

X
GB1005
S3

Universidad de Los Andes
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Geológica



*Evaluación de la Disponibilidad de Aguas Subterráneas
del Área Comprendida entre
el Río Santo Domingo, Estado Barinas
y el Río Guanare, Estado Portuguesa*

Bachiller: Ribeth De Jesús Salas Ruiz

C.I. 11.960.435

Tutor Académico: Prof. Hervé J. Jégat N.

DONACION

Mérida, enero de 2009

SERBIULA
Ingeniería

Universidad de Los Andes
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Geológica



*Evaluación de la Disponibilidad de Aguas Subterráneas
del Área Comprendida entre
el Río Santo Domingo, Estado Barinas
y el Río Guanare, Estado Portuguesa*

**Trabajo Final de Grado Presentado ante la Ilustre
Universidad de Los Andes como Requisito para Optar al Título de
Ingeniero Geólogo**

Bachiller:

Salas Ruiz Ribeth De Jesús

C.I. 11.960.435

Tutor Académico: Prof. Hervé J. Jégat N.

Mérida, enero de 2009

Dedicatoria

A mi bebé: Mi Esposa adorada, quien
representa lo más importante en mi vida,
sin ti, este logro no hubiese sido posible...
¡Te Amo!

Ribeth Salas

Agradecimientos

- A Dios Todopoderoso y al Sagrado Corazón de Jesús, por llenarme de convicción de logro y permitirme alcanzar esta meta.
- A mis Padres Josefita y Rubén por ser pilares fundamentales en mi desarrollo como persona. Gracias por el amor, el respeto y el apoyo incondicional que me han brindado en todos los momentos de mi vida. ¡Este logro también es de ustedes!
- A Rosely, mi adorada esposa, por la orientación y el apoyo brindado desde el inicio hasta el final de mi carrera. Gracias a tu dedicación fue posible alcanzar la meta propuesta.
- A la Ilustre Universidad de Los Andes, por haberme dado la oportunidad de recibir la preparación que hoy me ha hecho capaz de llevar a término el primero de mis muchos proyectos.
- A la Escuela de Ingeniería Geológica en cuyas aulas se forjó día a día la consolidación de los conocimientos necesarios para el logro de esta meta.
- A la Coral Vinicio Adames de la Facultad de Ingeniería, con quienes compartí una actividad cultural a lo largo de mi vida de estudiante. ¡Gracias!
- A la Beca Gran Mariscal de Ayacucho, por permitirme ser uno de los beneficiados de tan importante programa, lo que constituyó el financiamiento de gran parte de la carrera. ¡Mil Gracias!
- Al Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT), por permitirme realizar el presente estudio.
- Al Prof. Hervé Jégat, tutor académico, por su disposición, orientación y colaboración durante el desarrollo del trabajo.
- A la Sra. Tibaire Arias, personal de la biblioteca del CIDIAT por su valiosa colaboración en la búsqueda de todo el material bibliográfico.
- Al personal de la Planoteca de CORPOANDES, especialmente a los amigos Reinaldo Araujo e Iván Ronquillo por su cooperación en todo lo concerniente al material de cartografía necesario para la elaboración del presente Trabajo Final de Grado.
- A Luis Fonseca, por su ayuda y orientación en la parte computacional.

Ribeth Salas

Resumen

Los recursos hídricos subterráneos representan una fuente importante para el suministro del agua en el mundo, razón por la cual se lleva a cabo la presente investigación cuyo objetivo principal es evaluar la disponibilidad de aguas subterráneas del área comprendida entre el río Santo Domingo, estado Barinas y el río Guanare, estado Portuguesa, con la finalidad de implementar el aprovechamiento integral de los recursos superficiales y subterráneos. Dichos recursos naturales se encuentran en formaciones geológicas permeables representadas en secciones estratigráficas que han sido utilizadas para la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual con la finalidad de evaluar las reservas permanentes permeables cuyo valor se estima en $7,40 \times 10^{10} \text{ m}^3/\text{Km}^2$. A partir de los datos de las estaciones pluviométricas La Quinta y Mesa de Cavacas se tiene que la recarga natural del área de estudio es de $0,508 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}$.

De acuerdo al análisis químico del agua del acuífero, se deduce que esta es de buena calidad, apta para el consumo humano ya que presentan valores de pH 6.5 a 7; los valores de conductividad eléctrica oscilan entre 100 y 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el valor de TSD es inferior a 500 mg/l y la dureza total oscila entre 250 y 360. Se emplea el Diagrama de Piper, para clasificar las aguas subterráneas del área de estudio como Aguas Bicarbonatadas Cálcicas y Magnésicas, las cuales son consideradas como aguas jóvenes o recientes. Mediante el uso de Diagramas de Wilcox, las aguas subterráneas que se encuentran en el área de estudio son clasificadas como aptas para el riego ya que corresponden a los tipos $\text{C}_1\text{-S}_1$ y $\text{C}_2\text{-S}_1$; y poseen una conductividad cuyos valores oscilan entre 50 y 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$; presentan bajo peligro de alcalinización y de bajo a medio peligro de salinización del suelo.

Palabras Claves: Disponibilidad, Aguas Subterráneas, Acuíferos, Modelo Hidrogeológico, Secciones estratigráficas, Recarga Natural, Calidad del Agua.

Índice General

	Pág
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Índice General	v
Índice de Figuras	xi
Índice de Tablas	xiv
Introducción	xv
 Capítulo I. Generalidades	 1
1.1 Planteamiento del Problema	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo General	2
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Justificación e Importancia	3
1.4 Alcances y Limitaciones	4
1.5 Antecedentes	4
 Capítulo II. Marco Referencial	 12
2.1 Área de Estudio	13
2.1.1 Ubicación y Extensión	13
2.1.2 Características Generales	15
2.1.2.1 Clima	15
2.1.2.2 Vegetación	15
2.1.2.3 Suelos	15
2.1.2.4 Relieve	16
2.1.2.5 Hidrografía	17
2.1.3 Geología	18
2.1.3.1 Geología Regional	18
2.1.3.2 Evolución Geotectónica de la Cuenca Barinas-Apure	19
Precámbrico	19
Paleozoico	19
Mesozoico - Cenozoico	20
Mesozoico	20
Cenozoico	23
2.1.3.3 Estratigrafía	25
Síntesis Estratigráfica de la Cuenca Barinas - Apure	25
Reseña Sedimentaria de la Cuenca Barinas - Apure	29

	Pág
Cretácico:	30
Formación Aguardiente	30
Formación Escandalosa	31
Formación Navay	33
Formación Burgüita	34
Terciario:	36
Formación Gobernador	37
Formación Pagüey	39
Formación Parángula	41
Formación Río Yuca	43
Cuaternario:	44
Formación Guanapa	44
Bases Teóricas	46
2.2 Hidrogeología	46
2.3 Ciclo Hidrológico	47
2.3.1 Fases del Ciclo Hidrológico	49
2.3.1.1 Precipitación	49
2.3.1.2 Evaporación	50
2.3.1.3 Evapotranspiración	50
2.3.1.4 Retención o Intercepción	50
2.3.1.5 Infiltración	50
2.4 Distribución Global del Agua	51
2.5 Aguas Subterráneas	51
2.5.1 División de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrológico	52
2.5.1.1 Acuíferos	53
2.5.1.2 Acuitardos	53
2.5.1.3 Acuicludos	54
2.5.1.4 Acuífugos	54
2.5.2 Clasificación de los acuíferos según las circunstancias hidráulicas y estructurales	54
2.5.2.1 Acuíferos libres, Freáticos o No Confinados	54
2.5.2.2 Acuíferos Cautivos o Confinados	55
2.5.2.3 Acuíferos Semiconfinados	56
2.5.2.4 Acuíferos semilibres	57
2.5.2.5 Acuíferos Colgados	58
2.5.3 Clasificación de los acuíferos según la textura de los materiales que lo conforman	59
2.5.3.1 Acuíferos Detríticos o Sedimentarios	59
2.5.3.2 Acuíferos Fisurados y Kársticos	59
2.5.3.3 Acuíferos Kársticos y Porosos	60

	Pág
2.5.4 Zonas de un Acuífero	61
2.5.4.1 Recarga de Acuíferos	62
Recarga Natural	62
Recarga Artificial	62
2.5.4.2 Descarga de Acuíferos	63
2.6 Características Hidrogeológicas del Acuífero	64
2.6.1 Porosidad	64
2.6.1.1 Tipos de Porosidad	65
Porosidad Total	65
Porosidad Eficaz	65
2.6.2 Permeabilidad	66
2.6.3 Coeficiente de Almacenamiento	68
2.6.4 Transmisividad	69
2.6.5 Gradiente Hidráulico	70
2.6.6 Velocidad Real	71
2.6.7 Caudal de Flujo	71
2.7 Balance Hídrico	71
2.8 Niveles Piezométricos	72
2.8.1 Superficies Piezométricas	72
2.8.2 Mapas Piezométricos	73
2.9 Características Físico – Químicas del Agua Subterránea	73
2.9.1 Temperatura del Agua	74
2.9.2 Densidad	74
2.9.3 Características Termale	74
2.9.4 Conductividad Eléctrica	74
2.9.5 Absorción de Luz	74
2.9.6 Viscosidad	74
2.9.7 pH	75
2.9.8 Alcalinidad	75
2.9.9 Sólidos Totales Disueltos	75
2.9.10 Contaminación Microbiana	76
2.9.11 Dureza	76
2.9.12 Oxígeno	76
2.9.13 Sílice	76
2.9.14 Iones	76
2.9.15 Otros	77
2.10 Calidad de las Aguas Subterráneas	77
2.10.1 Alteraciones Físicas de las Aguas Subterráneas	77
2.10.1.1 Color	77
2.10.1.2 Olor y Sabor	78
2.10.1.3 Temperatura	78
2.10.1.4 Materiales en Suspensión	78

	Pág
2.10.1.5 Radiactividad	78
2.10.1.6 Espumas	78
2.10.1.7 Conductividad Eléctrica	79
2.10.2 Alteraciones Químicas de las Aguas Subterráneas	79
2.10.2.1 pH	79
2.10.2.2 Oxígeno Disuelto	79
2.10.2.3 Materia Orgánica Biodegradable (Demanda Bioquímica de Oxígeno)	79
2.10.2.4 Materiales Oxidables (Demanda Química de Oxígeno)	80
2.10.2.5 Nitrógeno Total	80
2.10.2.6 Fósforo Total	80
2.10.2.7 Aniones	80
2.10.2.8 Cationes	81
2.10.2.9 Compuestos Orgánicos	81
2.11 Diagramas Hidroquímicos	83
2.11.1 Diagrama de Piper	83
2.11.2 Diagrama de Wilcox	84
2.12 Modelo Hidrogeológico Conceptual	87
2.12.1 Aplicaciones de los Modelos Hidrogeológicos	88
Capítulo III. Marco Metodológico	89
3.1 Metodología Aplicada	90
3.2 Etapas de la Investigación	91
3.2.1 Etapa I: Recopilación de la Información	91
3.2.1.1 Revisión de Estudios Previos	91
3.2.1.2 Recopilación y Validación de la Información	91
3.2.2 Etapa II: Etapa de Campo	92
3.2.3 Etapa III: Procesamiento de la Información Recopilada	92
3.2.3.1 Digitalización del Mapa Topográfico y Geológico	92
3.2.3.2 Inventario de Pozos	93
3.2.3.3 Ubicación de los Pozos en el Área de Estudio	94
3.2.3.4 Secciones Estratigráficas	94
3.2.3.5 Modelo 3D	95
3.2.3.6 Modelo Hidrogeológico Conceptual	96
3.2.3.7 Cálculo de Reservas Permanentes Permeables	97
3.2.3.8 Cálculo de la Recarga Natural del Acuífero	99
3.2.3.9 Mapas de Niveles Estáticos y Líneas de Flujo	101
3.2.3.10 Evaluación de la Calidad del Agua	102
3.2.3.11 Clasificación Química del Agua	104

