del campo San Joaquín (PDVSA GAS, 2012).

5.1.3.1 Sección sísmica A-A´

Esta sección tiene dirección SW-NE, paralela al Corrimiento de Anaco (Figura 5.8), en ella se observa el Domo Central del campo San Joaquín y distintas fallas interpretadas, que lo atraviesan. Muestra una zona de régimen tectónico compresivo donde las deformaciones propias de este, origina fracturamientos asociados que permite la creación de trampas combinadas estructural y estratigráficamente.

Debido a los numerosos planos de fallamiento presentes, tanto normal como inverso, la comunicación lateral de megasecuencias se hace presente, principalmente en las formaciones más profundas.

Las estructuras presentan altos buzamientos en el borde de la cresta del domo. En el ático del domo el buzamiento es insignificante.

5.1.3.2 Sección sísmica B-B´

Tiene dirección NW-SE, perpendicular al Corrimiento de Anaco (Figura 5.9), aquí podemos observar la existencia de dos zonas tectónicamente diferentes:

- 1) Un régimen compresivo al Sureste
- 2) Un régimen pasivo al Noroeste.

En el régimen pasivo, no existe componente estructural de entrampamiento significativo, el buzamiento al Noroeste de las estructuras va de bajo ángulo 5 a 10° en la región Sur hasta convertirse en un monoclinal de muy bajo ángulo hacia el Norte. En cuanto al régimen compresivo las mismas consideraciones se aplican a las tomadas para la sección sísmica interpretada anteriormente, solo se diferencia al observar una mayor densidad de fracturas asociadas a la compresión.

Cabe destacar que en la sección se interpreta una falla que atraviesa el pozo JM-25 y se puede considerar como un posible canal que permita la migración de gas a la superficie. Es recomendable entonces realizar un estudio más detallado para evaluar la consideración anterior como el uso de registros de imágenes, debido a que en el registro gráfico del pozo, ni en la correlación realizada se pudo comprobar la existencia de esa falla.

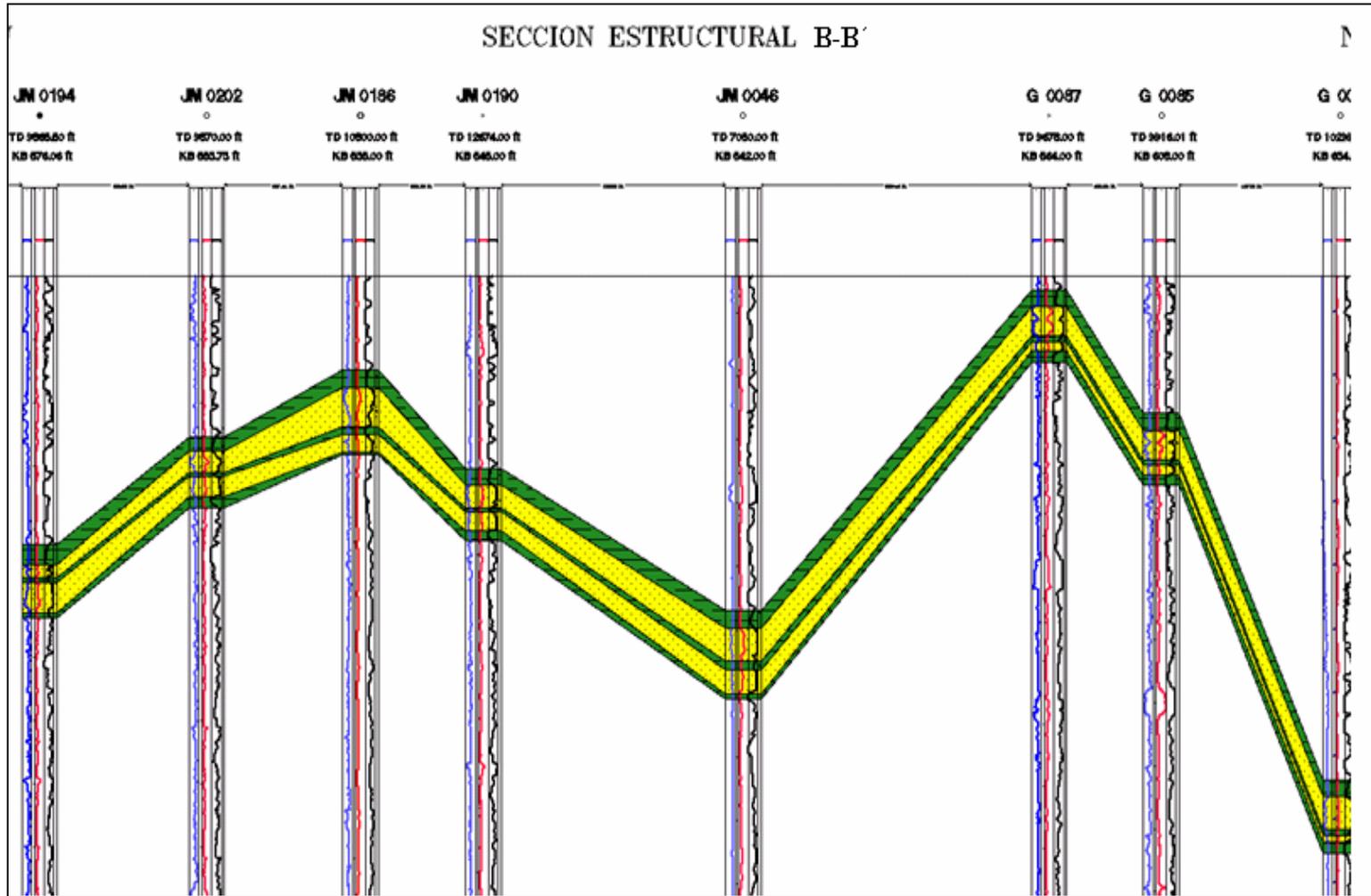


Figura 5.7. Sección estructural B-B'.

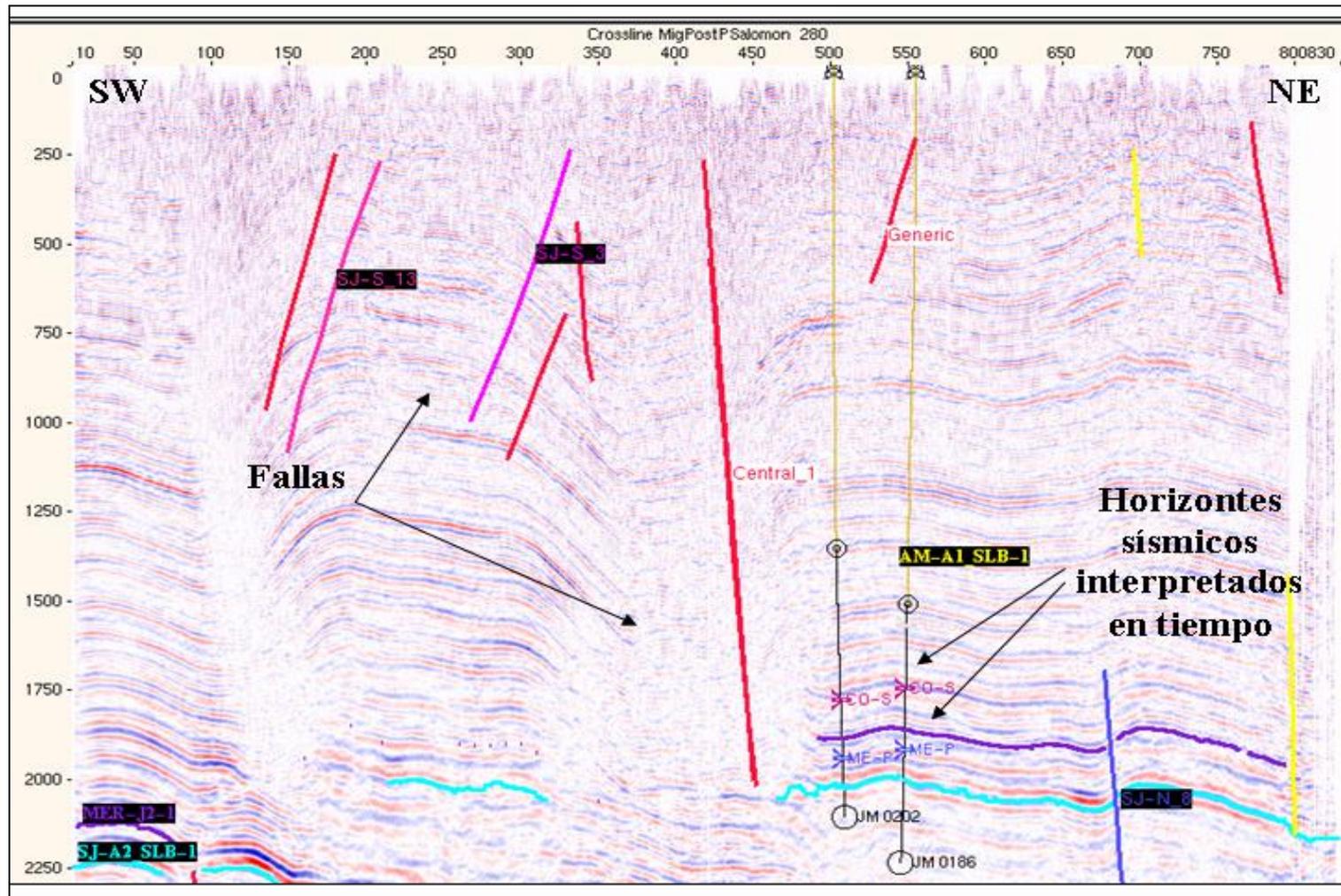


Figura 5.8 Sección sísmica A-A' (PDVSA GAS, 2012).

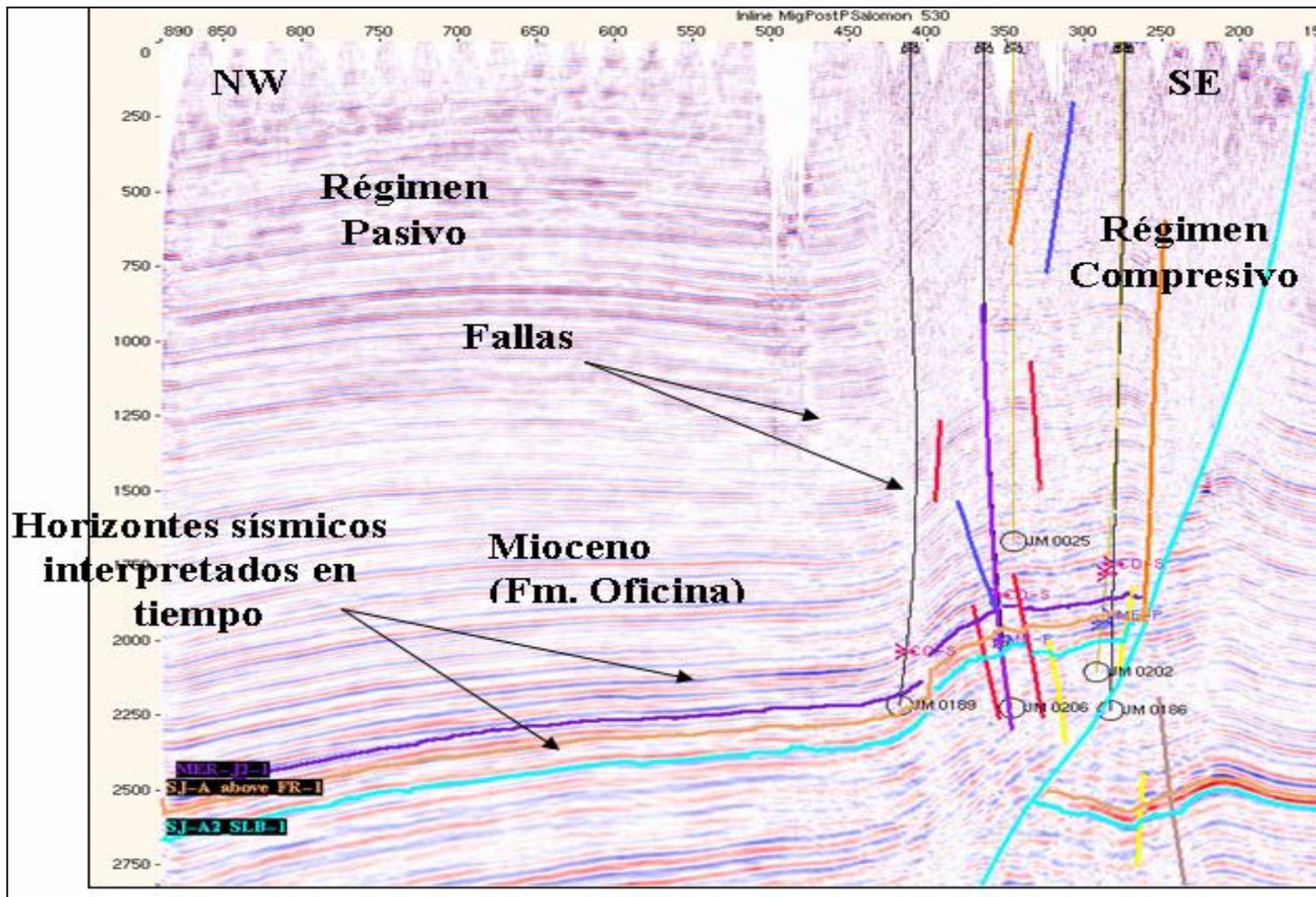


Figura 5.9 Sección sísmica B-B' (PDVSA GAS, 2012).

5.1.4 Modelo estructural

Después de haber realizado la correlación de los distintos pozos seleccionados pertenecientes al cuadrángulo San Joaquín-El Roble-Guario, las secciones estructurales, las interpretaciones de las secciones sísmicas, y la validación de los planos de fallas procedimos a elaborar el mapa estructural, anexo 3 (Figura 5.10). También se modelo en tercera dimensión la arena en todo el cuadrángulo San Joaquín-El Roble-Guario, (Figuras 5.11) para tener una representación visual permita observar con mayor detalle las estructuras presentes en la misma.

5.2 Explicar el impacto de las operaciones petroleras en la formación y evolución del volcán

5.2.1 Pozo JM -25, Campo San Joaquín

Desde los comienzos de la exploración petrolera en Anzoátegui, en la década de 1930-1940, las cuadrillas de geología de superficie guiada por Hedberg, Funkhouser y Saas, geólogos pioneros del campo reportaron la existencia de manifestaciones gasíferas y algunos pequeños volcanes de lodos semiactivos, en las proximidades de la población de San Joaquín.

La geología de superficie, las fotografías aéreas y los levantamientos sismográficos, aportaron suficientes datos para dar inicio a la exploración con taladro en esa área. Para 1947, cuando se hacían los levantamientos sismográficos en el campo San Joaquín, fluyó gas por uno de los huecos utilizados para disparos, a una profundidad de 105', a una tasa estimada de 700.000 pies cúbicos diarios. El total de pozos perforados en los campos de Anaco alcanzaba a 71, los cuales probaron el potencial de petróleo condensado y gas de las formaciones Oficina y Mercure.

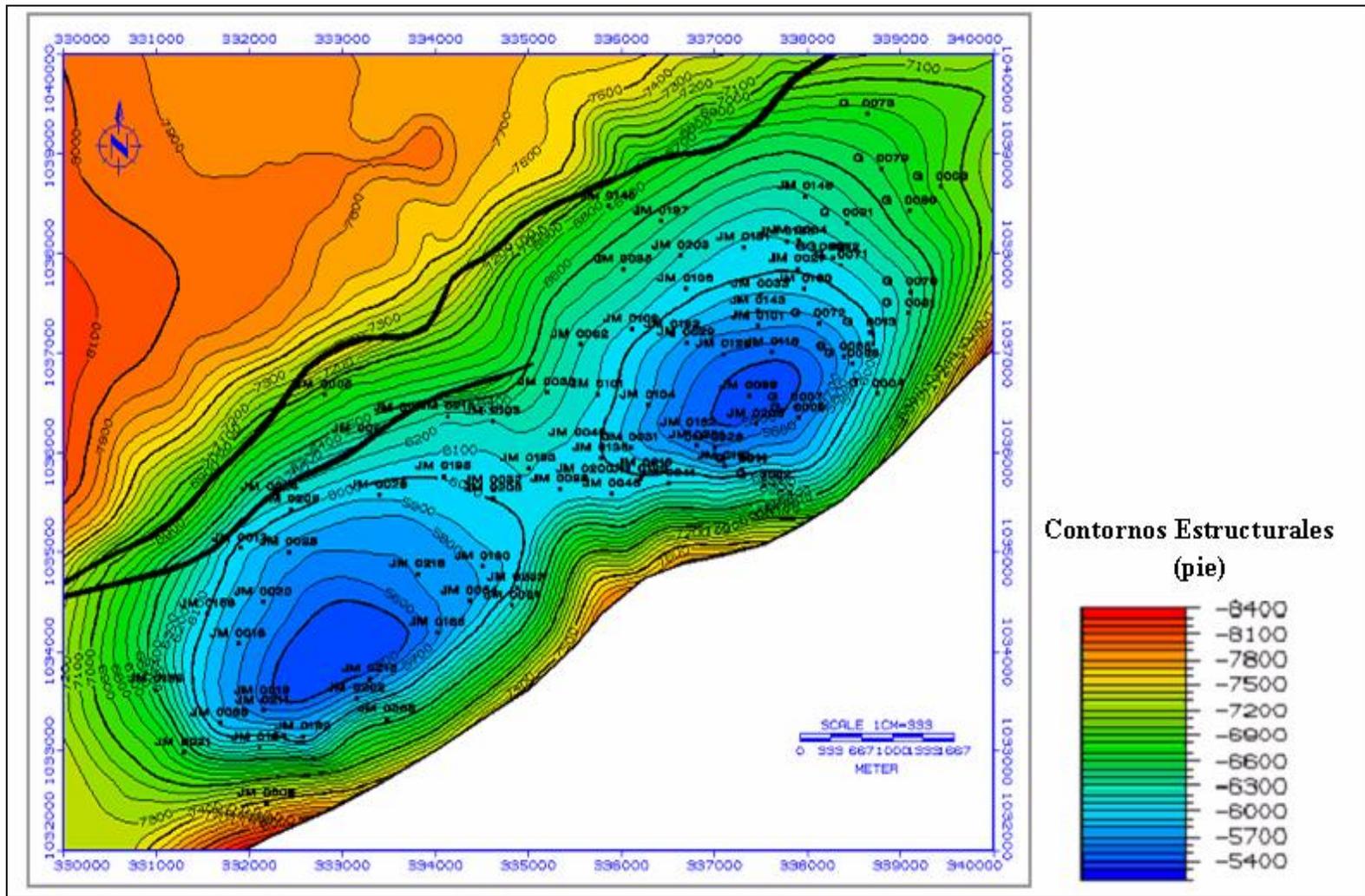


Figura 5.10 Mapa estructural del cuadrángulo San Joaquín-El Roble- Guario (Fuente propia, 2012).

