

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL VALLE DEL RÍO
TUCUTUNEMO, MUNICIPIO ZAMORA, ESTADO ARAGUA**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo
Por los Brs. Olivar B. Mijail U.
Pedrique L. Rossmar D.

Caracas, Junio de 2006

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL VALLE DEL RÍO
TUCUTUNEMO, MUNICIPIO ZAMORA, ESTADO ARAGUA**

Tutor Académico: Prof. Armando Díaz Quintero

Cotutor Académico: Prof. Ricardo Alezones

Tutor Industrial: Lic. Fernando Decarli

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo
Por los Brs. Olivar B. Mijail U.
Pedrique L. Rossmar D.

Caracas, Junio de 2006

Caracas, 12 de Junio de 2006

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Mijail U. Olivar B. y Rossmar D. Pedrique L., Titulado:

**EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL VALLE DEL RÍO
TUCUTUNEMO, MUNICIPIO ZAMORA, ESTADO ARAGUA.**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudio conducente al título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. A. Díaz Quintero

Prof. Alba Castillo

Prof. Feliciano De Santis

A...

Ingrid y Luís, mis Padres

Yanna, mi Hermana

Humberto, mi Tío

Isamary, mi Madrina

Mijail U. Olivar B.

A DIOS,

A NERWIN CHIA

A...

Amelia y Marcos, mis Padres

Mely, Dely y Marcos (El Negro), mis Hermanos

Carmen y Sixto, mis Abuelos

Marilyn, mi Amiga

Kimber, mi perrito

Rossmar D. Pedrique L.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarnos la oportunidad de ser y emprender el sueño que hoy vemos hecho realidad...sin Fe en ti no lo habríamos logrado.

A nuestra casa de estudio Universidad Central de Venezuela por permitirnos vivir y crecer en ella a nivel profesional intelectual y personal por eso hoy con orgullo somos *UCEVISTAS*.

A nuestros tutores académicos Profesores Armando Díaz Quintero y Ricardo Alezones, simplemente contar con su apoyo, conocimiento y dedicación nos guió al éxito y al Prof. Lenin González simplemente mil gracias...

A nuestro tutor industrial Lic. Fernando Decarli por todo el apoyo y atención que nos supo brindar.

A todas aquellas personas que nos acompañaron y ayudaron en el valle del río Tucutunemo, Señores Ramón Martínez, Diógenes Lovera, Carlos Bello y Carlos Zarpador.

Al Ing. Nelson Velásquez del Ministerio de Agricultura y Tierras, Santa Cruz, estado Aragua. Al Lic. Alejandro Valles del Laboratorio de Calidad Ambiental y al Ing. Miguel Moreno del Ministerio del Ambiente. Al Ing. Wilmer Gil de PARKO C. A., Señor Nilson Díaz de Hidrodenver C. A. Al Ing. Reinaldo Ollarves de Funvisis y al Ing. Rómulo Márquez.

A la Señora Amelia, Señor Luís, Mely, Freddy, Adriana, Javier y Roygar...

...Por su colaboración muchas Gracias

A mis padres Ingrid y Luís y a mi hermana Yanna, por ser mi vida, gracias a su amor y educación he logrado esta meta, no existen palabras que me permitan explicar cuanto los Amo.

A mis Abuelas Maria y Alicia gracias por todo su cariño, a mis Tios Humberto, Raúl, Danis, Arelis y Mario y a mi prima “Chucha” por acompañarme siempre.

A mis amigos Pedro, Harrys, Andrés y Marco por su Lealtad.

A las Señoras. Carmela y Mary por ser mis segundas madres. Las Quiero Mucho.

A las Familias León Schettino y Bueno Rojas, por todos estos años...

A la Familia Pedrique Laya y a Marilyn, por todo su apoyo, muchas gracias.

A mi Ahijado José Enrique quien siempre contara conmigo y con quien voy a compartir sus exitos.

A el Profesor Ricardo Alezones por creer en mi y permitirme trabajar con el.

A mis Amigos, Panas y Compañeros Iliana, Enzo, Linabel, Raiza, Diego, José Miguel, Ricardo, Walter, Enrique, Héctor, Woodward, Mónica, Marco, Adriana Ubieda, Eudo, Karla, George, Charly, Freddy, Adri y Javier, a todos los presentes y los que no ... “GRACIAS TOTALES”

A mi Madrina Isamary por ser una de las personas que me motivo a ser UCEVISTA.

A Rossmar, simplemente por permitirme vivir esta hermosa experiencia a tu lado.

A Dios, por brindarme la oportunidad de ver esto que hoy es mi realidad y fue un sueño hace unos años atrás.

Mijail Umberto Olivar Batista

A Dios, por ser todo en mi vida...

A mis Padres, por ser mi apoyo, mis guías, mi ejemplo, mi vida...

A mis Hermanas, por acompañarme y soportarme desde siempre hasta siempre.

A mi Hermanito (El Negro) por su apoyo incondicional y su fe en mí.

A mis Abuelos Carmen y Sixto, por darme tanto cariño...

A mis Tíos Pedro, Rómulo y Sixto y a mi Madrina Argelia por estar siempre para mí.

A Primita Rora, por motivarme a ser siempre mejor... Por creer en mí!

A Mari por estar allí siempre y enfrentarme con la realidad.

A mis amigos desde el principio hasta ahora Enzo, Iliana, Lina y Andrés por estar conmigo en las buenas y en las malas; Diego, Adriana, Javier, Walter, Freddy, José Miguel, Mónica, Marco A., Ricardo, Héctor, Woodward, Enrique, Eudo, Charly, George, Karla y Marco C. gracias por acompañarme, ayudarme y ofrecerme su amistad.

A Raiza, por su amistad y honestidad...

Al Prof. Ricardo Alezones, por ser el único apoyo incondicional en la Escuela.

A la familia Olivar Batista, por tanta comprensión y apoyo. Mil Gracias...

A *Mijail*...

Rossmar del Valle Pedrique Laya

**Olivar B., Mijail U.,
Pedrique L., Rossmar D.**

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL VALLE DEL RÍO TUCUTUNEMO, MUNICIPIO ZAMORA, ESTADO ARAGUA

**Tutor Académico: Prof. Armando Díaz Quintero. Tutor Industrial: Lic.
Fernando Decarli. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería Escuela de
Geología, Minas y Geofísica. Año 2006, 117p.**

Palabras claves: valle del río Tucutunemo, acuíferos, superficie piezométrica, El Cortijo.

Resumen. El valle del río Tucutunemo está ubicado al NE de la población de Villa de Cura, municipio Zamora, estado Aragua, entre las coordenadas U.T.M. norte 1.110.000-1.123.000 y este 666.000-685.000, con una extensión geográfica de 132 km². Este valle está comprendido por 9 asentamientos campesinos, cuyos nombres de oeste a este son: La Lagunita, El Cortijo, Los Bagres, La Majada, Los Chorros, Las Tunitas, El Espinal, El Onoto y El Ocumo.

El objetivo de esta investigación, es la realización de un estudio hidrogeológico de las reservas de agua subterránea del valle del río Tucutunemo, para conocer la situación real del acuífero, puesto que éste ha sido explotado de forma intensiva sin ninguna estrategia y/o plan de manejo.

El estudio hidrogeológico se basó en la información compilada y el inventario de pozos efectuado en la zona de estudio, los cuales permitieron la elaboración de; cinco perfiles estratigráficos para establecer las zonas con mejor condición acuífera, el levantamiento geológico de las unidades litodémicas que limitan el valle para buscar evidencias de los controles estructurales y climáticos que influyen en éstas, tres pruebas de bombeo para determinar los parámetros hidráulicos de los acuíferos, dos mapas piezométricos correspondientes a los años 1982 y 2004 con el fin de mostrar la variación a través de los años de la superficie piezométrica y el análisis físico-químico y bacteriológico de 20 muestras de agua para determinar la calidad de ésta acuerdo a su uso.

Se determinaron dos zonas donde predominan los materiales permeables; una al SO por el sector El Cortijo y la otra al SE entre los sectores Los Bagres y El Onoto, los cuales coinciden con los posibles saltos verticales de dos fallas que pudiesen estar generando permeabilidad secundaria.

Se estableció la existencia de dos tipos de acuíferos, uno de régimen confinado ubicado hacia el SO (sector La Lagunita) y SE (sector Los Bagres-El Onoto) de la zona de estudio y otro de régimen libre ubicado hacia el oeste (sector El Cortijo).

De acuerdo a los valores de transmisibilidad, la zona mas productiva se encuentra hacia el oeste y centro del valle, específicamente hacia el sector El Cortijo.

A partir de la morfología de la superficie piezométrica se determinó que la dirección de flujo de las aguas subterráneas es en sentido este-oeste, siendo ésta la misma dirección en la cual la permeabilidad aumenta.

Se calculó que el espacio poroso existente en el subsuelo aloja aproximadamente 61.906.280 m³ de agua representando así una pérdida en las reservas de agua de 39% en los últimos 20 años.

La calidad del agua es apta tanto para riego como para consumo humano a excepción de 8 pozos que presentan coliformes en sus resultados, restringiendo de esta manera su uso.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo	Página
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Generalidades.....	1
1.2. Objetivos.....	1
1.2.1. Objetivo General.....	1
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Ubicación y Extensión del Área de Estudio.....	2
1.4. Vías de Acceso.....	4
1.5. Metodología.....	4
1.5.1. Etapa Preliminar.....	5
1.5.2. Etapa de Campo.....	6
1.5.3. Etapa de Oficina.....	9
1.6. Trabajos Previos.....	11
1.6.1. Trabajos Geológicos.....	12
1.6.2. Trabajos Hidrogeológicos.....	13
2. GEOLOGÍA REGIONAL.....	16
2.1. Generalidades.....	16
2.2. Unidades Litodémicas.....	17
2.2.1. Filita de Tucutunemo.....	17

2.2.2.	Metalava de Los Naranjos.....	18
2.2.3.	Esquisto de Las Mercedes.....	18
2.2.4.	Esquisto de Las Brisas.....	19
2.2.5.	Asociación Meta-volcanosedimentaria de Villa de Cura.....	20
2.2.6.	Filita de Paracotos.....	21
2.2.7.	Complejo El Ocumo.....	22
2.2.8.	Metalava de Tiara.....	23
2.2.9.	Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro.....	23
2.2.10.	Complejo El Tinaco.....	24
2.2.11.	Metadiorita de La Guacamaya.....	25
2.3.	Geología Regional Estructural.....	26
2.4.	Evolución Tectónica del Bloque Alóctono de Villa de Cura.....	29
3.	GEOGRAFÍA FÍSICA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	33
3.1.	Generalidades.....	33
3.2.	Geografía Física.....	33
3.2.1.	Clima.....	34
3.2.2.	Vegetación.....	36
3.2.3.	Drenajes.....	39
3.3.	Geomorfología Local.....	42
3.3.1.	Paisaje de Montaña.....	44
3.3.2.	Paisaje de Piedemonte.....	45

3.3.3. Paisaje de Fondo de Valle.....	46
4. GEOLOGÍA LOCAL.....	50
4.1. Generalidades.....	50
4.2. Sedimentos Cuaternarios.....	51
4.2.1. Diagrama Sector El Cortijo.....	53
4.2.2. Diagrama Sector Los Bagres-El Espinal-El Onoto.....	56
4.3. Unidades Litodémicas.....	58
4.3.1. Filita de Tucutunemo.....	59
4.3.2. Filita de Paracotos.....	61
4.3.3. Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro.....	62
4.3.4. Complejo El Ocumo.....	63
4.3.5. Esquisto de Las Mercedes.....	64
4.4. Estructuras.....	66
4.5. Relación Clima-Meteorización.....	68
5. HIDROGEOLOGÍA.....	70
5.1. Generalidades.....	70
5.2. Parámetros Hidráulicos.....	73
5.2.1. Transmisibilidad.....	74
5.2.2. Permeabilidad.....	77
5.2.3. Coeficiente de Almacenamiento.....	79

5.3. Superficie Piezométrica.....	80
5.3.1. Morfología de la Superficie Piezométrica.....	83
5.3.2. Interpretación de la Superficie Piezométrica.....	83
5.3.2.1.Zona Este.....	84
5.3.2.1. Zona Oeste.....	85
5.3.3. Variación de la Superficie Piezométrica.....	86
5.4. Balance Hídrico.....	89
5.5. Cálculo de Reservas.....	92
5.5.1 Espesor Saturado de Agua.....	92
5.5.2. Porosidad Efectiva del Acuífero.....	93
5.5.3. Cálculo del Volumen de Agua.....	94
5.6. Calidad Físico-Química y Bacteriológica de las Aguas.....	96
5.6.1. Total de Sólidos Disueltos.....	97
5.6.2. Calidad del Agua para Consumo.....	100
5.6.3. Calidad del Agua para Riego.....	101
5.6.3.1.Conductividad Eléctrica.....	102
5.6.3.2.Relación de Absorción de Sodio (Ras).....	103
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
6.1. Conclusiones.....	105
6.2. Recomendaciones.....	108

BIBLIOGRAFÍA..... 110

ANEXOS..... 117

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1.1 Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	3
1.2 Mapa de ubicación de las principales vías de acceso a la zona de estudio.....	4
2.1 Mapa de ubicación de las fajas tectónicas.....	26
2.2 Composición generalizada de cortes geológicos transversales de la región central de la Cordillera de la Costa.....	27
2.3 Evolución tectónica de la Cordillera de la Costa, con especial énfasis en el desarrollo de la cuenca marginal de Villa de Cura, modelo de desarrollo de la región septentrional de la Cordillera de la Costa.....	32
3.1 Gráfico de precipitación media mensual.....	34
3.2 Gráfico de temperatura media mensual.....	35
3.3 Gráfico de evaporación media mensual.....	35
3.4 Gráfico de evapotranspiración mensual.....	36
3.5 Mapa de Vegetación.....	37
3.6 Vegetación arbórea, en la quebrada Los Riscos, sector Las Tunitas.....	38
3.7 Vegetación herbácea, sector La Lagunita.....	39
3.8 Cambio en la densidad de drenaje.....	41
3.9 Mapa de Paisajes Geomorfológicos.....	43
4.1 Corte geológico representativo del basamento del valle del río Tucutunemo.....	50
4.2 Modelo de espesor total de arenas y gravas, sector El Cortijo.....	55
4.3 Modelo de espesor total de arenas y gravas, sectores Los Bagres-El Espinal y El Onoto.....	57
4.4.a Metaconglomerado, Unidad Filita de Tucutunemo.....	59
4.4.b Grado de meteorización decolorado, Filita de Tucutunemo.....	60
4.5.a Afloramiento de mármol, Filita de Tucutunemo.....	60

4.5.b	Microrelieves cársticos irregulares en mármol.....	61
4.6	Afloramiento de la Filita de Paracotos.....	62
4.7	Grado de meteorización del Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro.....	63
4.8	Afloramiento del Esquisto de Las Mercedes.....	64
4.9	Plegamientos del Esquisto de Las Mercedes.....	66
4.10	Facetas triangulares que indican la posible existencia de una falla.....	67
4.11	Perfil estratigráfico de MÁRQUEZ (1970) que evidencia la posible falla interpretada por SHAGAN (1960).....	67
4.12	Grados de alteración en las rocas a partir del clima.....	69
5.1	Provincias hidrogeológicas de Venezuela.....	70
5.2.a	Distribución de pozos por sector.....	72
5.2.b	Estado actual de los pozos.....	72
5.2.c	Uso de los pozos.....	72
5.3	Mapa de Transmisibilidad.....	76
5.4	Mapa Piezométrico, año 2004.....	82
5.5	Perfil de depresión trazado entre los sectores El Onoto y Los Bagres.....	84
5.6	Perfil de depresión trazado en el sector El Cortijo.....	86
5.7	Mapa Piezométrico, año 1982.....	87
5.8	Modelo 3D de la variación de la superficie piezométrica.....	88
5.9	Gráfico de la variación mensual de precipitación y evapotranspiración..	91
5.10	Mapa de Total de Sólidos Disueltos.....	98