Capítulo IV. Presentación y Análisis de Resultados	Pág 106
4.1 Mapa Topográfico y Geológico	107
4.1.1 Mapa Topográfico	107
4.1.2 Mapa Geológico	108
4.2 Mapa de Ubicación de Pozos	109
4.3 Análisis de las Secciones Estratigráficas	111
4.3.1 Sección Estratigráfica A-A'	111
4.3.2 Sección Estratigráfica B-B'	112
4.3.3 Sección Estratigráfica C-C'	113
4.3.4 Sección Estratigráfica D-D'	114
4.3.5 Sección Estratigráfica E-E'	115
4.4 Modelo 3D	116
4.5 Modelo Hidrogeológico Conceptual	118
4.6 Cálculo de Reservas Permanentes Permeables	120
4.7 Cálculo de Recarga Natural	121
4.8 Mapa de Niveles Estáticos y Líneas de Flujo	127
4.9 Mapa de Caudal	128
4.10 Ubicación de los Pozos con Información Química	130
4.10.1 Mapa de pH	131
4.10.2 Mapa de Conductividad Eléctrica	132
4.10.3 Mapa de Total de Sólidos Disueltos	134
4.10.4 Mapa de Dureza Total	135
4.11 Clasificación Química del Agua	137
4.11.1 Diagrama de Piper	137
4.11.2 Diagrama de Wilcox	140
Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones	143
Conclusiones	144
Recomendaciones	146
Referencias	147
Referencias Bibliográficas	147
Referencias Electrónicas	152
Anexo I	
Anexo I-A. Inventario de pozos	153
Anexo I-B. Datos de las Secciones Estratigráficas	158

	Pág
Anexo I-C. Cálculos de Infiltración Estación La Quinta. Periodo 1980-1991	171
Anexo I-D. Cálculos de Infiltración Estación Mesa de Cavacas. Periodo 1980-1991	174
Anexo I-E. Infiltración calculada en milímetros (mm) por año. Estación La Quinta	178
Anexo I-F. Infiltración calculada en milímetros (mm) por año. Estación Mesa de Cavacas	179
Anexo I-G. Pozos con Química para la zona A	180
Anexo I-H. Pozos con Química para la zona B	181
Anexo II	182
Sección A-A'	183
Sección B-B'	184
Sección C-C'	185
Sección D-D'	186
Sección E-E'	187
Sección F-F'	188
Sección G-G'	189
Sección H-H'	190
Sección I-I'	191
Sección J-J'	192

Índice de Figuras

	Pág
Capítulo II. Marco Referencial	
II-1. Ubicación del área de estudio	14
II-2. Distribución de las rocas jurásicas en Venezuela	21
II-3. Evolución geotectónica de la subcuenca de Barinas	22
II-4. Marco geológico regional para la sedimentación en Venezuela occidental durante el Oligoceno	25
II-5. Columna estratigráfica generalizada del subsuelo de la subcuenca de Barinas	28
II-6. Distribución de facies sedimentarias dominantes durante el Neocomiense- Albiense (Cretácico Temprano) al Norte del Cratón de Guayana	31
II-7. Distribución de facies sedimentarias dominantes durante el Cenomaniense-Campaniense (Cretácico Tardío) al Norte del Cratón de Guayana	32
II-8. Distribución de facies sedimentarias durante el Maestrichtiense (Cretácico Tardío) al Norte del Cratón de Guayana	36
II-9. Migración del Frente de Deformación del Caribe hacia el Este-Suroeste (E-SO) en Venezuela Occidental y sedimentación epi/perisutural asociada durante el Paleoceno-Eoceno	38
II-10. Marco geológico regional para la sedimentación en Venezuela (Cuencas de Maracaibo, Falcón, Barinas-Apure y Oriental) durante el Mioceno-Plioceno	42
II-11. Ciclo Hidrológico	48
II-12. Distribución Global del Agua	51
II-13. Agua Subterránea	52
II-14. Acuífero	53
II-15. Esquema de Acuífero Libre	55
II-16. Esquema de Acuífero Confinado	56
II-17. Esquema de acuífero semiconfinado	57
II-18. Representación esquemática de un pozo en Acuífero Semilibre	58
II-19. Representación esquemática de un Acuífero Colgado	58
II-20. Representación esquemática de un Acuífero Detrítico	59
II-21. Representación esquemática de un Acuífero Kárstico	60
II-22. Tipos de acuíferos según su textura	61
II-23. Áreas de recarga y descarga, líneas de flujo y tiempo de desplazamiento del agua en un acuífero	64
II-24. Esquematización del Diagrama de Piper	83
II-25. Diagrama de Wilcox	85

	Pág
Capítulo III. Marco Metodológico	
III-1. Cuadrícula escaneada del área de estudio insertada en Autocad 2008	93
III-2. Carga de la base de datos para la superficie del área en 3D	95
III-3. Designación de colores en función de la permeabilidad de las capas	96
III-4. Ventana para el cálculo del volumen total de roca	97
III-5. Reporte de Golden Software Surfer 8.0 de cálculo de volúmenes	98
III-6. Mapa de isolíneas de escurrimiento	100
III-7. Elaboración del mapa freático	102
III-8. Ventana para la creación de los datos de pH	103
III-9. Archivo de Surfer 8.0 para la elaboración de los mapas de Contorno	104
III-10. Ventana del Programa Easy_Quim.4. (Campaña 1971)	105
Capítulo IV. Presentación y Análisis de Resultados	
IV-1. Mapa Topográfico en 2D del área de estudio	107
IV-2. Mapa Geológico en 2D del área de estudio	109
IV-3. Mapa de ubicación de pozos y secciones estratigráficas del área de estudio	110
IV-4. Sección Estratigráfica A-A' del área de estudio	111
IV-5. Sección Estratigráfica B-B' del área de estudio	112
IV-6. Sección Estratigráfica C-C' del área de estudio	113
IV-7. Sección Estratigráfica D-D' del área de estudio	114
IV-8. Sección Estratigráfica E-E' del área de estudio	115
IV-9. Modelo 3D del área de estudio	117
IV-10. Modelo Hidrogeológico Conceptual del área de estudio	118
IV-11. Modelo Hidrogeológico Conceptual con nivel estático y relieve del área de estudio	119
IV-12. Mapa de Isolíneas de Escurrimiento	123
IV-13. Mapa de Niveles Estáticos y Líneas de Flujo	127
IV-14. Mapa de Caudal	129
IV-15. Mapa de ubicación de pozos con información química en las zonas A y B	130
IV-16. Mapa de pH	132
IV-17. Mapa de Conductividad eléctrica	133
IV-18. Mapa de TSD	135
IV-19. Mapa de Dureza Total	136
IV-20. Calidad química del agua de la zona A del área de estudio según Diagrama de Piper	138

IV-21. Calidad química del agua de la zona B del área de estudio según Diagrama de Piper	139
IV-22. Calidad química del agua de la zona A del área de estudio según Diagrama de Wilcox	141
IV-23. Calidad química del agua de la zona B del área de estudio según Diagrama de Wilcox	142

Introducción

El conocimiento de la distribución geográfica de los volúmenes de agua con que cuenta el país, es una de las tareas previas y necesarias para planificar las acciones mediante las cuales se logrará el uso eficiente y la correcta administración de los recursos hidráulicos. En tal sentido, se ha advertido acerca de la necesidad de conocer el orden de magnitud de las reservas y recursos renovables de las aguas subterráneas, la ubicación de los depósitos y las posibilidades de poder aprovecharlos.

El inventario de aguas subterráneas ha indicado la importancia que tiene este recurso renovable por su cuantía, al compararlas con los volúmenes superficiales escurridos. Cuando se consideran las situaciones locales de escasez de recursos, las aguas subterráneas cobran gran importancia y se define con mayor precisión la trascendencia que tiene el aprovechamiento de este recurso en el desarrollo del país, bien sea como complemento o como alternativa para la utilización convencional de las aguas.

Las aguas subterráneas constituyen cerca del 95% del agua dulce líquida de nuestro planeta, sin tomar en cuenta aquellas que se encuentran en las capas de hielo polar. En contraste, el agua de los ríos y lagos representa menos del 5%. A pesar de la importancia de los recursos de aguas subterráneas para abastecimiento de agua potable, existe poca o ninguna preocupación acerca de su protección. La mayoría de las aguas subterráneas son naturalmente de excelente calidad en lo que se refiere a sabor, color y olor. Ellas raramente parecen estar contaminadas, aun cuando estén contaminadas química o microbiológicamente. Sin embargo, como resultado de la contaminación, su composición puede deteriorarse hasta niveles preocupantes para la salud.

La necesidad de disponer de recursos hídricos seguros (en calidad y cantidad) coloca en evidencia la importancia de llevar adelante políticas que garanticen la protección de las aguas subterráneas ya que representan una fuente de agua suplementaria, generalmente de mejor calidad que las aguas superficiales.

La escasez de fuentes de agua dulce de fácil acceso, hace de la localización y monitoreo de las aguas subterráneas, una actividad de vital importancia en el mundo actual. La Planicie Aluvial entre los Ríos Santo Domingo y Guanare no escapa de esta problemática ya que la zona representa una superficie de gran valor agropecuario y agrícola para los estados Barinas y Portuguesa. El fenómeno depositacional es importante desde el punto de vista hidrogeológico, ya que tales depósitos forman un aluvión de constitución altamente permeable, en el que abunda agua subterránea.

El siguiente estudio pretende realizar una evaluación de la disponibilidad de las aguas subterráneas en el área comprendida entre Barinas – Guanare; específicamente entre el Río Santo Domingo y el Río Guanare, mediante la construcción de un Modelo Hidrogeológico Conceptual para lo cual se hace necesaria la aplicación de técnicas geoestadísticas para el estudio de variables distribuidas en el espacio como es el caso de coordenadas, cotas, límites y espesores litológicos; con la finalidad de determinar las reservas y recarga natural del acuífero que suplirá el recurso a la zona involucrada a la vez de proporcionar información de manera tal que las comunidades conozcan la calidad y cantidad del recurso disponible y la posibilidad de poder aprovecharla tanto para la actividad agrícola y pecuaria como para el propio abastecimiento de la población.



Capítulo I

Generalidades

1.1 Planteamiento del Problema

Las ciudades Barinas y Guanare, han experimentado, además de un crecimiento de pequeñas y medianas poblaciones, un incremento de los asentamientos industriales. No obstante, las necesidades del recurso hídrico en la zona comprendida entre el Río Santo Domingo en el Estado Barinas y el Río Guanare en el Estado Portuguesa, aumentan considerablemente debido a la creciente demanda para el consumo directo, riego, cría de animales y mantenimiento de la infraestructura industrial.

Una de las fuentes de abastecimiento del agua necesaria para la zona en estudio, es el agua subterránea proveniente de los pozos presentes en estas ciudades. Sin embargo, el uso abusivo de este recurso básico, ha conllevado a la escasez de agua, agotamiento de las corrientes, subsidencia del terreno, contaminación salina, aumento del coste de bombeo y contaminación del agua subterránea. Por otro lado, la mala organización urbanística por la creciente expansión de las ciudades y el desarrollo de industrias en sitios no aptos, aunado a la alta y variable permeabilidad de los acuíferos, han contribuido para que ocurran cambios químicos, físicos o biológicos que no se ajustan a las normas para el uso del agua, imposibilitando de esta manera su aprovechamiento. Todas estas observaciones orientan hacia la búsqueda de métodos tanto de prevención como de solución, ante la posible contaminación de las aguas subterráneas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar la calidad y la cantidad de las reservas de aguas subterráneas de la zona comprendida entre el Río Santo Domingo en el Estado Barinas y el Río Guanare en el Estado Portuguesa.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Recopilar, evaluar y verificar la información geológica, hidrogeológica y cartográfica existente de la zona en estudio.
- Elaborar el mapa geológico de la zona con los datos obtenidos en campo, tomando como base la información existente.
- Construir un modelo hidrogeológico conceptual.
- Estimar las reservas de aguas subterráneas disponibles en el área de estudio.
- Clasificar el agua disponible en el subsuelo según sus características físicas y químicas.

1.3 Justificación e Importancia

En todo el mundo, los pozos y manantiales o fuentes proporcionan agua para las ciudades, las cosechas, el ganado, y la industria. Sin embargo, el uso abusivo de este recurso básico se ha traducido en escasez de agua, agotamiento de las corrientes, subsidencia del terreno, contaminación salina, aumento del coste de bombeo y contaminación del agua subterránea.

Las ciudades Barinas y Guanare han experimentado, en las últimas décadas, un importante incremento poblacional, a la vez que se caracteriza por el desarrollo de la actividad agrícola, ganadera e industrial; razones por las cuales se hace necesaria la implementación de un estudio que aporte información sobre la calidad y cantidad de agua disponible así como de la utilización consciente y racional de dicho recurso, a fin de optimizar su aprovechamiento frente a la demanda de consumo, evitando una sobre explotación que afecte a largo plazo, los volúmenes de aguas subterráneas.

La importancia del presente estudio radica en que el agua subterránea es una fuente alterna, confiable, continua y económica de abastecimiento de agua para consumo humano y riego, que no requiere de complicados sistemas de tratamiento para la

potabilización, por lo cual se convierte en una solución actual, haciendo de su localización y monitoreo, una actividad científica de gran valor.