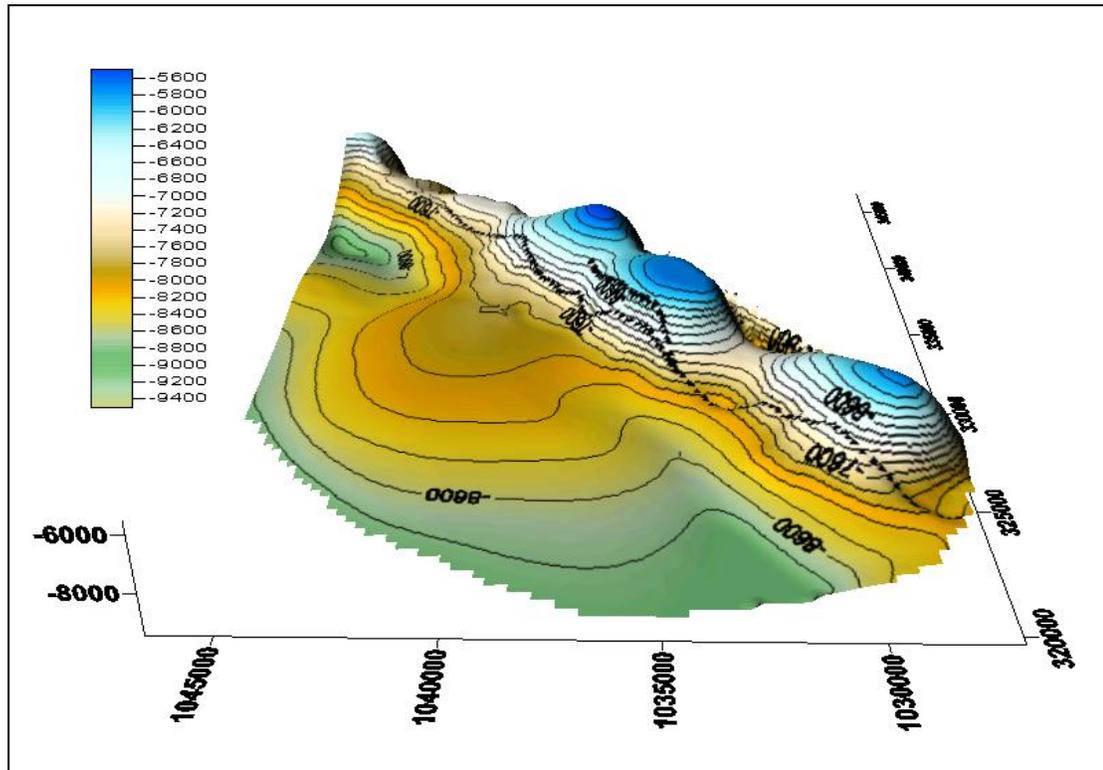


Figura 5.11 Modelo 3D del cuadrángulo San Joaquín-El Roble- Guario (Fuente propia, 2012).

5.2.1.1 Datos del pozo JM-25

- a) Campo San Joaquín, Distrito Gas Anaco, Estado Anzoátegui.
- b) Localización S-192, Y-70.
- c) Coordenadas: Geográficas: N-214.052,54, E-517.298,74; UTM: N-1035060, E-332480
- d) Inicio de la perforación: 4 de Enero de 1944.
- e) Fecha de completación: 8 de Mayo de 1944.
- f) Fecha de Abandono: 17 de Julio de 1976
- g) Elevación de la Mesa Rotaria: 496 pies.
- h) Elevación del Terreno: 486 pies.

- i) Profundidad Total: -7696 pies.
- j) Revestimiento de Superficie: 9 5/8 pulgadas, asentado a -845 pies.
- k) Revestimiento de Producción: 7 pulgadas, asentado a -7649 pies.
- l) Tope de Cemento: 6330 pies.
- m) Cuello Flotador: -7569pies.
- n) Otros datos importantes son señalados en el esquema mecánico del pozo (Figura 5.10)

5.2.1.2 Objetivo principal del pozo

Perforar la arena Colorado "R" para evaluar su potencial productivo. Arenas completadas: CO-A1 y VE-B2L

5.2.1.3 Problemas ocurridos durante la perforación

Después de asentado y cementado el revestidor de 9 5/8" a -845' y tan solo al perforar 4' por debajo de la zapata (-850' - -854') ocurrió un influjo se cambió el peso de lodo de 9 lpg a 10 lpg y se pudo controlar el pozo. Cuando la tubería estaba fuera del hoyo para realizar cambio de mecha, ocurrió un nuevo influjo, la profundidad del hoyo en ese momento era de -1630' para controlar el pozo, se bombeó en un primer intento lodo de 11 lpg, cuya operación no tuvo éxito luego se bombeó uno de 13,6 lpg logrando matar el pozo.

5.2.1.4 Completación original

1. Fecha del trabajo: 8 de Mayo de 1944
2. Tipo de completación: doble
3. Arenas completadas: CO-A y VE-B2L
4. Producción acreditada al trabajo: 458.733 Bls, de Petróleo

Por causa de la presencia de gas en los estratos superiores, siempre se han presentado problemas durante la perforación de los pozos, tales como pérdida de barro de perforación, emanación de gas y expulsión de lodo. Como por ejemplo se citan los pozos JM- 25 y JM-96; este último tuvo que ser abandonado cuando solamente se había alcanzado 800' de profundidad. Estos problemas fueron confrontados por la Creole cuando operaba en el campo san Joaquín y más tarde pasa a operar la M.G.O en dicho campo.

5.2.1.5 Trabajos de reacondicionamiento realizados al pozo

- Reacondicionamiento N°1:

1. Inicio: 4 de mayo de 1954.

2. Culminación: 15 de mayo de 1954

3. Trabajo a realizar: fracturamiento de la Arena Colorado A

4. Método implementado: Sand-Oil. (S-O)

5. Objetivo: preparar el pozo como inyector de gas en la arena Colorado A y evaluar el comportamiento de las fracturas de la formación a medida que avance la inyección de gas.

6. Fracturamiento de la formación: el 12 de mayo de 1954 se fracturó la arena Colorado A, esta operación se realizó sin taladro, usando dos camiones Halliburton tipo T-10. Conectaron tubería y bombearon a una presión máxima de 1500psi, 77 Bls de Crudo de la Formación Oficina mezclado con 3300lb de Ottawa Sand; la presión de fractura fue de 6200 psi. Bombearon 45 Bls dentro de la formación y se dejó en la tubería 32 Bls de Sand-Oil (S-O), de los cuales 4 Bls quedaron frente la formación, quedando el pozo controlado.

Presión de fractura: 6200 psi.

- Reacondicionamiento N°2:

a) Inicio: 21 de julio de 1956.

b) Culminación: 1 de agosto de 1956.

c) Trabajo a realizar: cementación de la arena Verde B y completar el pozo como inyector de gas

d) El pozo quedó esperando inyección de gas en CO-A

Para el año de 1975, antes de comenzar el proyecto de almacenamiento de gas, se trabajaron doce (12) pozos a un costo de 1.747.950,00, incluyendo al pozo JM- 25. Las acciones tomadas ante la evaluación del pozo fueron pruebas de comunicación, para evidenciar el estado del equipo, el resultado alojado que se evidenció que el equipo estaba en buen estado. Las recomendaciones eran correr registro CEL-N; aislar, perforar y producir arenas que presenten características de gas, las posibles arenas eran la NA-E1 y NA-E2.

En 1976, en el campo de San Joaquín se llevaban a cabo proyectos de recuperación secundaria y de almacenamiento de gas. Los pozos de inyección de gas están ubicados en la parte más alta de la estructura dómica. Las arenas mas contentivas de gas se reflejan en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Arenas contentivas de gas para el año 1976.

Arena	Yacimiento	Reserv. Reman. Petróleo MB	Reserv. Reman. Gas MMMPC
CO-A	JM-13	19	80.530
CO- C	JMN-1	2.393	56.265
VE- B	JM-12	185	13.114
VE- I	JM-12	-	2.708

Debido a una fuga de gas que se presentó a 300 metros al sur del pozo JM-25, la compañía operadora en el momento decidió solventar los problemas para detener la emanación. Se procede inmediatamente a tomar acciones para controlar la fuga de gas.

5.2.1.6 Trabajos de reparación realizados al pozo

- Reparación N°1:

a) Inicio: 2 de Julio de 1976

b) Objetivo: reparar equipo en mal estado. Perforar y probar arenas gasíferas NA-E

c) Razones del trabajo: debido a los problemas de gas presentado en el área se propone reparar equipos en mal estado perforar y probar arenas gasíferas NA-E. En el transcurso del trabajo se decidió abandonar este pozo debido a las siguientes razones:

d) Problemas mecánicos presentes (ver observación)

e) Alta relación gas-petróleo reflejada por las arenas productoras.

f) Agotamiento de la energía natural de las arenas productoras.

g) Las arenas probadas no eran económicamente explotables.

h) Migración de gas a la superficie cerca del pozo JM-25.

Observación: la tubería de 2-1/2" estaba partida a -375' y se encontró un hueco en el revestidor de 7" a -700'. Para tratar de asegurar el pozo se bombearon aproximadamente 18.600 sacos de cemento con aditivos, donde la mayor cantidad fue bombeada a través de la tubería de producción, logrando que el cemento se desplazara desde el fondo hasta -106' en la tubería de producción.

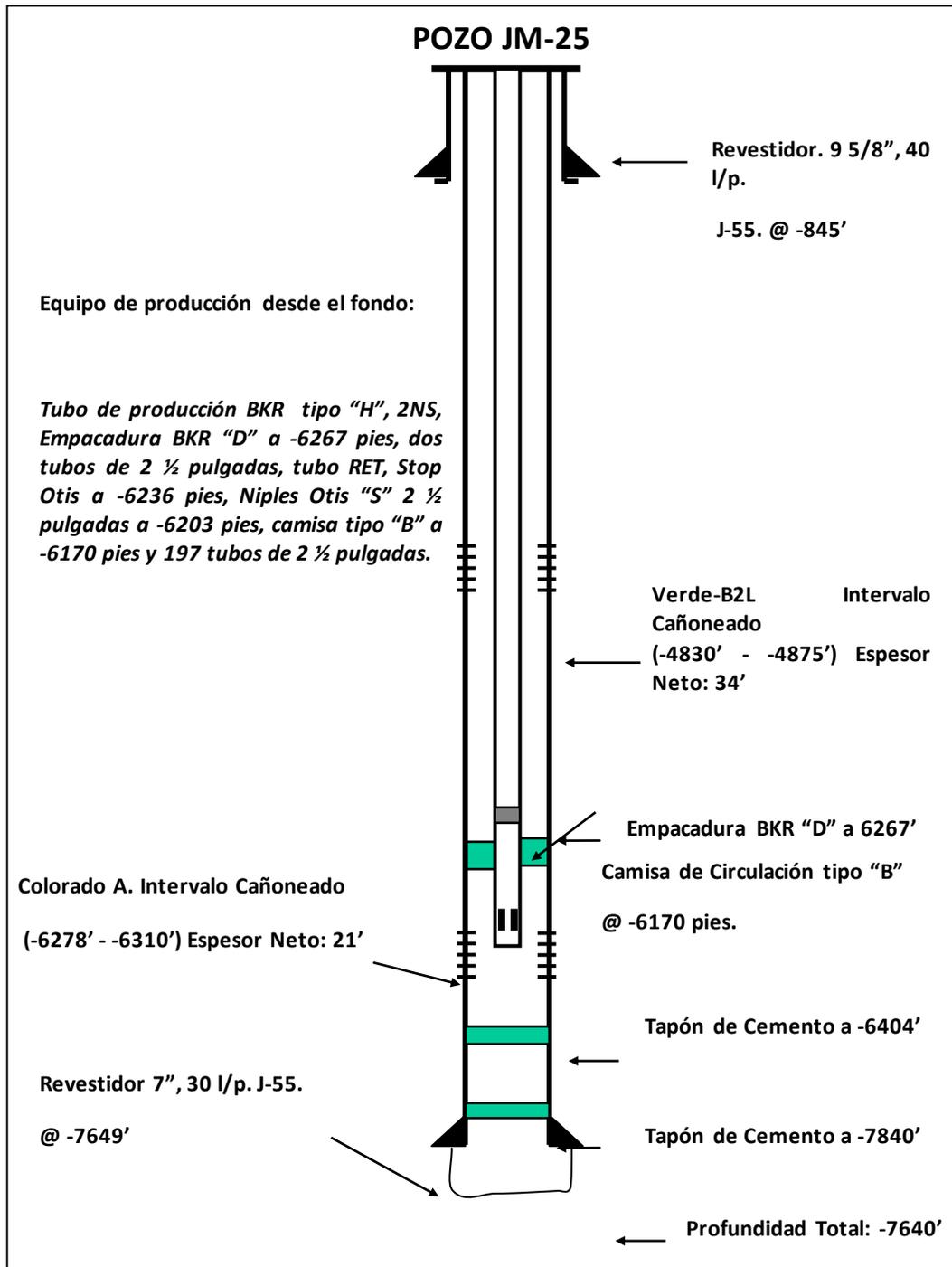


Figura 5.12 Esquema mecánico del Pozo JM-25 (PDVSA Gas Anaco, 2012).

El pozo JM-25, inyector de gas, fue cerrado para julio de 1976, debido a que fue asociado directamente con las emanaciones de gas y a la formación del volcán por varias razones: su proximidad, su posición en la cresta del domo, el posible deteriorado estado del pozo después de más de 30 años de servicio y el aumento anómalo de las presiones. Con el cierre de este pozo se intentaba obtener el aislamiento entre las capas superiores y las arenas más profundas contentivas de gas de más alta presión, este pozo fue abandonado el 2 de agosto de 1976.

Las acciones tomadas pretendían asegurar que las operaciones de perforación y producción no complementen la emigración de gas hacia la superficie. Esto se logró con el aislamiento, es decir forzando cemento entre los estratos superiores y las arenas inferiores de más alta presión.

A mediados de agosto de 1976, se comienza a levantar una porción circular de terreno, cuyo centro coincide con el pozo JM-25. En pocos días la protuberancia creció y se constituyó un pequeño “domo” sobre el domo de San Joaquín; desarrollándose profundas grietas que extendidas por más de 20 metros, partían del pozo.

5.2.2 Identificación de la arena causante del influjo del pozo JM-25

La identificación de la arena causante del influjo parte en primer lugar por el estudio de las condiciones operacionales y descripción de los diagramas mecánicos de los pozos perforados en el Domo Central del campo San Joaquín. De las carpetas y reportes finales de perforación se identificaron los problemas operacionales ocurridos durante la perforación del pozo JM-25 y de los pozos vecinos. En tal sentido se seleccionaron 20 pozos ubicados en el domo central que presentaron problemas de pérdidas de circulación o influjo. Para identificar los problemas operacionales

ocurridos durante la perforación de los pozos vecinos al JM-25 se dividió el estudio en dos casos:

1. Pozos que presentaron problemas de pérdidas de circulación entre 1944 y antes del 2000 y pozos que presentaron pérdidas de circulación en el período comprendido entre el 2000 y junio de 2004, en estos últimos años resultó que 15 pozos perforados en domo central reflejaron pérdidas de circulación, dentro de los cuales 6 de éstos perdieron circulación en la arena Colorado A, acumulando un total de 4407 Bls de lodo perdido en la arena lo que indica que esta arena presenta problema de baja presión o de posible fracturamiento, naturales o inducidas, ya que ocupa el segundo lugar de las arenas de pérdidas en el campo San Joaquín de acuerdo con los resultados obtenidos (Figura 5.11). En relación a la arena de mayor pérdida resultó ser San Juan A con 8 pozos que presentaron pérdidas de circulación durante su perforación acumulando un total de 9079 Bls de lodo perdido a la arena. Con relación a los problemas de pérdidas de circulación de los pozos perforados antes del 2000, sólo en 4 pozos ocurrieron pérdidas de circulación reflejándose en la arena Amarillo-L el mayor volumen reportado, con un total de 450 Bls perdidos.

2. Éste caso está representado por los pozos que presentaron problemas de influjo antes del 2000 y pozos que presentaron influjos en el periodo comprendido entre el 2000 y junio de 2007, siguiendo el análisis anterior, 9 pozos perforados en los últimos 7 años mostraron influjo considerables tanto de gas como parafina o agua. Dentro de los cuales 3 pozos presentaron influjo en la formación Merecure, específicamente en las arenas (ME-T4,5; ME-J1L), 3 pozos presentaron influjo en el Miembro Colorado, en las arenas (CO-B4; CO-F2; CO-P1; CO-R1) 3 pozos presentaron influjo en el Miembro Amarillo, en las arenas (AM-E2; AM-E3; AM-K2), y un pozo (JM-212) presentó un gran influjo mientras se perforaba el Miembro Naranja en la arena (NA-E1,2), a la profundidad de 3598 pies, el cual se convirtió en un reventón de pozo al no poderse controlar a tiempo la manifestación del pozo.

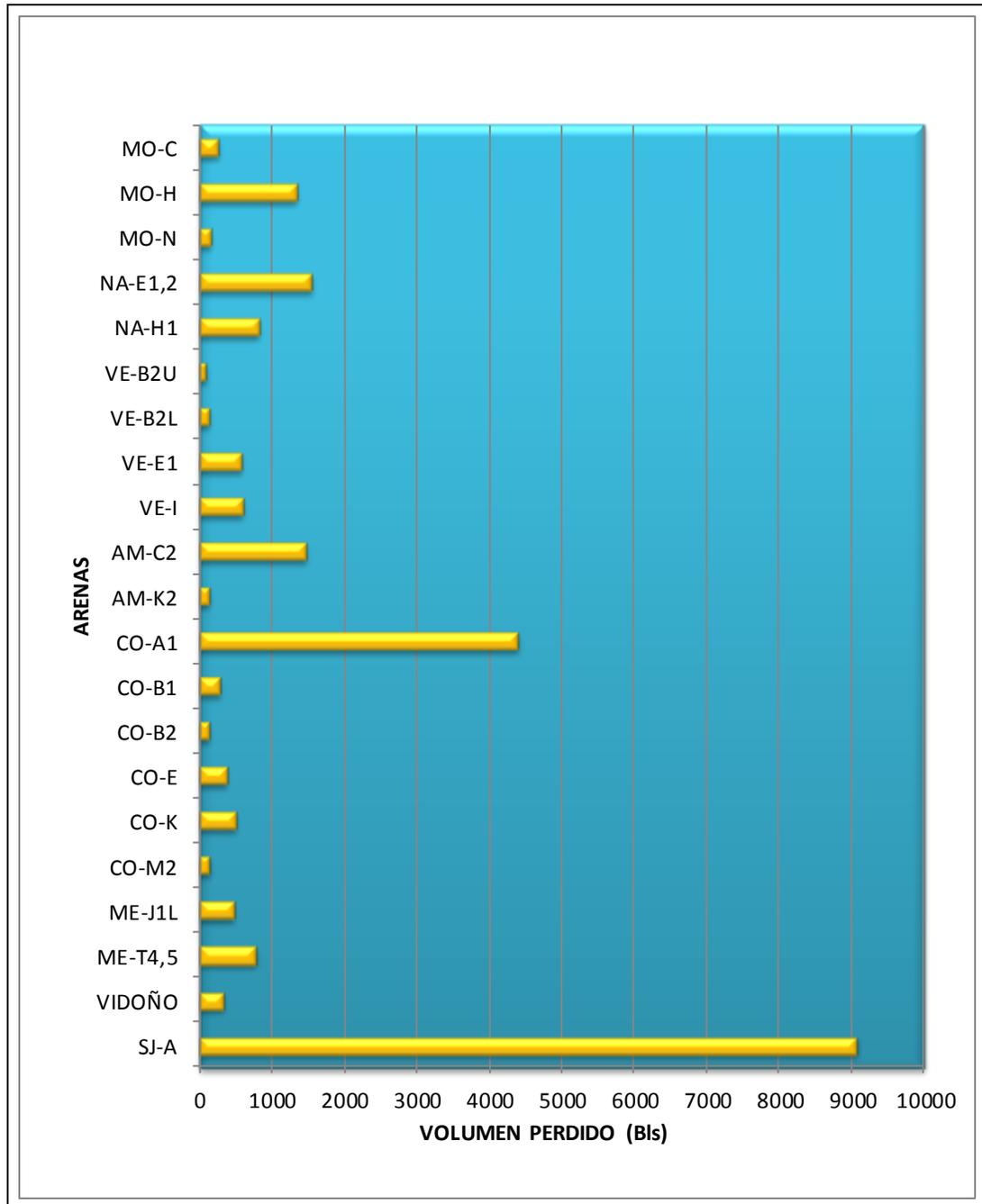


Figura 5.13 Pérdidas de circulación en Domo Central del campo San Joaquín (PDVSA GAS, 2012).