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
3.1 Tipos de vegas y sus características.....	47
4.1 Ubicación y fuente de los perfiles litológicos disponibles en el Valle del río Tucutunemo.....	51
4.2 Grado de meteorización de la roca.....	58
4.3 Diferencias litológicas entre el Esquisto de Las Mercedes y el Complejo El Tinaco.....	65
5.1 Provincias hidrogeológicas de Venezuela.....	71
5.2 Ubicación de los pozos con pruebas de bombeo.....	74
5.3 Transmisibilidad de los pozos obtenidas por pruebas de bombeo.....	75
5.4 Valores de permeabilidad.....	78
5.5 Clasificación de suelos por la conductividad hidráulica o permeabilidad.....	78
5.6 Valores de los coeficientes de almacenamiento para cada prueba de bombeo.....	79
5.7 Niveles piezométricos, para los meses de enero-marzo de 2004.....	80
5.8 Descenso promedio de los niveles piezométricos por sector.....	89
5.9 Balance hídrico de la zona de estudio.....	90
5.10 Porosidades totales y efectivas de materiales sedimentarios no consolidados.....	93
5.11 Cálculos de volumen de espesor saturado.....	94
5.12 Cálculos de volumen de reservas de agua.....	95
5.13 Comparación de los caudales de los pozos para 1982 y 2004.....	96
5.14 Valores de TSD de las 20 muestras de agua analizadas.....	97
5.15 Rangos permitidos para los parámetros físicos y químicos.....	100
5.16 Pozos con presencia de coliformes en el agua.....	101

5.17	Clasificación del agua según la conductividad eléctrica.....	102
5.18	Clasificación del agua de acuerdo a la relación de absorción de sodio....	103
5.19	Valores obtenidos de la relación de absorción de sodio de cada muestra de agua.....	104

LISTA DE ANEXOS

Anexo

- 1 Mapa topográfico y de ubicación de pozos
- 2 Inventario de pozos
- 3 Mapa hidrogeológico
- 4 Mapa de paisajes geomorfológicos
- 5 Mapa de unidades geomorfológicas
- 6 Perfiles estratigráficos A-A', B-B' y C-C'
- 7 Perfiles estratigráficos D-D' y E-E'
- 8 Pruebas de bombeo
- 9 Mapa de transmisibilidad
- 10 Mapa piezométrico año 2004 (período de sequía)
- 11 Mapa piezométrico año 1982 (período de sequía)
- 12 Análisis de las muestras de agua
- 13 Mapa total sólidos disueltos (TSD)

CAPÍTULO I

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Generalidades

El valle del río Tucutunemo se encuentra ubicado al NE de la población de Villa de Cura en el estado Aragua. En este valle se ha desarrollado un proceso de explotación agrícola desde hace más de 40 años, teniendo como fuente principal de abastecimiento las aguas subterráneas, la cual se ha explotado de forma intensiva sin ninguna estrategia y/o plan de manejo del acuífero. En consecuencia, actualmente existen severas limitaciones en el suministro de los volúmenes de agua requeridos tanto para el consumo humano como para el riego en la zona.

Una de las prioridades que el Ministerio del Ambiente se ha planteado, a escala regional, es la evaluación hidrogeológica de este valle, para conocer la situación real del acuífero y de esta manera poder establecer y poner en funcionamiento un plan de manejo sustentable de los recursos hídricos en la zona.

1.2.- Objetivos

1.2.1.- Objetivo General

Realizar un estudio hidrogeológico de las reservas de agua subterránea del acuífero del valle del río Tucutunemo, municipio Zamora, estado Aragua.

1.2.2.- Objetivos Específicos

- Actualizar el inventario de pozos.
- Actualizar la información geológica regional.
- Realizar pruebas de bombeo para determinar los parámetros hidráulicos del acuífero.
- Elaborar mapa hidrogeológico de la zona de estudio.
- Realizar el balance hídrico de la zona.
- Identificar y definir los períodos de recarga del acuífero.
- Calcular las reservas probables del acuífero.
- Captar muestras de agua para su caracterización físico-química y bacteriológica y evaluar los parámetros de calidad de agua en cuanto a su uso.

1.3.- Ubicación y Extensión del Área de Estudio

El Valle del Río Tucutunemo está ubicado a cuatro kilómetros al NE de Villa de Cura, municipio Zamora, estado Aragua, como parte de la Serranía del Interior en su zona Central, entre las coordenadas U.T.M. norte 1.110.000-1.123.000 y este 666.000-685.000, con una extensión geográfica de 132 km² aproximadamente. Este valle está comprendido por 9 asentamientos campesinos o sectores, cuyos nombres de

oeste a este son; La Lagunita, El Cortijo, Los Bagres, La Majada, Los Chorros, Las Tunitas, El Espinal, El Onoto y El Ocumo (figura 1.1 y anexo 1).

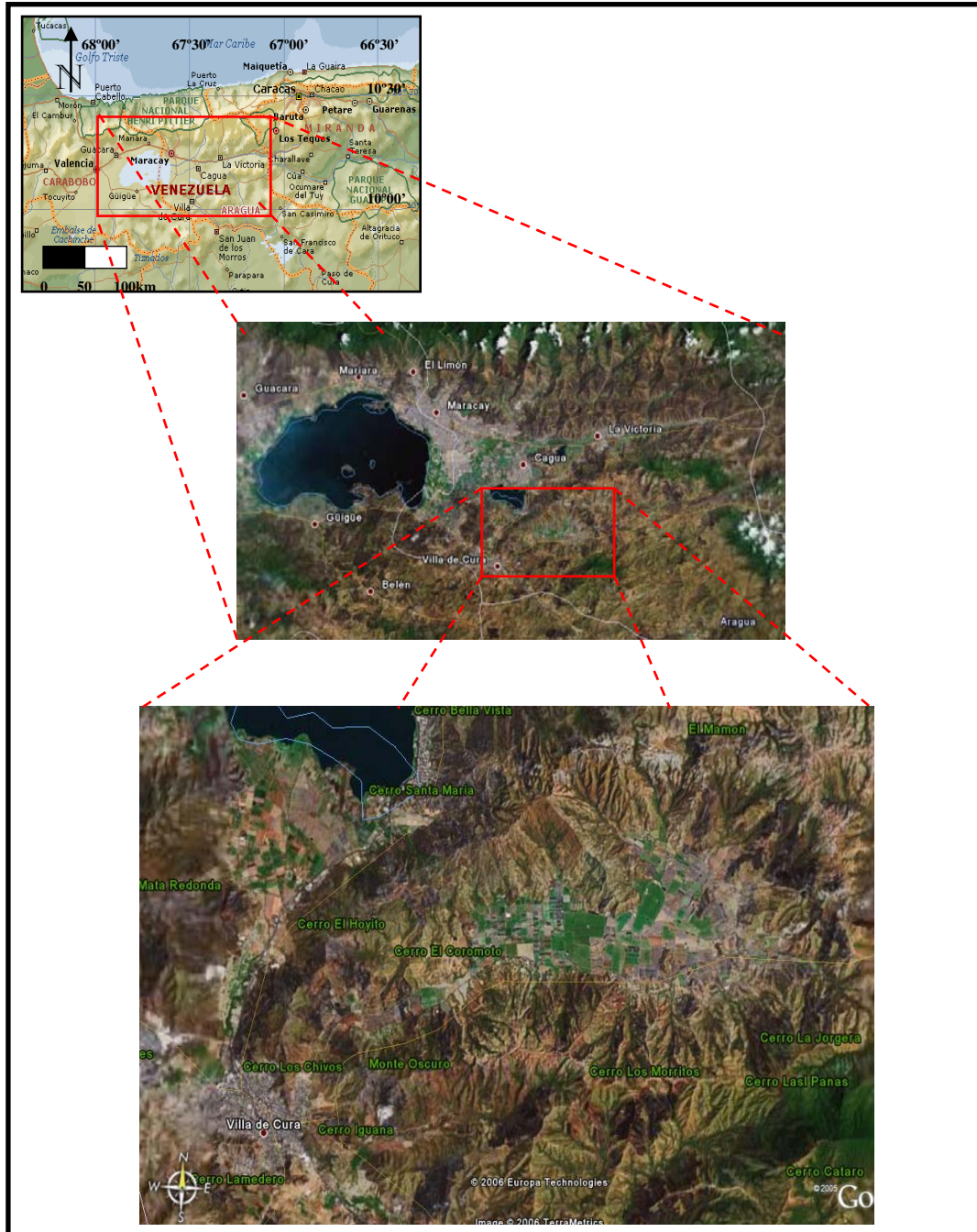


Figura 1.1.- Mapa de ubicación de la zona de estudio.

Tomado de: Google Earth (2006).

1.4.- Vías de Acceso

La principal vía de acceso al área de estudio es la carretera nacional que une los poblados de Cagua-San Juan de los Morros, en Villa de Cura específicamente en el sector Las Mercedes, se toma el desvío ubicado al noreste, que conduce al Valle del Río Tucutunemo. Mientras que los accesos secundarios son las carreteras rurales que unen los poblados de La Victoria-La Candelaria-Villa de Cura y Tiara-La Candelaria-Villa de Cura, ambas ubicadas hacia el este del área de estudio (figura 1.2).



Figura 1.2.- Mapa de ubicación de las principales vías de acceso a la zona de estudio.

Tomado de: Rutas de Venezuela de LAGOVEN (2006)

1.5.- Metodología

Este trabajo fue dividido en tres etapas, a continuación se presenta de forma detallada la metodología utilizada en cada una de ellas.

1.5.1- Etapa Preliminar

a. Recopilación y análisis de toda la información bibliográfica existente en:

- Trabajos especiales de grado.
- Publicaciones en congresos y boletines nacionales e internacionales.
- Informes inéditos o trabajos realizados en la zona por el Ministerio del Ambiente, Ministerio de Agricultura y Tierras (MAT), Instituto Nacional de Desarrollo Rural (INDER), compañías perforadoras y de mantenimiento de pozos.
- Información metereológica suministrada por el Ministerio del Ambiente.

b. Revisión e integración de:

- Las hojas cartográficas 6746-III-NE Caicara, 6746-III-NO Bella Vista, 6746-III-SE El Chino y 6746-III-SO Villa de Cura a escala 1:25.000 (misión 030198, 1975), elaboradas por el Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar.
- Hojas geológicas D-7 a escala 1:100.000 (1965) de la Creole Petroleum Corporation y Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela, a escala 1:25.000, realizado por URBANI & RODRÍGUEZ (2004), así como mapas geológicos incluidos en publicaciones geológicas o tesis de grado del área de estudio.

- Mapa Hidrogeológico de Venezuela a escala 1:500.000 realizado por Ministerio de Minas e Hidrocarburos (1972).
- Fotografías aéreas de la misión 030198, fotoíndices 21 (fotos 902 a 904 y 3066 a 3068) y 22 (fotos 3059 a 3065, 4485 a 4491 y 5373 a 5378) a escala 1:25.000 (1975), además de los ortofotomapas 6746-III-NE San Francisco de Zarate, 6746-III-NO Taguaguay, 6746-III-SE El Bagre y 6746-III-SO Villa de Cura a escala 1:25.000 (misión 0304184, 1994).

1.5.2.- Etapa de Campo

a. Se ubicó cartográficamente e inventarió un total de 128 pozos, clasificados de acuerdo a su uso, en acueductos rurales, pozos de riego, etc., información que fue integrada con la obtenida en la fase previa de la siguiente manera (anexo 2):

- Información geográfica:
 - Sector
 - Coordenadas U.T.M.
 - Altitud en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m)
- Características del pozo:
 - Profundidad (m)
 - Diámetro del forro (plg)
 - Nivel estático (m)
 - Caudal (l/s)
 - Estado del pozo
 - Uso

- Información complementaria:
 - Perfil litológico
 - Prueba de bombeo
 - Análisis físico-químico y bacteriológico

- b. Del inventario realizado inicialmente se seleccionaron 3 pozos de bombeo distribuidos en la zona que contuviera por lo menos un pozo de observación cercano para realizar las pruebas de bombeo. Para efectuar cada una de estas pruebas se cumplió el siguiente procedimiento:
 - Se midió la distancia entre el pozo de observación y el pozo de bombeo.

 - Se hizo la medición del nivel estático en el pozo de observación, utilizando una sonda de 100 metros de longitud, para lo cual fue necesario tener el pozo de bombeo apagado 24 horas antes de realizar cada prueba.

 - Se dio inicio a la prueba de bombeo con el encendido de la bomba durante un período de 8 horas continuas aplicando el método de régimen variable a caudal constante.

 - Durante este tiempo se tomaron mediciones del nivel de bombeo en intervalos de uno, dos, tres, cinco, diez, veinte, treinta y sesenta minutos, utilizando la sonda de 100 metros de longitud.

 - Para calcular el caudal del pozo, se mantuvo abierta la llave de distribución del mismo hasta que se estabilizó el flujo de agua, luego se tomó el tiempo de llenado de un recipiente de volumen

conocido y finalmente se dividió el tiempo medido entre el volumen, operación que se realizó tres veces, de manera tal de obtener un caudal promedio.

- Todas las mediciones se registraron en una planilla suministrada por el Ministerio del Ambiente.
- c. En 20 pozos ubicados en el área de estudio se captaron muestras de agua para realizarles los respectivos análisis físico-químicos y bacteriológicos, de acuerdo a las siguientes pautas:
- Se utilizaron botellas de plástico esterilizadas de 1 litro para las físico-químicas y botellas de vidrio esterilizadas con tapas de metal, de 150 mililitros para las bacteriológicas.
 - Para tomar las muestras se abrió totalmente la llave de distribución del pozo durante tres minutos, para expulsar el agua acumulada en las tuberías.
 - Se reguló el flujo de agua procediendo al llenado de las botellas, las cuales debieron permanecer cerradas hasta el momento de la captación.
 - Para tomar las muestras para análisis físico-químicos, la botella a utilizar debió ser enjuagada tres veces con el agua del pozo que estaba siendo muestreado.
 - Para tomar las muestras para análisis bacteriológicos, se manipuló la botella por la base y se tapó inmediatamente

después de haber sido llenada, para evitar la contaminación de la muestra.

- Se identificó cada una de las muestras destacando, el sector, el pozo, uso, la fecha y hora en que se tomó la muestra.
 - Las muestras, tanto para análisis físico-químicos como bacteriológicos fueron refrigeradas para no alterar su composición original durante su traslado al Laboratorio de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente en Maracay, estado Aragua, donde fueron analizadas.
- d. Se realizó el estudio geológico de superficie, en el cual se buscaron evidencias de los controles estructurales y climáticos que influyen en la litología.

1.5.3.- Etapa de Oficina

- a. Se evaluó la capacidad instalada para explotar las aguas subterráneas, utilizando los datos suministrados por el inventario de pozos y la información recabada por antiguos trabajos realizados en la zona, información histórica que se utilizó como línea base para la referencia actual y que sirvió de alguna u otra forma para la interpretación de los parámetros hidráulicos.
- b. Se elaboraron cinco perfiles estratigráficos basados en las descripciones suministradas por las diferentes compañías perforadoras que trabajaron en la zona, con el fin de observar las variaciones de los

espesores e identificar la presencia de estructuras que estuviesen afectando el aluvión.

- c. Se elaboraron ocho mapas con la siguiente información: un mapa topográfico y de ubicación de pozos basado en el inventario realizado; dos mapas geomorfológicos, uno de paisajes y otro de unidades, basados en la información suministrada de los trabajos de VILORIA & ZINCK (1986) y MARCANO & MENDOZA (1996); un mapa de transmisibilidad en base a las tres pruebas de bombeo realizadas en campo y pruebas de bombeos antiguas compiladas; dos mapas piezométricos contruidos a partir de los registros de niveles estáticos del año 1982 y 2004, suministrados por BASTIDAS & CABEZAS (1982) y el INDER respectivamente; un mapa de total de sólidos disueltos en base a los resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos; y finalmente un mapa hidrogeológico de la zona, el cual integra la información topográfica, geológica e hidrológica. Todos los mapas se tienen impresos y en digital a escala 1:25.000.