1.4 Alcances y Limitaciones

La realización del siguiente trabajo beneficiará a las poblaciones de la zona comprendida entre Barinas y Guanare ya que aportará a las comunidades e instituciones involucradas, información actualizada acerca de la calidad y cantidad de agua subterránea disponible la cual será de gran utilidad en el momento en que se requiera la extracción a partir de acumulaciones subterráneas por carecer de suficientes recursos hídricos superficiales. Se pretende generar un modelo hidrogeológico conceptual del área en estudio, así como también una herramienta operacional de análisis que permita dar un manejo eficiente al recurso hídrico subterráneo.

La limitante más importante es la recopilación de información hidrogeológica de los pozos existentes los cuales, aún cuando demuestran que existe una disponibilidad de aguas subterráneas a poca profundidad han sido explotados sin llevar un registro adecuado, por lo que es necesario actualizar en campo esta información hasta donde las condiciones lo permitan.

1.5 Antecedentes

- Ministerio de Obras Públicas. (1971). Hidrogeología del área Boconó – Masparro. Trabajo de Investigación. Dirección General de Recursos Hidráulicos. División de Hidrología. Caracas, Distrito Federal. El propósito de la investigación fue evaluar las reservas de aguas subterráneas y las características de los acuíferos para implementar el aprovechamiento integral de los recursos superficiales y subterráneos. Se encontró que los mejores acuíferos se ubican desde el pie de monte hasta unos 14 Km. aguas abajo y fueron separados en dos intervalos: uno freático, de 0 a 30 m. y otro confinado

con un límite inferior arbitrario a 60 m. de profundidad. El balance hídrico arrojó valores medios en mm. de 1.500 para la precipitación, 1.050 de evapotranspiración y 500 de escurrimiento. De los 600 mm. que entran anualmente al subsuelo, el 80% se pierde por transpiración y casi todo el resto por escurrimiento superficial y subterráneo. La transmisibilidad media de los acuíferos es de unos $1.800 \text{ m}^3/\text{día/m}$. Así mismo se concluyó que el agua era de excelente calidad para riego, buena para uso doméstico y que necesitaba tratamiento para uso industrial.

- Ministerio de Obras Públicas. (1971). Estudio hidrogeológico para desarrollar el asentamiento Caimital en el Estado Barinas. Trabajo de Investigación. Dirección General de Recursos Hidráulicos. División de Hidrología. Departamento de mediciones hidrológicas subterráneas. Caracas, Distrito Federal. Este estudio se realizó con la finalidad de desarrollar mil hectáreas bajo riego en el asentamiento Caimital logrando la mejor aproximación de las reservas permanentes de agua disponible. Se encontró que las características hidrológicas del área son similares a las de Boconó - Masparro con una precipitación de 1550 mm., evapotranspiración potencial de 1050 mm., escurrimiento de 500 mm. y una demanda neta de riego de 680 mm. La calidad fisicoquímica del agua es buena para el riego (clase $C_1 - S_1$), para uso industrial se debe someter a tratamiento según el tipo de industria y para el consumo doméstico solo se debe tomar en consideración el contenido de hierro. Con el uso del agua subterránea, aún sin recurrir a prácticas de recarga artificial, se incrementará la recarga natural hasta unos 850 mm. en una superficie de 2700Ha. Se planteó que el riego por bombeo del agua subterránea resuelve el problema de subdrenaje; sin embargo, el aprovechamiento óptimo del agua y el suelo, implica el uso conjunto del agua superficial y subterránea a través de la recarga artificial de los acuíferos.

- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. (1986). Delimitación de áreas inundables en el área Guanare-Masparro. Trabajo de Investigación. Dirección General de Planificación y Ordenación del Ambiente. Caracas, Distrito Federal. El objetivo principal del presente estudio consistió en describir y evaluar la magnitud y características de los problemas de drenaje del área Guanare - Masparro. Se realizó un análisis de la información geomorfológica del área, para ubicar aquellos sectores que por su topografía están más propensos a ser inundados. Así mismo, se evalúan los problemas de funcionamiento del actual sistema de drenaje y se sugiere un nuevo diseño que permita eliminar los excedentes de agua durante el invierno en forma controlada para tener reservas de agua que puedan suplir los déficits durante parte del verano. Como resultado del trabajo se obtuvo una sectorización de acuerdo a los manejos de agua más adecuados y se proponen obras de control y medidas de orientación para la solución de los problemas detectados.

- Mejías Lourdes C. y Guerrero Yamile M. (2000). Estudio de las reservas de aguas subterráneas en la Ciudad de Barinas. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida. Este estudio tuvo como objetivo general evaluar cuantitativa y cualitativamente las reservas de aguas subterráneas en la Ciudad de Barinas. Las características hidrogeológicas establecidas mediante la presente revisión, permitieron definir un acuífero con buena capacidad de almacenamiento ($\phi_{ef} = 20\%$) y de elevados índices de permeabilidad (30 m/día) y transmisividad ($\approx 2500 \text{ m}^2/\text{día}$ en promedio hacia la margen Sur del río Santo Domingo). Las reservas permanentes calculadas en toda el área de estudio fueron de $496.88 \times 10^6 \text{ m}^3$ y las recargas totales del acuífero, dadas por la suma de los aportes generados directamente por la precipitación más la infiltración de las aguas superficiales, arrojaron un valor

de $58.70 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{año}$. En cuanto a la calidad fisicoquímica de las aguas subterráneas, éstas se consideran aguas blandas, con niveles significativos de alcalinidad, con valores de turbidez y color que en general cumplen con los criterios o normas sanitarias oficiales. Con respecto a la calidad bacteriológica, se detectó que desde el punto de vista de consumo humano, las aguas subterráneas de la Ciudad de Barinas son aptas para uso domiciliario, urbano e industrial primario y de buena calidad.

- Sereno Carlos. (2002). Definición de criterios y normas para el establecimiento de nuevos centros urbanísticos localizados en zonas de reservas de aguas subterráneas Barinas, Estado Barinas. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida. El propósito de este trabajo fue reperforar y equipar unos 14 pozos con la finalidad de elevar la producción a unos 1200 l/seg. Se encontró que el acuífero de la Ciudad de Barinas es de origen aluvial del cuaternario, donde las arenas productoras de agua provienen de la Formación Guanapa y aluviones recientes. Ambos de edad cuaternaria, caracterizándose por presentar la siguiente litología: arenas, gravas, cantos, limo y arcillas. Es un acuífero libre entre los 5 y 135 m. de profundidad; limitado en su tope por el nivel freático ubicado entre los 5 y 9 m. aproximadamente; hacia su base, está circunscrito por potentes capas de arcillas impermeables. En cuanto a la calidad fisicoquímica y bacteriológica de las aguas subterráneas, éstas se consideran aguas blandas, es decir, aptas para el uso y consumo domiciliario urbano e industrial debido a la buena calidad. Se pudo conocer que las aguas servidas municipales de la Ciudad de Barinas son vertidas directamente sobre el Río Santo Domingo sin recibir ningún tipo de tratamiento previo, lo cual constituye una fuente de contaminación sobre el recurso hídrico subterráneo debido al intercambio de fluidos entre el Río Santo Domingo y los acuíferos freáticos del área.

- Peñaloza Andrés y Rangel Gustavo. (2003). Determinación de los perímetros de protección de pozos del sistema de abastecimiento de agua potable de la Ciudad de Barinas, Estado Barinas. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida. La finalidad de este estudio fue establecer políticas que garanticen la protección de las aguas subterráneas y de sus fuentes, basándose en la idea de proteger los pozos de la contaminación, evitando el acceso de contaminantes en las zonas de captación, estableciendo perímetros de protección inmediata, cercana y alejada, para así disponer de recursos hídricos seguros en calidad y cantidad. El análisis conjunto del sistema acuífero, localización de las obras de captación (pozos), fuentes contaminantes e infraestructura sanitaria, pusieron en evidencia la existencia de riesgo de afectación del sistema de abastecimiento de agua potable por actividad antrópica. En tal sentido, se concluyó que para los 52 pozos pertenecientes a las empresas Hidroándes y Acualba, el mayor riesgo de afectación lo constituyen: las estaciones de servicios, por infiltración de gasolina en caso que los depósitos presenten problemas de corrosión; drenajes superficiales que atraviesan la ciudad de Barinas; fosas sépticas y tanques sépticos en viviendas cercanas, lo cual puede traer como consecuencia numerosos brotes de epidemias a la comunidad consumidora de agua proveniente de estas fuentes de captación; aguas residuales domésticas descargadas a la superficie del terreno sin ningún tratamiento previo para eliminar sus efectos nocivos; potreros para la cría de ganado lo cual puede producir, localmente, una contaminación orgánica significativa del agua subterránea; y depósitos de basura no controlados; la vía, debido al transporte de sustancias químicas peligrosas y contaminación sistemática por plomo y zinc debido al tráfico vehicular.
- Ramírez V. Leonardo E. (2006). Evaluación de las disponibilidades de aguas subterráneas entre los ríos Morador y Sarare del Estado Portuguesa. Tesis de

grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida. El propósito de este estudio consistió en la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual así como la evaluación de las reservas permanentes y la recarga natural de las aguas subterráneas. Las propiedades físicas de la cobertura sedimentaria (porosidad, permeabilidad y transmisibilidad) y la posición geográfica permitieron dividir el área de estudio en función de su capacidad de recarga por infiltración: La zona piemontina, representa el área de mayores aportes y tiene un comportamiento de acuífero libre; mientras que la zona de llanuras aluviales constituye una región menos propicia para la recarga, y debido a su cobertura impermeable se adapta a la definición de acuífero confinado. Así mismo se encontró un volumen de reservas permanentes permeables de $3,18 \times 10^{10} \text{ m}^3$ y un valor promedio de recarga natural por precipitación de $227.84 \text{ l/m}^2/\text{año}$.

- Su Ah Sor Villegas Rigoberto R. (2006). Evaluación de la cantidad y calidad del agua del acuífero de la ciudad de Guanare, Estado Portuguesa. Tesis de postgrado. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la cantidad y calidad del agua del acuífero de la ciudad de Guanare, encontrándose que actualmente, el suministro de agua se realiza utilizando dos fuentes alternas como son: la presa Tucupido, ubicada a una distancia aproximada de 35 Km. y los campos de pozos A y B, ubicados al Sur de la ciudad de Guanare. Los valores de transmisividad obtenidos fueron altos, alcanzando valores de $14.000 \text{ m}^2/\text{día}$ y el Coeficiente de Almacenamiento hasta 6×10^{-4} correspondiente a un acuífero confinado. Se evaluó la calidad fisicoquímica del agua de 17 pozos, clasificándose éstas como bicarbonatadas cálcicas y moderadamente duras. La recarga del acuífero es de 105 millones de m^3 como promedio anual, la cual fue simulada mediante la aplicación del modelo de simulación hidrológica para la estimación de la escorrentía a nivel mensual.

- Mora D, José G. (2006). Evaluación del acuífero comprendido entre los ríos Masparro y Boconó en el estado Barinas. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida. Este estudio se basó en la evaluación cualitativa y cuantitativa de las reservas de aguas subterráneas de la zona comprendida entre los ríos Masparro y Boconó, determinándose que el acuífero encontrado en el área de estudio es de tipo confinado; los valores de transmisibilidad fueron relativamente buenos ya que oscilan entre 200 a 1700 m²/d. El volumen de reservas permanentes en la zona es de $4,1 \times 10^5$ m³/Ha. La recarga del acuífero ocurre por infiltración de la corriente superficial y consiguiente flujo subterráneo. En general, y según las normas de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la calidad del agua es aceptable para el consumo humano y riego y presenta en un 82% aguas de tipo Bicarbonatadas Cálcidas y en un menor porcentaje aguas de tipo Sulfatadas Cálcidas y Cloruradas o Sulfatadas sódicas.
- Vivas N, Diana L. (2007). Análisis de la susceptibilidad a la contaminación del acuífero de la Ciudad de Guanare, Estado Portuguesa. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería. Universidad de Los Andes. Mérida. El propósito general del estudio fue realizar un análisis cualitativo de las aguas subterráneas usando métodos GOD y DRASTIC. El método DRASTIC indicó que el 48% del área de estudio tiene vulnerabilidad baja y que un 38% posee vulnerabilidad moderada a la contaminación. La predisposición del acuífero de la Ciudad de Guanare, como recurso hídrico subterráneo es a tener zonas de vulnerabilidad manejable, ya que permite crear planes de ordenación para la futura construcción de urbanismo y/o industria en cada espacio. Se establecieron tiempos de viaje de 60 días y 2 años, por encontrarse los pozos en zonas urbanas y agrícolas, donde diariamente se desechan diferentes tipos de contaminantes sin algún control. Por otra parte, las partículas se hicieron viajar de atrás hacia delante para poder conocer el recorrido de la misma, hoy

en día. De tal manera que, si se arrojan una gran cantidad de pesticidas cerca del pozo 6, aproximadamente a 100 m. se conoce el camino que el contaminante recorre desde hoy hasta los 60 días siguientes, teniendo tiempo de desarrollar una medida de control para evitar la llegada al pozo, y posible daño permanente.