De la información recopilada en los archivos de la empresa se seleccionaron los aspectos asociados al problema ocurrido en el pozo JM-25, en tal sentido se realizó

un estudio detallado desde su perforación hasta las condiciones actuales en que se encuentra. Al analizar la situación del pozo se obtuvieron las siguientes observaciones:

a) Pozo completado originalmente en la arena CO-A1. Fluyendo por la tubería de producción 2- 1/2" y en la arena Verde "B" fluyendo por el espacio anular entre la tubería 2- 1/2" y el revestidor de 7".

b) Arena CO-A1 fracturada para inyectar gas a través del pozo JM-25, en el primer re-acondicionamiento realizado éste pozo.

c) Arena Verde "B2L" cementada en el intervalo (4830-4875) en el segundo re-acondicionamiento.

Considerando que la arena VE-B2L fue cementada y totalmente abandonada en la segunda reparación realizada al pozo, cabe la posibilidad de descartarla en el aporte de gas a la superficie, aún más el yacimiento JM-12 correspondiente a esta arena presenta una caída de presión acorde con la producción reportada en los registros y archivos de la empresa. Sin embargo la arena CO-A1, yacimiento JM-13, presenta motivos para señalarla como aportadora potencial de hidrocarburo a través del pozo JM-25, por las razones siguientes: ser la única arena completada en éste pozo al momento de ocurrir la migración de fluido, presentar problemas de pérdidas de circulación durante la perforación de los pozos vecinos construidos en el periodo (2000-2008), presentar una tendencia de caída de presión de yacimiento a la actualidad sin producción de hidrocarburo fiscalizada desde junio de 1978, cuando el yacimiento quedó cerrado por el Ministerio de Energía y Minas por presentarse fuertes comunicaciones de gas en uno de los pozos completados en el reservorio (Figura 5.12).

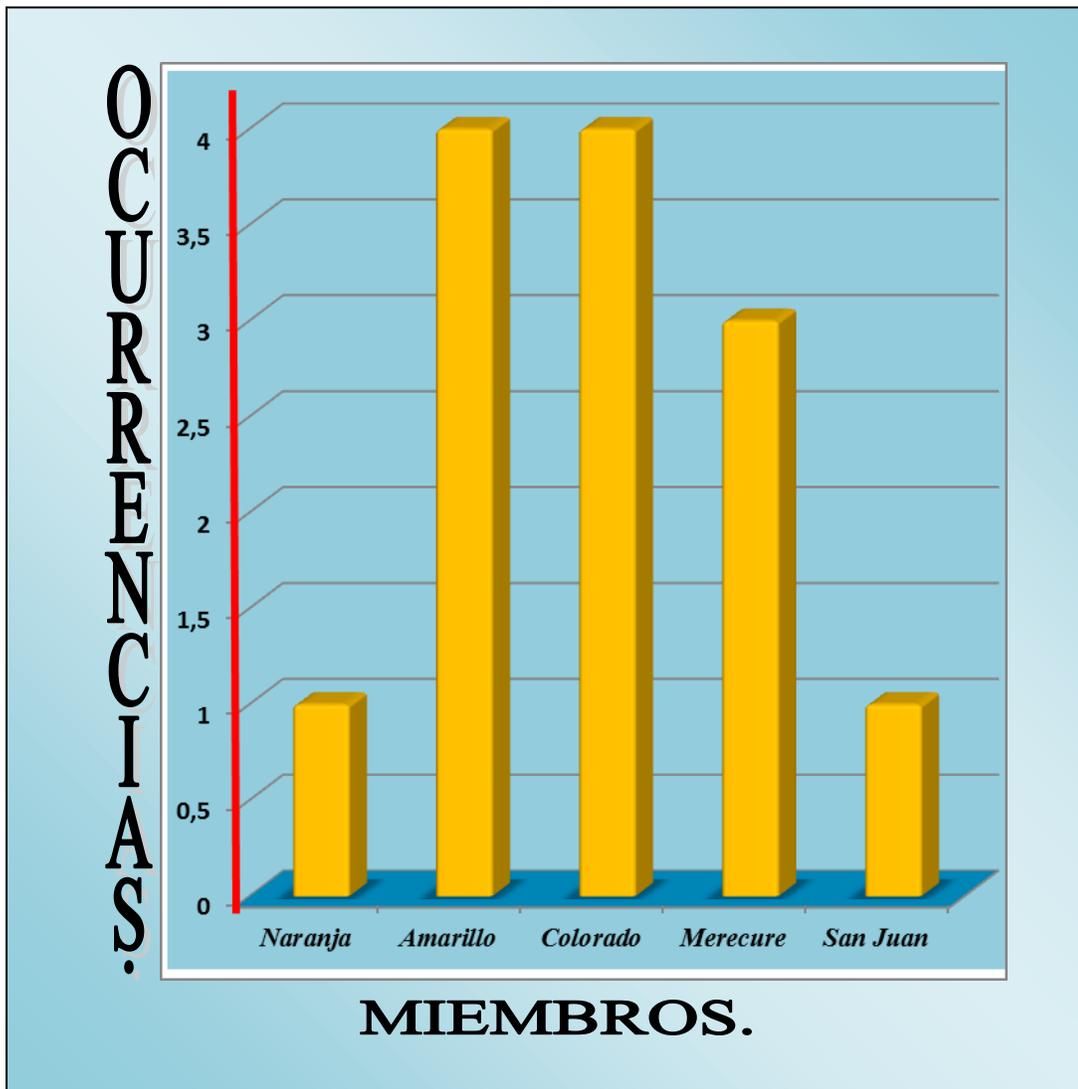


Figura 5.14 Influjos en el domo Central del campo San Joaquín (2005).

Adicionalmente se tienen las siguientes situaciones:

a) Mal estado de las condiciones mecánicas del pozo JM-25, presentando deterioro de la tubería de revestidor de 7" y tubería de producción por acción de la corrosión.

b) Debilitación de la estructura metálica del revestidor de 7" así como de su cementación debido a los trabajos de fracturamiento, de la arena CO-A1, realizado en el pozo JM-25.

c) Proyecto de inyección de gas implementado en el yacimiento JM -13, arena CO-A1, el cual fue sometido a un proceso de represionamiento durante 7 años.

Esta causa representa una de la más importante debido a que el yacimiento fue sobre represionado por la inyección continua de gas, lo que se puede observar al comparar la presión inicial del yacimiento 3975 Lpc y la presión alcanzada con la inyección para la fecha de 1963, 4000 Lpc.

En tal sentido es posible que la arena haya sufrido fracturamientos inducidos, permitiendo así la comunicación del yacimiento durante la inyección. Esto se puede sustentar aún más con las pérdidas de circulación que ocurren hoy en día en la arena, al momento de perforar los pozos en esta zona.

5.2.2.1 Estimación del comportamiento de presión del yacimiento JM-13, arena CO-A1

Para estimar el comportamiento de presión del yacimiento JM-13 se partió de las presiones de fondo (BHP) e historias de producción acumuladas registradas durante la vida productiva del yacimiento, con las cuales se elaboraron dos tendencias (tendencia de presión y tendencia de producción) (Apéndice D.1 y D.2)

De este gráfico se observó que el yacimiento JM-13 arena CO-A1, inició su producción en 1941 con una presión inicial de 3975 Lpc y para diciembre de 1956 presentaba un estado avanzado de agotamiento natural generado por la expansión de la capa de gas y del gas en solución siendo este último el mecanismo principal, lo que

fue comprobado por la rápida declinación de la presión, las altas relaciones gas/petróleo y los bajos cortes de agua. En tal sentido la presión había declinado de 3975 a 1550 Lpc con una producción acumulada de 13,1 MMBLS de petróleo, lo que representa el 96,3% de las reservas primarias; ante esta situación se decidieron implementar un proyecto de inyección de gas, el cual tuvo previsto un recobro secundario de 7,0 MMBLS de petróleo (19,2% del POES), después de realizar un estudio de yacimiento, iniciaron la inyección en diciembre de 1956.

Como primera etapa del proceso, represionaron el yacimiento llevando la presión del reservorio de 1550 Lpc a 4000 Lpc, la cual fue alcanzada en el año 1963, durante esta etapa se obtuvo una producción asociada de 2.66 MMBLS de petróleo y la inyección de gas fue de 90,5 MMMPCN, lo que implica una tasa de inyección diaria de 35.4 MMPCN. Una vez alcanzada la presión de 4000 Lpc, se puso en práctica la etapa de mantenimiento de presión en el yacimiento y se aumentó la producción de petróleo y gas asociado. Sin embargo esto al no ser compensado por los volúmenes de inyección originó una declinación de la presión, bajando a 3000 Lpc en el año 1967.

La inyección de gas siguió con tasas bajas en tanto que la producción de gas se incrementaba lo que originó la declinación de la presión asociado a valores de reemplazo negativos. Esta etapa se extiende hasta junio del año 1978 cuando el yacimiento quedó cerrado "EH" debido a severos problemas de comunicación en uno de sus pozos que ha originado continuas emanaciones.

Durante este periodo se recuperaron 4.71MMBLS de petróleo, lo cual conlleva a una producción acumulada de 20,47 MMBLS para esa fecha, representando el 99,5 % del total de las reservas recuperables y el 56,2 del POES.

5.2.3 Modelo de presión del yacimiento JM-13

Para determinar la presión actual que debería tener el yacimiento JM-13, según su producción de petróleo, se construyó un modelo de declinación de presión considerando las presiones estáticas de fondo (BHP) y la producción acumulada durante la explotación del yacimiento en la etapa de inyección, partiendo desde el año 1963, cuando éste alcanzó la presión de 4000 Lpc por el efecto del represionamiento con gas, hasta agosto de 1976 fecha de la última presión de fondo representativa.

Para el primer modelo (Apéndice D.3) donde se muestra el comportamiento de presión de acuerdo a la producción acumulada a cada fecha del periodo. De esta curva se obtuvo el segundo modelo (Apéndice D.4), ajustando los valores de presión por producción acumulada mediante la ecuación generada al realizar el ajuste a una declinación exponencial del yacimiento.

Con la ecuación de la curva ajustada se estimó la presión del yacimiento JM-13, para la producción total de petróleo fiscalizada, obteniendo como resultado 1473 Lpc según la tendencia del comportamiento de caída de presión graficada. Sin embargo los registros RFT corridos en tiempo reales en la cara de la arena CO-A, cuando se perforaron los pozos en el periodo (2000-2004) mostraron entre 881 y 986 Lpc de presión (Tabla 5.3), en diferentes lugares del domo central.

Lo que demuestra que el yacimiento ha estado liberando energía a través del pozo JM-25 experimentando una caída de presión aproximada a 500 Lpc. Sin producción de hidrocarburo reportada.

Tabla 5.3 RFT corridos en la arena CO-A1, yacimiento JM-13 (PDVSA GAS, 2012).

POZO	PROF. TVD (pies)	ARENA	FECHA	PRESIÓN FORM. (Lpc)	OBSERVACIÓN
JM-190	6407	CO-A1	14/02/2001	881	
JM-191	6301	CO-A1	22/02/2001	908	
JM-192	6586	CO-A1	28/07/2001	942	
JM-195	6588	COA1	26/09/2001	970	
JM-196	6772	CO-A1	24/09/2001	937	
JM-200	7066	CO-A1	21/06/2002	898	
JM-201	6252	CO-A1	13/01/2001	904	
JM-202	6380	CO-A1	14/01/2002	883	NO ESTABILIZÓ
JM-206	6643	CO-A1	11/06/2002	986	
JM-207	6712	CO-A1	07/04/2003	972	NO ESTABILIZÓ
JM-209	6120	CO-A1	12/07/2003	885	NO ESTABILIZÓ

5.2.3.1 Mapas de presión

Los mapas de presión generados (anexos 1 y 2) para la arena CO-A1 yacimiento JM-13, permitieron visualizar las diferentes zonas de presión en la misma, así como los diferentes gradientes o caídas de presión en ella.

Se identificaron 3 zonas primordiales de presiones en la arena (Figura 5.15). Cabe destacar que las bajas presiones registradas en la misma es consecuencia de la expulsión descontrolada de gas a través del pozo JM-25 como fue demostrado con el

modelo de presión presentado anteriormente. Las zonas de presión identificadas y sus características son las siguientes:

- Zona A: coincide con la franja Sur del yacimiento cercana al Corrimiento de Anaco y tiene valores comprendidos a un rango de 700 a 900 psi. Es la zona de menores presiones en la arena y posiblemente presenta estos valores debido a que en esta zona se encuentran la mayor cantidad de pozos completados y que reportaron los mayores valores de producción en la arena, lo que ocasiona que la formación presente allí menor energía.

- Se identificaron 3 zonas primordiales de presiones en la arena (Figura 5.15). Cabe destacar que las bajas presiones registradas en la misma es consecuencia de la expulsión descontrolada de gas a través del pozo JM-25.

- Zona C: es la zona de mayor presión del yacimiento, abarca la franja norte delimitada por la falla normal que limita el yacimiento. Presenta alta presión debido a que en esta zona se encuentra solo un pozo completado (pozo JM-35), el cual fue inyector de gas en la formación. El rango es de 1150 a 1300 psi.

En cuanto al mapa de gradiente de presión (Figura 5.16) se observa que la tendencia al incremento de presiones va de Sur a Norte, desde la zona cercana al Corrimiento de Anaco (A) hasta la zona cercana a la falla normal (C), que son los rasgos estructurales más importantes que se encuentran en el yacimiento. Se observa también que hay tendencia al incremento de presión en la silla tectónica que se encuentra entre el Domo Central y el Domo Norte, debido a que la estructura controla el desplazamiento de los fluidos, a medida que profundizamos en un yacimiento, se consigue mayores presiones, lo que ocasiona que en las sillas tectónicas o sinclinales exista mayor presión y fluidos más densos con respecto a los anticlinales.

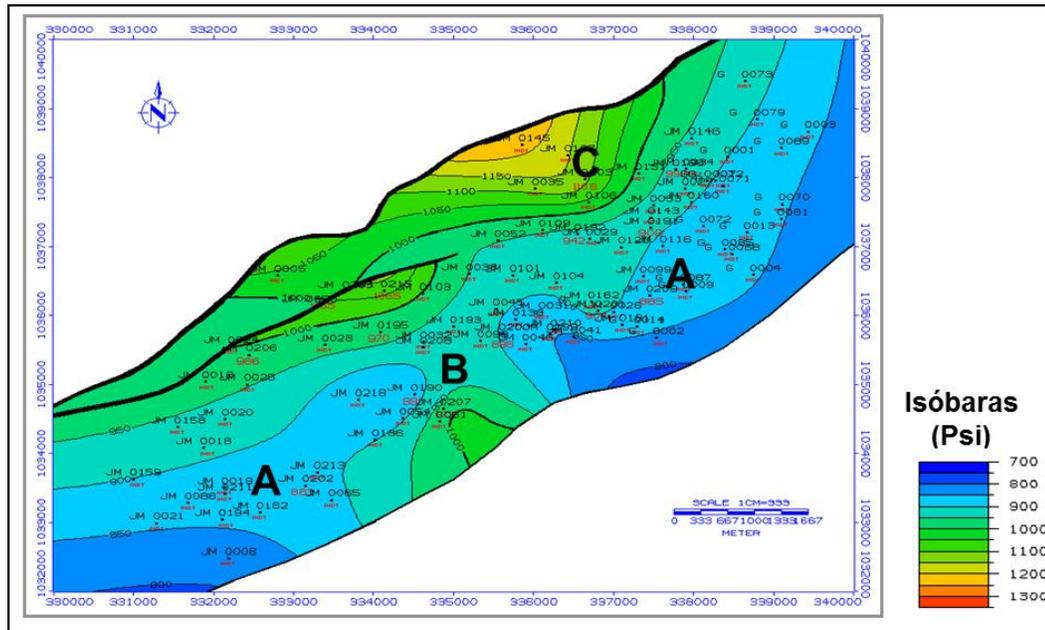


Figura 5.15 Mapa Isobárico (Fuente propia, 2012).

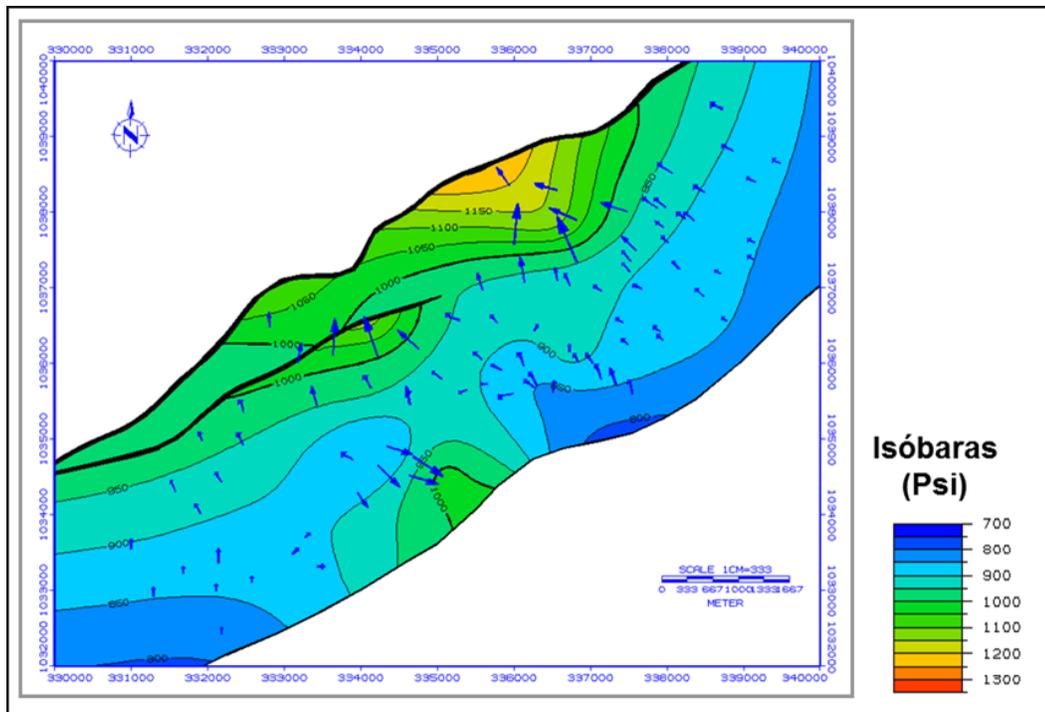


Figura 5.16 Mapa de gradiente de presión (Fuente propia, 2012).

Las zonas de presión identificadas son causadas por los diferentes rasgos estructurales del yacimiento que controlan el desplazamiento de los fluidos presente en el mismo, así como la densidad de pozos completados en el mismo y las emanaciones presentadas por el pozo JM-25.

Estas zonas deben ser consideradas para cualquier trabajo de taladro a realizarse en el campo que atraviese la arena para tomar las medidas correspondientes al control de riesgo asociados por entrar en zonas de bajas presiones, como lo representa la arena CO-A1 en el campo San Joaquín.