- d. Se realizó la interpretación de las pruebas de bombeo mediante la utilización del *SOFTWARE ACUIFER TEST V.3.0*, el cual permitió aplicar el método de THEIS, modificado por JACOB para condiciones de no equilibrio a caudal constante, para determinar los parámetros hidráulicos del acuífero (transmisibilidad y coeficiente de almacenamiento) e inferir el tipo de acuífero presente (confinado o libre).

- e. A partir del mapa de transmisibilidad, se establecieron las zonas de mayor y menor transmisibilidad y permeabilidad, estando esta última apoyada por los perfiles litológicos realizados.

- f. Se realizó el cálculo del balance hídrico por el sistema de clasificación climática de *Thornthwaite*, en base a la información de la estación hidrometeorológica ubicada en Santa Cruz, estado Aragua (suministrada por el Ministerio del Ambiente, Caracas), la cual permitió establecer los valores de precipitación y temperatura, con los cuales se obtuvieron los valores aproximados de evapotranspiración real y potencial, además del período de mayor recarga del acuífero.
- g. Se calcularon las reservas de aguas subterráneas de la zona de estudio a partir de los espesores saturados de material permeable y la porosidad efectiva de éste.
- h. Se evaluaron las características físico-químicas y bacteriológicas de las aguas en función de la selección de los rubros que se desean producir y del manejo del sistema, además de establecer si son aptas para consumo humano. Para el análisis de las muestras de agua se tomaron en cuenta los siguientes estudios:
- Para los análisis físico-químicos: cloruro, total de sólidos disueltos (TSD), sulfato, alcalinidad, dureza total, nitrato, nitrito, metales, pH y conductividad eléctrica.
 - Para los análisis bacteriológicos: coliformes fecales y coliformes totales.

1.6.- Trabajos Previos

Para la realización de este trabajo especial de grado fue necesario revisar aquellos estudios realizados en la zona y aquellos, que de una u otra forman, sirvieran

de base metodológica. Para una mejor comprensión de la información suministrada se dividieron en dos tipos los trabajos consultados, los geológicos e hidrogeológicos.

1.6.1.- Trabajos Geológicos

SHAGAM (1960), en su estudio geológico de la región de Aragua Central, definió la Formación Tucutunemo como una secuencia de esquistos y filitas carbonáceas, areniscas y conglomerados, cuarzosos, metamorfizados y una peculiar caliza negra de grano fino, con grandes cristales clásticos de calcita. Esta formación fue considerada por este autor como el miembro superior del Grupo Caracas de rocas sedimentarias, encontrándose en contacto concordante sobre la Formación Las Mercedes.

MACLACHLAN *et al.* (1960), realizaron un estudio geológico en el área de La Victoria, estado Aragua, en donde cartografiaron y describieron al miembro Los Naranjos como parte de la Formación Tucutunemo.

GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980), describen a la Formación Tucutunemo como, filitas carbonáceas que varían a facies arenosas, mármoles microcristalinos que constituyen hasta el 30% de la roca y los metaconglomerados mal escogidos con guijarros de cuarzo de veta, plagioclasa y menor cantidad de ftanita, presentando desarrollo de texturas y estructuras metamórficas.

BENJAMINI *et al.* (1986), reexaminan algunas calizas en secciones finas de la Formación Tucutunemo las cuales muestran microfacies semejantes a la Formación Palmarito en el Pérmico, lo que sugiere una edad paleozoica para esta formación. Además sintetizan el ambiente tectónico en dos modelos, autóctono y alóctono.

BECK (1985), presenta un análisis estratigráfico, litológico y estructural de la Cadena Caribe desde los llanos hasta la ladera sur de la Cordillera de la Costa, en el cual la subdivide en 4 zonas desde el Sureste hacia el Noroeste: Piedemonte, Zona Piemontina, Napas de Aragua y la Cordillera de la Costa.

VILORIA & ZINCK (1986), realizaron un estudio de suelos, en el cual describieron las principales características físicas de la cuenca del Valle del río Tucutunemo, destacando las condiciones climáticas, geomorfológicas, hidrográficas y la vegetación existentes.

NAVARRO *et al.* (1988), redefinen a la Formación Tucutunemo como un conjunto de facies pelágicas y hemipelágicas anóxicas, con intercalaciones de sedimentos gruesos provenientes del arco volcánico que sirve como característica para separar esta unidad de la sedimentación pelágica de la cuenca marginal y deducen una edad Campanéense (?)- Maastrichtiense.

1.6.2.- Trabajos Hidrogeológicos

SANCIO (1964), aplicó el método para calcular la recarga de los acuíferos por el escurrimiento del río colector de las aguas de una cuenca, en el río Tucutunemo, estado Aragua, llegando a determinar que el 17% del volumen de agua de precipitación que se infiltra, llega a incorporarse a los acuíferos y el resto se pierde por evapotranspiración, escurrimiento superficial y subterráneo.

MÁRQUEZ (1974), realizó un estudio de las aguas subterráneas en el asentamiento campesino El Cortijo, en el cual determinó a partir de los parámetros hidrogeológicos, la existencia de un acuífero libre, además de establecer que la calidad del agua extraída es satisfactoria.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (1976), realizó un estudio hidrogeológico en base a parámetros hidráulicos, geológicos e hidrológicos, para determinar una mejor aproximación de las reservas permanentes de agua disponibles en el asentamiento Caño Hondo, estado Cojedes.

VÁSQUEZ (1979), realizó un estudio hidrogeológico con el objeto de determinar las áreas dotadas con las mejores condiciones de aprovechamiento para el riego de las tierras situadas dentro del área Turén II, estado Portuguesa.

BASTIDAS & CABEZAS (1982), realizaron un estudio de los pequeños sistemas de riego en el valle de río Tucutunemo, observando una sobreexplotación a raíz de la alta cantidad de pozos.

BRICEÑO *et al.* (1987), realizaron un diagnóstico hidrogeológico de un área ubicada entre los ríos Pagûey y Masparro, en el estado Barinas, el cual se dividió en dos partes. La primera parte consistió en el estudio de la geología de superficie y la segunda la constituye la geología de subsuelo. Este estudio permitió determinar que la permeabilidad de los depósitos varía de baja a alta, así como la existencia de acuíferos libres y confinados.

MUÑOZ (1988), condensó toda la información obtenida en los diversos estudios hidrogeológicos del acuífero de Maracay, ubicado en la parte oriental del lago de Valencia, estado Aragua. El estudio comprendió tres partes; la primera se refiere a la descripción de la geología de superficie de la zona, la segunda al estudio de la hidrogeología superficial y la tercera al estudio de la geología del subsuelo. Este estudio permitió determinar las zonas potenciales de recarga y descarga del acuífero así como los tipos de aguas para uso humano, riego e industrial.

RENDELES (1989), determinó las características hidrogeológicas generales de la región Corozo Pando-Camaguán-Río Guárico, al sur de Calabozo, en el estado

Guárico, mediante las cuales pudo inferir que se está en presencia de un ambiente de río meándrico en valle aluvional y determinando dos direcciones de flujo predominante.

MARCANO & MENDOZA (1996), realizaron un diagnóstico y evaluación de las variables físico-naturales y socio-económicas de la cuenca hidrográfica del río Tucutunemo, con el fin de ser utilizado para la elaboración del plan de manejo conservacionista de la cuenca alta del río Guárico.

MOLINA (1997), estudió las características físicas y químicas de los sedimentos de las microcuencas del valle del río Tucutunemo y determinó que la porosidad de dichos sedimentos está relacionada con la variación del material parental que les dio origen.

CAPÍTULO II

2.- GEOLOGÍA REGIONAL

2.1.- Generalidades

La región de Aragua Central comprende un área de aproximadamente 650 km², circunscrita por las poblaciones de Villa de Cura, San Juan de los Morros, San Sebastián y el pueblo de Tiara (SHAGAM, 1960).

Los primeros investigadores reconocieron en el cinturón de montañas una amplia subdivisión de terrenos septentrionales y meridionales; en el primero predominan las rocas meta-sedimentarias y en el último las rocas meta-volcánicas. MENÉNDEZ (1966) y BELL (1968) subdividen la región en cuatro fajas tectónicas, el terreno septentrional meta-sedimentario comprende las fajas de la Cordillera de la Costa, Caucagua-El Tinaco y Paracotos y el meridional la faja de Villa de Cura.

Por su parte, el valle del río Tucutunemo se encuentra limitado al norte por la Faja de Caucagua-El Tinaco y al sur por las fajas de Villa de Cura, Paracotos y Caucagua-El Tinaco, éstas están en contacto por medio de fallas paralelas de rumbo aproximado E-W. Su evolución tectónica ha sido objeto de numerosos estudios, los cuales han concluido en diversas teorías sobre el origen autóctono y alóctono de algunas unidades litológicas presentes en estas fajas.

2.2.- Unidades Litodémicas

Las unidades que a continuación serán descritas representan a las rocas ígneas-metamórficas que conforman los bordes septentrional y meridional del valle del río Tucutunemo (anexo 3).

La nomenclatura empleada en el presente trabajo, corresponde con la nomenclatura propuesta por URBANI (1999), quien realizó una revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa.

2.2.1.- Filita de Tucutunemo

Esta formación fue introducida por SHAGAM (1960) para designar una secuencia de rocas metasedimentarias constituida por filitas carbonáceas arenosas que varían a metaareniscas y limolitas cuarzo feldespáticas, encontrándose también cantidades menores de areniscas de grano grueso y conglomerados cuarzo-calcáreos y una zona discontinua pero prominente de caliza cristalina negra, de grano fino, asociada a un conglomerado calcáreo, aparecen además algunas capas delgadas de toba básica afanítica.

Esta unidad presenta su localidad tipo en el río Tucutunemo y colinas adyacentes al este de Villa de Cura, estado Aragua. De acuerdo con GONZÁLEZ (1972) la Formación Tucutunemo se extiende de este a oeste, desde la región de Los Teques-Cúa en el estado Miranda, hasta la región de Tinaquillo en el estado Cojedes, atravesando parte de los estados Aragua y Guárico.

Inicialmente fue considerada de edad Cretácico, pero BENJAMINI *et al.* (1986) en estudios posteriores le asignan una edad Paleozoico Tardío (Pérmico) que es aceptada por otros autores hasta que haya disponible mayor información.

2.2.2.- Metalava de Los Naranjos

Esta unidad fue introducida por MACLACHLAN *et al.* (1960) para designar una secuencia de rocas metavolcánicas, compuestas principalmente por una metalava maciza que disminuye hacia el oeste, donde la sección se hace más tobácea y las brechas de flujos son comunes. Localmente pueden ser ligeramente porfídicas con fenocristales de plagioclasas muy alteradas y augita muy fresca y sin señales de recristalización. Se observan concentraciones de clinozoisita y epidoto y ocasionalmente carbonato, que pueden haber sido rellenos de amígdalas y a veces vetillas o cuerpos irregulares.

Aflora típicamente en la quebrada Los Naranjos afluente del río Pao, a unos 15 km al sureste de La Victoria, estado Aragua. Esta unidad se extiende por los estados Aragua, Miranda y Cojedes norcentral. BECK (1985) publica una edad de $73,5 \pm 1,9$ m.a., que la interpreta como correspondiente al evento metamórfico del Cretácico Tardío. Sin embargo BENJAMINI *et al.* (1986) en un estudio posterior encuentra fauna Pérmica en muestras de mármol de esta unidad otorgándole a este conjunto de rocas una edad Paleozoica.

2.2.3.- Esquisto de Las Mercedes

Originalmente fue descrita por AGUERREVERRE Y ZULOAGA (1937), quienes introducen el nombre de Esquistos de Las Mercedes para identificar a esta unidad litológica formada por esquistos cuarzo – muscovítico – calcítico – grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanzan gruesos espesores según WEHRMANN (1972) y GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980) se le denomina “Caliza de Los Colorados”. Las rocas presentan buena foliación y granos que van de fino a medio, el color característico es el gris parduzco.

WEHRMANN (1972) también menciona metaconglomerados en su base, esquistos cloríticos y una sección en el tope, de filitas negras, poco metamorfizadas, con nódulos de mármol negro, de grano muy fino, además de indicar que el tope de la unidad se hace más cuarzosa y menos calcárea en su transición hacia los Esquistos de Chuspita.

La localidad tipo de esta unidad se encontraba inicialmente en la antigua hacienda Las Mercedes al este de Caracas, hoy Urbanización Las Mercedes, pero debido al crecimiento del urbanismo y la consecuente desaparición de los afloramientos de la localidad tipo, WEHRMANN (1972) propone trasladar la sección de referencia a la carretera Petare – Santa Lucía, donde se expone la sección completa de la formación hasta su transición con los Esquistos de Chuspita. Igualmente hay una sección bien expuesta en la autopista Caracas – Valencia, en el tramo Hoyo de la Puerta – Charallave.

Esta unidad se encuentra en toda la extensión y en los flancos del macizo central de la Cordillera de la Costa, entre Carenero, estado Miranda hasta el estado Cojedes. De acuerdo a NAVARRO *et al.* (1988), estiman una edad para los esquistos de Las Mercedes de Jurásico medio hasta el Cretácico Tardío.

2.2.4.- Esquisto de Las Brisas

AGUERREVERRE Y ZULOAGA (1937) denominan como “Conglomerado de Las Brisas” a un conjunto de metaconglomerados arkósicos, con cantos rodados derivados del gneis de Sebastopol al que luego redefinen como Formación Las Brisas.

OSTOS (1990) en la zona de La Victoria, estado Aragua, reconoce metagrauwaca y metaconglomerado, esquisto cuarcífero y pocos afloramientos de cuarcita calcárea. Las litologías gruesas son las más abundantes con porfidoclastos

redondeados de cuarzo y feldespatos, la estratificación original está bien preservada y es paralela a la foliación.

Presenta una localidad tipo en el sector de Las Brisas, situada a unos 4 kilómetros al sur de El Valle, en la carretera que va desde Coche hacia el embalse de La Mariposa, Distrito Capital. La edad que se le otorga a esta unidad es Jurásico – Cretácico (NAVARRO *et al*, 1988).

2.2.5.- Asociación Meta-volcanosedimentaria de Villa de Cura

Esta unidad fue introducida inicialmente por AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937) con el nombre de Serie de Villa de Cura para designar una asociación compleja de rocas mayoritariamente metavolcánicas expuestas en las cercanías de Villa de Cura, estado Aragua.

Los mapas geológicos compilados por diversos autores indican que el Grupo de Villa de Cura se extiende como un bloque continuo por más de 250 km de longitud con un ancho medio de unos 25 km, abarcando parte de los estados Cojedes, Guárico, Carabobo, Aragua y Miranda. La localidad tipo de este grupo no se ha definido formalmente.

Este grupo está compuesto por rocas metavolcánicas y metasedimentarias de granulometría variable y se ha dividido en cinco formaciones, que de norte a sur son El Chino, El Caño, El Carmen, Santa Isabel y Las Hermanas.

Metatoba de El Caño: conformada por metatobas afaníticas finamente laminadas, con cantidades menores de metalavas basálticas y andesíticas. **Metatoba de El Chino:** contiene metatobas estratificadas de grano fino, con cantidades menores de metabasalto, metaftanita, filita grafitosa, esquisto cuarzo-albítico y granofel cuarzo-albítico.

Metalava de El Carmen: presenta una espesa serie de metalavas basálticas con fenocristales de augita, intercalados con metatoba, granofel, metaftanitas y filitas grafitosas.

Granofel de Santa Isabel: consiste en granofel cuarzo-feldespático-epidótico con intercalaciones de esquisto clorítico y cantidades menores de metalavas piroxénica y metaftanitas.

Metavolcánicas de Las Hermanas: conformada por metatoba, metalava y aglomerados volcánicos.

De acuerdo a NAVARRO *et al.* (1988) las unidades de esta asociación se extienden desde el Jurásico Tardío hasta posiblemente el Paleoceno Temprano. Sin embargo, OSTOS (1990) presenta una recopilación de edades radiométricas, cuyos valores van desde el Jurásico hasta el Cretácico.