UNIVERSIDAD
DE LOS ANDES

Capítulo II

Marco Referencial

2.1 Área de Estudio

2.1.1 Ubicación y Extensión

Regionalmente, el área en estudio se encuentra localizada en los llanos occidentales entre la ciudad de Barinas (Estado Barinas) y la ciudad de Guanare (Estado Portuguesa), situada al Sur de la región Centro - Occidental del país, y al Sureste de la región de Los Andes (Figura II-1). Está conformado por los Municipios Alberto Arvelo Torrealba, Barinas, Cruz Paredes y Obispos, pertenecientes al Estado Barinas y por los Municipios San Genaro de Boconoito, Guanare y Papelón del Estado Portuguesa.

Localmente, la zona de estudio está emplazada a lo largo de la carretera Troncal 5 desde la Ciudad de Barinas, estimándose una longitud de 70 Km. en línea recta imaginaria hasta las Ciudad de Guanare y un ancho de 30 Km. comprendiendo una superficie total de 2.100 Km². De acuerdo con las coordenadas geográficas de nuestro planeta, el área se ubica entre los paralelos 8°37' y 9°04' de Latitud Norte, y entre los meridianos 70°12' y 69°45' de Longitud Oeste.

El trapezoide que forma el área de estudio tiene cuatro zonas referenciales a escala 1:100.000 en coordenadas UTM (*Universal Transversal Mercator*), siendo estas las siguientes:

Zona 1: (Caño Maraca)

UTM Norte: 989.700

UTM Este: 428.900

Zona 2: (Quebrada El Buey)

UTM Norte: 1.012.000

UTM Este: 408.700

Zona 3: (Caño El Tigre)

UTM Norte: 942.800

UTM Este: 376.900

Zona 4: (Río Santo Domingo)

UTM Norte: 965.000

UTM Este: 356.800

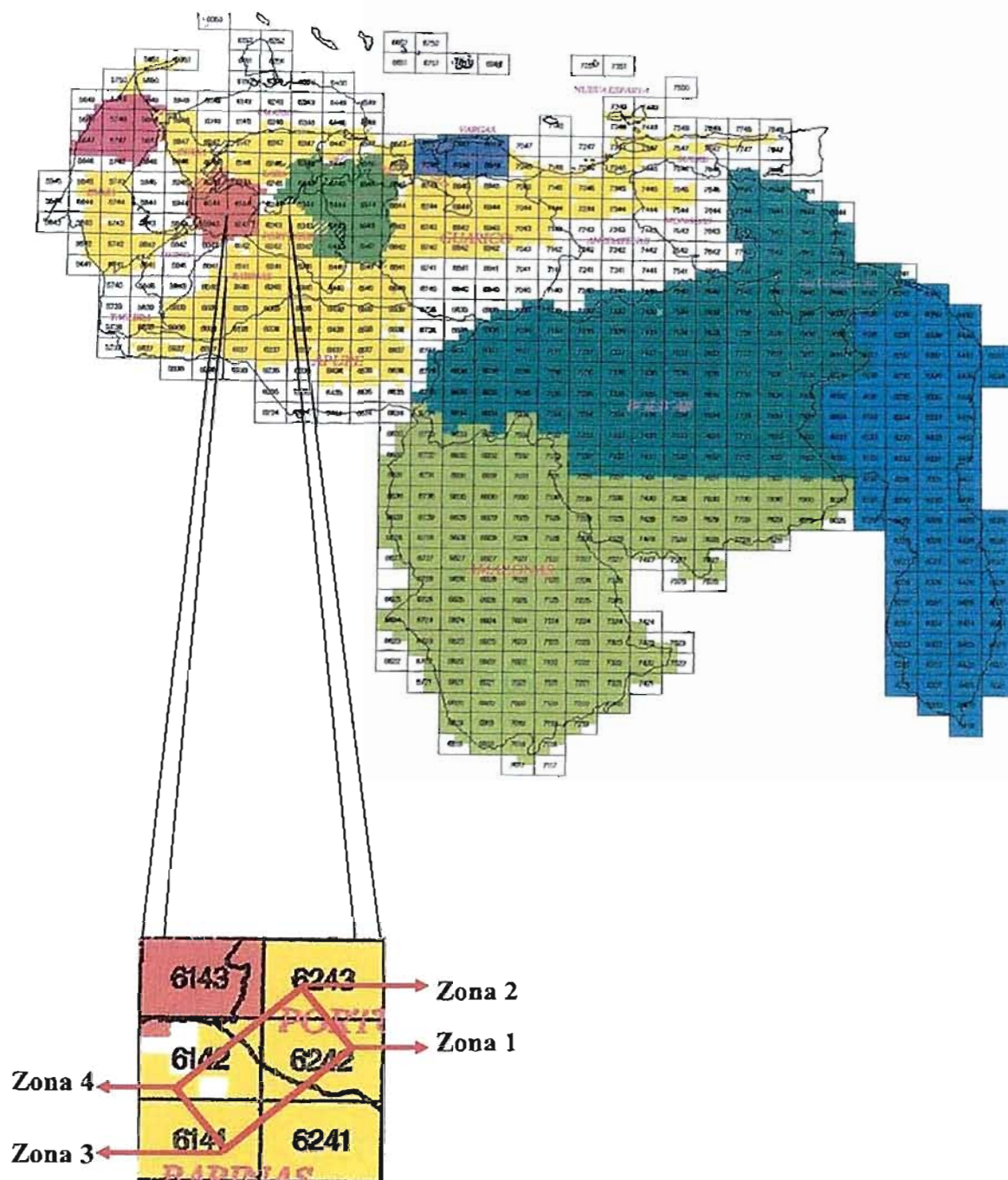


Figura II-1. Ubicación del área de estudio

2.1.2 Características Generales

2.1.2.1 Clima

El clima del piedemonte es de tipo llanero con solo un máximo lluvioso en junio - julio y con una estación seca de diciembre a marzo; el promedio anual de las precipitaciones es de 1400 a 1500 mm. en las estaciones ubicadas a lo largo de la carretera troncal 5. El promedio de la temperatura es de 24°C a 26°C. La humedad relativa en los meses de noviembre a abril es de 80% con una variación mensual promedio de 62% a 78%.

2.1.2.2 Vegetación

La vegetación climática típica de esta zona es el bosque seco tropical. El frente montañoso se caracteriza por una vegetación de tipo bosque mixto semi - caducifolio. A lo largo de la carretera Troncal 5, las napas aluviales levantadas por neotectónica tienen una rala vegetación de chaparral.

2.1.2.3 Suelos

Existe una gran complejidad en la distribución de los suelos, debido fundamentalmente a la mezcla de materiales de diferente naturaleza, tamaño y edad. Hacia el Norte de la Ciudad de Barinas, los suelos son más gravosos y arenosos, cuyos niveles de pH se inclinan más hacia la acidez; mientras que hacia el Sur, los suelos tienden a ser arenosos, disminuyendo progresivamente el tamaño de granos hacia limos y arcillas. El Estado Portuguesa cuenta con una gran extensión de tierras planas, con suelos de buena calidad y abundancia de recursos de agua. Presenta un importante potencial agrícola estimado en un 60% de su superficie. Existen 940.000 ha. de tierras con muy alto y moderado potencial en las planicies de los ríos, cuyas características agroclimáticas permiten el desarrollo, sin muchas limitaciones, de rubros como cereales, ganadería de leche y carne, caña de azúcar, frutales no cítricos, oleaginosas y fibras.

2.1.2.4 Relieve

La zona comprendida entre la ciudad de Guanare y la ciudad de Barinas constituye la parte del Piedemonte Suroriental de los Andes Venezolanos y las unidades existentes en la zona corresponden a tres paisajes geomorfológicos:

- El Paisaje o Zona Montañosa, conformada por el contacto entre la montaña y el piedemonte hallándose tres tipos de estructuras: la primera, entre el Río Santo Domingo y el Río Masparro, el frente montañoso forma el límite superior del piedemonte, este accidente tectónico es vertical con su lado noroeste levantado y su lado sureste deprimido; la segunda, entre el Río Masparro y el Río Guanare cuyo frente montañoso está constituido por una serie de relieves monoclinales, y la tercera, la falla de corrimiento de Suruguapo la cual continúa el límite del piedemonte sobre el Río Guanare.
- El Paisaje de Piedemonte, constituido por cuatro Sistemas de Relieves: el Sistema Estructural, los Relieves de Colinas erosionadas en las formaciones terciarias, los vallecitos aluvio - coluviales cuyas quebradas drenan a las colinas y las Napas aluviales Q₄ levantadas por neotectónica.
- El Paisaje de Valle intra - piedemontino, ubicado a lo largo de los cinco ríos (Ríos Guanare, Boconó, Tucupido, Masparro y la Yuca) que drenan perpendicularmente la faja alargada del Piedemonte. Forman unidades con una topografía plana muy diferente de la topografía de las colinas.

En general, las colinas o piedemonte, es la zona más fértil del estado Barinas y donde reside la mayoría de la población. Debido a la inclinación donde están situadas, estas tierras nunca llegan a anegarse con las crecidas de los ríos y por lo tanto son más aptas para la agricultura. Los llanos altos, están situados a una altura no mayor de 200 m. y tienen la ventaja de que no se abniegan sino en épocas de pluviosidad muy alta.

Los llanos bajos están ubicados a menos de 100 m., por lo que pasan la mayor parte del año bajo las aguas de los ríos que abundan en la región.

Por su parte, el Estado Portuguesa está ubicado en la zona de transición entre las últimas estribaciones de la Cordillera de Los Andes Venezolanos y la llanura. El 70% del Estado tiene una topografía plana ubicado entre los 70 y los 200 msnm, mientras que el resto tiene un relieve montañoso y alcanza los 1200 msnm.

2.1.2.5 Hidrografía

Los ríos más importantes de la región en estudio son: Santo Domingo, Caipe, La Yuca, Masparro, Boconó, Tucupido y Guanare.

La red hidrográfica del Estado Barinas da comienzos desde la cordillera de Los Andes como lo es el caso del Río Santo Domingo el cual es controlado por la presa “General José Antonio Páez, que produce millones de kilovatios anuales. Todos los ríos del Estado Barinas vierten sus aguas al Océano Atlántico a través del Río Apure, que a su vez lo hace en el Orinoco. El Río Santo Domingo, recorre 220 Km. y nace en la laguna de Mucubají, en el Páramo de Mucuchíes. El Masparro, que nace en el Páramo de Calderas y recorre 190 Km. antes de verter sus aguas en el Río Apure. El Boconó, con 182 km. nace en el estado Trujillo. Toda esta red es de gran importancia tanto por sus niveles de caudal como por su aprovechamiento, los cuales por medio de presas, se controla el agua con fines hidroeléctricos o de riego.

Los ríos mencionados, además del Río La Yuca, originan una planicie aluvial de pie de monte como ambiente fundamental de sedimentación, esto ha ocasionado la presencia en el subsuelo, no de cursos fósiles como podría imaginarse, sino de mantos clásticos relativamente continuos, extendidos a todo lo ancho y largo de la planicie, sin que se haya notado ningún cambio sustancial con la profundidad.

El Río Guanare nace en la Cordillera Andina. La cuenca alta, presenta mayor pendiente con muchos manantiales, muy permeable, donde gran parte de la precipitación infiltra y va a recargar el acuífero profundo. La cuenca media, de suelos poco profundos, con pendientes de fondo aún elevadas, con alta producción de sedimentos; y una zona de transición, antes de entrar a la planicie, en donde el valle del río se ensancha y tiene una muy alta permeabilidad lo que garantiza una muy buena recarga del acuífero superficial de la planicie.

2.1.3 Geología

2.1.3.1 Geología Regional

Durante el terciario se han depositado sedimentos marinos y continentales de facies mezcladas (intercalaciones de conglomerados, areniscas, limolitas y lutitas, tipo molasse), que se encuentran en la zona de pie de monte. Posteriormente a la sedimentación marinas de aguas profundas, tipo flysch, de la Formación Río Guache, que aflora en las primeras estribaciones andinas entre la cuenca del Río Tucupido y el Río Acarigua, se depositó una alternancia de areniscas, limolitas y lutitas atribuida al Eoceno Superior (Formación Pagüey).