5.2.4 Mapa de zonas de pérdida de circulación

La elaboración de este mapa (anexo 3) permitió observar las diferentes zonas donde ocurren las pérdidas de circulación en la arena, identificándose así 4 zonas primordiales donde ocurren pérdidas de circulación (Figura 5.17) con características distintas para cada una de ellas, estas son:

a) Zona A: es la zona donde no ocurren pérdidas o las registradas son menores a los 60 barriles de lodo perforación, el cual es la medida límite considerado en el campo San Joaquín para que se tome como representativa.

b) Zona B: en esta zona los valores de barriles perdidos están comprendidos en un rango de 60 a 700 barriles.

c) Zona C: las pérdidas registradas están en un rango de 700 barriles a 1000 barriles perdidos de lodo de perforación.

d) Zona D: las pérdidas registradas están comprendidas en un rango de 1000 barriles hasta 2200 barriles, esta es la zona donde ocurren las mayores pérdidas de circulación y coincide con el área donde se encuentra el pozo JM-25.

Las pérdidas de circulación registradas en el campo San Joaquín para la arena CO-A1 son considerablemente excesivas, esto se debe por ser esta una arena de baja presión en consideración con las unidades hidráulicas que se encuentra suprayacentes, ocasionando así que cuando se atraviesa esta arena en labores de perforación se pierda lodo por crear fracturas a la formación. La zona D, la cual presenta mayores pérdidas de circulación, abarca el área donde se encuentra el pozo JM-25 y permite pensar que esta es un área donde existen fracturas naturales que ayudan a que el lodo de perforación sea absorbido por la formación.

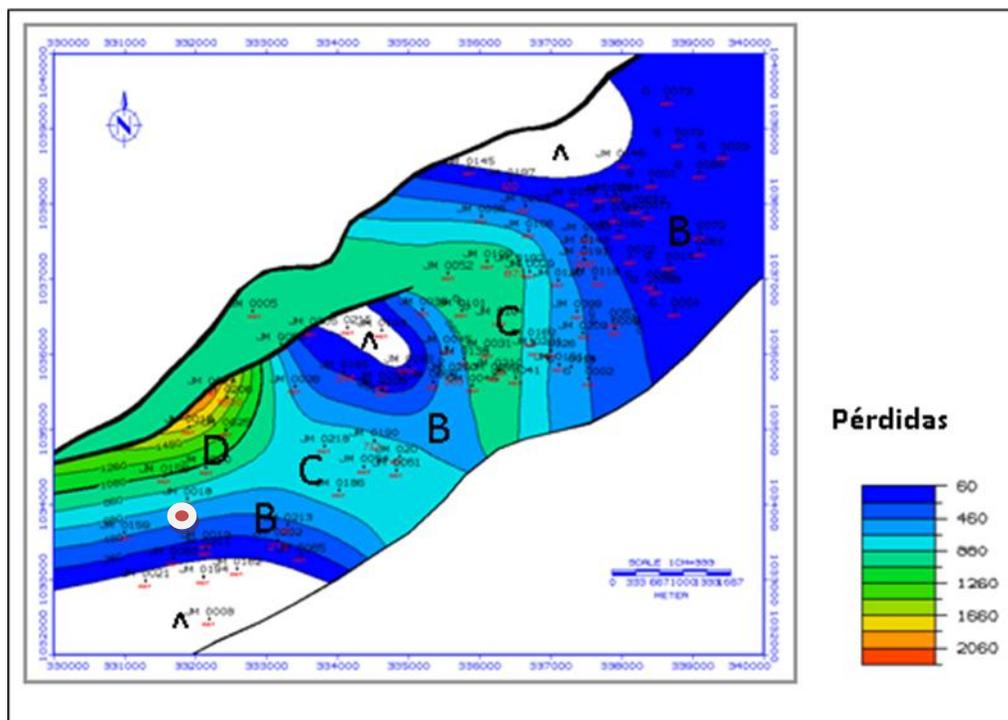


Figura 5.17 Mapa de zonas de pérdida de circulación (2012).

A parte de las presiones, fracturas naturales, también hay que considerar como causante de las pérdidas el peso de la columna hidrostática con que se atraviesa la formación, que si es mayor con respecto a la presión de formación puede crear fracturas inducidas a esta.

Estos parámetros, así como las zonas identificadas como de pérdidas de circulación deben ser tomados en cuenta para cualquier labor de perforación a realizarse en el campo y que atraviere la arena CO-A1

El estudio realizado a las condiciones operacionales y estado mecánicos de los pozos del área seleccionado, el modelo de presión, los mapas de presiones y de zonas de pérdida de circulación, permitieron identificar la arena causante del influjo en el pozo JM-25, permitiendo realizar su caracterización geológica, para posterior análisis ambiental y selección de los métodos y técnicas de control que permitirá solucionar el problema causado por el reventón del pozo.

5.3 Explicación del origen y evolución del volcán de lodo

Los fenómenos vinculados con el volcán de lodo de San Joaquín se iniciaron en mayo de 1976, cuando a unos 300 metros al sur del pozo JM-25, y en el área central del domo, comenzaron a fluir intempestivamente cantidades de gas, petróleo, barro y agua (Figura 5.16). La compañía operadora del área construyó un gran embalse con muros de tierra para contener los materiales expulsados. Este primer embalse tuvo que ser ampliado a un tamaño de 150*200metros, con muros de 4 a 5 metros de altura, adquiriendo capacidad para unos 135.000m³ aproximadamente.

Este primer fenómeno fue clasificado como un mene, porque no presentó la geomorfología típica de un volcán, sin embargo su actividad se manifestó eruptivamente, con expulsión de materiales a alturas superior a los 10 metros,

acompañados con fuertes ruidos, probablemente el cono no llegó a sobrepasar el nivel de la laguna formada; observándose además un oleaje radial a partir del punto de surgencia en la laguna (Méndez, 1985).

En junio de 1976 el embalse estaba lleno en un 70%. Se requiere y realiza la construcción de un segundo dique anexo que fue conectado a primero. El fenómeno creció en intensidad. La mayor cantidad del material expulsado era petróleo liviano de color verdoso y agua salobre, con menores proporciones de barro.

En julio de 1976 ya estaban llenos ambos embalses, construyéndose otros dos de menor tamaño. La actividad disminuyó sensiblemente, se hizo intermitente y finalmente cesó casi completamente. A finales de este mes se efectuó una cementación en el pozo JM-25 (reparación N°1) donde se intentaba obtener un aislamiento entre las capas superiores y las arenas más profundas contentivas de gas de más alta presión. El pozo fue oficialmente abandonado el 2 de agosto del mismo año (Méndez, 1985).

A mediados de agosto de 1976 comienza a levantarse una porción circular de terreno, el centro coincide con el pozo JM-25. En pocos días la protuberancia creció y constituyó un pequeño “domo” sobre el domo de San Joaquín. Aquí se desarrollaron profundas grietas, que extendidas por más de 20 metros partían del pozo. La deformación del terreno afectó notablemente al tramo de carretera Anaco- Santa Ana y al oleoducto y gasoducto que atravesaban al sector (Méndez, 1985) (Figura 5.17)

Para septiembre de 1976 las grietas estaban más profundas y extensas, en particular una desarrollada al sur del pozo.

En agosto de 1977 comenzaron a producirse ruidos subterráneos y estremecimientos del terreno. Esto se convirtió en un flujo de gases y materiales

pastosos que aumentó fuertemente su intensidad. A medida que los materiales eran violentamente expulsados se fue formando por agregación un cono de unos 10 metros de altura, con una pendiente de 40° y un cráter de aproximadamente 20 metros de diámetro, adquiriendo así este fenómeno el aspecto típico de un volcán (Figura 5.18).

En enero de 1978, la vertical del flujo se desplazaba cada vez más hacia el pozo, erosionando el lado del cráter más próximo a él. El barro se derramaba en esa dirección, exponiendo a la superficie a las tuberías de producción y a la base de cemento. El árbol de navidad fue quedando progresivamente enterrado. (Figura 5.19). Para el año 1979, el volcán se ha desplazado y toma como centro al JM-25, el cual definitivamente desaparece (Méndez, 1985).

En el año 1980 el cráter se expande, como consecuencia de la erosión de la pared interna del cono, por efecto del flujo del barro, el cono se hace cada vez más amplio y la pendiente más suave.

Durante 1981, la actividad continuaba con igual vigor. El flujo de gas se mantenía constante. Apenas se interrumpía unos segundos, mientras pugnaba por vencer el peso del barro, formando gigantescas burbujas, que finalmente estallan a una gran explosión acompañada por fuertes ruidos. El barro prosiguió saliendo y ocupó el 70% de la capacidad del embalse. (Figura 5.20).

En junio de 1982, el volcán de San Joaquín fue encendido por personas quienes pagaron su imprudencia con severas quemaduras. El fuego se mantuvo encendido durante dos semanas, hasta que fue extinguido por el mismo lodo. En consecuencia a este suceso el área fue cercada por razones de seguridad. Para agosto de 1983, el embalse estaba casi en su totalidad lleno, por lo que un mes más tarde se construyó otro embalse de 210×100 metros con una capacidad de 80.000 m^3 . Durante 1984 el primer embalse quedó colmado y el barro comenzó a desbordarse hacia el segundo

(Méndez, 1985). En 1985 el volcán mantiene ininterrumpida su actividad; del cono original prácticamente ha desaparecido, quedando solo un remanente de su porción sur. El cráter ha crecido hasta alcanzar un diámetro de 60 metros aproximadamente (Méndez, 1985) (Figura 5.18).

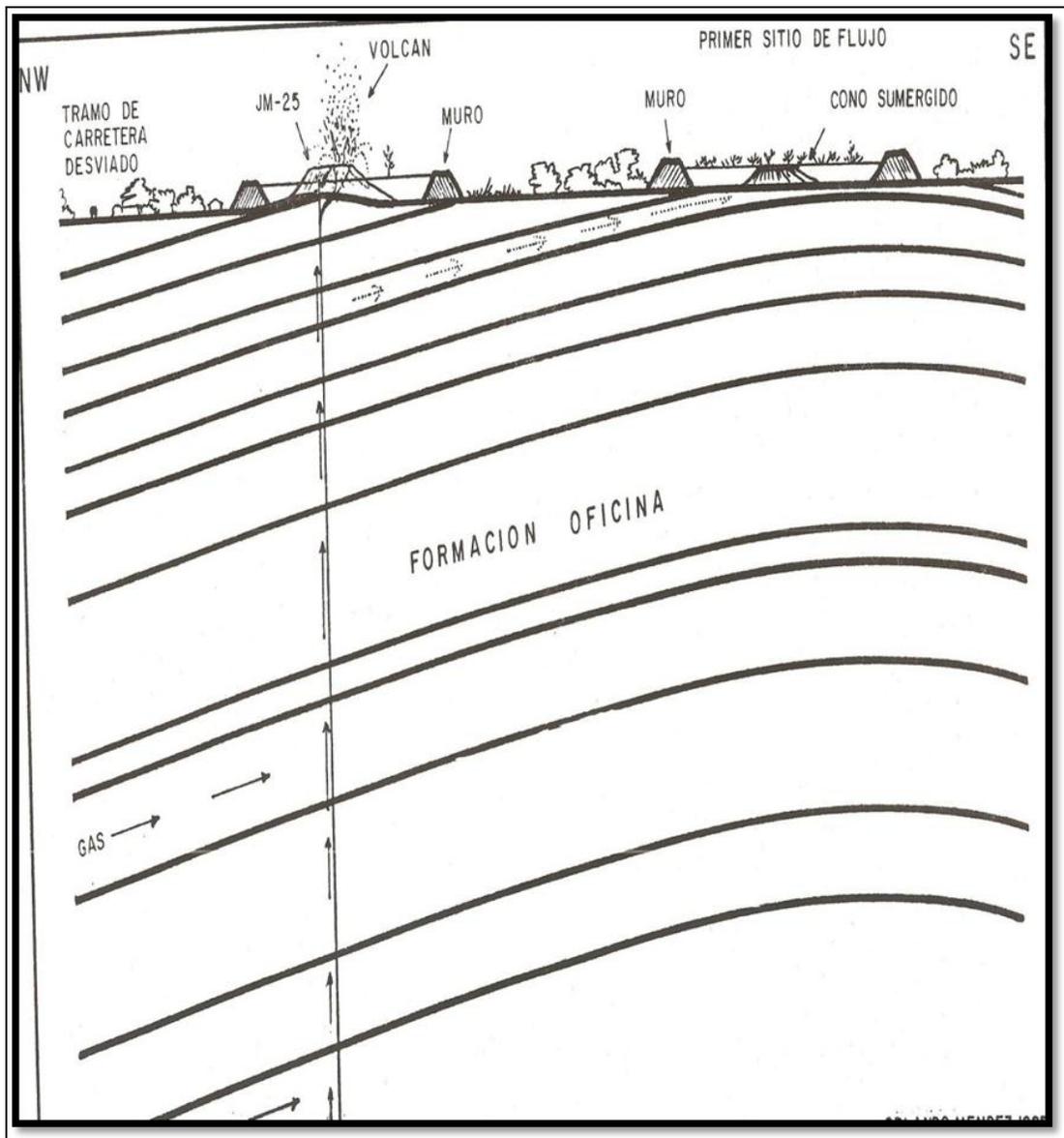


Figura 5.18 Manifestación y evolución del fenómeno (Méndez, 1985).

Entre 1990 y 2000 el cráter se ensancha aun más, la actividad del volcán aun es constante pero las burbujas de gas que estallan en el volcán son de menor intensidad, la potencia de la erupción ha disminuido en comparación a sus inicios, en vista de que la chimenea del volcán se expandió y el gas tiene mayor área de escape. El área se encuentra cercada y se han implementado medidas de seguridad para su resguardo. En el 2000 a 800 metros, dirección sureste con respecto a la ubicación del volcán ocurrió un reventón de pozo perforado en ese tiempo (JM-212), hecho ocurrido por una mala praxis operacional, quemándose la torre y todos los componentes del taladro, afectando notablemente la presión de flujo contenido en el volcán, el pozo JM-212 mantuvo un mes expulsando gas sin control, despresurizando la región del campo operacional San Joaquín.

En el 2005 la zona del domo central de San Joaquín pierde presión; el volcán de San Joaquín aún continuaba desbordando material hacia la superficie pero en menor proporción en comparación a años anteriores. En el 2008, el flujo ha mermado, y no se ha necesitado la construcción hasta los momentos de ningún otro embalse, debido a que el volumen se ha mantenido constante. En 2010 el nivel de flujo estaba en descenso, disminuyó 2 metros del borde original. Continúa la emanación de gas pero las burbujas apenas eran visibles, la presión de gas disminuyo.

En la actualidad (2012) el flujo de gas disminuyó considerablemente; en algunos puntos hay burbujas de gas apenas visibles, las cuales se expanden en un diámetro de gran proporción y una presión muy baja. Reaparecieron las tuberías de conexión de oleoducto y gasoducto, ocultas por el barro emanado desde la formación del volcán, la diferencia de nivel entre el flujo hasta la parte superior es de 15 metros aproximadamente. En la parte del terreno es difícil de apreciar la forma del volcán, se puede denominar como *cono tipo escudo*; por poseer un ángulo muy bajo o poco apreciable, el cono, la diferencia de nivel y la forma del *cráter tipo caldera*. Su

aspecto físico actual da la apariencia de que el área sufrió un impacto de meteoro. (Figura 5.19).

El volcán de San Joaquín es uno de los volcanes que más ha perdurado a lo largo del tiempo; surgió por una combinación de operaciones petroleras y la geología de la zona. El domo central del campo San Joaquín fue perforado por numerosos pozos, uno de ellos (JM-25) conectó el flujo de gas y lodo de manera incontrolada a superficie, pagando un alto precio, y hoy en día el arbolito de navidad del pozo se encuentra sumergido a 40 metros de profundidad aproximadamente en el centro de lo que actualmente conforma el volcán de San Joaquín.



Figura 5.19 Orlando Méndez revisando las grietas radiales formadas luego de la cementación. (Méndez, 1976).



Figura 5.20 Avance del volcán de San Joaquín con respecto al pozo JM-25, 1977 (Méndez, 1977).



Figura 5.21 Densidad del lodo y sus grietas en época de sequía (Méndez, 1981)



Figura 5.22 Explosión de burbuja de lodo y gas en el centro del volcán para el año 1987 (Méndez, 1987).

5.4 Descripción de la morfología del volcán de lodo y sus inmediaciones

En cuanto a la combinación de factores que originaron al volcán de lodo de San Joaquín encaja en el término volcanismo sedimentario, aplicado a estratos saturados de gas, petróleo o agua, bajo presión, con una energía latente suficiente y capaz para producir un fenómeno geológico similar a los causados por extrusiones magmáticas y erupciones

De acuerdo con la clasificación de SHIH (1967), basándose en el diámetro del cráter este volcán es de tipo D, ya que parece una Caldera volcánica o cráter hundido, presenta agua estancada en su interior con un color rojo difuso.

La vegetación incluida dentro del área de los embalses desapareció bajo el lodo; permitiendo ver las grietas de desecación sobre la superficie. Esta zona abierta en la sabana, carente de vegetación puede aplicarse el término tassik, utilizado para

designar una abertura circular, sin vegetación debido a la presencia de arcillas provenientes de los flujos de barro. El área del tassik se encuentra rodeada de una vegetación del tipo “bosque húmedo tropical”. Dentro del área del tassik han aflorado varias plantas vegetación baja y espinosas del tipo “cuji”, más clara que la circundante, flora muy característica presente en este tipo de fenómenos. La forma rectangular del área de ubicación es por acción humana, es un área controlada dentro del campo gasífero, anteriormente parte del tramo vial comprendía una recta, desviada por la formación del volcán. Esta área se cercó para evitar el acceso a la locación por personas no involucradas a la industria.



Figura 5.23 Morfología del volcán de San Joaquín, año 2005 (Méndez, 2005).

El color de lodo es gris azulado, con un matiz muy claro. La arcilla expulsada se encuentra hidratada, haciendo que la altura del cono volcánico sea muy escasa, logrando ser mínima la apreciación de un cono volcánico.

Este tipo de cono se le denomina Escudo, por presentar una apariencia semejante a los escudos de los guerreros, el volcán tiene un cono de perfil chato y ancho, de poca inclinación con respecto a la horizontal.

El lateral derecho presenta cuerpos de agua intermitente, cabe señalar que la fotografía aérea analizada fue tomada en época de lluvia, de allí la presencia de cuerpos acuosos sobre la superficie que dan la apariencia de lagunas.

La actividad de este volcán ha disminuido con el tiempo. Su mayor punto de declive ocurre cuando en el 2010 inicia su descenso a consecuencia del reventón ocurrido en el año 2000 durante la perforación del pozo JM- 212; el reventón provocó la despresurización de gas que alimentaba al pozo JM-25 y por ende el descenso de fluidos fue inevitable.

A la fecha (26 de mayo del 2012) bajo mediciones con GPS y empleando método de cinta y cálculo de pendiente se midió la altitud y el nivel de lodo y agua, se apreció un descenso de nivel de flujo entre los 13 y 15mts de profundidad, la altura en superficie señalada por el GPS fue de 154mts.



Figura 5.24 Apreciación del descenso de flujo del Volcán de San Joaquín (2012).

En el levantamiento topográfico se permitió señalar el área afectada por la expulsión de material hacia la superficie, así como el cálculo de volumen del mismo.

Estos cálculos conllevan un porcentaje de error considerable ya que para el levantamiento se utilizó un equipo GPS, que los valores obtenidos de coordenadas y cotas a través de él llevan consigo errores de medición.

Los valores de volúmenes del material expulsado a la superficie se muestran en la Tabla 5.4

Una vez realizado el levantamiento topográfico se pudo observar las zonas más propensas a acumular fluido (agua e hidrocarburos), por representar zonas de drenajes.