2.2.6.- Filita de Paracotos

Este nombre fue introducido por SMITH (1952), señalando que está constituida predominantemente de filita y aunque este autor no fija una localidad tipo específica, indica cuatro localidades donde se encuentran los mejores afloramientos. Sin embargo en posteriores estudios surge el problema de que esta unidad no aflora en ninguna de estas localidades mencionadas por dicho autor, por esta razón, BECK (1985, 1986) propone dos secciones de referencia para ella: (a) Los afloramientos del río Tuy entre Tácata y Cúa, estado Miranda y (b) el cerro al sur de la Hacienda Experimental Cataurito, cerca de los poblados de La Candelaria y El Pao de Zárate, estado Aragua.

SHAGAM (1960) describe esta unidad como una asociación de filita, mármol, metaconglomerado, con metalimolita y metarenisca en menor proporción, donde la filita constituye el 60% del conjunto, siendo limosa y carbonosa, con ocasionales

peñones de rocas metavolcánicas y metasedimentarias; la metalimolita se presenta en delgadas capas con cubos visibles de pirita. Igualmente se observan capas delgadas de varios tipos de metaarenisca de color gris oscuro. Los cuerpos de mármol son microcristalinos. El metaconglomerado es de color gris verdoso con guijarros de hasta 50 cm de diámetro. Los guijarros están constituidos por fragmentos de metalava basáltica, cuarzo de veta, mármol, ftanita y granofel cuarzo - albítico.

Esta unidad se extiende a través de los estados Cojedes, Carabobo, Guárico, Aragua y Miranda, y según MENÉNDEZ (1966) está limitada parcialmente al norte y al sur, por las fallas de Santa Rosa y Agua Fría, respectivamente. A este conjunto litológico se le ha asignado una edad de Cretácico Tardío, apuntando principalmente al Maastrichtiense.

2.2.7.- Complejo El Ocumo

Las rocas incluidas en esta unidad fueron inicialmente descritas y cartografiadas por MACLACHLAN *et al.* (1960) y SHAGAM (1960). Posteriormente BECK (1985) utiliza este nombre para designar una asociación de conglomerados carbonáticos irregularmente estratificado, mal escogido y pobremente cementado y rocas pelíticas intercaladas con conglomerado (mal cementados, lenticulares, casi idénticos a los anteriores, con fragmentos de diabasa y gabro, matriz ferruginosa), las pelitas incluyen numerosos elementos resedimentados.

Estas rocas tienen su localidad tipo en el Caserío El Ocumo, a 11 km al oeste-suroeste de El Pao de Zárate, estado Aragua. En cuanto a su extensión geográfica se muestran dos cuerpos, uno en la localidad tipo y un segundo, a 4,5 km. al suroeste de El Pao de Zárate, estado Aragua. La edad asignada por BECK (1985) es Paleoceno Tardío-Eoceno Temprano.

2.2.8.- Metalava de Tiara

El primer autor que utilizó el término Rocas Volcánicas de Tiara fue SMITH (1952), y lo hizo para designar a una secuencia de rocas volcánicas en las cuales indica la presencia de basalto, así como rocas gabroides, a veces con cristales de piroxenos y plagioclasa con textura ofítica. Dicho autor señala que el metabasalto es de grano fino, denso, de color gris claro a negro, con textura sub-ofítica; junto a las rocas ígneas, se encuentra una sección de metatoba, de color negro y matriz muy fina, constituida por fragmentos de rocas volcánicas, plagioclasa, cuarzo y ftanita.

Esta unidad tiene su localidad tipo en el área al norte de Tiara, distrito Ricaurte, estado Aragua, mientras que sus afloramientos se extienden por unos 60 km en una franja discontinua desde los cerros al sur de Ocumare del Tuy y Cúa, al sur de Tácata, Altagracia de la Montaña, Agua Fría, Tiara, El Pao de Zárate y las cabeceras del valle del río Tucutunemo, en Aragua central y en el sector occidental del estado Miranda (BECK, 1985, 1986).

En cuanto a la edad, NAVARRO *et al.* (1988) en su modelo evolutivo de la Cordillera de la Costa le asignan una edad Albiense - Maastrichtiense.

2.2.9.- Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro

Los primeros autores que trabajaron con esta unidad fueron SMITH (1952), MACLACHLAN *et al.* (1960) y GRATEROL (1967), los cuales la cartografiaron y describen como rocas ultramáficas pero sin asignarle nombre formal. El concepto de ofiolita aplicado a este Complejo aparece por primera vez en BELLIZZIA (1967) y GRATEROL (1967), y posteriormente VAN BERKEL (1988) y VAN BERKEL *et al.* (1989) formalmente proponen utilizar el nombre de "Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro", como una unidad litodémica del tipo complejo estructural, incluyendo a las

rocas ultramáficas, gabroides y volcánicas, si bien éstas últimas corresponden a la Formación Tiara de otros autores.

La descripción litológica de esta unidad es realizada por GRATEROL (1972), el cual señala que el complejo peridotita-gabro se compone de peridotita serpentizada, troctolita y gabro asociado a basalto. La peridotita es principalmente una harzburgita de grano grueso con olivino y enstatita de color negro a verdoso de acuerdo al grado de serpentización. La mineralogía del gabro está compuesta principalmente de clinopiroxeno (variedad diálaga) y plagioclasa cálcica muy alterada.

La localidad tipo de esta unidad se encuentra en la Fila de Loma de Hierro, ubicada a unos 20 km al sur de Tejerías, estados Aragua y Miranda, mientras que la extensión geográfica de su cuerpo principal es de unos 21 km, desde unos 4 km al oeste del poblado de Tiara, estado Aragua, hasta las proximidades de Tácata, estado Miranda, con una anchura variable entre 1 a 5 km.

La edad que ha interpretado BECK (1985, 1986) en base a la asociación de las rocas ultramáficas y gabroides, es Cretácica.

2.2.10.- Complejo El Tinaco

Este nombre fue introducido por primera vez por RENZ Y SHORT (1960) para designar una gran variedad de rocas sedimentarias metamorfizadas y muy plegadas expuestas entre Tinaquillo, San Carlos y El Pao, estado Cojedes, para posteriormente ser estudiado por MACKENZIE (1966) quien describió el Complejo de Tinaco en mayor detalle con el nombre de "gneises hornabléndicos y rocas asociadas". En cuanto a la descripción litológica, MENÉNDEZ (1966) reconoció dos unidades metaígneas en el complejo: la inferior, denominada Gneis de La Aguadita, consiste de gneises hornbléndicos y biotíticos, gneises cuarzo-plagioclásicos y en menor escala, anfibolitas y mármoles, la superior, designada con el nombre de Esquisto de Tinapú,

suprayace concordantemente a la primera y consiste de esquistos muscovíticos, esquistos cloríticos y esquistos conglomeráticos.

La localidad tipo de esta unidad no se ha definido, sin embargo existen buenos afloramientos al noreste de El Tinaco, estado Cojedes y se extiende desde Caucagua, estado Miranda, hasta El Tinaco, estado Cojedes. Se considera de edad pre-Albiense; posiblemente pre-Mesozoico.

2.2.11.- Metadiorita de La Guacamaya

El primer autor que estudió esta unidad fue SMITH (1952) y la describió como una "diorita hornbléndica" pero es BECK (1985, 1986) quien complementa la información sobre estas rocas y la denomina "[Diorita de Guacamaya](#)", además de describirla como una roca diorítica con fuerte deformación penetrativa, es bastante homogénea mineralógicamente con la excepción de variaciones locales de la proporción de anfíbol que puede variar de 25 a cerca de 40%. La plagioclasa está totalmente transformada y algunos cristales muestran intensa deformación con microfracturas y micropliegues tipo "kink". La hornblenda es marrón a marrón verdosa, frecuentemente maclada. El cuarzo alcanza un cantidad media del 10 al 15% aparece en forma microcristalina, lenticular y suturado. Además hay cantidades menores de epidoto, clorita, esfena y apatito. Este autor también indica la presencia de cuerpos discontinuos (inclusiones o diques) de composición tonalítica, así como xenolitos de la roca caja.

La localidad tipo de esta unidad se encuentra en el cerro La Guacamaya, a 6,5 km al sureste de La Victoria, estado Aragua. En cuanto a su extensión geográfica los autores MACLACHLAN (1960), SHAGAM (1960) y BECK (1986) indican que este plutón es elongado en dirección este - oeste, con unos 38 km de largo y un ancho de hasta 3 km, encontrándose los afloramientos más orientales entre los poblados de Tejerías,

Tiara y Táchata, estados Aragua y Miranda, mientras que el punto más occidental se ubica cerca del caserío de Zuata, a pocos kilómetros al este de Cagua, estado Aragua.

Esta unidad no se ha datado radiométricamente, pero le asignan una edad Paleozoico (OSTOS, 1990).

2.3.- Geología Estructural Regional

La parte central de las Montañas Centro-Occidentales del Caribe fue dividida por MENÉNDEZ (1966) en cuatro fajas tectónicas (figura 2.1), indicadas por los rasgos estructurales particulares que se presentan a través de las montañas, específicamente, las tres fallas principales de extensión regional con rumbo E-W que la divide en las siguientes cuatro fajas tectónicas, de norte a sur:

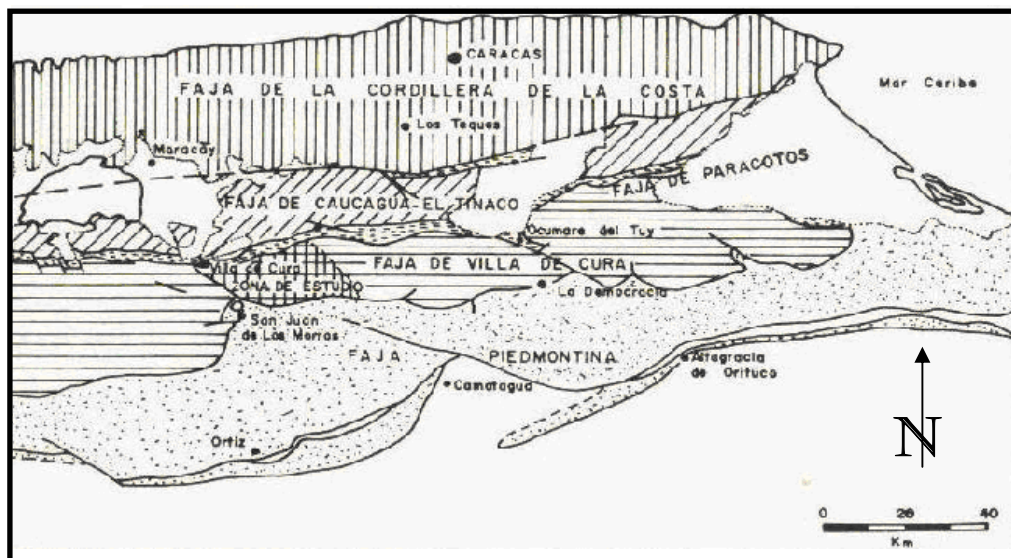


Figura 2.1.- Mapa de ubicación de las fajas tectónicas según BELL (1968).

1. **Faja tectónica de la Cordillera de la Costa:** Limitada al sur por la zona de fallas de La Victoria.
2. **Faja tectónica de Caucagua-El Tinaco:** Definida por la zona de fallas de La Victoria. Su límite sur es la falla de Santa Rosa, que se extiende desde la región de Miranda central hasta las serranías del Cerro El Jobal hacia el oeste.
3. **Faja de Paracotos:** Aflora desde la región de Miranda central hasta la región de Carabobo oriental, entre la falla de Santa Rosa al norte y la falla de Agua Fría al sur.
4. **Bloque alóctono de Villa de Cura:** Limitada al norte por la falla de Agua Fría y hacia el sur por las fallas de Cantagallo y La Puerta.

La zona de estudio forma parte principalmente de la faja tectónica de Caucagua-El Tinaco y en menor proporción de las fajas de Paracotos y Villa de Cura, por lo a que a continuación se explicará brevemente las principales estructuras de la cordillera de la Costa haciendo mayor énfasis en estas tres fajas (figura 2.2).

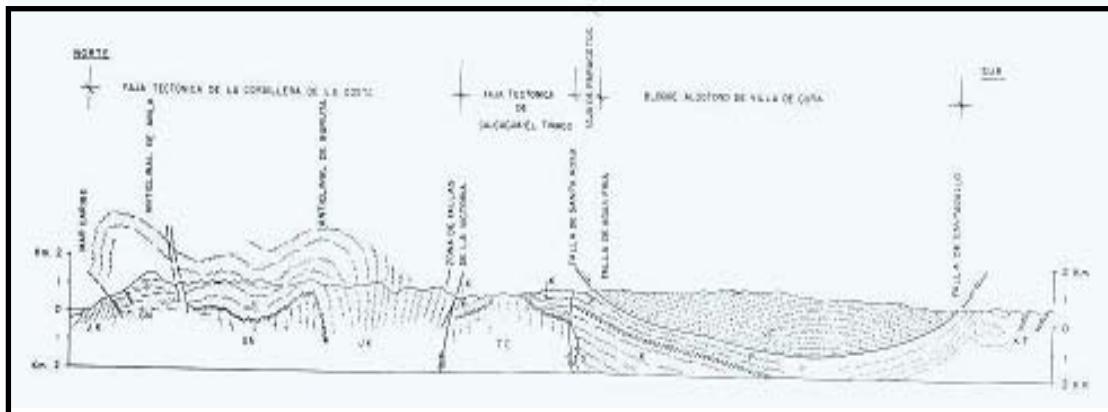


Figura 2.2.- Composición generalizada de cortes geológicos transversales de la región central de la Cordillera de la Costa. Tomado de: MENÉNDEZ, (1966).

Zona de fallas de la Victoria: Separa a la faja de la Cordillera de la Costa de la faja Caucagua-El Tinaco. Representa un sistemas de fallas longitudinales que se ha seguido por aproximadamente 140 km de distancia, desde la zona central del estado Miranda al este hasta la costa oriental del Lago de Valencia al oeste (MENÉNDEZ, 1966), sin embargo, BELLIZZIA (1972) la extiende con rumbo N75°E hacia el oeste hasta la zona de falla de Barquisimeto. El movimiento de esta falla es vertical, aunque SMITH (1952) describe un movimiento dextral transcurrente de pocos kilómetros.

Falla de Agua Fría y Santa Rosa: Tienen un rumbo aproximado de N80°E, estas estructuras limitan a la faja de Paracotos y según SHAGAM (1960) eran probablemente fallas normales que sufrieron una cierta rotación durante las deformaciones mas jóvenes. Debido a esto la falla de Agua Fría parece una falla inversa de alto ángulo, la existencia de rocas intensamente cizalladas en las cercanías de la falla de Santa Rosa, sugiere que también se produjo cierto movimiento dextral. Estas fallas presentan rechazos verticales de no menos de 500 m.

Por su parte MENÉNDEZ (1966) menciona que la falla de Santa Rosa parece ser una falla normal con labio deprimido hacia el sur, posiblemente como resultado de la depresión de la zona donde vino a descansar el bloque de Villa de Cura y destacó la evidencia estructural que indica que la falla de Agua Fría es un corrimiento de estratificación y que, por consiguiente, el deslizamiento del Bloque de Villa de Cura por encima de las capas de Paracotos debe haberse producido en tiempos del Maestrichtiense o posteriores. Dentro de la faja de Paracotos la estructura es muy compleja en detalle; abundan los pliegues desarmónicos en las filitas, sin embargo, los estratos competentes de conglomerado y caliza de la parte superior tienen una posición constante, con rumbo paralelo a la falla de Agua Fría y buzamiento hacia la falla. En todos los casos, estos estratos y los que se encuentran en el lado norte del bloque de Villa de Cura a través de la falla de Agua Fría parecen buzarse en forma similar hacia el sur (SHAGAM, (1960); KONIGSMARK, (1958); OXBURGH, (1966); SEIDERS, (1965).