Un periodo de orogénesis comenzó a fines del Eoceno y continuó durante todo el Terciario: el levantamiento de La Cordillera Andina tuvo como consecuencia amplios procesos erosivos en las vertientes. La litología de las formaciones que se depositaron en los flancos de la cordillera en vía de levantamiento y en la antefosa, ubicada en la zona actual del piedemonte y de los llanos altos, muestra los caracteres típicos de una sedimentación continental rítmica de gran espesor e importante contenido de conglomerados.

2.1.3.2 Evolución Geotectónica de la Cuenca Barinas-Apure

▪ Precámbrico

El basamento de la Cuenca Barinas-Apure está constituido por rocas de edad Precámbrica. Sin embargo, no es posible hacer una discriminación precisa de las unidades involucradas, debido a la escasa información disponible, muy pocos taladros han logrado alcanzar el basamento precámbrico y las descripciones son muy pobres.

▪ Paleozoico

Está caracterizado por una fase compresiva asociada a la acreción de Terrenos a Gondwana. Se evidencia por un cinturón de pliegues y corrimientos imbricados, con transporte hacia el Sur-Sureste. El cinturón se presenta peniplanado y fosilizado bajo la secuencia transgresiva mesozoica. En la sísmica se reconoce un terreno aparentemente ígneo-metamórfico (Terreno de Mérida), cabalgado hacia el Sur sobre una secuencia sedimentaria parauctótona, plegada e imbricada (Fm. Carrizal). El límite entre ambos terrenos (sutura) se encuentra entre las Fallas de Apure y Altamira (De Toni *et al.*, 1994).

Las rocas de edad Paleozoica encontradas en el subsuelo de la Cuenca Barinas-Apure son geológicamente de carácter autóctono. Por otra parte, en el subsuelo de la Cuenca Barinas-Apure se mencionan rocas de edad Carbonífero correspondientes al alóctono emplazado sobre el autóctono previamente fracturado. En esta cuenca, se ha interpretado en secciones sísmicas, una sucesión de aproximadamente 4500 m de espesor. Esta sucesión se caracteriza por reflectores paralelos relativamente continuos por debajo de la sección cretácica. Su tope corresponde a una discordancia regional, bien definida por truncaciones, mientras que su base es difícil de reconocer. La edad paleozoica es inferida sobre la base de correlaciones regionales y el modo estructural que afecta a la misma. Tal como se ha mencionado anteriormente, esta sucesión paleozoica estuvo sujeta a un fuerte evento compresivo que originó los plegamientos y corrimientos. Estas estructuras subsecuentemente fueron peneplanizadas y cubiertas

discordantemente por estratos mesozoicos. El modo estructural diferencia las rocas paleozoicas de las secuencias jurásicas.

- **Mesozoico - Cenozoico**

Los estratos depositados durante este intervalo de tiempo son el resultado de la fase de “*riff*” jurásico atribuida a la fragmentación de Pangea y a la fase de colisión cretácica-terciaria de las placas del Pacífico y Suramérica.

- **Mesozoico**

En el subsuelo de la Cuenca Barinas-Apure, es difícil identificar la sucesión mesozoica en secciones sísmicas sin un adecuado control de pozos. Sin embargo, al Suroeste de la cuenca, donde los afloramientos muestran un desarrollo significativo de la sucesión del Triásico-Jurásico, algunas líneas sísmicas muestran una secuencia de unos 3000 m de espesor por debajo del Cretácico. La base no es clara, pero el tope está expresado como una fuerte discordancia.

El modo estructural de estos intervalos, por lo general, está caracterizado por fallas normales que limitan pequeños “graben”, dentro los cuales se puede citar uno con una tendencia Noreste, conocido como Apure-Mantecal (Figura II-2). Este “graben” fue rellenado durante el Jurásico por sedimentos continentales tipo “capas rojas”, volcánicas de diversa índole y eventualmente clásticos y calizas de invasiones marinas.

Al comienzo del Cretácico, una transgresión marina inundó el Escudo de Guayana. El esporádico material volcánico encontrado en la Formación La Luna sugiere la presencia de un arco volcánico hacia el Oeste del occidente de Venezuela, lo cual implica la subducción de la placa del Pacífico (Parnaud *et al.*, 1995). Las diferentes relaciones geotectónicas asociadas sugieren que los estratos del Cretácico fueron depositados en un escenario de margen pasivo. La fase de margen pasivo culminó con

la colisión del arco del Pacífico y la placa de Suramérica y a su vez por la subsidencia flexural de las cuencas de antepaís.

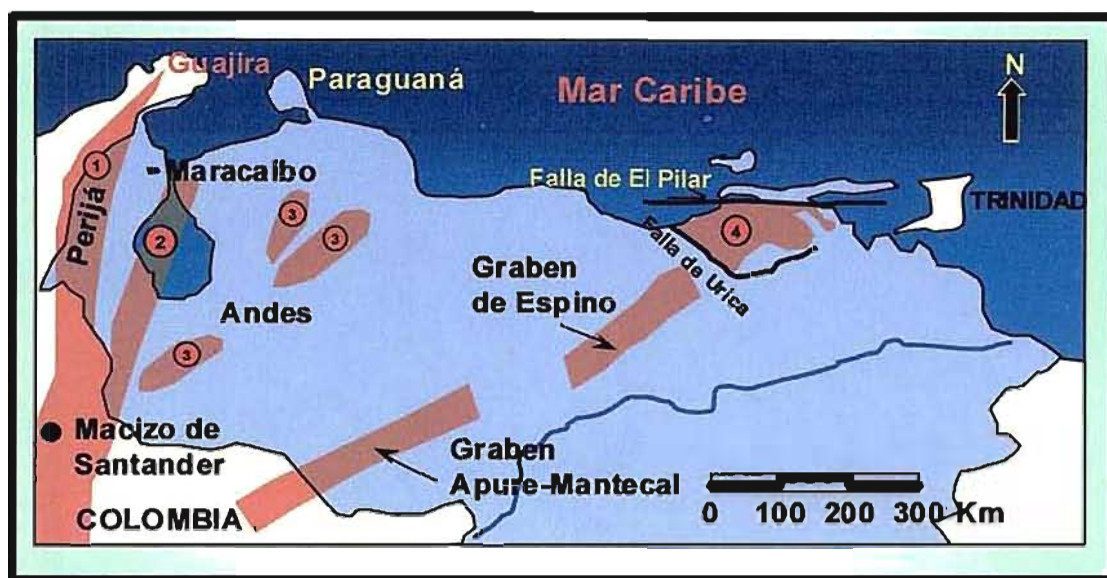


Figura II-2. Distribución de las rocas jurásicas en Venezuela, mostrando que las mismas se encuentran aflorando en la Sierra de Perijá (1), como parte del basamento en el subsuelo de la Cuenca de Maracaibo (2), en Los Andes (3), en el subsuelo de las cuencas Barinas-Apure y Oriental (grabenos de Apure-Mantecal y Espino) y han sido interpretadas como involucradas en profundidad en los corrimientos de la Serranía del Interior (4). Tomado de Bartok (1993), Passalacqua *et al.*, (1995) y Lugo y Mann (1995)

Durante el Albiense tuvo lugar una gran inundación marina invadiendo el Occidente de Venezuela desde la Sierra de Perijá hasta el límite Suroriental de la Cuenca Barinas-Apure y hacia el Escudo de Guayana.

En secciones sísmicas de Barinas, la identificación de los estratos correspondientes al Albiense-Cenomaniense Temprano es generalmente tenue. Sin embargo, hay algunos solapamientos de un cortejo transgresivo (Formación Aguardiente) y biselamiento basal local de un cortejo de nivel alto (Miembro R de la Formación Escandalosa) asociado con una discordancia de ligero buzamiento en su tope (Figura II-3)

SISTEMA	SERIES	UNIDAD LITOSTRATIGRÁFICA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	EVENTO GEOTECTÓNICO ASOCIADO
CUATERNARIO	GUANAPA	GUANAPA	Gravas, arenas, limos y arcillas.	Cuenca de colisión. La deformación producida por la orogénesis andina origina la partición o aislamiento de las cuencas de Barinas-Apura y Lago de Maracaibo.
		RÍO YUCA	Conglomerado, areniscas y lutitas.	Todas las unidades que conforman esta sucesión están constituidas por depósitos molásicos cuyo aporte principal se ubicaba en la cordillera de los Andes de Mérida.
		PARÁNGULA	Conglomerado de grano grueso, areniscas de grano fino, limolitas y lodolitas abigarradas.	
		GUARITA	Lutitas, limolitas y areniscas.	Cuenca de colisión. Intervalo depositado bajo condiciones marinas producto de una amplia inundación que afectó la mayor parte del sureste de Venezuela.
NEÓGENO	MIOCENO			
PALEÓGENO	OLIGOCENO			
PALEÓGENO	EOCENO			
PALEÓGENO	PALEOCENO			
CRETÁCICO	SUPERIOR			
CRETÁCICO	INFERIOR			

Figura II-3. Evolución Geotectónica de la Subcuenca de Barinas

En el Cenomaniense Tardío-Campaniense Temprano, el hundimiento de la cuenca de antepaís resultó en una transgresión episódica. Las secuencias depositadas durante este intervalo en la Cuenca Barinas-Apure corresponden a las formaciones Escandalosa (miembros P y O, Renz; 1959) y Navay (miembros La Morita y Quevedo; Kehrler, 1938; Renz, 1959).

En el Cretácico Tardío, se marcó una nueva fase en la evolución tectónica en el Occidente de Venezuela, causada por la colisión del arco volcánico del Pacífico y la Placa de Suramérica. Esta colisión transformó el margen pasivo a un cinturón activo, creando una cuenca de antepaís con un alto periférico asociado en el área de Barinas.

Al comienzo del Cretácico Tardío comenzó una regresión, forzada por el alto periférico, donde se depositaron las facies arenosas de línea de costa de la Formación Burgüita (Renz, 1959)

- **Cenozoico**

Hacia el Cretácico Tardío-Paleoceno ocurre la acreción de la Cordillera Occidental Colombiana y la orogénesis de la Cordillera Central. En Barinas, este evento se manifiesta por una tectónica compresiva de basamento, de poco relieve estructural y con orientación predominantemente Noroeste-Sureste.

Durante el Eoceno Medio, el aumento de la carga originada por las napas de Lara resultó en la subsidencia flexural e inundación marina de la plataforma de la Cuenca Barinas-Apure. La sedimentación de las areniscas basales de la Formación Gobernador fue seguida por la depositación de las lutitas de agua profunda de la Formación Pagüey (Pierce, 1960).

Después de la progradación de nivel alto de los sedimentos deltáicos de la Formación Cobre en la parte meridional de la Cuenca Barinas-Apure, se desarrolló un nuevo ciclo transgresivo. Estas “Areniscas Guanarito” están mal definidas, pero pudieran interpretarse de mejor manera a partir del estudio de la Formación Pagüey, relacionada con las mismas.

En el área de Barinas, al final del Eoceno persistió la circulación marina, depositándose los sedimentos marino abierto del Miembro Arauca de la Formación Guafita (Ortega *et al.*, 1987). El desplazamiento de las napas hacia el Sur y la consecuente migración del frente de deformación originaron pliegues con vergencia hacia el Sur-Sureste asociados a corrimientos con despegues intra-Pagüey. En el Oligoceno Tardío-Mioceno Temprano durante una amplia inundación marina, en la Cuenca Barinas-Apure se depositó el Miembro Guardulio de la Formación Guafita.