Las zonas que están coloreadas de azul representan los lugares donde tiende a acumularse tanto el agua meteórica, así como el agua y el hidrocarburo proveniente del cráter formado cuando este se desborda (Figura 5.25). Los vectores que se encuentran en la superficie levantada representan la tendencia preferencial hacia donde drenan estos flujos.

A la fecha (26 de mayo del 2012) bajo mediciones con GPS y método de cinta y cálculo de pendiente se midió la altitud y el nivel de lodo y agua, se apreció un descenso del nivel de flujo de 13 metros de profundidad, la altura en superficie señalada por el GPS fue de 154mts, y en el interior del cráter del volcán con medida de cinta y GPS la medida resultante fue de 141 metros.

El cálculo del perímetro del cráter del volcán con medición de cinta fue de 327metros, su diámetro fue de 104, 087 metros, y su radio respectivo fue de 52, 043 mts.

La pendiente en el área del cono volcánico promedio fue de 3,38% la zona más propensa a la acumulación de fluidos está en la dirección sur y noroeste respectivamente.

La topografía de domos es similar a la de sinclinales, pero con planta anular. En el contexto regional tenemos un área relativamente plana, los plegamientos y la erosión diferencial acentúa la diferenciación entre estratos y suele provocar inversiones del relieve; generando una deformación cortical en forma de domo formando en la localidad del volcán un área plano convexa, un cono casi inadvertido respecto a su inclinación y un cráter muy acentuado y pronunciado.

Si se tiene en cuenta su morfología, este volcán puede compararse con los de tipo hawaiano, ya que el material expulsado tuvo una gran capacidad para fluir en el momento de su emisión y produjo un cono de escasa pendiente.

Tabla 5.4 Valores obtenidos en la medición.

	Cota Máx.(m)	Cota Mín.(m)	Prof. (m)	Diámetro (m)	Pend Prom%	Pend ° ‘ “
Cráter volcánico	154	141	13	104, 087	3,38	77° 0' 19,38"
Cono del volcán	154	144	10	1200	433,14	1° 56' 0,69"

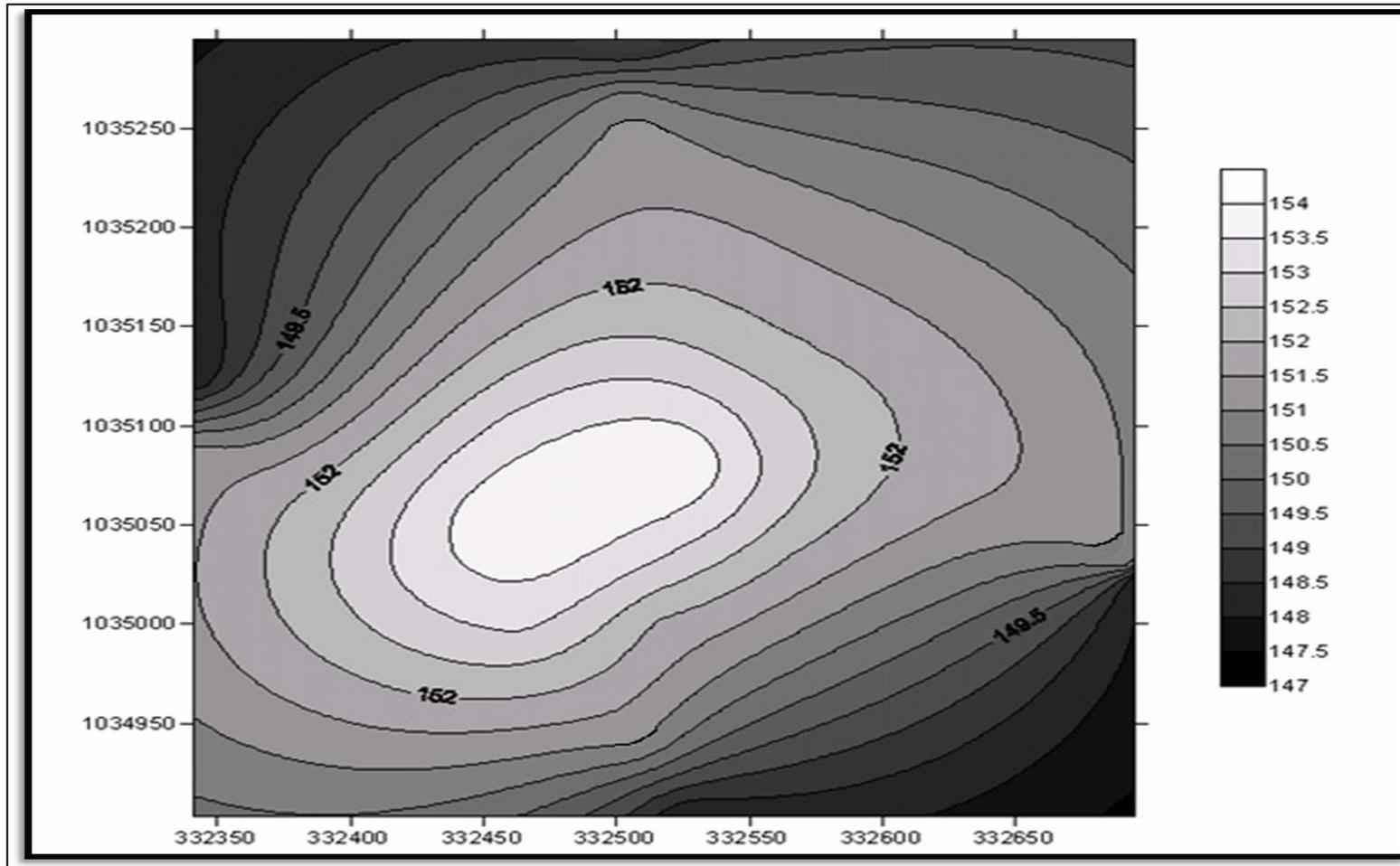


Figura 5.25 Mapa topográfico del volcán de lodo, con expulsión de flujo año 2005 (2012).

Tabla 5.5 Valores de volúmenes de materiales arrojados a superficie por el pozo JM-25 para el año 2004- 2005 (2012).

Volumen total de agua			
Zona	Área (m2)	Profundidad de columna de agua (m)	Volumen (m3)
Laguna 1	6.995,00	0,10	699,50
Laguna 2	1.250,00	0,50	625,00
Laguna 3	8.750,00	0,20	1.750,00
TOTAL			3.074,50
Volumen de material (lodos)			
Zona	Área (m2)	Profundidad de columna de lodo (m)	Volumen total de lodos (m3)
Cráter	4300,84	4	5.734,45
Laguna 1	6.995,00	0,30	2.098,50
TOTAL			7.832,95
Volumen total (agua, lodos y sólidos)			
Área (m2)	Profundidad (m)	Volumen total (m3)	
56.550,00	3,00	169.650,00	

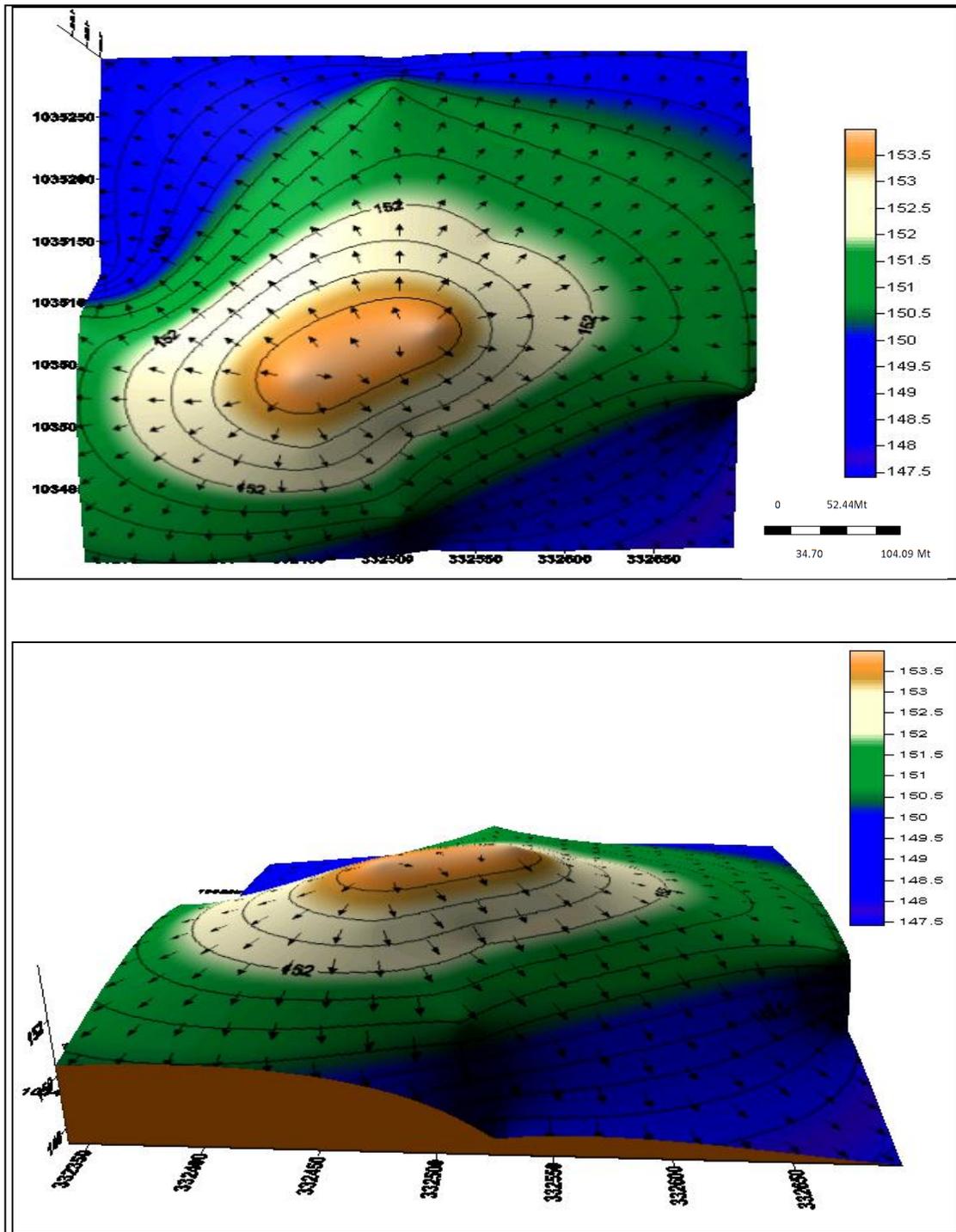


Figura 5.26 Modelo 3D del volcán de lodo de San Joaquín, las flechas indican las zonas más propensas a acumular fluidos del interior hacia la superficie (2005).

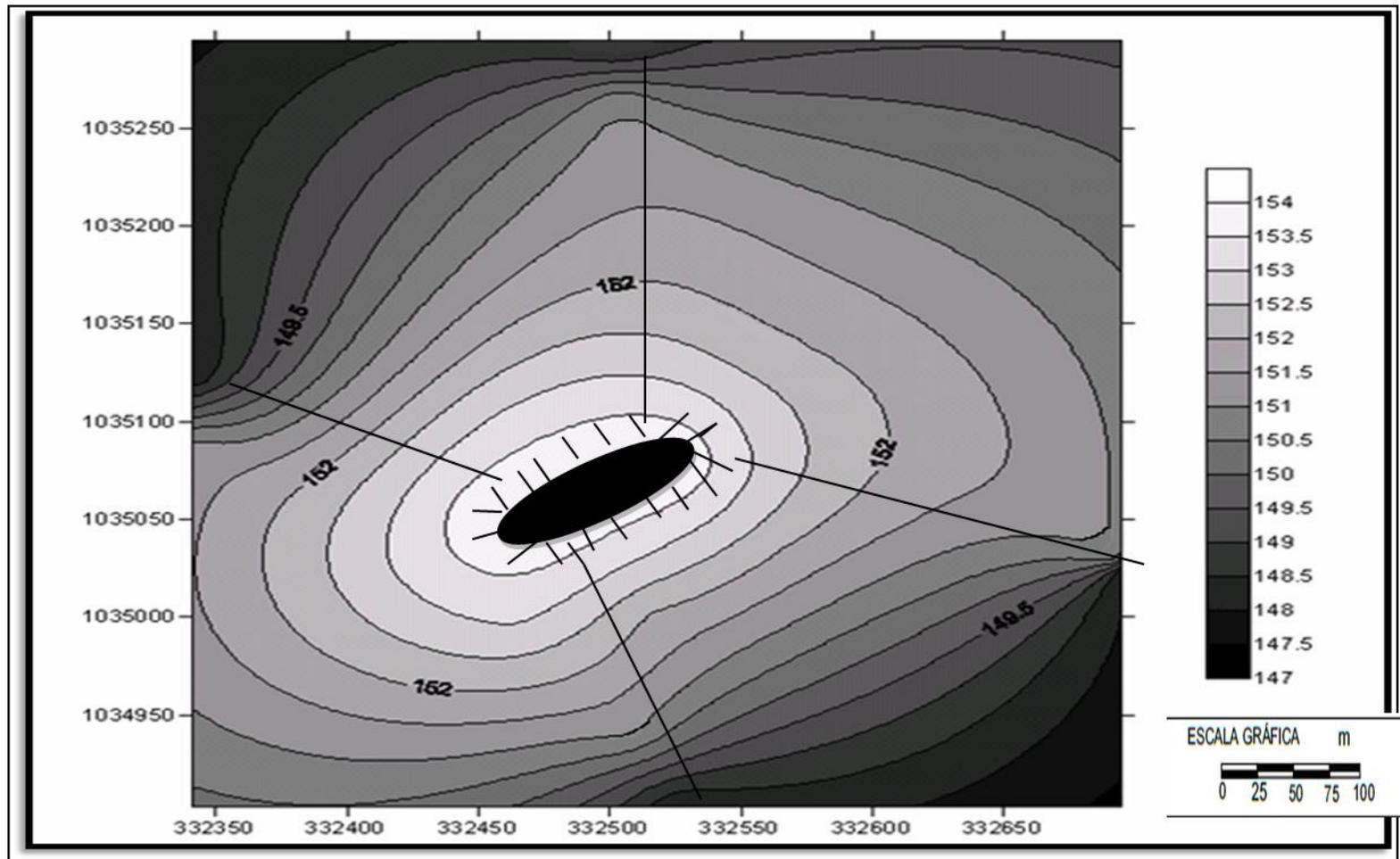


Figura 5.27 Secciones para cálculo de pendiente en mapa topográfico.

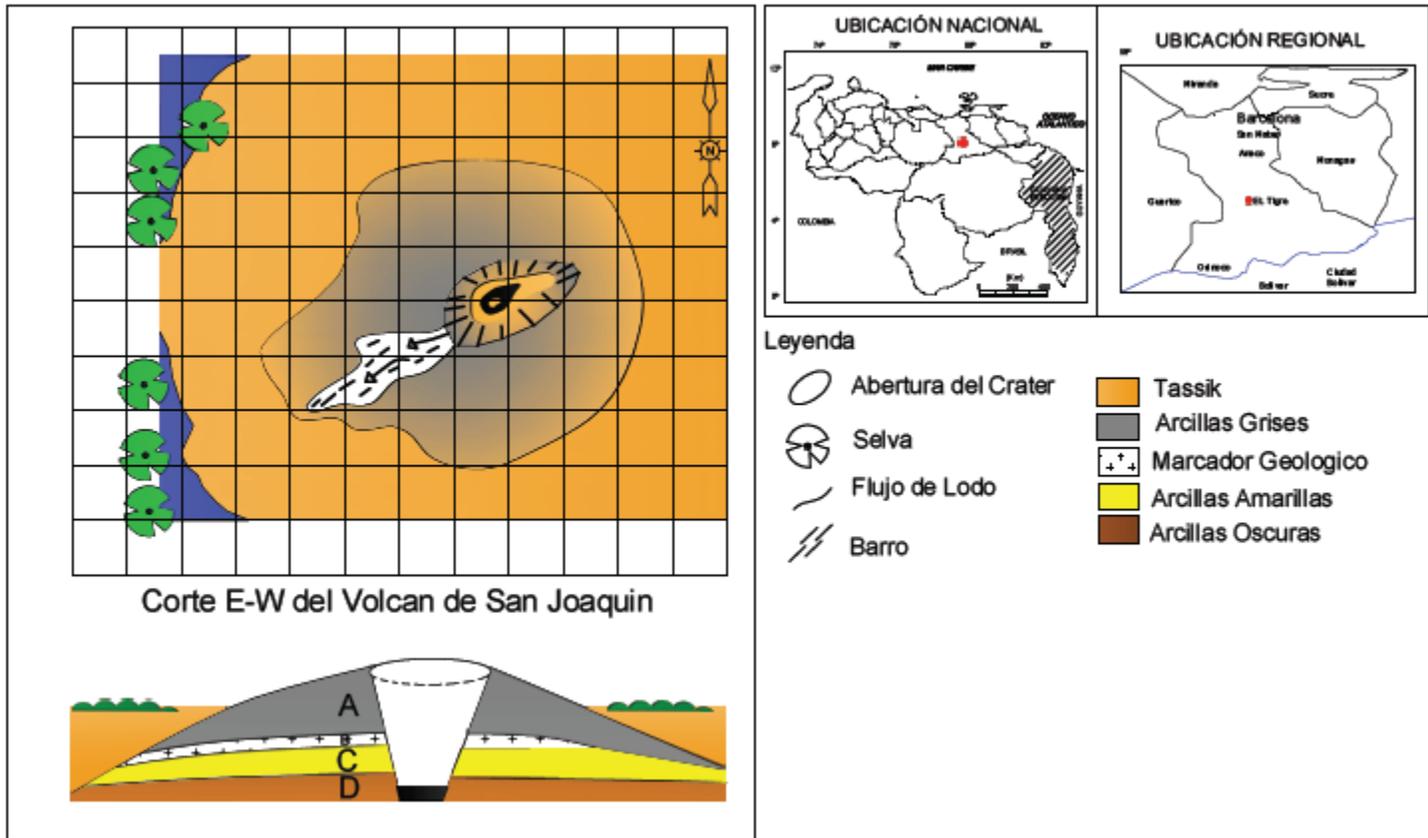


Figura 5.28 Vista en planta y corte E-W del volcán de San Joaquin.

Además de realizar la interpretación mediante el plano topográfico y por fotografías aéreas locales también se pretende sustentar la información con la interpretación fotogeológica.

En la hoja 164, suministrada por el Instituto Geográfico Simón Bolívar (IGSB), datada del año 1992, a escala 1:50.000 se interpretó lo siguiente:

El volcán de lodo de San Joaquín se formó sobre uno de los domos que conforman el campo San Joaquín, específicamente está posicionado sobre el domo central del campo San Joaquín. Las fracturas suelen actuar como zonas de acumulación de agua. El resultado es un incremento de la acción de los procesos erosivos que se pone de manifiesto en la topografía y es fácilmente detectable.

La presencia del volcán también afectó la conexión de oleoducto y el gasoducto que atravesaban al sector. En la fotografía se logra apreciar el tramo vial que antiguamente conformaba la carretera Anaco- Santa Ana, vialidad que se vio afectada y deformada por la presión interna de gas y a la presencia del volcán posteriormente.

La red hidrográfica suele adaptarse a las principales estructuras, en este caso los domos que conforman el campo de San Joaquín afectaron notablemente el diseño del drenaje regional del área, evidenciándose el cambio de curso de los ríos Aragua y Guarío, quienes giran alrededor de las crestas de estos. El patrón de drenaje local donde se encuentra el volcán de San Joaquín es radial debido a que el sistema de drenaje está asociado a un domo o cono volcánico erosionado, pero este patrón es indicativo de una etapa joven de erosión en el domo o caldera volcánica como es el caso de San Joaquín.