2.4-. Evolución Tectónica del Bloque Alóctono de Villa de Cura

El proceso de formación y evolución tectónica de la faja de Villa de Cura propuesto por NAVARRO (1983) se divide en cinco etapas (figura 2.3) que se presentan a continuación:

Etapas I: Aquí este autor destaca dos aspectos importantes; en primer lugar, una placa continental ubicada al sur la cual denominó proto continente suramericano y en segundo lugar un océano ubicado al norte del previamente citado continente y que corresponde al caribe antiguo.

El proto continente pudo estar constituido en su mayor parte por rocas precámbricas aunque es muy probable que se encontrase bordeado por un cinturón paleozoico (cuyos remanentes podemos observar en parte en la región de El Baúl), asociado esto a una sedimentación del tipo plataformal al norte del borde del proto Suramérica originándose algunas de las unidades incluidas dentro del Grupo Caracas.

Al norte del borde septentrional del proto continente, dentro de la cuenca oceánica, se produce una ruptura paralela a dicho borde iniciando un proceso de convergencia, resultando en una subducción con polaridad norte de la porción de corteza oceánica ubicada al sur de la ruptura.

Etapas II: Contemporáneamente al proceso de subducción se genera en el borde del continente un foco de expansión, comenzando a separarse una porción del continente (micro-continente) del resto del mismo.

Al norte de la zona de subducción y como resultado de la fusión de la corteza oceánica en el manto superior, se produce actividad volcánica, cuyo resultado es la generación de un arco de islas.

Etapa III: Casi toda la porción de la corteza oceánica ubicada entre el micro-continente y el recién generado arco de islas, se ha consumido por debajo de este último. Las rocas depositadas en la plataforma continental, forman parte ahora del complejo de subducción y han sido deformadas y metamorfizadas a alta P/T por la colisión del arco de islas con el micro-continente, el cual a su vez se ha separado del proto-continente suramericano, quedando entre ambos una cuenca marginal oceánica cuya corteza fue generada en el centro de expansión que originó la separación de las masas continentales ya citadas.

Etapa IV: Se ha completado ya la colisión de arco de islas/micro-continente, el complejo de subducción fuertemente deformado se ubica entre ambos. El cese de la subducción ocasiona que las isothermas anteriormente deprimidas a lo largo de la zona de *Benioff* vuelvan a su estado normal, aumentándose por ello la temperatura de aquellas rocas metamorfizadas originalmente a altas P/T, de manera que se reequilibra a condiciones de menor P/T.

El micro-continente previamente citado corresponde hoy en día al núcleo de la Cordillera de la Costa, donde se han reportado rocas que por su edad, pueden corresponder al cinturón paleozoico ya mencionado con anterioridad y que supuestamente bordeaba al proto continente suramericano. Estas rocas de edad Paleozoica son: El Granito de Sebastopol, 425 m.a. (GONZÁLEZ DE JUANA *et. al.*, 1980) y el granito de Guaremal, 409 m.a. (URBANI, 1982).

Fragmentos de corteza oceánica localizados dentro del complejo de subducción metamorfizados de alta P/T y reequilibrados posteriormente a una P/T inferior, están representados por las anfibolitas, glaucofanitas y eglogitas estudiadas por TALUKDAR & LOUREIRO (1982). El cinturón de rocas formadas a alta P/T correspondientes al mismo evento tectónico, están representados al menos en parte por las rocas ígneas de afinidad calco-alcalinas y las metamórficas de las islas de Venezuela.

Al sur del micro-continente, como se mencionó anteriormente, nos encontramos en una cuenca oceánica marginal que representa el lugar de origen de las rocas de la Faja de Villa de Cura. La asociación de rocas volcánicas y volcanoclásticas, estas últimas posiblemente de composición andesítica, constituye la característica fundamental de las rocas originadas en este tipo de cuenca (DEWEY Y BIRD, 1971). Los mismos autores indican que las cuencas de este tipo, se hacen más jóvenes a medida que se alejan del borde continental, debido a que a medida que la cuenca marginal se expande, el foco de expansión migra alejándose del continente. Resulta importante anotar aquí la presencia de rocas volcánicas félsicas de composición fundamentalmente dacítica dentro de la secuencia de Villa de Cura, representada principalmente por los granofels cuarzo albíticos.

Dentro de la misma etapa IV del proceso de convergencia que produjo la colisión del arco de islas/micro-continente continua, por lo que consecuentemente se inicia una nueva subducción esta vez con polaridad sur, dentro de la cuenca marginal, generándose en consecuencia un nuevo arco de islas, el cual es responsable de la gran cantidad de rocas volcanoclásticas y cenizas que se reportan en la citada faja de Villa de Cura. Dicho arco está representado hoy en día por la unidad de lavas, brechas y tobas (Volcánicas de Tiara).

Etapas V: Representa el final de la subducción iniciada en la etapa anterior, la cual concluye al colisionar el micro-continente con el segundo arco de islas, proceso en el cual las rocas volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias de la cuenca son metamorfozadas a alta P/T. Al sur del arco de islas (norte del proto continente) queda un remanente de cuenca oceánica marginal, la cual se propicia para que se produzca en ella una sedimentación tipo *flysch*, representada hoy en día por la Formación Guárico.

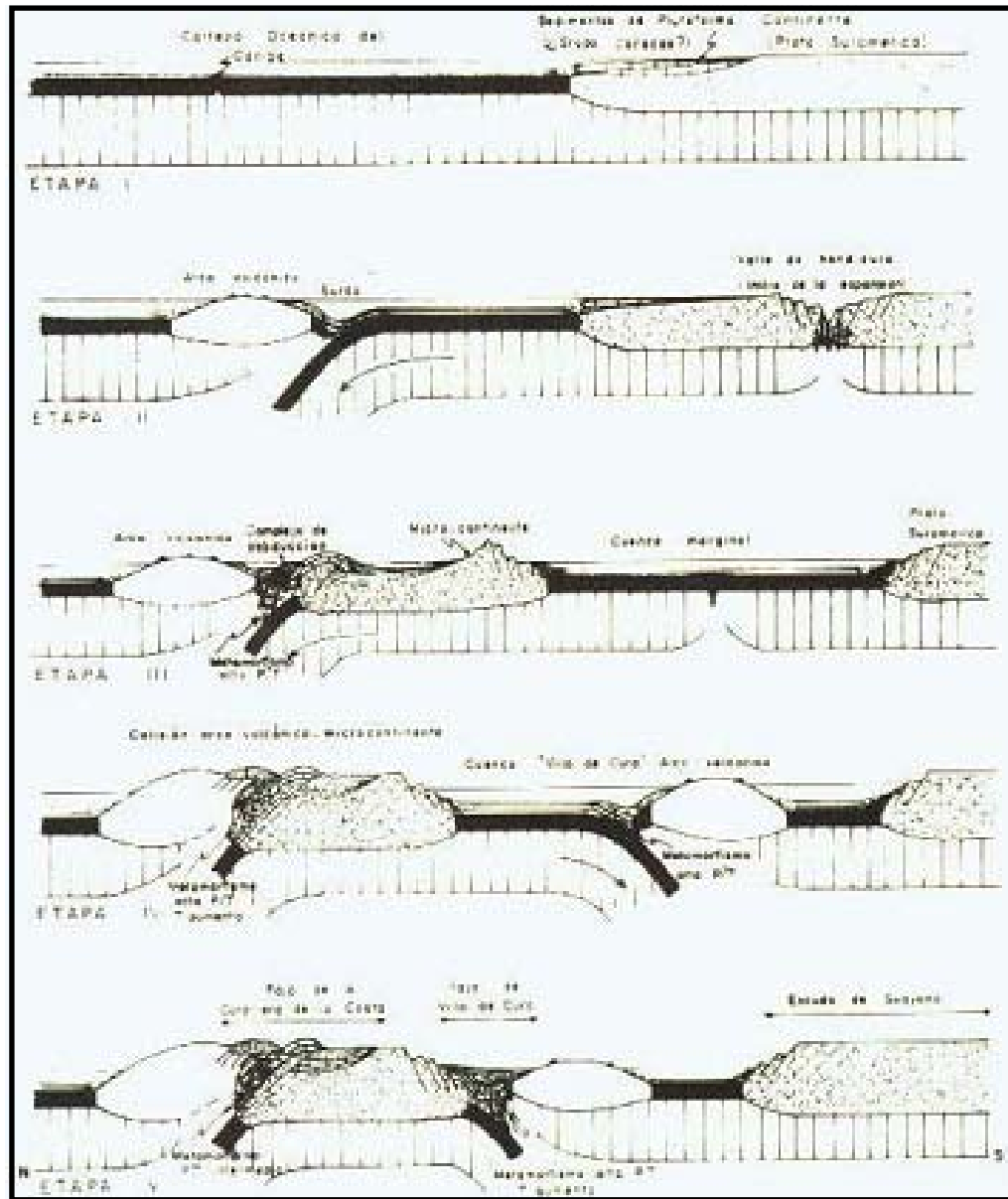


Figura 2.3.- Evolución tectónica de la Cordillera de la Costa, con especial énfasis en el desarrollo de la cuenca marginal de Villa de Cura. Modelo de desarrollo de la región septentrional de la Cordillera de la Costa según TALUKDAR Y LOUREIRO (1982), modificado por NAVARRO (1983).

CAPÍTULO III

3.- GEOGRAFÍA FÍSICA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL

3.1.- Generalidades

El sistema montañoso de la Cordillera del Caribe, en su sector centro occidental, está integrado por dos elementos tectónicos y fisiográficos distintos, marcados por una hendidura axial que sigue el curso de la falla de la Victoria, representados por la Cordillera de la Costa al norte y la Serranía del Interior al sur (GONZÁLEZ DE JUANA *et al*, 1980).

El valle del río Tucutunemo se encuentra encajado en la Serranía del Interior, la cual se caracteriza por filas y estribos con alturas entre 1.000 y 1.200 metros, que contrastan con el carácter rectilíneo de la Cordillera de la Costa. A continuación se describen las principales características físicas y geomorfológicas de la zona.

3.2.- Geografía Física

El área de estudio dispone de datos climatológicos provenientes de la estación *El Cortijo*, cuyas coordenadas geográficas son 10°04'53" N y 67°25'05" W, y una altura sobre el nivel del mar de 590 m.

Los datos climatológicos utilizados fueron suministrados por el Ministerio del Ambiente y corresponden a un período comprendido entre los años 1980-1987, puesto que no se dispone de información más reciente, ya que actualmente esta estación no se encuentra en funcionamiento.

3.2.1.- Clima

Según los datos climatológicos disponibles, la zona de estudio presenta una precipitación media anual de 890,2 mm.

Esta precipitación se distribuye en dos períodos o estaciones bien marcadas, una de lluvia denominada “invierno” y otra de sequía o “verano” (figura 3.1). En cuanto a la duración de cada estación, se tiene que la primera de ellas abarca seis meses, comenzando en mayo y terminando en octubre (concentrándose en este período casi el 85% de la precipitación total anual), siendo agosto y septiembre los meses donde se registran los mayores valores de precipitación (mayores a 140 mm). Por su parte, el período de sequía se extiende desde noviembre hasta abril, observándose en los meses de enero y febrero los menores registros, con precipitaciones mensuales medias frecuentemente inferiores a 10 mm, mientras que los meses de abril y noviembre son de carácter transicional.

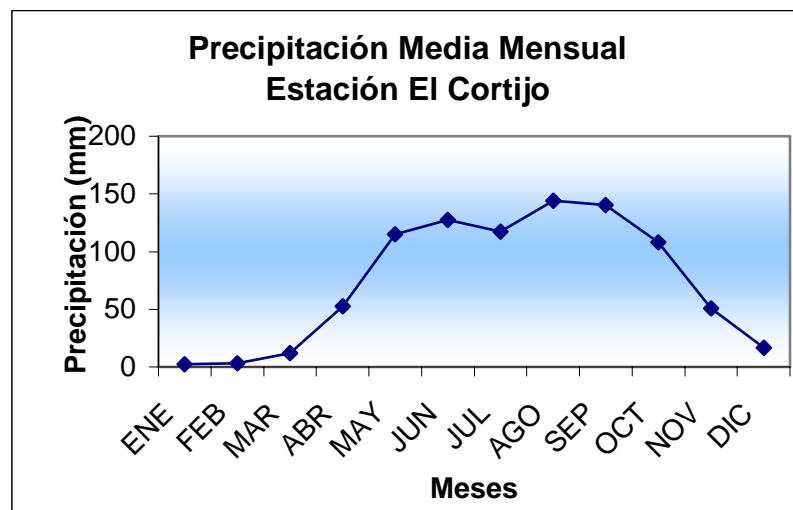


Figura 3.1.- Gráfico de precipitación media mensual.

Las temperaturas medias mensuales de la zona, son altas a lo largo de todo el año y la amplitud térmica media anual es de 2,5 °C. La temperatura media anual

registrada por la estación de El Cortijo es de 25,1 °C, siendo abril el mes más cálido con una temperatura promedio de 26,7 °C, mientras que los meses de diciembre, enero, julio, agosto y septiembre son los más frescos, con una temperatura promedio de 24,4 °C (figura 3.2).

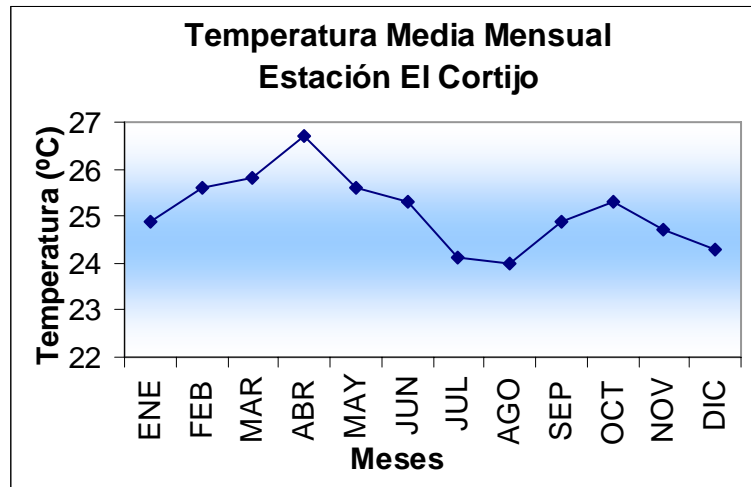


Figura 3.2.- Gráfico de temperatura media mensual

La evaporación anual alcanza valores promedios de 2.229,5 mm, según los registros suministrados por la estación El Cortijo, notándose que el período de mayor evaporación corresponde a los meses de enero, febrero, marzo y abril (figura 3.3).

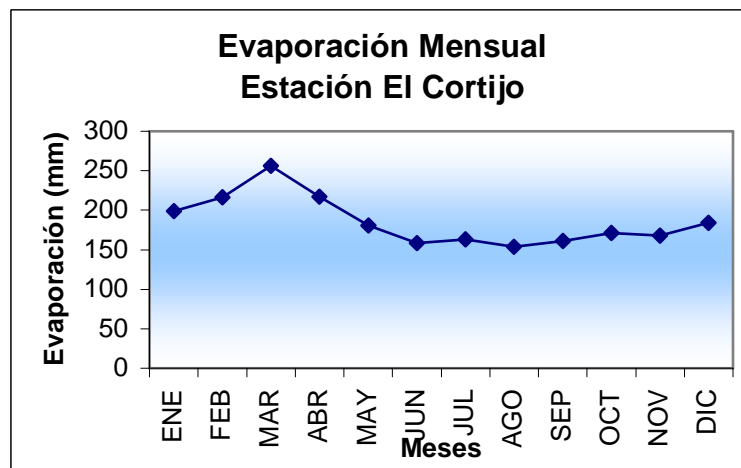


Figura 3.3.- Gráfico de evaporación media mensual

Finalmente se tiene que la evapotranspiración promedio anual en la zona es 1.221 mm, notándose que los valores más altos oscilan entre 117 y 127 mm por mes y ocurren en el período de lluvia (figura 3.4).