Durante el Mioceno Medio, se inició en el Macizo de Santander, Sierra de Perijá y Andes de Mérida un tectonismo compresional a gran escala. La orogénesis de Los Andes de Mérida finalizó en el Plio-Pleistoceno. El evento de construcción de montañas terminó aislando completamente las cuencas de Maracaibo y Barinas-Apure. En esta última, el rápido levantamiento originó la sedimentación molásica de las formaciones Parángula y Río Yuca (Mackenzie, 1937) (Figura II-4)

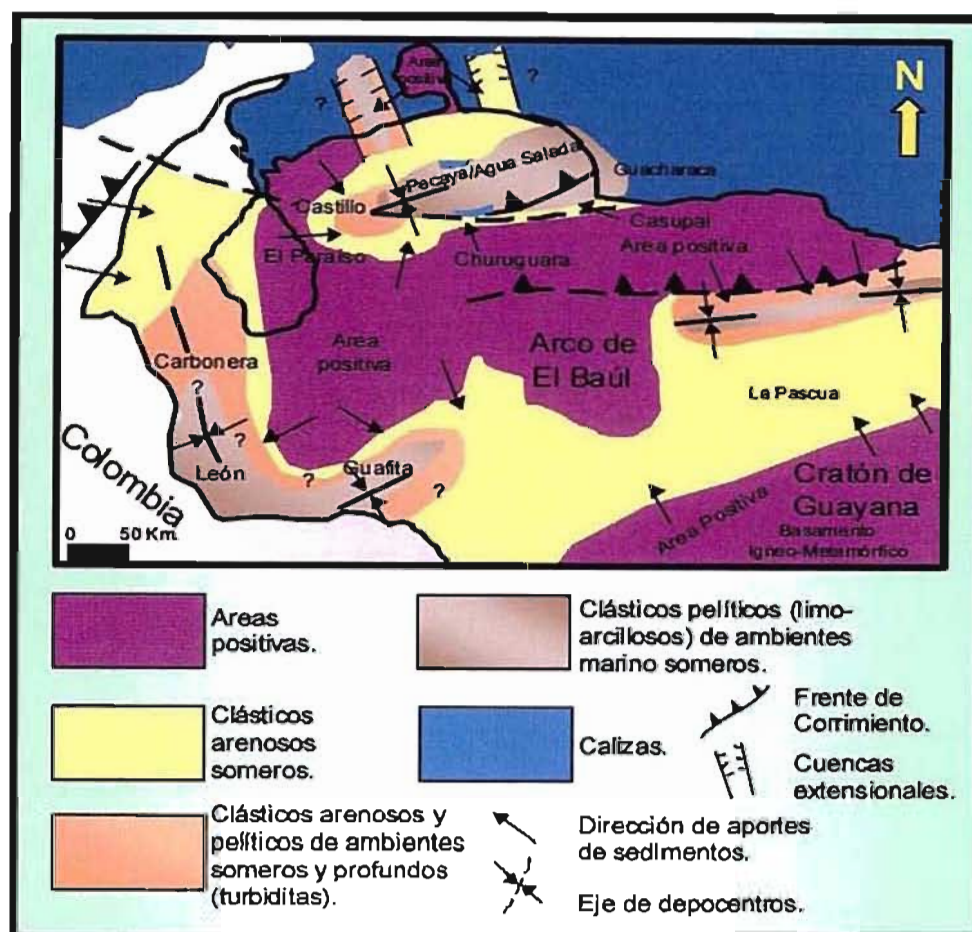


Figura II-4. Marco geológico regional para la sedimentación en Venezuela Occidental durante el Oligoceno. Los mayores depocentros se concentraron hacia los estados Táchira (Fm. León), Falcón (Fms. Pecaya y Agua Salada) y Guárico (Fm. Roblecito). Tomado del WEC, 1997.

2.1.3.3 Estratigrafía

Síntesis Estratigráfica de la Cuenca Barinas - Apure

La secuencia estratigráfica de la Cuenca Barinas-Apure es notablemente sencilla (Figura II-5), y en líneas generales es posible la definición de un perfil litológico, cuya base es precretácico consistente en rocas ígneas y metamórficas correlacionables a las aflorantes en la zona de Los Andes y del Macizo de El Baúl. Reconocido por perforaciones petroleras existentes, el basamento consiste predominantemente de

granito feldespático alterado; suprayacente a este se encuentra los estratos cretáceos con una gran variabilidad en su espesor; esta situación implica profunda erosión del Cretáceo el cual infrayace discordantemente a la Formación Gobernador del Eoceno Medio.

Los estratos cretáceos corresponden a las formaciones denominadas informales Fortuna y Esperanza; la primera se ha dividido en una sucesión que abarca los periodos Barremiense-Turonense (Cretácico Temprano), en dicha sucesión se han identificado en orden ascendente las formaciones Río Negro, Aguardiente y Escandalosa. Por otro lado, la Formación Esperanza se ha dividido en las formaciones Navay (con sus miembros La Morita y Quevedo) y Burgüita (Figura II-5).

La Formación Río Negro está constituida esencialmente por conglomerados, seguida por la Formación Aguardiente con intercalaciones de areniscas calcáreas, lutitas fosilíferas y calizas. La Formación Escandalosa ha sido subdividida basándose en variaciones litológicas y de ambiente en siete miembros identificados como: S, R3, R2, R1, P2, P1 y O correspondientes a lutitas oscuras fosilíferas, areniscas calcáreas, areniscas finas a gruesas, areniscas calcáreas glauconíticas y calizas dolomíticas intercaladas con areniscas calcáreas, correspondientes a un ambiente deltaico a marino de plataforma restringida.

Los miembros S, R y P-1/2 fueron depositados durante un segundo ciclo sedimentario de un total de cinco que han sido identificados en esta cuenca, correspondiente a una fase transgresiva cuyo asiento se ha identificado en el miembro R, constituido por intercalaciones de areniscas calcáreas en su tope y base haciéndose cuarzosa en su perfil intermedio donde se intercalan con limolitas y lutitas oscuras fosilíferas con pirita y carbón, seguido por los miembros P-1/2 considerados los principales productores de hidrocarburos de la cuenca, compuestas de areniscas de grano fino, intercaladas con capas lutíticas medias, piriticas, material carbonáceo, localmente

glauconíticas y con estratificación cruzada, indicativo de ambiente marino, intercaladas con lutitas arenosas y piríticas, con abundantes restos de plantas lignitificadas y algunos intervalos de limolitas compactas. Ahora bien, en algunos sectores, las arenas P-1/2 están separadas por un intervalo lutítico delgado, el cual tiende a desaparecer lo que hace que no sea posible diferenciarlos.

La litología del Miembro La Morita consiste en lutitas grises oscuras y calcáreas. Por otra parte, el Miembro Quevedo presenta intercalaciones de areniscas finas, calcáreas, glauconíticas, lutitas negras, capas delgadas de fanitas y sedimentos fosfáticos con abundantes restos de peces. La Formación Burgulita se compone de areniscas finas a muy finas intercaladas con lutitas oscuras.

El período del Eoceno está representado por las formaciones Gobernador y Pagüey. Los estratos correspondientes al Mioceno han sido identificados como Parángula, y los del Plioceno como Río Yuca. Por último, el tope de la columna estratigráfica consiste en aluviones recientes concernientes a la Formación Guanapa.

La litología predominante de la Formación Gobernador es de areniscas gruesas, finas a conglomeráticas con intercalaciones de lutitas delgadas, calcáreas, fosilíferas y calizas arenosas. La Formación Pagüey se compone de lutitas grises con intercalaciones menores de areniscas. La Formación Parángula y Río Yuca se componen predominantemente de limolitas, areniscas, con intercalaciones de conglomerados.

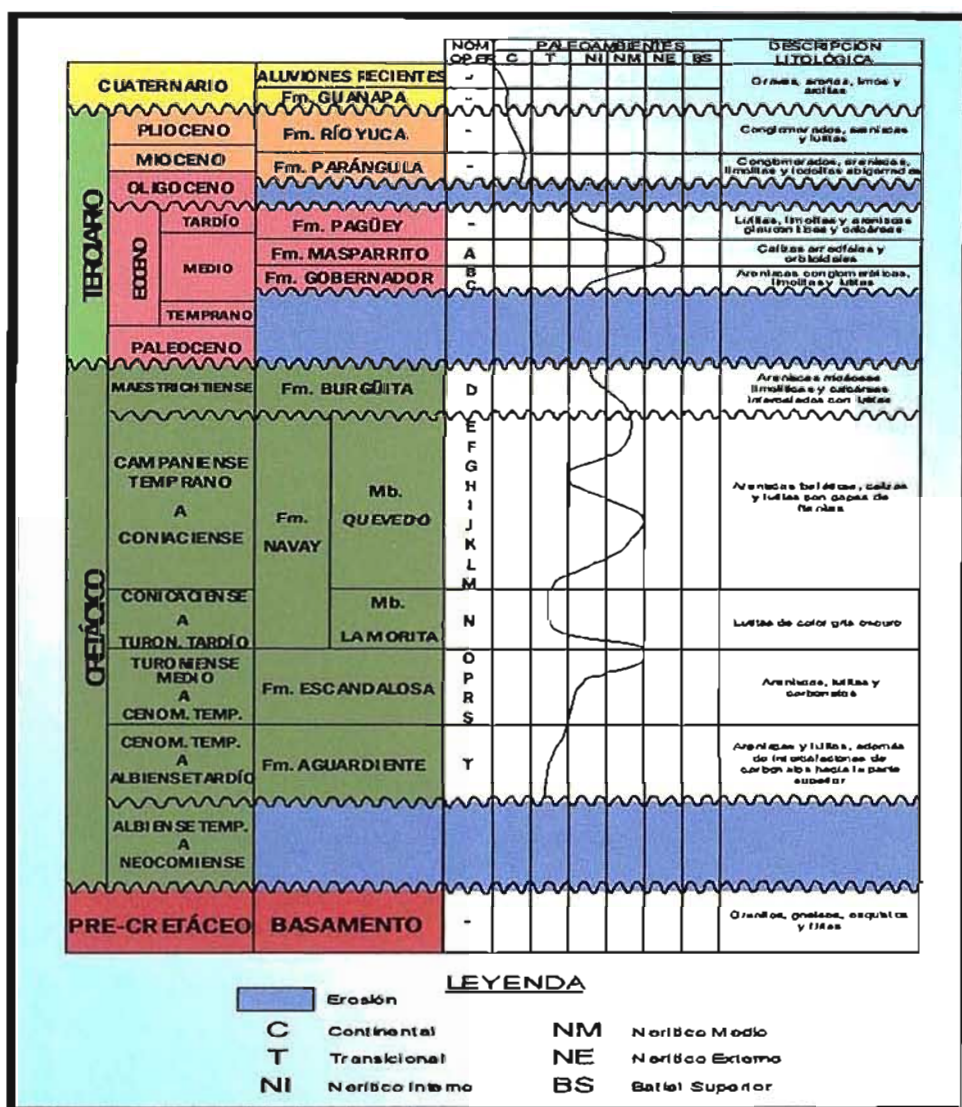


Figura II-5. Columna Estratigráfica Generalizada del Subsuelo de la Subcuenca de Barinas.

Reseña Sedimentaria de la Cuenca Barinas – Apure

El ambiente de sedimentación de la cuenca fue el producto de la evolución tectónica durante el Cretácico y Eoceno de un sistema deltaico complejo, posteriormente en el Eoceno Medio se pasa a ambientes más marinos. La sedimentación quedó interrumpida por períodos de erosión en el Eoceno Tardío y Oligoceno Temprano. En el Mioceno, durante una intensa fase de subsidencia contemporánea al levantamiento de Los Andes se instauró una sedimentación continental de relleno de cuenca.

Los miembros basales de la Formación Escandalosa del Cretáceo (R1, R2, R3 y S) se componen de areniscas finas con porosidades bajas, del orden de 12.8%, y permeabilidades en el rango de 20 a 80 milidarcys, intercaladas con capas delgadas de lutitas negras, piríticas y capas de sedimentos carbonáceos. Estudios hechos sobre estas rocas demuestran que han sido depositadas en ambientes marinos de baja energía. El ambiente de sedimentación general de los miembros P-1/2 es típicamente epinerítico, con una extensa distribución dentro de la cuenca. En la dirección Norte-Noreste (N-NE) los sedimentos se hacen más marinos con la presencia de glauconitas; las areniscas finas a gruesas de los miembros P-1/2 indican variaciones en la energía. La facies arenosas lutíticas de estos miembros corresponden a un ambiente deltaico a frente deltaico.

Al final del Cretácico ocurre una regresión general hacia el Norte, y se produce una emergencia casi total de la cuenca, lo que produjo tanto intensa como extensa erosión. La Formación Gobernador se depositó en un ambiente marino de poca profundidad como producto de la transgresión generalizada sobre toda la cuenca en el Eoceno Medio. La transgresión continúa con la sedimentación de la Formación Masparrito y en facies marinas más profundas la Formación Pagüey. Finalmente, la Formación Parángula y Río Yuca pertenecen a un ambiente continental.

Cretácico

Esta secuencia suprayace al basamento precretáceo, teniendo como contacto una gran discordancia, e infrayace también discordantemente a sedimentos del Eoceno Medio a Tardío. La sección está conformada en la subcuenca de Barinas por las formaciones que en orden ascendente son: Aguardiente, Escandalosa, Navay (Miembro La Morita y Quevedo) y Burgüita.

Formación Aguardiente - (Albiense)

Nombre sugerido originalmente por F. B. Notestein, C. W. Hubman y J. W. Bowler (1944). Su localidad tipo se encuentra ubicada en la Fila de Aguardiente, al Sur de la Concesión Barco, Departamento Santander, Colombia. Está constituida por areniscas calcáreas duras, de color gris a verde claro, grano variable, con estratificación cruzada, localmente glauconíticas, con intercalaciones de limolitas y lutitas micáceas y carbonáceas y algunos lechos de caliza en la parte inferior. Según diferentes autores, dependiendo de la ubicación de los afloramientos, su espesor oscila entre los 150 y 500 m.