Debido a la presencia de fracturas en el área, la red de drenaje corre por fallas y fracturas debido a que son zonas de menor resistencia. En consecuencia las redes de fracturas tienden a formar redes de tipo angular.

Las arcillas se caracterizan por un color oscuro, más claro en el caso de las arcillas arenosas. La red de drenaje aparece muy desarrollada y de alta densidad. Resulta difícil identificar fracturas o fallas debido a que la plasticidad de la arcilla las enmascara.

La vegetación natural suele disponerse en forma más irregular o con adaptaciones complejas a factores ambientales, en este caso las emanaciones de lodo impidieron el florecimiento de plantas, y es apreciable la carencia de ellas dentro del área donde se ubica el volcán, observándose un tassik, la zona se encuentra rodeada de una vegetación típica de sabana.

La media luna apreciable cercana al cráter el volcán es parte del cono volcánico, el cual ha desaparecido casi en su totalidad, destruido por la erosión producida por el flujo continuo de gas y lodo durante su actividad y emanación ininterrumpida durante tanto tiempo.

Es apreciable las primeras manifestaciones del volcán, los tres embalses construidos para contener el primer manadero, ubicados en el sur este de la fotografía interpretada. (Figura 5.29).



Figura 5.29 Fotografía satelital del área estudiada, escala 1:50000 (IGSB, 1992).

5.5 Determinación de los impactos ambientales a partir de la actividad del volcán de lodo

La caracterización física del material de desecho expulsado a la atmósfera por el pozo JM-25, fue elaborada en base a las siguientes actividades: evaluación de atmósfera, descripción e identificación de impactos ambientales.

5.5.1 Evaluación de atmósfera alrededor al pozo JM-25

El monitoreo de atmósfera fue realizado con el fin de verificar las condiciones que presenta el aire en las cercanías del sitio de trabajo. Los resultados de la evaluación se muestran en la Tabla 5.6

Tabla 5.6 Resultados del monitoreo de atmósfera (2012).

Muestra	1	2	3
Hora	3:10 p.m.	3:15 p.m.	3:35 p.m.
Lugar	20 mts al borde del pozo	1.2 mts del cráter	Dentro del cráter
% O ₂	20.8	20.8	20.8
% LEL	1	3	4
CO (ppm)	1	3	3
H ₂ S (ppm)	0	0	0

Los valores para estos parámetros establecidos como aceptables o permisibles por PDVSA son los siguientes:

a) Porcentaje de Oxígeno ($\%O_2$); el rango de aceptabilidad se encuentra comprendido entre 19.5% y 21%.

b) Porcentaje de Lower Explosive Limit (LEL); o límite inferior de explosividad; el rango se encuentra comprendido entre 0% y 10% para ser considerado aceptable por PDVSA. Para la empresa Boots & Coots este rango se encuentra entre 0% y 20%.

c) Concentración de Monóxido de Carbono (CO); esta concentración es medida en partes por millón (ppm) y hasta 13 ppm se considera aceptable.

d) Concentración de ácido sulfúrico (H_2S); también es medida en ppm, hasta 7 ppm es considerada aceptable.

Cabe destacar que estos rangos de permisividad son establecidos para áreas abiertas, estos varían en sitios confinados.

De lo anterior podemos indicar que el área alrededor del pozo JM-25, se encuentra en condiciones aceptables de seguridad para realizar trabajos de control de pozos, sin embargo como estas mediciones fueron realizadas en el horario de 3:10 p.m. a 3:35 p.m., es recomendable establecer otras evaluaciones en otros horarios y en diferentes condiciones atmosféricas presentes en el área como insolación, presión atmosférica, nubosidad, temperatura atmosférica, etc. para determinar las condiciones de explosividad y toxicidad del aire alrededor del mismo, en diversas situaciones.

Como por ejemplo, cuando la temperatura atmosférica está más fría, se incrementa el porcentaje de Límite Inferior de Explosividad.

5.5.2 Identificación de los impactos ambientales

Un derrame o descarga de hidrocarburos afecta básicamente a tres elementos del ambiente, los cuales son:

- a. Elementos abióticos (suelo, formaciones del relieve, geomorfología, etc.).
- b. Elementos bióticos (flora y fauna).
- c. Elementos socioeconómicos (actividades humanas)

Los impactos en el área del volcán analizados son los siguientes:

5.5.2.1 Impactos al medio físico

- Contaminación de suelos y aguas: la presencia de hidrocarburos en el suelo y en el agua (Figura 5.30), se evidencia trazas del producto en la superficie del agua, lo que indica la contaminación por aceites y grasas.

Esta contaminación afecta directamente las propiedades físico - químicas del suelo y el agua, trayendo como consecuencia los impactos referidos a los entes biológicos.



Figura 5.30 Presencia de hidrocarburos en el contenido interno del Volcán.

5.5.2.2 Impactos sobre el medio biológico

- Afectación de la diversidad biológica: especies animales representativas de este tipo de ecosistema se ven forzados a modificar sus rutas migratorias, sus áreas de reproducción, alimentación y descanso. En los mismos se puede apreciar la muerte por ingestión de agua y vegetación contaminada. Estas consecuencias van estrechamente ligadas a la desaparición y muerte de especies vegetales que son fuente de alimento y refugio tanto en la época de sequía como la de lluvia. Estas perturbaciones ocurren debido a las consecuencias directas e indirectas de este tipo de eventos, donde la contaminación de suelos y aguas superficiales y subterráneas.

- Pérdida de biomasa vegetal: debido a la toxicidad y capacidad de cubrir raíces, corteza y hojas, el metabolismo fotosintético y fisiológico de las plantas

disminuye a grados nulos o casi nulos, lo que implica la muerte de las especies por intoxicación, asfixia y desnaturalización de sus membranas celulares (Figura 5.31).



Figura 5.31 Muerte de la vegetación circundante al pozo JM-25 en la zona de influencia del volcán de lodo.

- Modificación de cadenas tróficas: la contaminación del agua y suelo va a incidir directamente en la flora bacteriana del mismo, provocando destrucción de los microorganismos vivos (algas, hongos, bacterias, etc.), los cuales son el primer eslabón de la cadena alimenticia, por lo tanto el ciclo presentará un desequilibrio.

5.5.2.3 Impactos al medio socio – económico

- Afectación de la salud: la ingestión y exposición a los productos derivados del petróleo en pequeñas cantidades (1 ml/Kg.) puede ocasionar malestares tales como vómitos irritación de las membranas mucosas, depresión del sistema nervioso

central, cianosis, taquicardia, albuminuria, hematuria, daños hepáticos y arritmia cardiaca por mencionar algunos. En mayores cantidades (más de 10 ml/Kg.) produce la muerte; sin embargo, en la zona estudiada por estar relativamente despoblada, este tipo de afectaciones son escasas y no se tiene información acerca de los efectos en las personas de la posible contaminación de aguas abajo del río Aragua y Guarío.

5.6 Determinación de las características físico químicas y bacteriológicas del flujo contenido en el volcán así como también las características granulométricas correspondientes del mismo

5.6.1 Análisis físico, químico y bacteriológico de agua

Los resultados de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos analizados en el laboratorio del Centro de Geociencias UDO Bolívar se presentan en la tabla 5.6 y se analizan a continuación:

Tabla 5.7 Análisis de propiedades físico química del agua del volcán de San Joaquín (Centro de Geociencias UDO Bolívar, 2012).

PH	Turbidez u.t.n	Oxígeno disuelto mg/l	D.B.O₅₋₂₀ mg/l	Nitratos mg/l
7.86	70	2.48	25	12.85
Temperatura ·C	Fosfatos mg/l	Sol. Totales mg/l	C. Fecales NMP/100ml	C. Totales NMP/100ml
22	0.49	226	Ausentes	1.6×10^3

5.6.1.1 Parámetro físico

- Turbidez: los resultados de turbidez obtenidos se encuentran en 70 (UTN), en esta área no hay concentración de materia tanto de carácter mineral como orgánico en suspensión tales como: arcillas, limo, plantas y materia orgánica. En comparación con el Decreto 883 estos valores se encuentran dentro del Límite permisible siendo este menor a 250 (UTN).

- Temperatura del agua: el valor arrojado fue de 22°C, esto debido al proceso de dilución y al efecto bajo de la radiación solar. Cabe enfatizar que la muestra de agua se tomó en un lapso de tiempo comprendido entre las 12pm y las 2pm. Tiempo en el cual es mayor la incidencia de los rayos solares. La variación en los valores de la temperatura se debe al aumento de calor, a la profundidad del agua de donde se tomen estas muestras y el clima entre otros factores. Y la temperatura no es muy diferente a la temperatura del ambiente.

5.6.1.2 Parámetro químico

- pH: la muestra se conservó entre los parámetros establecidos en Decreto Ejecutivo 883 en Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de Diciembre de 1995, cuyo rango establecido es de 6 a 8,5. El valor resultante fue de 7,86 y su clasificación es alcalina.

- Oxígeno disuelto (OD): presentó un valor de 2.48 mg/l; el rango establecido según Decreto Ejecutivo 883 en Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de Diciembre de 1995 es mayor a 5mg/l. Los valores por debajo de 5mg/L, indican escasez de plantas acuáticas aportadoras de oxígeno y la inmovilidad del cuerpo acuoso (agua estancada).

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): el resultado obtenido de la muestra analizada fue de 25mg/l; provocando un mayor consumo de oxígeno por la presencia de hidrocarburos contenidos en el agua.

5.6.1.3 Parámetro bacteriológico

- Coliformes fecales: el límite permisible según Decreto Ejecutivo N 883 es menor a 25 NMP/100ml. Cabe destacar que la muestra analizada no presentó coliformes fecales (ausencia de estos).

- Coliformes totales: El promedio mensual debe ser menor a 5000 NMP por cada 100 ml de agua, según Decreto Ejecutivo 883 en Gaceta Oficial de la República de Venezuela, 18 de Diciembre de 1995. En la muestra analizada el valor arrojado fue de 1600 NMP por cada 100ml de agua, indicando presencia de una pequeña porción de materia vegetal, de aceites y de hidrocarburos disueltos en el flujo interno del volcán.

Los parámetros establecidos en Gaceta Oficial de la República de Venezuela se mantienen dentro de los resultados de la muestra analizada, tales valores se encuentran dentro de los rangos permisibles, a excepción de los valores de O.D y de D.B.O que están por debajo de la norma establecida, en un orden de 2.48 mg/l y 25mg/l respectivamente, estos patrones son resultado de la pérdida de oxígeno, a causa del estancamiento del agua.

5.6.2 Análisis granulométricos de muestras químicas de suelo

Con el fin de analizar del material expulsado por el pozo en la parte sólida del volcán, los resultados de los parámetros químicos determinados para cada una de las

muestras recolectadas en el área del volcán, se presentan en la tabla 5.7 y se analizan a continuación:

Tabla 5.8 Clasificación granulométrica del Análisis Químico del Suelo del Volcán de San Joaquín (Centro de Geociencias UDO Bolívar, 2012).

Parámetros	Muestra A	Muestra B	unidades
PH	5.13	5.26	-----
Materia Org	4.75	3.84	%
Nitrógeno	0.24	0.19	%
Fosforo	26	21	ppm
C.I.C	17.04	12.86	Meq/ 100 gr suelo
Calcio	10.05	8.85	Meq/ 100 gr suelo
Magnesio	3.04	2.37	Meq/ 100 gr suelo
Potasio	0.69	0.92	Meq/ 100 gr suelo
Sodio	0.77	0.72	Meq/ 100 gr suelo
Arena	12.29	27.49	%
Limo	42.35	61.23	%
Arcilla	45.36	11.28	%
Textura	Fina	Media	-----
clasificación	Arcillo Limoso	Franco Limoso	-----
PH	6.13	5.42	-----
Materia Org.	1.19	3.89	%
Nitrógeno	0.06	0.20	%
Fosforo	9	17	ppm
C.I.C	8.12	12.71	Meq/ 100 gr suelo
Calcio	4.75	8.25	Meq/ 100 gr suelo
Magnesio	1.95	3.12	Meq/ 100 gr suelo
Potasio	0.74	0.66	Meq/ 100 gr suelo

Continuación de Tabla 5.8 Clasificación granulométrica del Análisis Químico del Suelo del Volcán de San Joaquín (Centro de Geociencias UDO Bolívar, 2012).

Parámetros	Muestra C	Muestra D	unidades
Sodio	0.68	0.68	Meq/ 100 gr suelo
Arena	81.92	27.49	%
Limo	13.12	61.23	%
Arcilla	4.96	11.28	%
Textura	Gruesa	Media	-----
clasificación	Arena Francosa	Franco Arcillo Limoso	-----

a) La muestra A correspondiente a la base del volcán resultó granulométricamente una fracción de arcilla limosa.

b) La muestra B correspondiente a la parte media del volcán resultó granulométricamente una fracción Franco limosa.

c) La muestra C correspondiente a una parte del suelo, alejada del volcán resultó granulométricamente una fracción de Arena Francosa.

d) La muestra D correspondiente al tope del volcán resultó granulométricamente una fracción Franco Arcillo-Limosa.

La composición del lodo es predominantemente arcillosa, con una fracción variable de arena muy fina y de limo. Según Krugler (1965), los volcanes de barro con arcilla, limo arena y pequeños bloques subordinados pueden entrar en la clasificación que propone este autor como debido a “acumulaciones de gas y agua (o petróleo) bajo presión”. Características que encajan perfectamente en el área de San Joaquín.

5.6.3 Análisis de microfósiles

En estudios micropaleontológicos realizados para 1978 por Orlando Méndez destinados a determinar el origen de la roca madre del barro del volcán, se encontró una fauna de foraminíferos planctónicos: Globigerinoides Trilobus y Globigerina sp; foraminíferos bentónicos: Lenticulina Americana, Kenticulina Sp, Cibicides sp, y un fragmento de Ammonia Beccarii. También se observaron fragmentos de de conchas de bivalvos y ostrácodos (Figura 5.33).

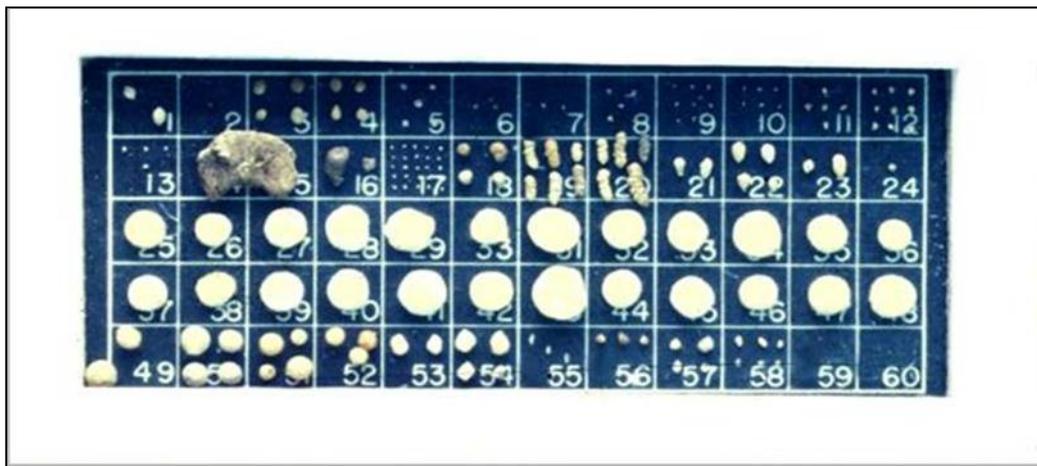


Figura 5.32 Muestras de microfósiles pertenecientes a la formación Oficina (Mendez, 1985).

En la actualidad se realizó la toma de muestras en campo y posterior análisis en laboratorio para determinar la edad relativa de la formación presente en el volcán, los resultados obtenidos de las muestras analizadas en el laboratorio de Paleontología y Micropaleontología de la UDO Bolívar fueron restos de conchas de moluscos y ostrácodos. La carencia de microfósiles dentro del área es producto de la ininterrumpida actividad del volcán y de la cantidad de material expulsado durante 30 años. Las muestras de microfósiles encontradas son concordantes con un ambiente nerítico interior, de edad Mioceno Inferior o más joven; tales características son

perfectamente asociadas con la formación Oficina, confirmándola como roca madre que conforma el barro del volcán.

5.6.4 Análisis de las muestras de suelo por difracción de rayos x

La composición del lodo fue determinada por difracción de rayos “X” (Urbani, UCV), dando como resultado una mezcla de compuestos de filosilicatos. Los minerales de arcillas son una mezcla de ilitas-montmorillonita y caolinitas. La Iilita forma gran parte de los ejemplos de las formaciones mientras que la montmorillonita es más común en los volcanes de barro.

El estudio comparativo por el método del polvo, ha permitido determinar con exactitud los distintos minerales de la arcilla presentes en la muestra. Los resultados obtenidos en los análisis realizados en cada una de las muestras fueron:

- A) Caolinita: 33%
- B) Iilita: 17%
- C) Mortmorillonita 49%

En la sección productora del campo San Joaquín el 90% de la Formación Oficina está constituida principalmente por arcillas, lutitas y limonitas. Los resultados confirman a la Formación Oficina como roca madre para los flujos de barro, que al ser extrusionados producen volcanes de lodo.

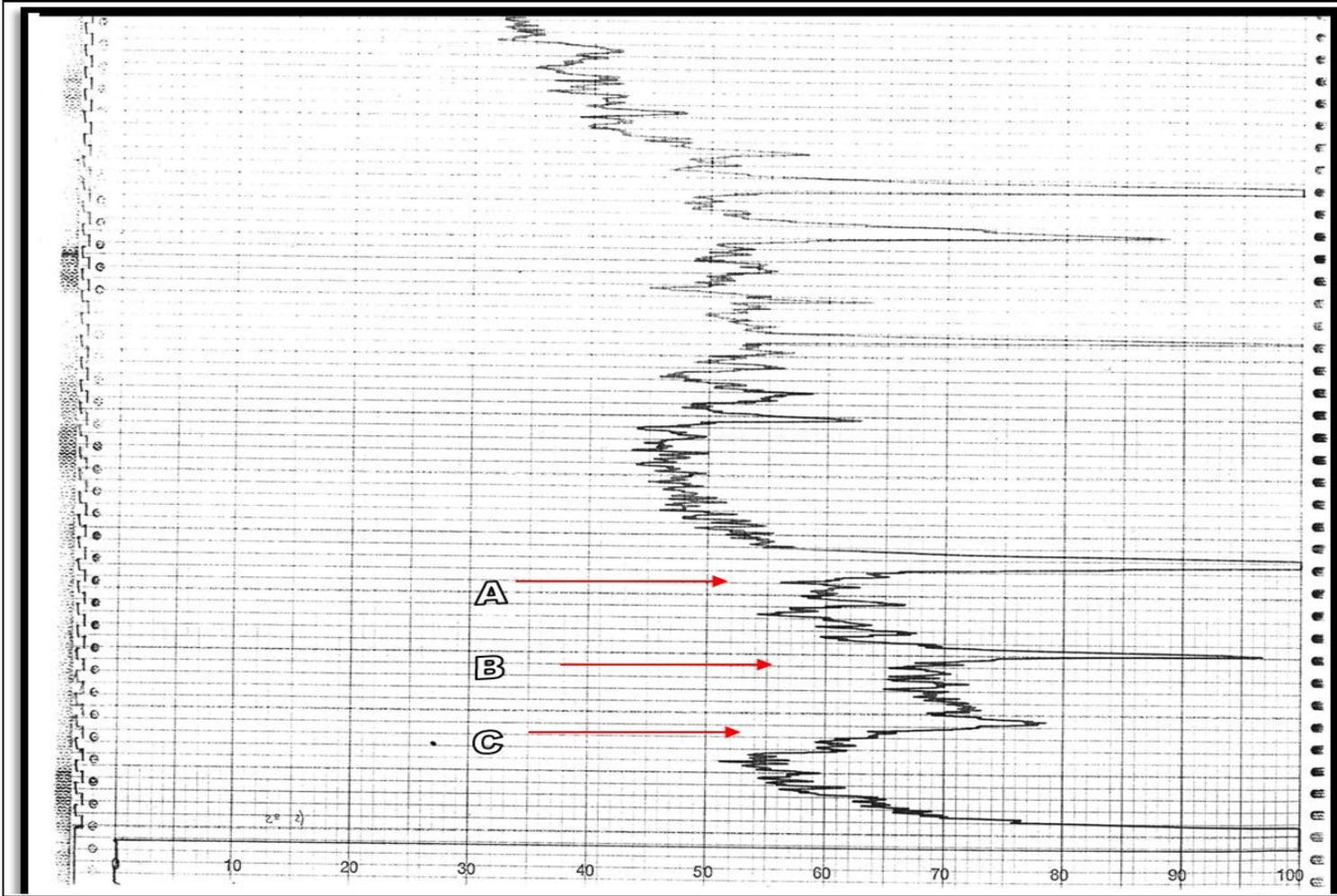


Figura 5.33 Análisis de difracción de rayos x de filosilicatos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. El patrón estructural del área del volcán de lodo de San Joaquín, lo constituyen una serie de estructuras dómicas y el sistema de entrapamiento de hidrocarburos es de tipo estructural- estratigráfico, representado principalmente por una falla normal al Norte del yacimiento y el corrimiento de Anaco al Sur, dentro de un ambiente fluvio- deltaico, informes de PDVSA determinaron que la litología presente en el area corresponde a una alternancia de lutitas grises, gris oscuro y gris marrón, intercaladas e inter-estratificadas con areniscas y limolita de color claro y grano fino; indicando que este volcán es el resultado de manifestaciones particulares en una cuenca sedimentaria, relacionados a la existencia en la región de depósitos de hidrocarburos y gas.