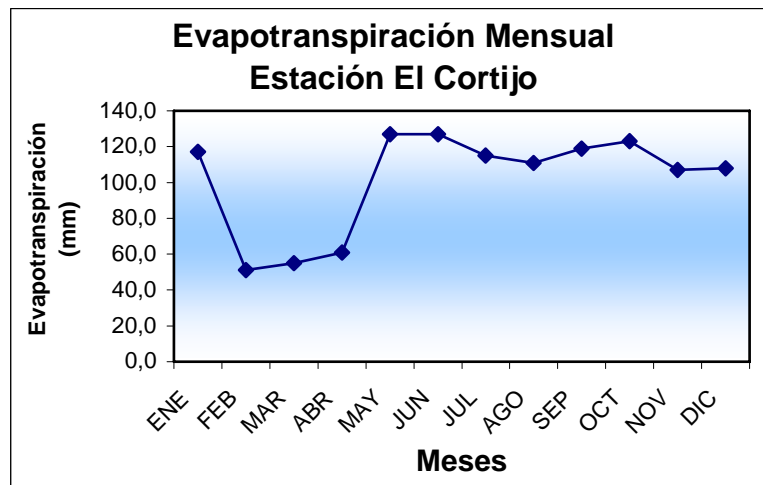


Figura 3.4.- Gráfico de evapotranspiración mensual

3.2.2.- Vegetación

Según VILORIA & ZINCK (1986) y MARCANO & MENDOZA (1996), la vegetación natural ha sido intervenida o eliminada en la mayor parte del área de estudio, para dar paso a las actividades agrícolas, las cuales han estado localizadas principalmente en el fondo de valle y en el piedemonte, subsistiendo sólo algunos remanentes más o menos degradados de la vegetación original (figura 3.5).

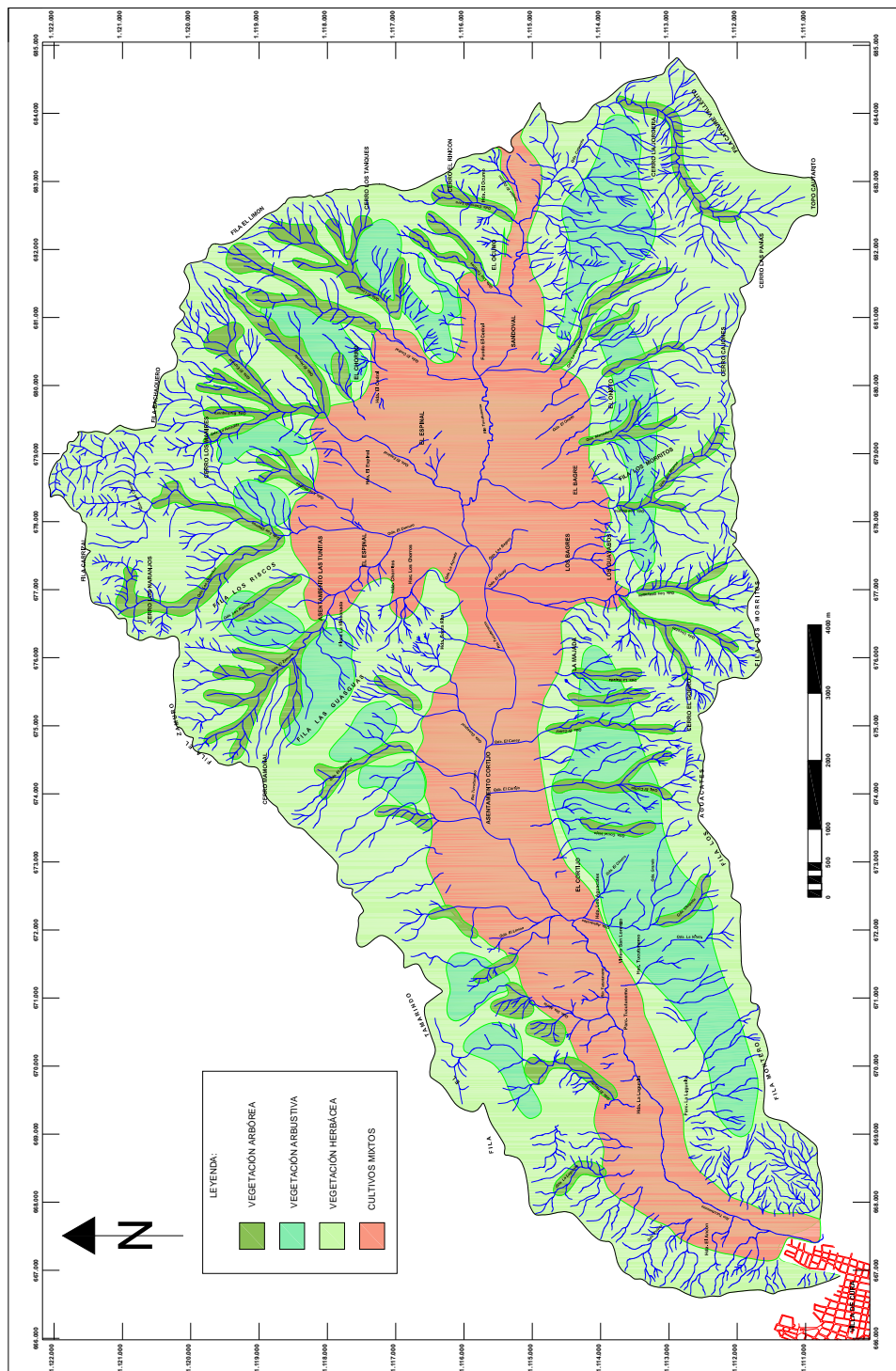


Figura 3.5.- Mapa de Vegetación
Tomado de: Marcano & Mendoza (1996)

A lo largo del río Tucutunemo y de algunas de las quebradas que desembocan en él, existe una vegetación arbórea de bosque de galería la cual se caracteriza por elementos arbóreos, que forman por lo menos un estrato de copas más o menos continuo, generalmente de más de 5 m de altura, con predominancia de especies como Samán, Jabillo, Jobo, Algarrobo, Apamate, Ceiba y Bucare (figura 3.6).



**Figura 3.6.- Vegetación arbórea, en la Quebrada Los Riscos, sector Las Tunitas
Rumbo de la foto: N53°W**

También se observan zonas en el fondo de valle y en el piedemonte, donde este bosque de galería ha desaparecido casi en su totalidad, permitiendo así el desarrollo de una vegetación arbustiva dominada por elementos leñosos, ramificados desde la base y con alturas menores a los 5 m, caracterizados por especies como Cují, Chaparro, Guayabita, entre otros. Además de una vegetación herbácea que domina extensas superficies tanto de las vertientes montañosas como de sus cumbres, estando representada por especies como el Cardo Santo, la Pira, el Gamelote, etc. (figura 3.7).



**Figura 3.7.- Vegetación herbácea, sector La Lagunita,
Rumbo de la foto: N15°E**

En general, las tierras del valle no utilizadas con fines agropecuarios se encuentran cubiertas por una vegetación de rastrojo, compuesta por plantas herbáceas mezcladas con arbustos y árboles pequeños.

3.2.3.- Drenajes

El río principal de la red hidrográfica del área de estudio es el Tucutunemo, el cual se individualiza a partir de la confluencia de las quebradas Cataurito y El Cedral, ubicado en los alrededores del Fundo El Cedral (anexo 1) y su cuenca alta o nacimiento real la constituyen las cuencas de las citadas quebradas.

La cuenca de la quebrada Cataurito está ubicada al SE de la zona, entre la Fila Cataure-Vallecito, Cerro La Jorgera y Cerro El Rincón, cuyo patrón de drenaje general es del tipo subparalelo. Su drenaje principal nace en La Fila Cataure-Vallecito, con una dirección aproximada SO-NE, para luego cambiar su dirección a

SE-NO en el Cerro La Jorgera siguiendo un patrón de canal regular hasta confluir con la quebrada El Cedral.

La quebrada El Cedral se encuentra ubicada al NE de la zona de estudio y se extiende desde la Fila El Limón hasta El Fundo El Cedral, siguiendo un patrón de canal regular con una dirección aproximada NE-SO y cuya cuenca presenta un patrón de drenaje dendrítico.

Una vez que las quebradas anteriormente citadas confluyen, forman el río Tucutunemo, el cual se desplaza en dirección este-oeste desde su origen hasta su unión con la quebrada El Cortijo (ubicada en el Asentamiento El Cortijo). El patrón de canal que presenta este tramo es variable, siendo irregular desde su nacimiento hasta la unión del río con la quebrada El Zamuro (ubicado al norte, en el sector El Espinal), para luego cambiar a un patrón de canal transicional hasta el Asentamiento Cortijo. Finalmente el río toma una dirección aproximada NE-SO hasta el poblado de Villa de Cura, manteniendo el patrón de canal transicional, recorriendo de esta manera una trayectoria aproximada desde su nacimiento de 14,5 km.

El río Tucutunemo posee un régimen de escurrimiento no permanente, por lo que se ha detectado un caudal prácticamente nulo durante el período de diciembre a junio. Sin embargo, pueden producirse inundaciones anuales por desbordamiento del río que por lo general afectan solamente a la estrecha vega funcional que bordea a su cauce, sin embargo se tiene información de la ocurrencia de inundaciones excepcionales como la reportada en meses pasados (noviembre de 2005), la cual afectó la zona este, específicamente el área ubicada entre los asentamientos Los Bagres, El Onoto y El Ocumo.

La red hidrográfica es completada por numerosas quebradas de escurrimiento esporádico, que bajan de las vertientes montañosas que limitan al valle y que desembocan en el río Tucutunemo.

Al norte del río, se puede observar un cambio en la densidad de drenajes que tiene como límite la Fila Las Guasguas (figura 3.8), la cual divide la zona norte en dos sectores, este y oeste. El sector este, se caracteriza por presentar una alta densidad de drenajes, siendo sus principales tributarios las quebradas El Espinal y El Zamuro, las cuales se identifican por tener un patrón de canal transicional, incorporándose al río Tucutunemo con una dirección aproximada NE-SO.



Figura 3.8.- Cambio en la densidad de drenaje, de alta (este) a baja (oeste).

Tomado de: Google Earth (2006)

Por su parte, el sector oeste muestra una densidad de drenajes baja, representada principalmente por los tributarios; las quebradas Mamonal, Guasqual, Santa María y El Hoyito ubicadas entre los sectores de La Lagunita y El Cortijo, las cuales se caracterizan por presentar un patrón de canal transicional y una menor extensión con respecto a los tributarios del sector este.

Por otro lado, al observar los tributarios ubicados al sur del río Tucutunemo, se nota que la mayor densidad de drenaje se encuentra al este, y va disminuyendo a medida que se desplaza al oeste, siendo esta disminución menos marcada o brusca, en comparación con la observada al norte.

Los tributarios provenientes de la vertiente sur están representados principalmente por las quebradas; La Vazquera, El Onoto, Manadero y Los Bagres al este y las quebradas Los Guayabos, El Cortijo y Aguacates al oeste, presentando patrones de canal regular y transicional respectivamente.

El patrón de drenaje presente en las vertientes norte y sur del río Tucutunemo es del tipo dendrítico, siendo más acentuado en los sectores donde la densidad de drenaje es alta, rasgo que se debe principalmente a las características o propiedades de la litología aflorante en la zona, ya que en aquellos lugares en donde la densidad de drenaje es alta, los materiales que integran la roca son finos representada principalmente por filitas (Filita de Tucutunemo y Filita de Paracotos), mientras que en las zonas con menor densidad de drenaje (NO de la zona de estudio), la litología presente son esquistos, pertenecientes a la unidad litodémica Esquisto de Las Mercedes (anexo 3).

3.3.- Geomorfología Local

El Valle del río Tucutunemo constituye un surco tectónico longitudinal encajado en la Serranía del Interior en sentido Este-Oeste en contacto con la parte Sur-Oriental de la Depresión del Lago de Valencia. En él se aprecian tres tipos de paisajes: un paisaje representado por los rebordes montañosos ubicados al norte y sur del valle, un paisaje de piedemonte que constituye una faja más o menos continua que rodea el fondo del valle y un paisaje de fondo de valle, el cual ocupa la parte central del área de estudio, siendo estos últimos definidos y descritos por VILORIA & ZINCK (1986) (figura 3.9 y anexo 4).

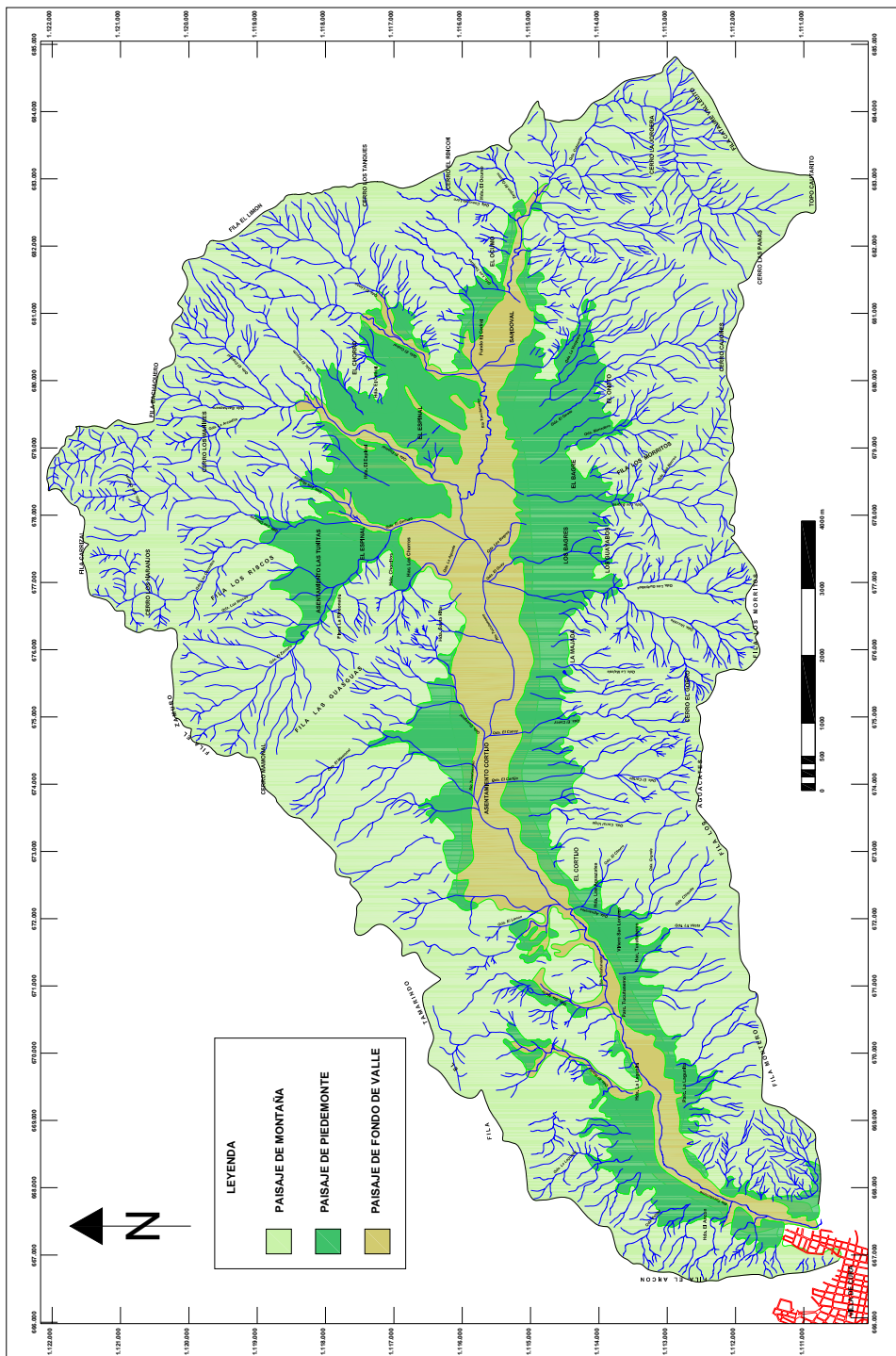


Figura 3.9.- Mapa de Paisajes Geomorfológicos Tomado de: Viloria & Zinck (1986)

3.3.1.- Paisaje de Montaña

Este paisaje se encuentra en contacto directo con el paisaje de piedemonte y se caracteriza por poseer dos filas alargadas, una al norte y otra al sur del Valle, que constituyen la divisoria de agua de la cuenca del río Tucutunemo.