La Formación Aguardiente se extiende desde Zulia Suroccidental y partes adyacentes de Colombia hasta la Cordillera de Los Andes entre Táchira y Lara (Figura II-6).

Su contacto inferior es generalmente concordante y diacrónico sobre la Formación Apón; sin embargo, cerca de los núcleos andinos, descansa sobre la Formación Río Negro, y a su vez es transgresivo sobre las formaciones La Quinta, Mucuchachí y el Grupo Iglesias. El contacto superior con la Formación Maraca es concordante y transicional. El índice bioestratigráfico más importante es *Orbitolina cóncava var texana*.

El ambiente depositacional más ampliamente aceptado para la Formación Aguardiente es de plataforma interna con algunas interdigitaciones de línea de costa hacia la parte más proximal.

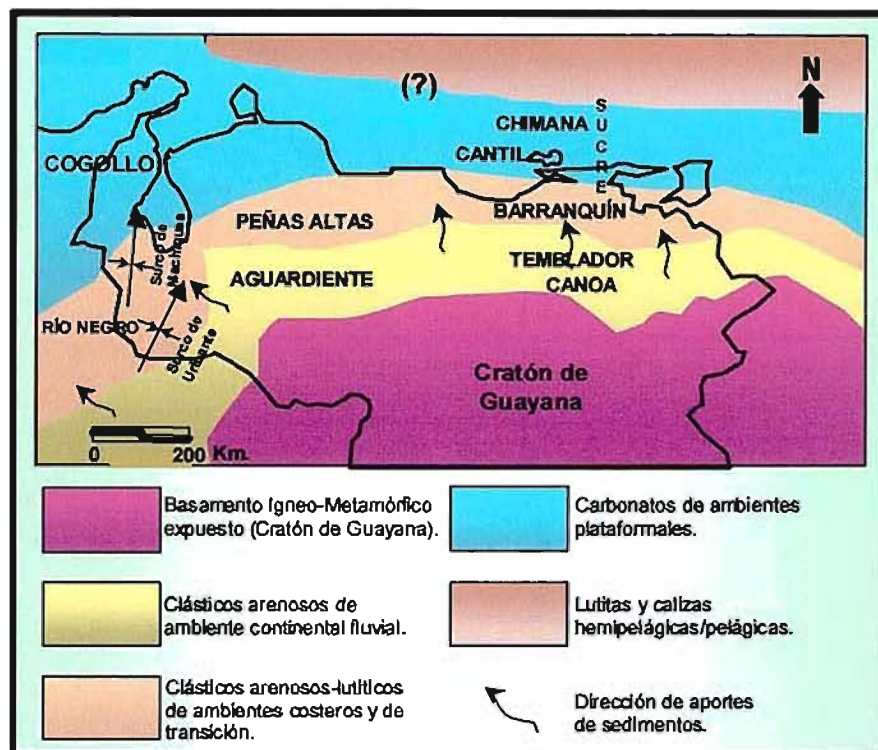


Figura II-6. Distribución de facies sedimentarias dominantes durante el Neocomiense - Albiense (Cretácico Temprano) al Norte del Cratón de Guayana. Tomado del WEC, 1997.

Formación Escandalosa - (Cenomaniense - Turoniense):

Referencia original de O. Renz, 1959. Su localidad tipo se encuentra en la Quebrada Escandalosa, tributaria del Río Doradas en Táchira Suroriental. La formación está compuesta por areniscas macizas, cuarzosas, muy glauconíticas, de color gris a marrón claro y verdoso, de grano fino a medio, bien escogido, micáceo y carbonáceas. Se presentan en capas delgadas a masivas, con estratificación cruzada en las capas más gruesas, con cantidades menores de lutitas oscuras, calcáreas y

carbonosas, algo arenosas. El espesor en la sección tipo es de 300 m, y de 150-427 m en otras localidades. La formación aflora a lo largo de la región piemontina de los andes Surorientales y se reconoce en el subsuelo de la Cuenca de Barinas-Apure (Figura II-7).

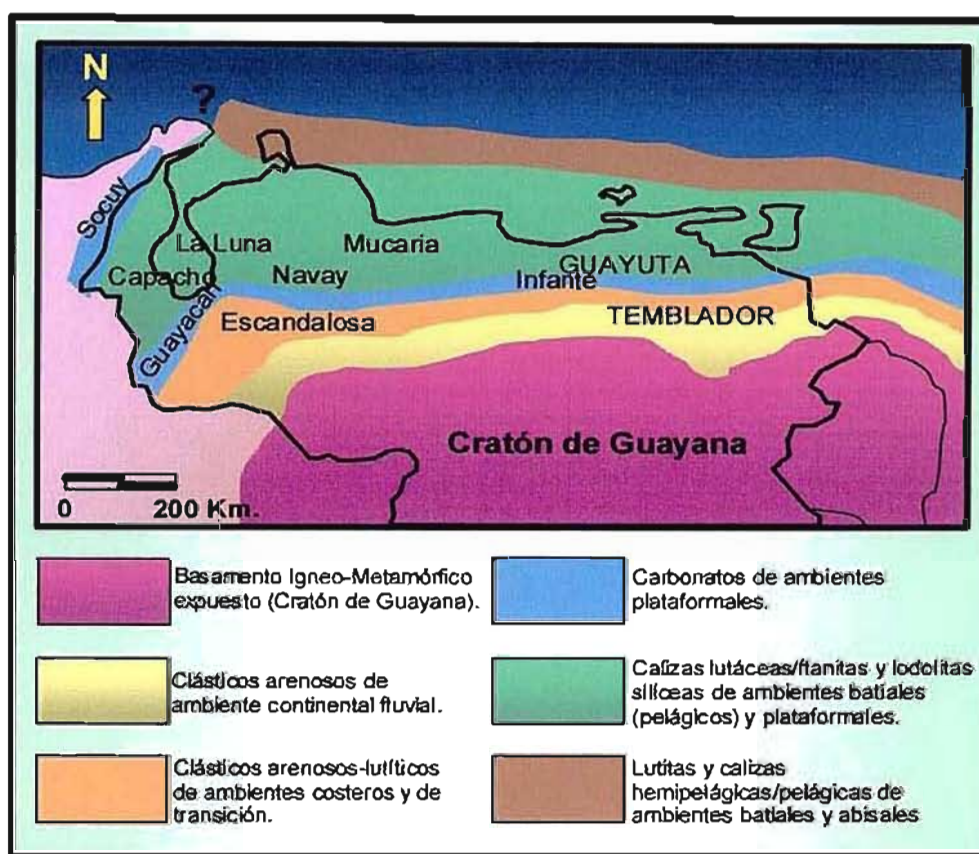


Figura II-7. Distribución de facies sedimentarias dominantes durante el Cenomaniense-Campaniense (Cretácico Tardío) al Norte del Cratón de Guayana. Tomado del WEC, 1997.

El contacto inferior con la Formación Aguardiente es concordante. De igual manera, el contacto superior es concordante con la Caliza Guayacán y las lutitas del Miembro La Morita de la Formación Navay (Kiser, 1997). La macro y microfauna fósil están representadas por diversos ejemplares de moluscos, dinoflagelados y foraminíferos, incluyendo algunos restos de peces.

La Formación Escandalosa representa una facies principalmente nerítica, variando desde litoral al Sur, hacia nerítica externa al Norte.

Formación Navay - (Coniaciense - Maestrichtiense):

Referencia original de L. Kehrér, 1938-a. La localidad tipo yace en las riberas del Río Navay, al Norte de la población de San Joaquín de Navay, Estado Táchira. No han sido publicadas descripciones formales de la sección tipo de la Formación. Pierce (1960), describe en la localidad tipo lutitas silíceas, friables o no, blandas, duras, quebradizas, amarillo claro a crema y a blanco; lutitas muy porosas, pardo claro a gris claro, y algunas ftanitas no porosas, lenticulares, pardo claro, y lutitas calcáreas, carbonáticas, gris a gris oscuro. Como constituyentes menores de la formación, se presentan areniscas lenticulares de grano angular, calcáreas a silíceas, pardo claro a gris claro. Debido a su heterogeneidad, esta formación ha sido dividida, en orden ascendente, en la lutita "N" (Miembro La Morita") y "M" al "I" (Miembro Quevedo).

En la localidad tipo, el espesor es de 940 m (Pierce, 1960), y de 610 m en el área de Burgua (Kiser, 1988). Tiende a aumentar rápidamente hacia el Surco de Uribante, y se acuña hacia el Sur de Apure y los llanos colombianos (Kiser, *op. cit.*), así como localmente sobre el Arco de Mérida. La Formación Navay aflora en la región Nororiental de Los Andes (Renz, 1959) y posee extensión regional en el subsuelo de la Cuenca de Barinas (Feo-Codecido, 1972). En el piedemonte del flanco Surandino, la facies Navay está presente entre el Río Socopó y el Río Doradas.

Según Kehrér (1938-a, b), las facies Navay guardan relación transicional con las facies infra y suprayacentes. El miembro inferior La Morita, se intercala concordantemente entre la Formación Escandalosa infrayacente y el Miembro Quevedo o la Formación La Luna al Sur de Los Andes de Mérida, ambas unidades suprayacentes. Con respecto al contenido fosilífero, Pierce (1960), menciona la presencia de abundantes restos de peces, ostrácodos y radiolarios. Pierce y Wells

(1956), mencionan el hallazgo de huesos de grandes reptiles marinos (mosasaurios), así como amonites, crustáceos y foraminíferos planctónicos. También se señalan algunos dinoflagelados.

Feo-Codecido (1972), afirma que el Miembro La Morita es de ambiente marino moderadamente profundo, haciéndose más somero hacia el flanco Suroriental. Kiser (1988) menciona que la presencia de radiolarios, en este mismo miembro, sugiere profundidades mayores de 300 m. De acuerdo a Sánchez y Lorente (1977), el Miembro Quevedo se depositó a lo largo de una línea de costa, con numerosas desembocaduras de ríos que formaban estuarios de aguas salobres y bien oxigenadas entre el límite de baja marea y la región litoral.

Formación Burgüita - (Santoniense - Maestrichtiense):

Término propuesto por O. Renz, 1959. Este mismo autor, designó al pozo Burgúa-3, Estado Apure, como holoestratotipo para la unidad. El nombre proviene del Río Burgüita, en las cercanías del pozo. Renz (*op. cit.*) designó como sección de referencia, a la expuesta en el Río Mucupatí, estado Barinas.

En cuanto a su contenido litológico, Renz (1959) describe areniscas micáceas, limolíticas, algo glauconíticas y frecuentemente calcáreas, friables, de grano fino y color gris claro, con fragmentos faníticos e interlaminaciones de lutitas gris oscuro y arcilitas de color gris claro. Incluye la presencia de una caliza conchífera en la base. En el área de Burgúa (Kiser, 1989), la formación se inicia con un paquete de areniscas, calizas y lutitas. Suprayacente a este paquete, predominan las lutitas que gradan a limolitas y arcillas, con intercalaciones de caliza glauconíticas y areniscas similares a las basales. La parte superior se compone de areniscas calcáreas, lutitas con concreciones y nódulos de arcilita siderítica, y calizas arenosas (Kiser, *op. cit.*).

En la sección tipo y sección de referencia, los espesores son de 420 m y 350 m, respectivamente (Renz, 1959). Feo-Codecido (1972) menciona que en el subsuelo tiene un espesor variable entre 0 y 177 m con un promedio de 73 m. Kiser (1989) menciona un espesor mínimo de 10 m área de Burgúa.

Según Renz (1959), la Formación Burgüita afloran en el piedemonte Sur de Los Andes venezolanos (Figura II-8), entre San Antonio de Caparo y el Río Capitanejo. En el subsuelo (Feo-Codecido, 1972) se extiende en la Cuenca de Barinas, y parte norte de la Cuenca de Apure-Los Llanos (Kiser, 1989).

El contacto superior de la Formación Burgüita (Kiser, 1989) es una discordancia angular en toda el área donde esta unidad se extiende, con la posible excepción del área de Burgúa, donde sus relaciones con el Paleoceno requieren más estudio. El contacto inferior con la Miembro Quevedo se considera discordante en el subsuelo de Barinas, aunque Renz (op. cit.) afirma lo contrario. En la sección tipo del pozo Burgúa-3 (Renz, *op. cit.*), menciona foraminíferos bentónicos, así como restos de peces en varios intervalos. Monroy y Arnstein (en Kiser, 1989) identificaron palinomorfos en el pozo La Ceiba-1X. Monroy y Van Erve (en Kiser, 1989) también identificaron palinomorfos en el pozo SMW-13.