2. El estudio realizado al diagrama mecánico del pozo JM-25, perteneciente al Domo Central del campo de San Joaquín, así como la operación de la perforación del mismo, permitió identificar dos arenas causantes de pérdida de circulación e influjos en el área, las cuales son: arena Colorado, Amarillo 1 (CO-A1) de la formación Oficina y la arena Merecure de la formación Merecure, esta última se encuentra sellada y controlada dentro del área del pozo JM-25. Los mapas de presión y de zona de pérdida de circulación generados, permitieron sustentar y validar la identificación de la arena CO-A1 yacimiento JM-13 como portadora de gas a la superficie.

3. Las primeras manifestaciones vinculadas con el volcán de San Joaquín inician en 1976, con una pequeña emanación ubicada a 300 metros del pozo JM-25, luego de sellar el pozo para controlar las emanaciones, por incremento de la presión en el área se formo un pequeño domo sobre el domo Sur del campo San Joaquín, la

evolución que ha sufrido el volcán a lo largo de su actividad es el resultado de la interacción natural y de la presión de las arenas contentivas de gases, liberado durante 36 años sin control.

4. El modelo topográfico en el área del volcán es un ambiente plano convexo, un cráter amplio y con un descenso de fluido de 13 metros de profundidad.

5. La expulsión de material a la superficie a través del pozo JM- 25 ha causado un daño ecológico y generado un impacto ambiental local.

6. Las muestras analizadas de microfósiles y por difracción de rayos x confirman que ambas pertenecen a la formación Oficina

Recomendaciones

1. Correr registros VSP en el área, para corroborar la información al momento de evaluar el modelo estructural del área y certificar la presencia de la falla que atraviesa el pozo JM-25, mostrado en la sísmica 2D.

2. Realizar un estudio de mayor detalle que permita certificar si la arena CO-A1, yacimiento JM-13 continúa aportando gas al influjo del volcán de San Joaquín, antiguo pozo JM-25.

3. Monitorear periódicamente (anual o semestralmente) la zona del volcán y sus inmediaciones para apreciar las modificaciones en el área, para mantener en el tiempo la continuidad de la investigación sobre este fenómeno y la posibilidad de manifestación de otro evento de igual o mayor magnitud.

4. Efectuar un levantamiento topográfico de mayor detalle, con el uso de equipos adecuados para obtener mayor exactitud en las medidas de superficie y volúmenes del área afectada.

5. Realizar evaluaciones de atmósferas cercanas al volcán, en distintos horarios y condiciones atmosféricas, para monitorear el comportamiento de los gases alrededor del mismo. Igualmente realizar análisis del contenido remanente de hidrocarburos presente en el flujo interno del volcán y en los cuerpos de agua cercanos al área.

6. Verificar si hay alteraciones físico-químicas en la litología, producto de la interacción dinámica del volcán.

REFERENCIAS

Balestrini, M. (1997) **COMO SE ELABORA UN PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**. Editorial Venezuela, pp. 122 – 137.

Giuseppe Malandrino 1998 **GEOLOGIA DE YACIMIENTO Y PRODUCCION (TEMA 4)**

González de Juana *et al* (1980). **GEOLOGIA DE VENEZUELA Y DE SUS CUENCAS PETROLÍFERAS**. Caracas. Editorial Foninves, pp. 617-619, 644-646, 655-657

Kerr, P. Richardson, D y Drew, I. (1970). **MUD VOLCANO CLAY, TRINIDAD, WEST INDIES**. AAPG Bull. 54/11, pp. 2102 – 2110.

Kugler, H (1965). **SEDIMENTARY VOLCANISM**. Trans. IVth. Caribbean Geological conference. Port of Spain, Trinidad and Tobago. Pp. 11 – 13.

Martínez, A. (2000). **CRONOLOGÍA DEL PETRÓLEO VENEZOLANO**. Octava Edición. Fondo Editorial del CIED. (<http://www.pdv.com/lexico/camposp/ubicacion.htm>).

Méndez, O (1976). **EMANACIONES DE GAS – CAMPO DE SAN JOAQUIN**. Informe Meneven S.A, N° 226, pp. 1-10

Méndez, O (1978). **VOLCANES Y PETROLEO, CANTA CLARO**. Órgano divulgatorio de Llanoven S.A, N°17, pp. 23-26

Méndez, O. 1985. **VOLCAN DE LODO DE SAN JOAQUIN, ESTADO ANZOATEGUI, VENEZUELA**. VI Congreso Geológico Venezolano. 3208- 3223.

PDVSA, CIED. (1997) **CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS YACIMIENTOS** San Tomé, Venezuela, pp. 36-70

PDVSA, CIED. (1998) **“EVALUACIÓN DE FORMACIONES”** San Tomé, Venezuela, pp. 5-32.

PDVSA, CIED. (1997). **FACIES CLÁSTICAS**. San Tomé, Venezuela, pp. 1-20

Reading, H.G. (1996). **SEDIMENTARY ENVIRONMENTS: PROCESSES, FACIES AND STRATIGRAPHY**. Blackwell Science Publications, Tercera Edición, (http://www.limarino.org/AAC/flvlsstms/flvl_sstms.html).

Sieber, L; Simkin, T. (2011). **CLASIFICACIÓN DE VOLCANES BASADA EN LA MORFOLOGÍA DE LOS MISMOS. “VOLCANOES OF THE WORLD”** (Earth Sciences / Geology. Editorial Univ. Of California Pr.

Zannin, G y Mariño, N (1983). **ESTUDIO GEOLOGICO Y GEOQUIMICO PRELIMINAR DE LAS FUENTES TERMALES, SULFUROSAS Y VOLCANISMO SEDIMENTARIO DEL ESTADO MONAGAS Y TERRITORIO FEDERAL DELTA AMACURO**. Universidad Central de Venezuela, pp. 352- 363.

APÉNDICES

Apéndice A
Pozos con pérdida de circulación
(1944-2004)

Continuación tabla A.1 Pozos ubicados en el Domo Central que presentaron pérdida de circulación entre los años 1941 hasta 2005 (2012).

JM-194	MORENO (MO-N)	3291	BASE AGUA	12	12	PÉRDIDA PARCIAL	12 1/4"	PERFORANDO	165
	NARANJA (NA-K3)	4866	100% ACEITE MINERAL	10	10	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	20
	NARANJA (NA-L1)	4878	100% ACEITE MINERAL	10	10	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	18
	VERDE (VE-B2L)	5148	100% ACEITE MINERAL	10,1	10	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	116
	VERDE (VE-B2L)	5148-5156	100% ACEITE MINERAL	10	10	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	30
	VERDE (VE-H3;VE-I)	5808	100% ACEITE MINERAL	10	10	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	163
JM-195	NARANJA (NA-H1)	4212	100% ACEITE MINERAL	12	12	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	683
	NARANJA (NA-H1)	4315	100% ACEITE MINERAL	12	12	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	151
	COLORADO (CO-A1)	6560	100% ACEITE MINERAL	10,1	10	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	244
	COLORADO (CO-K)	7252	100% ACEITE MINERAL	10,3	10,3	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	148
	SAN JUAN (SJ-A)	9120	100% ACEITE MINERAL	9,8	9,5	PÉRDIDA PARCIAL	6 1/2"	PERFORANDO	150
JM-198	MORENO (MO-C)	2048	DISPERSO	11,8	11,8	PÉRDIDA PARCIAL	12 1/4"	PERFORANDO	280
	MORENO (MO-H)	2503-2555	DISPERSO	12	11,8	PÉRDIDA PARCIAL	12 1/4"	PERFORANDO	1352
	NARANJA (NA-E1,2)	3622	DISPERSO	10,1	10,1	PÉRDIDA TOTAL	8 1/2"	PERFORANDO	1565
	VERDE (VE-B2U)	4811	100% ACEITE MINERAL	9	9	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	107
	VERDE (VE-E1)	5120-5121	100% ACEITE MINERAL	9,5	9,5	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	595
	AMARILLO	5926-5933	100% ACEITE MINERAL	9,6	9,6	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	1485
	JM-200	SIDE TRACK @ 3345			HERRAMIENTA DEJADA EN EL FONDO			8 1/2"	TENSIONANDO LAINER ATASCADO 7 5/8"
COLORADO (CO-A1)		6859	100% ACEITE MINERAL	10,2	10,1	PÉRDIDA TOTAL	8 1/2"	PERFORANDO	578

Continuación tabla A.1 Pozos ubicados en el Domo Central que presentaron pérdida de circulación entre los años 1941 hasta 2005 (2012).

JM-202	COLORADO (CO-A1)	6373	100% ACEITE MINERAL	10,5	10,2	PÉRDIDA TOTAL	8 1/2"	PERFORANDO	273
	COLORADO (CO-K)	7114-7119	100% ACEITE MINERAL	10,7	10,8	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	371
JM-205	MERECURE (ME-J1L)	9022	100% ACEITE MINERAL	9,5	9,5	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	52
	MERECURE (ME-T4,5)	9599	100% ACEITE MINERAL	9,6	9,7	PÉRDIDA TOTAL CON INFLUJO	8 1/2"	PERFORANDO	800
	SAN JUAN (SJ-A)	9600-9609	100% ACEITE MINERAL	9,5	9,5	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	670
	SAN JUAN (SJ-A)	9630-9785	100% ACEITE MINERAL	8,9	8,9	PÉRDIDA PARCIAL	6 1/2"	PERFORANDO	170
	SAN JUAN (SJ-B)	9935	100% ACEITE MINERAL	8,9	8,8	PÉRDIDA PARCIAL	6 1/2"	PERFORANDO	80
JM-206	VERDE (VE-B3)	5360	100% ACEITE MINERAL	9	9	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	50
	COLORADO (CO-A1)	6625	100% ACEITE MINERAL	9	9	PÉRDIDA TOTAL CON INFLUJO	8 1/2"	PERFORANDO	930
	COLORADO (CO-A1)	6633-6663	100% ACEITE MINERAL	9	9	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	670
	COLORADO (CO-B1)	6690	100% ACEITE MINERAL	9	9	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	300
	COLORADO (CO-B2)	6718	100% ACEITE MINERAL	9	9	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	70
	COLORADO (CO-E)	6760-6910	100% ACEITE MINERAL	9	9	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	387
	SAN JUAN (SJ-A)	9265-9454	100% ACEITE MINERAL	8,9	8,7	PÉRDIDA PARCIAL	6 1/2"	PERFORANDO	622
JM-207	BLANCO	276	DISPERSO	12,5	12,5	PÉRDIDA PARCIAL	HOYO PILOTO 8 1/2"	PERFORANDO	41
	COLORADO (CO-R2, CO-S)	7947-8042	100% ACEITE MINERAL	10,2	10,2	PÉRDIDA PARCIAL	12 1/4"	PERFORANDO	79

Continuación tabla A.1 Pozos ubicados en el Domo Central que presentaron pérdida de circulación entre los años 1941 hasta 2005 (2012).

JM-208	SAN JUAN (SJ-A)	9436	100% ACEITE MINERAL	9,3	9,1	PÉRDIDA TOTAL	8 3/8"	PERFORANDO	669
	SAN JUAN (SJ-A)	9436-9441	100% ACEITE MINERAL	9,1	9,1	PÉRDIDA TOTAL	8 3/8"	PERFORANDO	1035
	SAN JUAN (SJ-A)	9441-9460	100% ACEITE MINERAL	9,1	9	PÉRDIDA TOTAL	8 3/8"	PERFORANDO	1322
JM-211	VERDE (VE-I)	5397-5467	100% ACEITE MINERAL	9,3	9,3	PÉRDIDA PARCIAL	12 1/4"	PERFORANDO	650
		5793-5803	100% ACEITE MINERAL	9,3	10,8	PÉRDIDA TOTAL CON INFLUJO	12 1/4"	PERFORANDO	914
JM-212	MORENO (MO-H)	2539-2645	LIGNOSULFUNATO	10,5	10,5	PÉRDIDA PARCIAL	17 1/2"	PERFORANDO	NR
	NARANJA (NA-E1,2)	3598	LIGNOSULFUNATO	10,5	10,5	PÉRDIDA TOTAL Y VIOLENTA	17 1/2"	PERFORANDO	NR
JM-213	COLORADO (CO-B2)	6342	100% ACEITE MINERAL	11,5	11,5	PÉRDIDA PARCIAL	8 1/2"	PERFORANDO	77
	SAN JUAN (SJ-A)	9114-9120	100% ACEITE MINERAL	9,9	8,6	PÉRDIDA TOTAL CON INFLUJO	6 1/2"	PERFORANDO	2069
JM-215	SAN JUAN (SJ-A)	9725-9772	100% ACEITE MINERAL	8,7	8,7	PÉRDIDA PARCIAL	6 1/2"	PERFORANDO	66
	SAN JUAN (SJ-A)	9772	100% ACEITE MINERAL	8,7	8,7	PÉRDIDA TOTAL	6 1/2"	PERFORANDO	169
	SAN JUAN (SJ-A)	9802	100% ACEITE MINERAL	8,7	8,6	PÉRDIDA TOTAL	6 1/2"	PERFORANDO	145
	SAN JUAN (SJ-A)	9802-9807	100% ACEITE MINERAL	8,6	8,6	PÉRDIDA PARCIAL	6 1/2"	PERFORANDO	25

Apéndice B
Pozos en el domo central que presentaron influjos
(1941- 1995) (2000-2004)

Tabla B.1 Pozos ubicados en el Domo Central de San Joaquín que presentaron influjos entre los años 1941 hasta el 2004 (2012).

INFLUJOS (1941-1944)											
POZOS	Fm.	PROF (Pies)	FLUIDO DE PERF.	DENSIDAD (LPG)	DENSIDAD CONTROL (LPG)	PROBLEMA	PRESIÓN TUBERÍA (LPC)	PRESIÓN ANULAR (LPC)	HOYO (pulg.)	ACTIVIDAD	GANAN- CIA (BLS)
JM-18	AMARILLO	5700- 5870	LIGNO- SULFUNATO	NR	14,4	INFLUJO	NR	NR	8 1/2"	CORRIDA DE REGISTRO	NR
JM-25	AZUL (AZ- J)	850- 854	LIGNO- SULFUNATO	9	10	INFLUJO	NR	NR	8-5/8"	PERFORANDO	NR
	AZUL (AZ-J-AZ-P)	1630	LIGNO- SULFUNATO	9,75	13,6	INFLUJO	NR	NR	8-5/8"	PERFORANDO	NR
INFLUJOS (2000-2004)											
JM-193	MERECURE (ME-J1L)	8040	100% ACEITE MINERAL	10	11,7	INFLUJO	280	368	6 1/2"	PERFORANDO	70
JM-198	AMARILLO (AM-E2)	5926 5933	100% ACEITE MINERAL	9,6	9,7	INFLUJO DE GAS Y PARAFINA	3200, TUBERÍA TAPADA	629	8 1/2"	PERFORANDO	325
JM-205	MERECURE (ME-T4,5)	9599	100% ACEITE MINERAL	9,6	9,7	INFLUJO	NR	550	8 1/2"	PERFORANDO	NR
JM-206	COLORADO (CO-P1)	7770	100% ACEITE MINERAL	9,5	9,9	INFLUJO	100	210	8 1/2"	PERFORANDO	NR
	SAN JUAN (SJ-B)	8961- 9156	100% ACEITE MINERAL	8	8,8	INFLUJO	450	750	6 1/2"	PERFORANDO	63
JM-207	COLORADO (CO-R1)	7009	100% ACEITE MINERAL	10,2	10,2	INFLUJO DE GAS	724	NR	12 1/4"	VIAJE TUBERÍA	11
JM-208	MERECURE (ME-T4,5)	8793	100% ACEITE MINERAL	9,1	9,1	INFLUJO	32	200	8 3/8"	VIAJE TUBERÍA	16
JM-211	AMARILLO (AM-E2)	5793- 5803	100% ACEITE MINERAL	9,3	10,8	INFLUJO	150	350	12 1/4"	PERFORANDO	10
	AMARILLO (AM-K2)	6932	100% ACEITE MINERAL	10,8	10,8	INFLUJO	150	350	12 1/4"	PERFORANDO	27
JM-212	NARANJA (NA-E1,2)	3598	LIGNOSULFUNATO	10,5	10,5	REVENTÓN DEL POZO	NR	NR	17 1/2"	PERFORANDO	NR
JM-213	AMARILLO (AM-E3)	5668	100% ACEITE MINERAL	10	10,5	INFLUJO	NR	NR	12 1/2"	PERFORANDO	8
	COLORADO (CO-B4)	6265	100% ACEITE MINERAL	9,5	10,1	INFLUJO	100	140	8 1/2"	PERFORANDO	10