El límite norte está representado por los altos topográficos: Fila El Tamarindo, Cerro Mamonal, Fila El Zamuro y Fila Carrizal, que juntos generan una línea de cresta de trayectoria sinuosa o curvilínea con un rumbo aproximado N50°E que posteriormente cambia su dirección a S60°E, estando constituida por la Fila Carrizal, Fila Bachaquero y Topo Griteño. Por su parte, el límite sur se encuentra representado por los altos topográficos Fila Montero, Fila Los Aguacates, Fila Los Morritos, Cerro Cajones, Topo Cataurito y Fila Cataure-Vallecito, los cuales generan una línea de cresta sinuosa con rumbo aproximado este-oeste. Ambas líneas de cresta se interconectan en el extremo este de la cuenca a través de la Fila El Limón, Cerro Los Tanques, Cerro El Rincón y el estribo norte de la Fila Cataure-Vallecito (que bordea la quebrada Cataurito), para generar una especie de “herradura” que envuelve al Valle del río Tucutunemo (anexo 1).

Las montañas que representan el límite norte del valle, poseen una línea de cresta angosta y aguda hacia el este y ancha y redondeada al oeste, con alturas entre 600 m (Fila El Tamarindo) y 1.300 m (Topo Griteño), generando un declive general hacia el SO. Por su parte las montañas que se encuentran al sur poseen una línea de cresta angosta y aguda con alturas entre 1.600 m (Topo Cataurito) y 800 m (Fila Montero), generando un declive general hacia el oeste.

Al observar el mapa geológico del área de estudio (anexo 3), se nota que los cambios en las formas de las crestas (de angosta y aguda a ancha y redondeada), obedecen a la litología presente, característica que junto a la densidad de drenaje

evidencian los cambios de litologías que se tienen tanto en la ladera norte como en la sur.

3.3.2.- Paisaje de Piedemonte

El piedemonte forma un cinturón más o menos continuo entre las llanuras aluviales y el pie de los rebordes montañosos; de esta manera constituye un paisaje de transición entre el paisaje de fondo de valle al centro y el paisaje de montaña al norte y sur. El piedemonte está constituido por una serie de planos inclinados perpendiculares a la orientación general del valle, los cuales se prolongan dentro del paisaje de montaña mediante estrechos vallecitos coluvio-aluviales de quebradas laterales.

El material está constituido de sedimentos aluviales de procedencia lateral y de origen local, traídos por las quebradas que bajan de las vertientes montañosas circundantes y depositadas a lo largo de la faja de contacto entre montaña y valle. El proceso deposicional predominante es el de explayamiento (abanicos, glacis y canales de explayamiento) y localmente de ahogamiento (abanicos y glacis de ahogamiento) (anexo 5). La textura de los sedimentos es mediana en las formas de terreno originada por explayamiento y más fina en las formas de terreno originadas por ahogamiento. En ambos casos los depósitos incluyen, generalmente, estratos de material más grueso (arena y/o grava). La profundidad de la grava es muy variable en pequeñas distancias y oscila entre 15 cm hasta más de 150 cm. Los planos inclinados están sometidos a un intenso escurrimiento difuso y al entallamiento de surcos de erosión de 10 a 40 cm de profundidad.

En función de la edad relativa de los sedimentos y de la altura en relación al fondo del valle, VILORIA & ZINCK (1986) distinguen dos clases de planos inclinados, los cuales describen y definen más no los cartografían, estos tipos de planos son:

- **Planos inclinados recientes:** formados por depósitos del Pleistoceno Superior y del Holoceno (Q0-Q1). Su frente se une gradualmente con las llanuras aluviales, pero sus partes apicales dominan topográficamente al fondo del valle por alturas variables de 10 a 20 m.

- **Planos inclinados antiguos:** formados por depósitos del Pleistoceno Medio (Q2) o Medio a Inferior (Q3). Constituyen terrazas medianas a altas generalmente delimitadas por rebordes abruptos, aunque algunas veces pueden tener un contacto gradual con las llanuras aluviales o con los planos inclinados recientes. La parte apical de las terrazas medianas domina topográficamente al fondo del valle por alturas de 20 a 40 m, mientras que la de las terrazas altas dominan al fondo del valle por 40 a 50 m.

3.2.3.- Paisaje de Fondo de Valle

Constituye una superficie deposicional relativamente plana y estrecha, rellenada por aluviones recientes (Pleistoceno Superior y Holoceno) de procedencia longitudinal, transportados por el río Tucutunemo. En este tipo de paisaje se pueden distinguir dos tipos principales de relieve: las vegas aluviales y las llanuras aluviales.

- **Las Vegas:** las vegas constituyen el tipo de relieve más bajo del área, tienen una configuración alargada y estrecha y están dominadas de 1 a 3 m por las llanuras aluviales y los planos inclinados aluviales. De acuerdo al régimen de inundación, y a la granulometría y edad de los sedimentos, pueden distinguirse cuatro tipos diferentes de vegas en el área estudiada: las vegas actuales, las vegas subactuales o no funcionales, las vegas colmatadas y las vegas de ahogamiento (cuadro 3.1 y anexo 5).

Cuadro 3.1.- Tipos de Vegas y sus Características

TIPOS DE VEGAS	DE AHOGAMIENTO	COLMATADAS	ACTUALES Y NO FUNCIONALES
<p>CARACTERÍSTICAS GENERALES</p>	<p>Corresponden a depresiones alargadas, encajonadas en los planos aluviales antiguos, que han sido rellenadas en época reciente por sedimentos aluviales</p>	<p>No son activas en actualidad, corresponden a vegas abandonadas por los cambios sucesivos de los cursos de agua</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se encuentran encajados en las llanuras aluviales y en los planos inclinados aluviales, con los cuales entran en contacto mediante un reborde de terraza abrupto. • Las vegas actuales están sometidas a inundaciones anuales por desbordamiento de los cursos de agua, mientras que las no funcionales pueden sufrir inundaciones excepcionales • La microtopografía es irregular, debido al entalle de canales de creciente y cauces abandonados.
<p>UBICACIÓN</p>	<p>Su contacto con los planos inclinados ocurre, generalmente, mediante un desnivel gradual, sin embargo, localmente este contacto puede ser un reborde abrupto.</p>	<p>Entran en contacto con las llanuras aluviales y los planos inclinados aluviales, a través de un desnivel gradual.</p>	<p>Los dos tipos de vegas bordean uno o ambos márgenes del cauce del río Tucutunemo y de algunas de las quebradas que desembocan en él, aunque las no funcionales solo se ubican en el tramo inicial del valle (a la altura de los asentamientos campesinos El Ocumo y Los Bagres).</p>
<p>EDAD Y TIPOS DE SEDIMENTOS</p>	<p>Han sido rellenadas en época reciente (Pleistoceno Superior) por sedimentos aluviales de textura fina, con un alto contenido de arcillas expansibles.</p>	<p>Rellenados por sedimentos recientes (Holoceno), de textura fina, con un substrato de grava subyacente profundo o moderadamente profundo.</p>	<p>Los sedimentos son muy recientes (Holoceno), de texturas medianas, con un substrato de arena y/o grava relativamente poco profundo.</p>

- **Las llanuras:** Las llanuras aluviales ocupan la mayor parte del fondo del valle (anexo 5). Ellas han sido formadas por sedimentos recientes que datan del Pleistoceno Superior (Q1) con prolongaciones locales durante el Holoceno (Q0), la naturaleza de los sedimentos varía de acuerdo a la posición geomorfológica:
 - Los albardones de orilla y los de difluente están constituidos por sedimentos medianos a gruesos y forman diques estrechos y convexos que dominan a los bajíos por 2 a 3 m de altura.
 - Las napas de explayamiento y napas de desborde (bancos medianos con 1 a 2 m en relación a los bajíos) presentan sedimentos medianos, a base de arena en el primer caso y a base de limo en el segundo.
 - Las cubetas de desborde, de ahogamiento (bajíos abiertos, relativamente bien drenados) y de bloqueo (bajíos abiertos con drenaje moderado y localmente imperfecto), están constituidas por sedimentos finos (33-60% de arcilla), pudiéndose encontrar en las cubetas de ahogamiento pequeños fragmentos de grava dispersos dentro de esta matriz fina.

Al comienzo del valle del río Tucutunemo (a la altura del asentamiento campesino El Ocumo), la asociación de las posiciones geomorfológicas presentes (albardones de orilla y de difluentes, napas de explayamiento y cubetas de ahogamiento y de desborde) comprende un sistema deposicional de valle encajado muy intrincado. Sin embargo, aguas abajo, el sistema deposicional cambia progresivamente. Por una parte los albardones se reducen paulatinamente hasta desaparecer por completo y, por la otra, las cubetas aumentan en importancia hasta la formación de una cubeta de bloqueo de gran tamaño, la cual llega a ocupar toda la extensión de la llanura aluvial a la altura del asentamiento campesino El Cortijo

(anexo 5). Esto se debe presumiblemente a un represamiento sufrido por las aguas durante el último período pluvial, como consecuencia del estrechamiento que sufre el valle al Oeste del asentamiento El Cortijo.

A partir de este estrechamiento, la llanura aluvial está constituida por napas y cubetas, siendo los albardones de muy poca expresión.

CAPÍTULO IV

4.- GEOLOGÍA LOCAL

4.1.- Generalidades

El valle del río Tucutunemo posee una orientación general NE-SO y se caracteriza por ser amplio y asimétrico en su origen y estrecho hacia donde baja el curso de su río principal, sus mayores cotas se ubican hacia el este, alcanzando valores de 640 m y descienden en la misma dirección del valle hasta llegar a la cota de 540 m. La planicie aluvial que se encuentra enmarcada en este valle, ocupa la mayor parte de la zona de estudio, y representa el área de máximo interés respecto a los recursos de aguas subterráneas.

Según MACLACHLAN *et al.* (1960) y SHAGAM (1960), los sedimentos que dan forma a esta planicie descansan posiblemente en discordancia sobre una superficie de rocas metamórficas de edad Paleozoico tardío (BENJAMINI *et al.*, 1986) (figura 4.1).

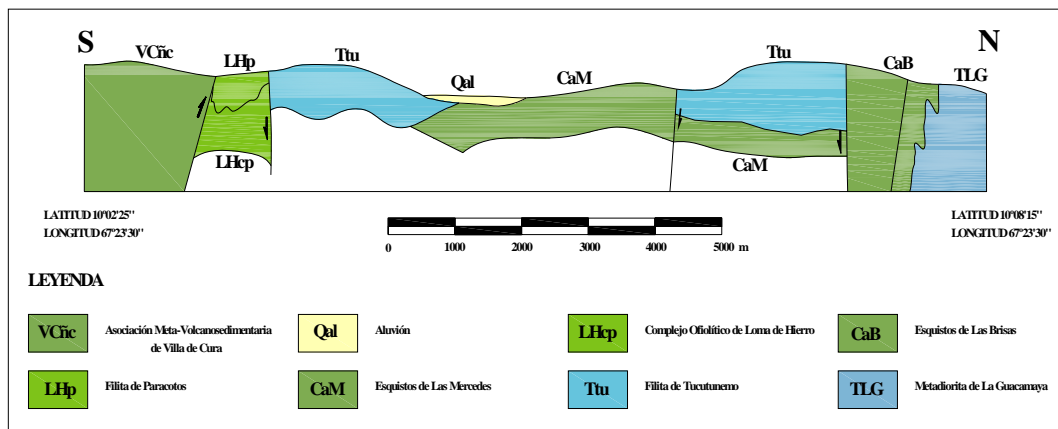


Figura 4.1.- Corte geológico representativo del basamento del Valle del río Tucutunemo.

Tomado de: MACLACHLAN *et al.* (1960)

Por su ubicación, los sedimentos que rellenan la cuenca son de composición mineralógica heterogénea, debido a la presencia de las diferentes unidades litológicas que suministran los materiales y del sistema hidrográfico que los transporta.

4.2.- Sedimentos Cuaternarios

La descripción de la forma en que se distribuyen en el subsuelo los depósitos aluviales que rellenan esta subcuenca, tributaria del río Guárico, y cuyo colector principal es el río Tucutunemo, se basa fundamentalmente en los perfiles litológicos obtenidos a partir de las perforaciones para los pozos de agua construidos en el área de estudio por organismos públicos y privados (Cuadro 4.1).

Cuadro 4.1.- Ubicación y fuente de los perfiles litológicos disponibles en el Valle del río Tucutunemo.

Pozo	Sector	Institución Pública o Compañía Perforadora
P-LL-114	La Lagunita	Ministerio de Obras Públicas (1964)
P-A-8	El Cortijo	Ministerio de Obras Públicas (1964)
P-A-6	El Cortijo	Ministerio de Obras Públicas (1964)
P-EC-109	El Cortijo	Ministerio de Agricultura y Cría (1985)
P-EC-97	El Cortijo	Ministerio de Obras Públicas (1964)
P-A-5	El Cortijo	Ministerio de Obras Públicas (1964)
P-A-9	El Cortijo	Instituto Agrario Nacional (1966)
P-EC-92	El Cortijo	Instituto Agrario Nacional (1966)
P-EC-87	El Cortijo	Ministerio de Obras Públicas (1964)
P-LB-48	Los Bagres	Ministerio de Agricultura y Cría (1992)
P-LM-81	La Majada	C.A. PARKO (2001)
P-LB-39	Los Bagres	Ministerio de Agricultura y Cría (1992)
P-LCH-76	Los Chorros	C.A. PARKO (2004)
P-LCH-65	Los Chorros	C.A. PARKO (2004)
P-EE-19	El Espinal	Ministerio de Obras Públicas (1987)

Continuación Cuadro 4.1.

P-LB-35	Los Bagres	Ministerio de Agricultura y Cría (1992)
P-LB-37	Los Bagres	Ministerio del Ambiente (1992)
P-LB-46	Los Bagres	C.A. PARKO (2004)
P-A-1	Los Bagres	Ministerio de Agricultura y Cría (1981)
P-EON-10	El Onoto	Ministerio de Agricultura y Cría (1992)

La información litológica disponible es muy general, ya que proviene en su mayoría de la descripción dada por personas por separado, que hicieron la caracterización y no unificaron criterios en cuanto a la clasificación de las muestras obtenidas del subsuelo.

Es por esto, que en este estudio, se trata de unificar estos criterios tomando en cuenta la descripción disponible en cada perfil y aplicando el método de correlación basado en columnas estratigráficas.

En el área de estudio se trazaron o confeccionaron cinco perfiles estratigráficos que abarcan las zonas ubicadas en el asentamiento campesino El Cortijo (ubicado al oeste del área de estudio) y los asentamientos: Los Bagres, El Espinal y El Onoto (ubicado al este del área de estudio).

En la zona de El Cortijo, se dibujaron tres perfiles A-A', B-B' y C-C' (anexo 6), siendo A-A' y C-C' pseudoparalelos, con una dirección aproximada SO-NE, ocupando los extremos superior e inferior del área, los cuales son complementados por el perfil B-B', que une a los dos perfiles anteriores con una dirección aproximada NO-SE.

Se quiso establecer esta configuración para observar los cambios litológicos de los estratos en dirección paralela al curso del río Tucutunemo, y a su vez los evidenciados en la sección transversal a éste y alguno de sus afluentes.

Por otro lado, se tienen dos perfiles que abarcan las zonas de los asentamientos campesinos Los Bagres, El Espinal y El Onoto identificados como D-D' y E-E' (anexo 7). Cada perfil está conformado por una línea principal de correlación, una que sigue una dirección SO-NE (perfil D-D') y otra casi perpendicular a la anterior con dirección NO-SE (perfil E-E').