Feo-Codecido (1972) menciona que la formación es de origen epinerítico. Kiser (1980) señala, asimismo, que el ambiente es nerítico, cerca de la playa, con períodos más marinos. Las areniscas masivas representan barras, e incluso canales en llanuras intramareales.

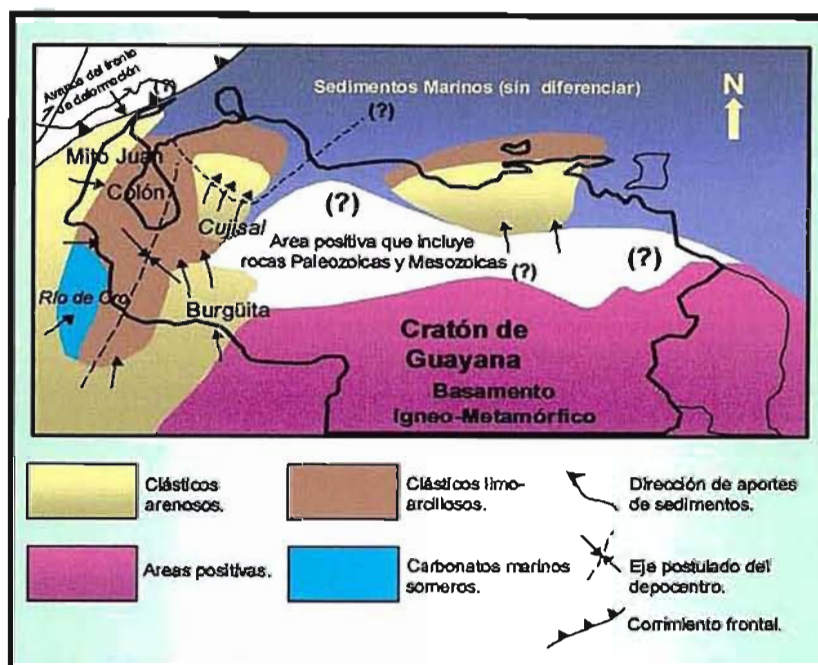


Figura II-8. Distribución de facies sedimentarias durante el Maestrichtiense (Cretácico Tardío) al Norte del Cratón de Guayana. Se indican unidades típicas de dichas asociaciones de facies. Nótese que el eje del depocentro de Venezuela Occidental se alinea subparalelamente al frente de la deformación al Oeste de Venezuela, el cual es una consecuencia de la colisión entre las placas de Nazca v Suramérica. Tomado del WEC. 1997.

Terciario

Por encima de la secuencia cretácea y en contacto discordante se presenta en la subcuenca de Barinas una sección sedimentaria del Eoceno Medio –Tardío, representada por las formaciones: Gobernador, Masparrito y Pagüey.

Formación Gobernador - (Eoceno Medio):

Nombre propuesto originalmente por G. R. Pierce (1960), para la sección tipo en el cerro El Gobernador, al Oeste del Río Calderas, estado Barinas. Von Der Osten (1966) designó al pozo Sinco-4, como la sección tipo del Campo Sinco, en Barinas. Schubert (1968) menciona buenas secciones en el río Santo Domingo y las quebradas Bellaca y Arandia. Kiser (1989) se refiere a la excelente sección del Río Bumbúm. En general, la formación está constituida en su mayor parte por areniscas cuarzosas, friables a bien duras, color gris claro a pardo, localmente conglomeráticas, en capas de espesor medio a grueso, y con estratificación cruzada. En menor cantidad ocurren intercalaciones de limolitas en colores claros, y laminaciones lutíticas carbonáceas gris oscuro a gris azulado.

El espesor de la Formación Gobernador puede variar desde 100 m en el cerro Azul hasta 450 m en el Río Boconó (Pierce *op. cit.*). Se adelgaza ligeramente sobre el Arco de Mérida, y aumenta nuevamente hacia el Suroeste, hasta confundirse con la Formación Cobre. Según Kiser (*op. cit.*), la Formación Gobernador aflora esporádicamente a lo largo del piedemonte andino (Figura II-7), desde el Río Boconó hasta el Río Acequia, y ha sido penetrada en casi todos los pozos de la parte Central y Noreste de la Cuenca de Barinas. No está presente en las áreas de Burgúa, Cutufito y Guafita.

La Formación Gobernador descansa discordantemente sobre el Cretáceo. El contacto superior con la Formación Masparrito es normal y transicional; en ausencia de la Formación Masparrito, el contacto con la Formación Pagüey es transicional. Hacia el suroeste del área Lechozote-Calzada, las areniscas de Gobernador se confunden con las areniscas masivas de la Formación Cobre. Por otra parte, en lo referente a su contenido fósil, se menciona gran abundancia, especialmente de foraminíferos de diversas especies.

Durante el Eoceno Medio, el aumento de la carga originada por las napas de Lara resultó en la subsidencia flexural e inundación marina de la plataforma de la Cuenca Barinas-Apure. La sedimentación de las areniscas basales de la Formación Gobernador fue seguida por la deposición de las lutitas de agua profunda de la Formación Pagüey (Pierce, 1960) (Figura II-9).

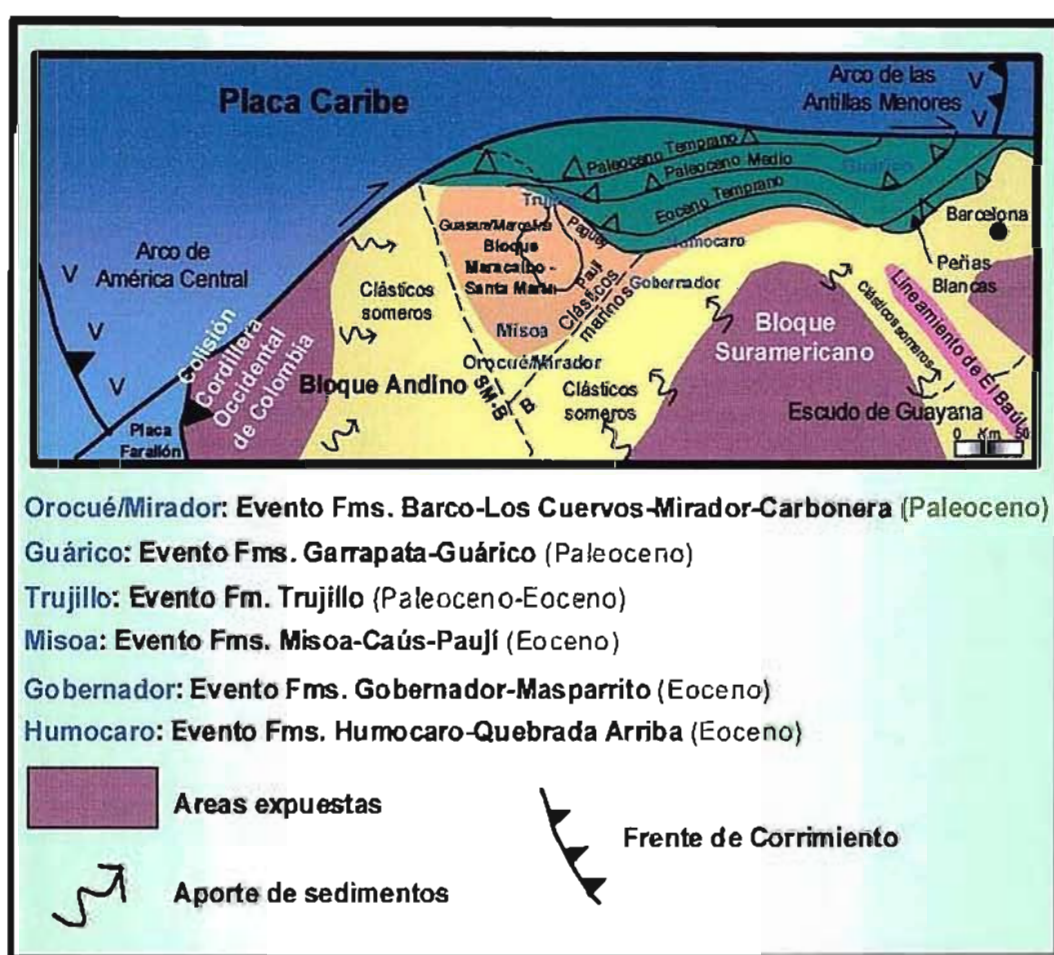


Figura II-9. Migración del Frente de Deformación del Caribe hacia el Este-Suroeste (E-SO) en Venezuela Occidental y sedimentación epi/perisutural asociada durante el Paleoceno-Eoceno. Los límites entre el Bloque Andino y el Suramericano se encontraban aproximadamente donde actualmente se encuentran los sistemas de fallas de Santa Marta-Bucaramanga (SM-B) y Boconó (B). Tomado del WEC, 1997.

Pierce (*op. cit.*) considera que Gobernador fue depositada en aguas salobres, cercanas a la playa, y Von Der Osten (*op. cit.*) la describe como los sedimentos basales de la transgresión eocena que traslapan estratos más antiguos. González de Juana *et al.* (1980) la califican como de ambiente litoral transgresivo. Kiser (*op. cit.*) describe a la formación como clásticos basales de la transgresión marina en aguas salobres y someras; cerca de la playa, en la zona de inundación de mareas, predominan las barras playeras, intercaladas con breves períodos de laguna o pantano; hacia el Sur, se hace más continental, llegando al ambiente de llanura deltaica.

La presencia de *Haplophagmoides sp.* y *Amphistegina sp.*, sugiere un ambiente de plataforma interna a costero; en algunas muestras se han identificado a *Nummulites spp.*, *Ammobaculites spp.* y *Bathysiphon sp.*, que indican un ambiente de talud superior a medio, con fuerte influencia de plataforma (Osuna 1994).

Formación Pagüey - (Eoceno Medio):

Nombre introducido por primera vez por Pierce (1960). Este autor nombró al curso medio del Río Pagüey, estado Barinas, como sección tipo. Sin embargo, Fierro (1977) propuso la secuencia de la Quebrada Bellaca como sección tipo. Su litología se distingue, tanto en el subsuelo como en la superficie, por la predominancia de lutitas marinas grises a negras, duras, astillosas, bien laminadas, muy foraminíferas y con niveles comunes de nódulos sideríticos e, incluso, fanáticas. En el subsuelo (Von Der Osten, 1966), la parte inferior consiste en una secuencia cíclica de lutitas que gradan hacia arriba a limolitas y areniscas de grano fino. En superficie, Pierce (1960), observa areniscas grises claras a grises azuladas, en capas delgadas a medianas, de grano fino a medio, lutíticas, macizas y limolitas y lutitas en estratos irregulares. Por otra parte, Aguasuelos (1990, en Kiser, 1997) separan la formación, en orden ascendente, en tres miembros: Arandia, La California e Higueros.

Pierce (1960) midió un espesor máximo (no fallado) de 1913 m en la sección tipo. Von Der Osten (1966) encontró 350-445 m en el Campo Sinco. Aguasuelos (1990) estimó 2200 m para Pagüey en el área Calderas-Altamira-Río Yuca. Pagüey está presente en el subsuelo del estado Portuguesa desde su interdigitación con la Formación Cobre hasta el Arco El Baúl y el pozo Guarumen-1S, y desde el área de los pozos Nutrias hasta el frente Surandino. En superficie, ha sido cartografiada en la gran cuña terciaria plegada y fallada desde el Río Bumbúm hasta las cercanías de Guanare, y desde el frente de montaña hasta la Falla Soledad - Yacambú. El contacto inferior con el Miembro Masparrito de la Formación Gobernador es concordante, variable y transicional sobre cierto intervalo vertical. En ausencia de las calizas de Masparrito, se coloca en la primera arenisca del tope de Gobernador. El contacto superior de Pagüey es una discordancia angular regional. Al Sur y Sureste del Campo Mingo y en el Depocentro de Capitanejo está cubierta erosionalmente por el Miembro Arauca de la Formación Guafita. Desde el Campo Mingo hacia el Norte, Noreste y Noroeste, descansa discordantemente por debajo de la Formación Parángula. Solamente en el área de la Quebrada Higuerones, Pagüey aparenta estar en contacto transicional con la Formación Tilangona.

La formación tiene una prolífica flora y fauna, tanto bentónica como pelágica. Con especies diagnósticas de edad, Furrer (1971) ubica la formación en la zona *Orbulinoides beckmanni* (*Porticulasphaera mexicana*). En concordancia con las características sedimentológicas, Furrer (1971) asigna a Pagüey a un ambiente de mar abierto, a profundidades no menores a las de la zona nerítica exterior y posiblemente batial superior a media. Campos (1977) interpreta ambientes variables, desde francamente marinos a mixtos marinos y continentales. Osuna (1994) sugiere condiciones de plataforma externa, talud, nerítico, costero y aún continental hacia el tope.