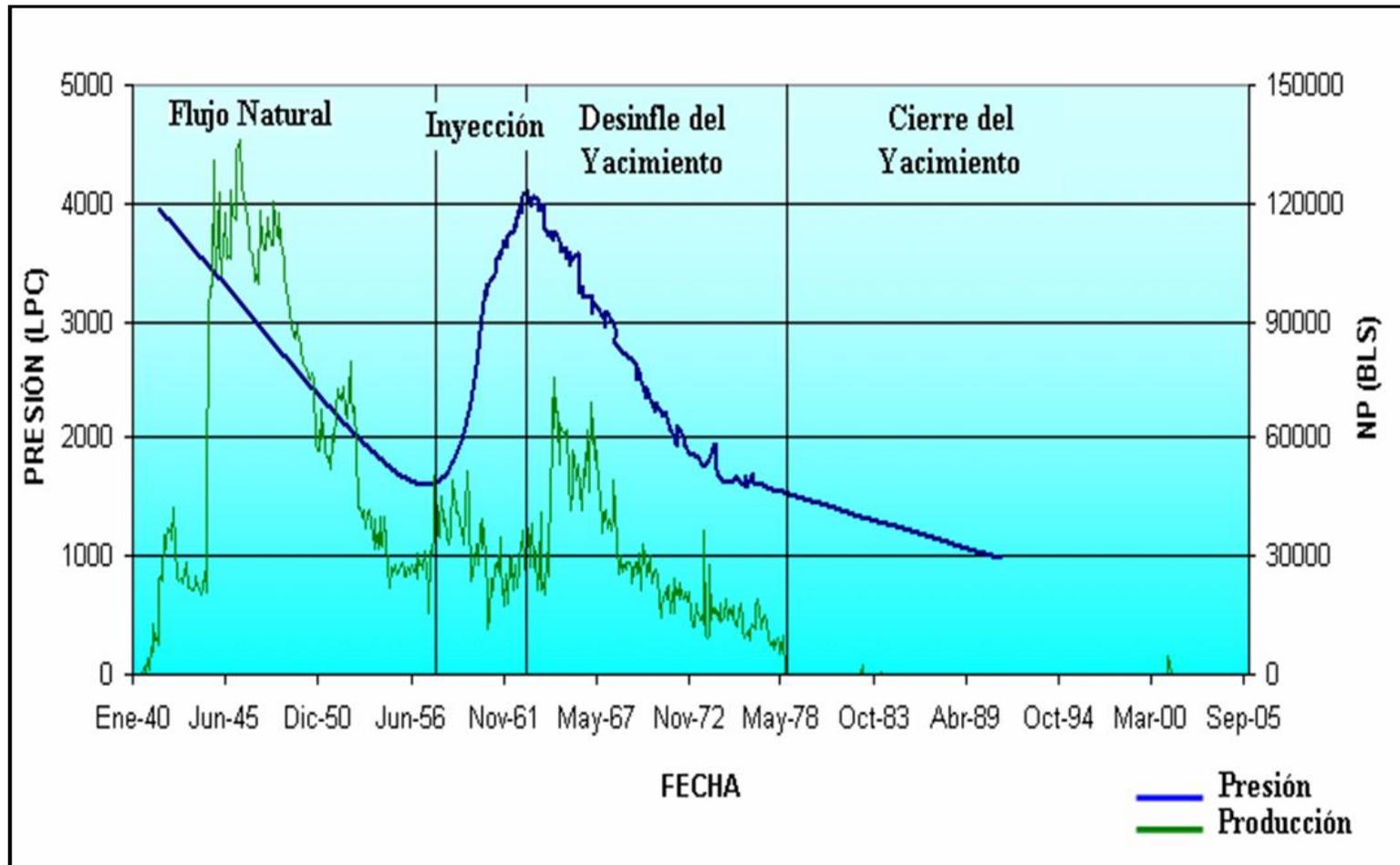
Apéndice C**Tabla con datos de área, distancia y azimutes para la poligonal**

Tabla C.1 Valores de áreas, distancias, rumbos y azimutes (2012).

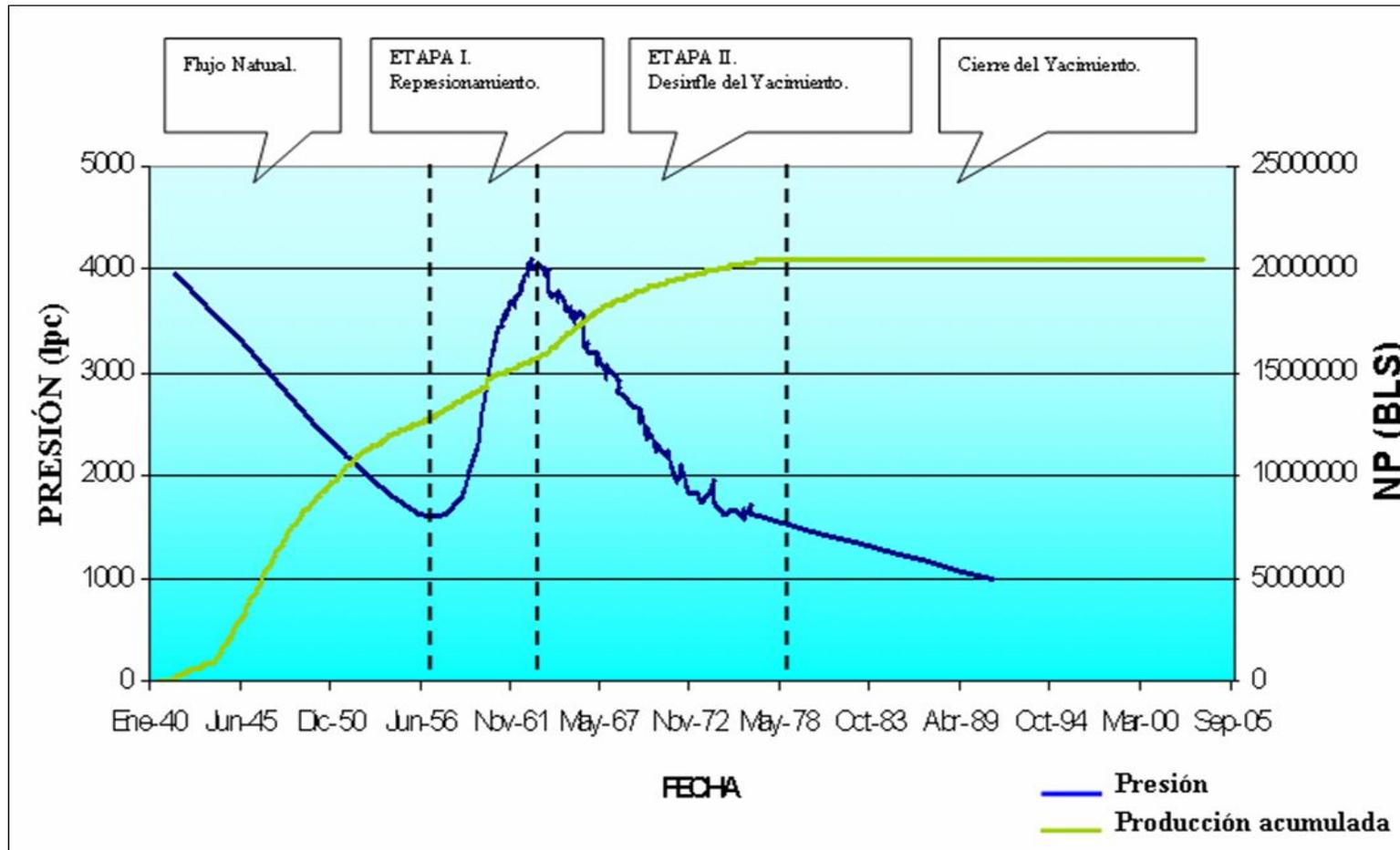
N°	COORDENADAS (m)		DIST (m)		RUMBO (° : ' : ")			AZIMUT (° : ' : ")	AREA(Cálculos parciales)(m ²)	
	REF	NORTE	ESTE		N-E	N-O	S-E	S-O		
1		1.035.263,00	332.504,15							
				236,96				43:27:38	223:27:38	-168.730.745,47
2		1.035.091,00	332.341,15							
				226,56			47:51:44		132:08:16	173.881.484,99
3		1.034.939,00	332.509,15							
				203,93	63:11:01				63:11:01	188.367.270,00
4		1.035.031,00	332.691,15							
				297,98		38:52:13			321:07:47	-193.574.559,29
5		1.035.263,00	332.504,15							
								17:48:21	197:48:21	
			PERÍMETRO	965,43					ÁREA TO TAL (km²):	0,06
									ÁREA TO TAL (has):	5,65
									ÁREA TO TAL (m²):	56.549,78

Apéndice D

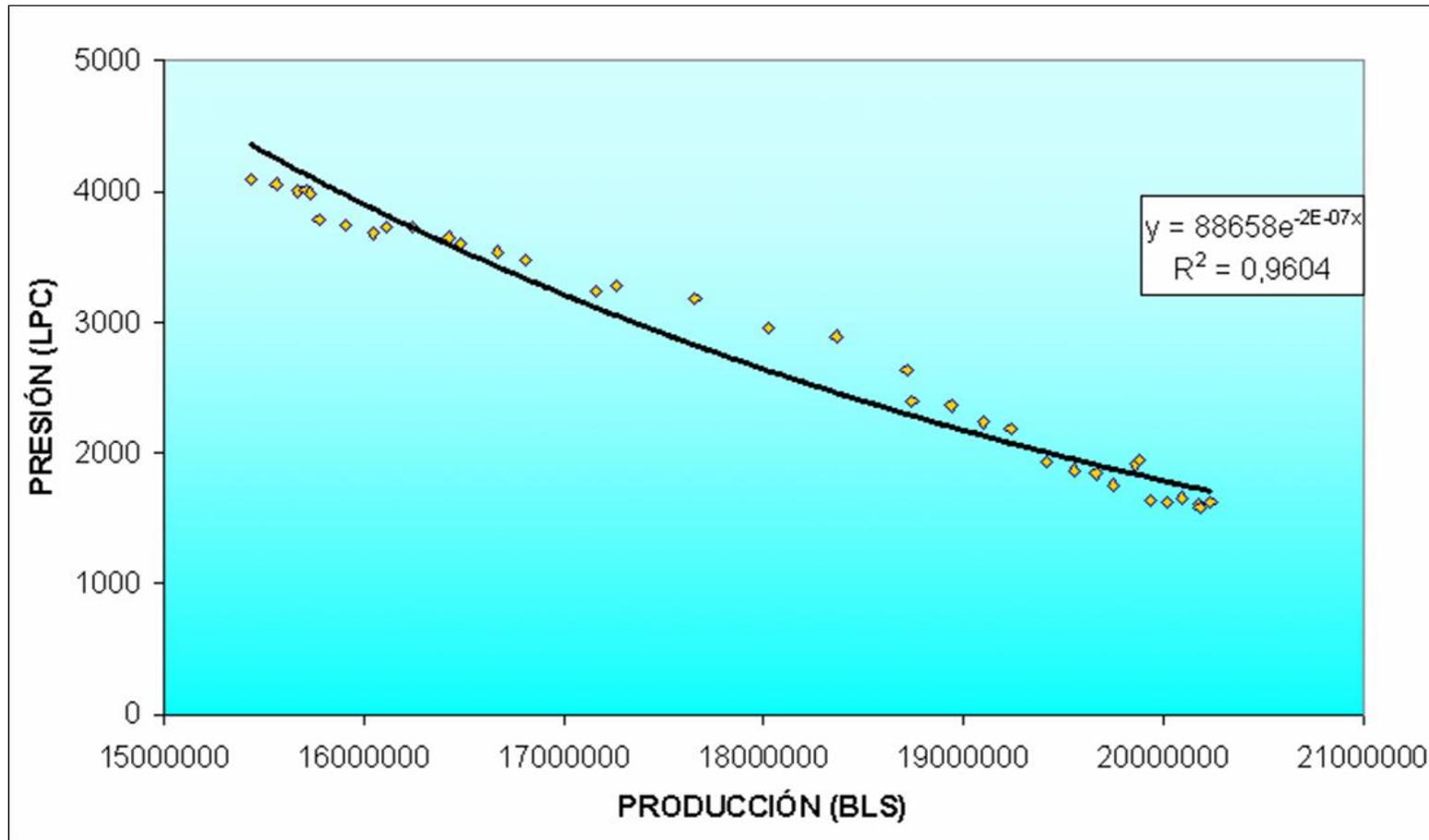
Gráficos de presión referente a inyección de gas, Pozo JM-13 arena CO-A1



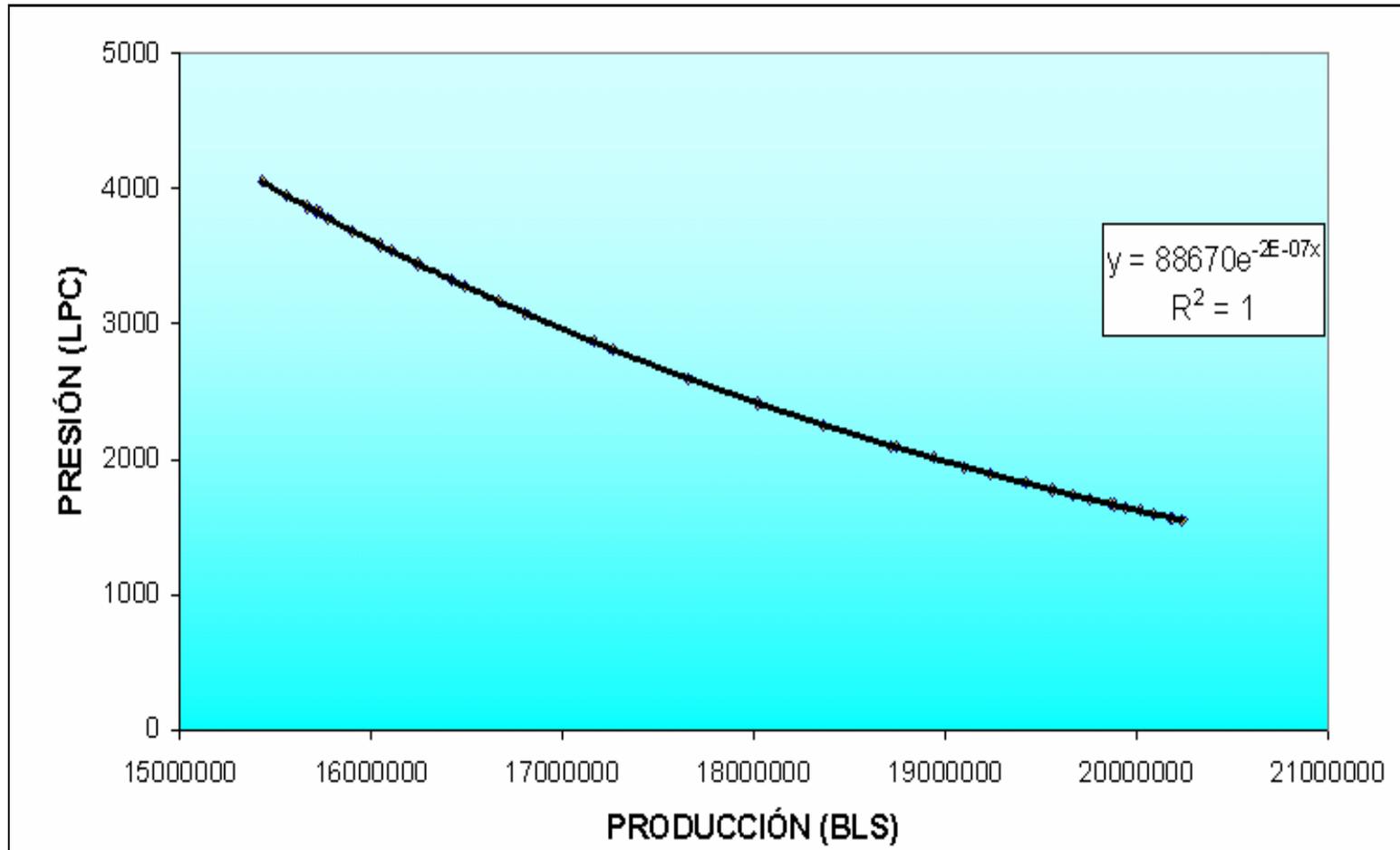
Gráfica D.1 Comportamiento de la presión y producción mensual del yacimiento JM-13, desde 1944 hasta 2005 (PDVSA GAS, 2012).



Grafica D.2 Comportamiento de presión y producción acumulada del yacimiento JM-13, desde 1944 hasta 2005 (PDVSA GAS, 2012).



Grafica D.3 Declinación de presión del yacimiento JM-13, de acuerdo a la producción acumulada para el periodo 1963-1976 (PDVSA GAS, 2012).



Gráfica D.4 Ajuste de la presión del yacimiento JM-13, de acuerdo a la producción acumulada para el periodo 1963-1976 (PDVSA GAS, 2012).

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	ESTUDIO GEOLOGICO DEL VOLCAN DE LODO SAN JOAQUIN; PROCESOS VULCANO-SEDIMENTARIOS PRESENTES EN EL AREA MAYOR DE ANACO, CAMPO SAN JOAQUIN, DISTRITO GAS ANACO, ESTADO ANZOATEGUI (1976- 2012)
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Pérez F, Jessica M	CVLAC	18.227.746
	e-mail	Jessip24@hotmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Volcán de lodo
Volcanismo sedimentario
Tassik
Diapirismo
Fotointerpretación geológica
Arcillas

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Area	Subárea
Departamento de Geología	Geología.

Resumen (abstract):

El volcán de lodo de San Joaquín, perteneciente al Campo San Joaquín, abarca un área de 1.2 Km², dentro del Distrito operacional PDVSA Gas Anaco. se encuentra en la región centro- oriental del Venezuela, entre las poblaciones de Anaco y Santa Ana, ubicado en las coordenadas N 9°21' 43" y W 64°32'04" respectivamente, esta área forma parte desde el punto de vista geológico de los campos del Área Mayor de Anaco, Subcuenca Maturín, Cuenca Oriental de Venezuela. En este trabajo se presentan el origen, evolución, efectos topográficos, estructurales y los impactos provocados por las operaciones petroleras obteniendo como resultado la formación y presencia del volcán de lodo y gas de San Joaquín. esta manifestación superficial de gas y lodo es la resulta de las condiciones estructurales y estratigráficas de un área con abundante yacimientos de gas, próximos a superficie como a grandes profundidades, el tectonismo compresional que afecta al flanco norte de la cuenca oriental, logró aflorar a la formación Oficina en las crestas erosionadas de los domos diapiriticos formados contra el corrimiento de Anaco. Estas condiciones geológicas unidas a la existencia de grietas tensionales en la cresta del domo, y las altas presiones en profundidad produjeron un escape de gas y lodo a la superficie, cuyo flujo vertical es continuo y coincide con el pozo JM-25. La importancia de este volcanismo de lodo radica en que, los conductos volcánicos actúan como vía de transporte de fluido/materiales profundos a las cuencas sedimentarias, además de emitir metano, por lo que esta expulsión de flujo juega un papel importante en el balance global de fluidos y elementos químicos. Este estudio permitió identificar a través de mapas de presión y perdidas de circulación a la arena CO-A1 como portadora de gas a la superficie. El origen, dimensiones, características geológicas involucradas y evolución, hacen que el volcán de San Joaquín sea un caso de interés de estudio en el país.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

	ROL / Código CVLAC / e-mail	
SANTIAGO JESUS	ROL	CA <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input checked="" type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/>
	CVLA	5.756.871
	e-mail	Enrisanti9@gmail.com
	e-mail	
MARCANO IRIS	ROL	CA <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLA	5.990.907
	e-mail	Irismar-1958@hotmail.com
	e-mail	
WONG PATRICIA	ROL	CA <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLA	16.500.711
	e-mail	Patricia.awh@gmail.com
	e-mail	
	ROL	CA <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> T <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/>
	CVLA	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2013	03	19

Lenguaje: Spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
Tesis-Volcán de lodo San Joaquín.

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L
M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial : _____ (Opcional)

Temporal: _____ (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Geología.

Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado

Área de Estudio:

Departamento de Geología

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

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR <i>[Firma]</i>
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

Cordialmente,

[Firma]
JUAN A. BOLAÑOS CURVELO
Secretario

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) : "Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."

José Carlos Pérez Montado.

AUTOR 1

AUTOR 2

J. Sautier

TUTOR