Al igual que en los perfiles ubicados en el sector El Cortijo, la configuración de estos se establece de esta forma para observar los cambios litológicos que ocurren en secciones paralelas y transversales al cauce principal y algunos de sus afluentes.

4.2.1.- Diagrama Sector El Cortijo

En el perfil A-A' (anexo 6), se observan capas permeables (arenas y gravas) intercaladas con capas impermeables, presentando ambas buena continuidad. Hacia el norte predominan las capas formadas por sedimentos gruesos, observándose dos potentes espesores, uno superficial y otro ubicado a una profundidad intermedia, los cuales alcanzan espesores de hasta 15 m, representando un 67% del espesor total de sedimentos en esta zona. Sin embargo a medida que se avanza al sur, estas capas de material grueso tienden a disminuir su espesor (hasta menos de 5 m) y en algunos casos llegan a acunarse, mientras que se observa un aumento de material fino alcanzando un 57% del espesor total de sedimentos.

Por su parte el perfil B-B' (anexo 6), muestra hacia el sur las capas más importantes de sedimentos gruesos, con espesores de hasta 23 m, las cuales mantienen su continuidad hacia el norte, donde se adelgazan o acunian, exceptuando la capa más profunda que mantiene su espesor.

La presencia de sedimentos de la fracción fina alcanza sus mayores espesores hacia el norte, notándose que en la parte central estas capas se encuentran intercaladas

con capas de sedimentos gruesos. Las capas impermeables están formadas principalmente por arcillas, pero tienden a hacerse limosas hacia el centro y norte del perfil, siendo la capa más superficial la que alcanza un espesor importante (18 m) hacia el norte.

Finalmente se tiene el perfil C-C' (anexo 6), ubicado al norte del río Tucutunemo, el cual se caracteriza por presentar en su mayoría, capas continuas de sedimentos, observándose hacia el norte abundancia de material grueso con espesores de hasta 20 m, representando un 65% de los sedimentos totales. Es importante destacar que estas capas continuas se encuentran intercaladas con capas de material fino, característica que se mantiene a lo largo del perfil, sólo que hacia el sur se observa una disminución en los espesores de material grueso y un engrosamiento en los espesores de material fino.

En líneas generales, la distribución que presentan los sedimentos en estos perfiles (figura 4.2), refleja que el aporte de material sedimentario es mayor hacia el SE, donde se observan los espesores más significativos de sedimentos gruesos, confiriéndole a esta zona una buena condición acuífera, mientras que al NO estos espesores tienden a disminuir y en algunos casos a acunarse. Esta distribución permite inferir que el aporte de sedimentos de la ladera sur del valle, es más significativo que el proveniente de la ladera norte, lo que probablemente se deba a la alta densidad del drenaje en el flanco sur en comparación a la norte o al estrechamiento que sufre el valle hacia el oeste, lo cual podría significar una disminución en la profundidad del contacto aluvión-basamento y que en las condiciones originales, cuando ocurrió la sedimentación, pudo influir en ese cambio de facies relativo.

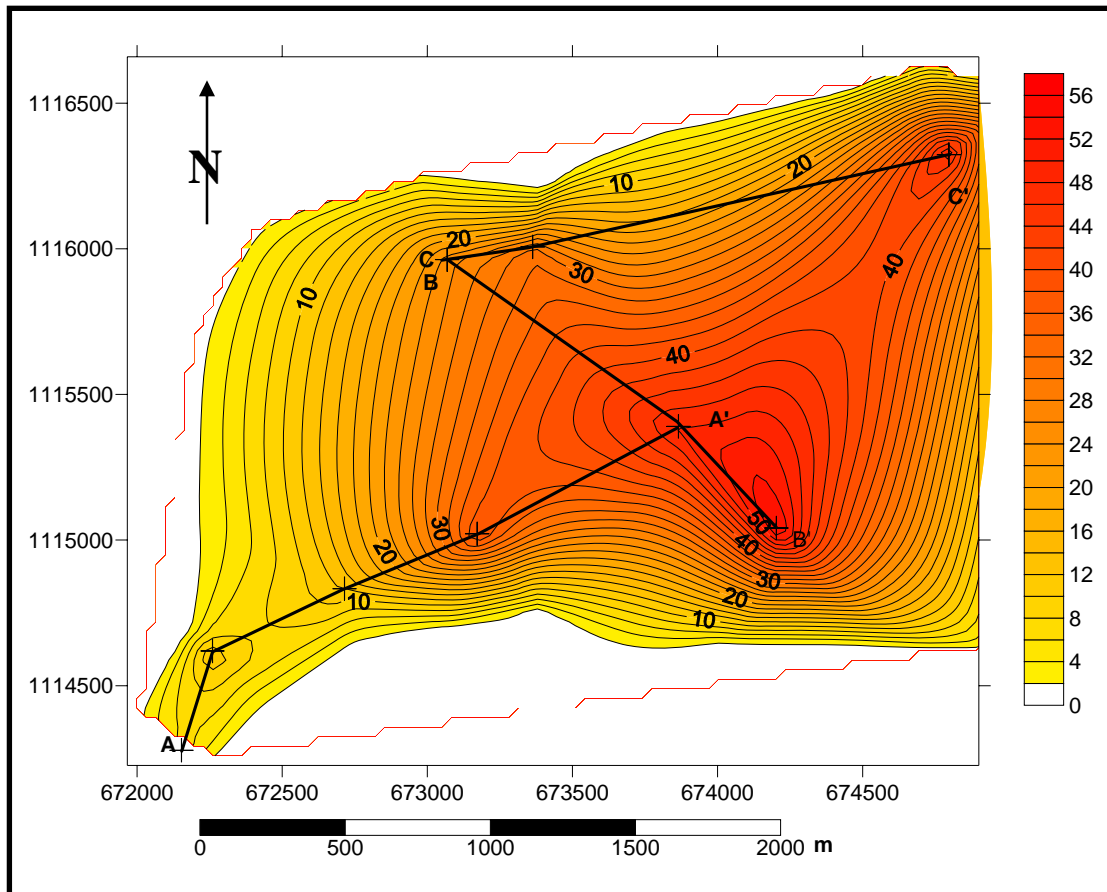


Figura 4.2.- Modelo de espesor total de arenas y gravas, sector El Cortijo.

Esta variación de facies hacia el oeste, se ve reflejada en la distribución de las posiciones geomorfológicas presentada por VILORIA & ZINCK (1986), en donde destacan que en esta dirección ocurre una disminución en la granulometría de los sedimentos, la cual se acentúa por el estrechamiento del valle (anexo 5).

4.2.2.- Diagrama Sector Los Bagres-El Espinal y El Onoto

Al observar la línea de correlación D-D' (anexo 7), se nota que existen importantes espesores de materiales gruesos (gravas y arenas), al norte y al sur de ésta, los cuales tienden a disminuir hacia el centro, ocurriendo lo contrario con los materiales de la fracción fina, ya que sus mayores espesores se ubican en esta zona central.

En líneas generales, las capas de material grueso se ubican hacia los extremos de la línea de correlación y llegan a alcanzar hasta 28 m de espesor, la mayoría de ellos manteniendo su continuidad, representando aproximadamente un 65% de los sedimentos totales, concediéndole una buena condición acuífera a esta zona (figura 4.3).

Por su parte las capas de material grueso presentan sus mayores espesores hacia la parte central, representando un 55 a 58% de los sedimentos totales.

El perfil E-E' (anexo 7), muestra hacia el centro y sur, espesores de material grueso de hasta 30 m, que tienden a adelgazarse hacia el norte representando aproximadamente el 70% de los sedimentos totales. Por otro lado se tiene que las capas de material fino pierden la lenticularidad que exhiben al sur, para presentarse como capas continuas desde la parte central hacia el norte, alcanzando hasta un 50% del espesor total de sedimentos, encontrándose en la parte central de la línea de correlación (pozo P-LB-43) los mayores espesores (figura 4.3).

En general se puede decir que la distribución de los sedimentos en estos perfiles, permite inferir una mejor condición acuífera en la zona de Los Bagres-El Onoto, en comparación con la zona de Los Bagres-El Espinal, debido a que en esta última hay mayor presencia de material fino, característica que evidencia la lejanía de la fuente de sedimentos.

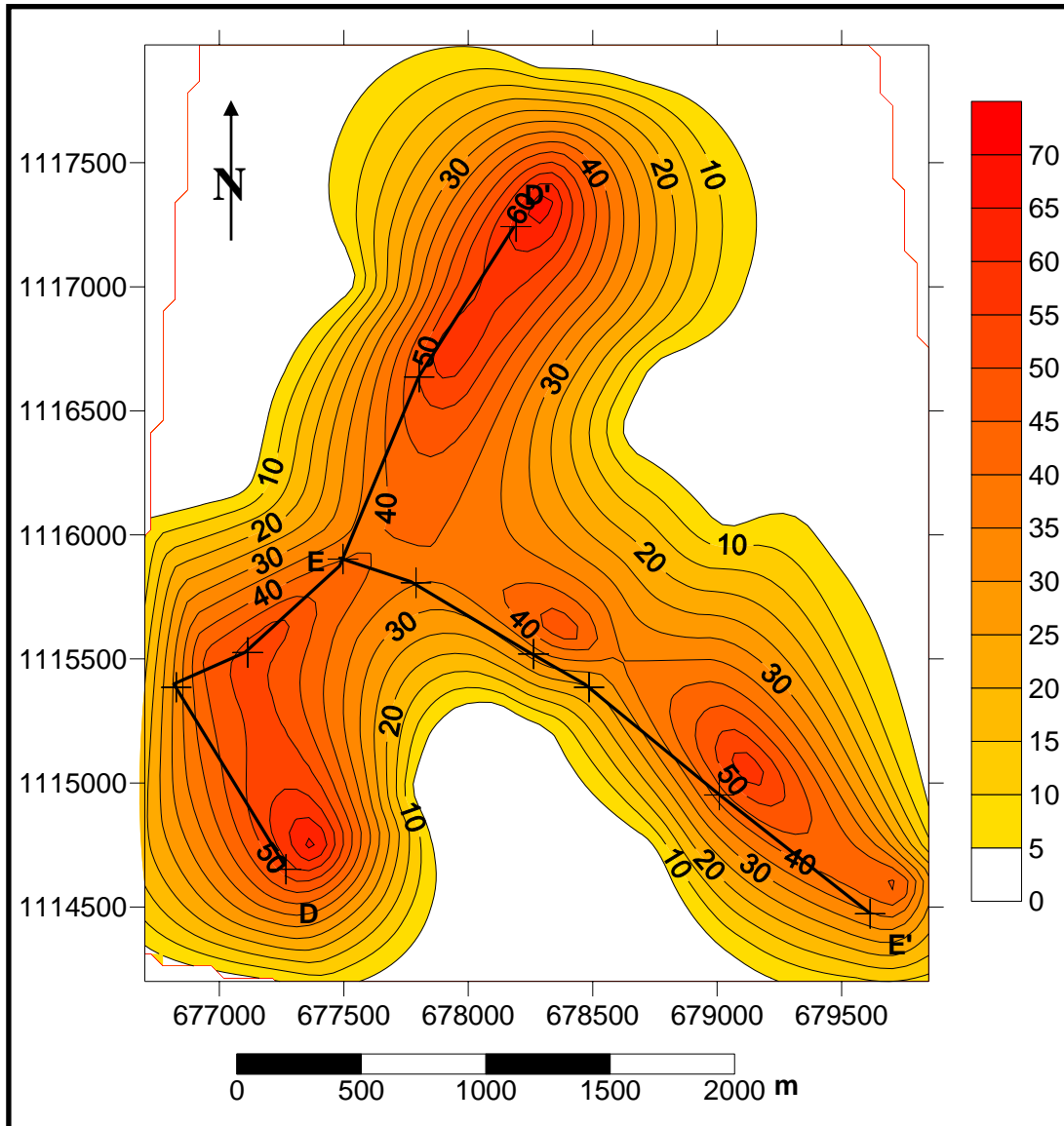


Figura 4.3.- Modelo de espesor total de arenas y gravas, sectores Los Bagres-El Espinal y El Onoto.

4.3- Unidades Litodémicas

A lo largo del valle del río Tucutunemo, el aluvión que representa este valle se encuentra en contacto con unidades litológicas de diferentes características. Estas unidades de acuerdo a la nomenclatura propuesta por URBANI (1999) corresponden a la Filita de Tucutunemo (Ttu), Filita de Paracotos (LHp), Complejo El Ocumo (LHe), Esquisto de Las Mercedes (CaM), Metalava de Tiara (LHT) y el Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro (LHcp).

Estas unidades fueron observadas, a excepción de la Metalava de Tiara, a través de afloramientos ubicados en la zona, describiendo las principales características físicas de las rocas que allí se presentaban, tales como, tipo de roca, color fresco, color meteorizado, mineralogía, estructuras y grado de meteorización.

Cabe destacar que el grado de meteorización fue identificado de acuerdo con la clasificación propuesta por GONZÁLEZ DE VALLEJO (2002) para macizos rocosos, con el objeto de observar los efectos del agua sobre estas unidades (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2.- Grado de meteorización según GONZÁLEZ DE VALLEJO (2002).

Término	Descripción
Fresca	No se observan signos de meteorización en la roca
Decolorada	Se observan los cambios en el color original de la roca
Desintegrada	La roca se ha alterado al estado de un suelo, manteniendo su textura original. La roca es friable, pero los granos minerales no están descompuestos
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, algunos o todos los minerales están descompuestos

A continuación se muestran cada uno de los afloramientos ubicados de acuerdo a la cartografía geológica realizada por URBANI & RODRÍGUEZ (2004) y su relación comparativa con lo observado por los autores que definieron estas unidades.

4.3.1.- Filita de Tucutunemo

Esta unidad fue observada en dos afloramientos, el primero de coordenadas 1.115.286N y 678.059E se encuentra ubicado cerca del río Tucutunemo y representa a un metaconglomerado de color fresco gris y color meteorizado gris claro y rojizo, constituido principalmente por granos de cuarzo (figura 4.4.a), presentando un desarrollo de textura metamórfica similar a la esquistosa. Esta roca presenta un grado de meteorización decolorada hacia el tope y fresca hacia la base (figura 4.4.b).



Figura 4.4.a.- Metaconglomerado, Unidad Filita de Tucutunemo.



Figura 4.4.b.- Grado de meteorización decolorado, Filita de Tucunemo.

Rumbo de la foto: S64°E

Por su parte el segundo afloramiento ubicado en el asentamiento campesino La Majada de coordenadas 1.114.410N y 676.469E, representa a un mármol de color fresco gris oscuro y color meteorizado marrón rojizo, con un grado de meteorización de tipo desintegrado hacia el tope del afloramiento y fresco hacia su base, observándose en la superficie de estos una meteorización química que genera relieves cársticos irregulares (figuras 4.5.a y 4.5.b).



Figura 4.5.a.- Afloramiento de mármol, Filita de Tucunemo.

Rumbo de la foto: S5°E



Figura 4.5.b.- Microrelieves cársticos irregulares en Mármol.

Según SHAGAM (1960) esta unidad está constituida principalmente por filitas carbonáceas arenosas que varían a metareniscas y limolitas cuarzo feldespáticas, sin embargo es la descripción que le da GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*(1980) la que concuerda con lo observado en los afloramientos, en donde describe a esta unidad como unos mármoles de color gris oscuro a negro, microcristalinos, impuro con cristales de cuarzo y albita y metaconglomerados de color blanco y gris oscuro con mal escogimiento, constituidos por guijarros de cuarzo en veta y plagioclasa con desarrollo de texturas y estructuras metamórficas.

4.3.2.- Filita de Paracotos

Este afloramiento ubicado en el sector El Ocumo y de coordenadas 1.114.932N y 681.657E se caracteriza por presentar unas filitas de color fresco gris oscuro y color meteorizado marrón rojizo, con una mineralogía constituida principalmente por grafito, tienen una orientación N85°W15°N, y presenta un grado de meteorización del tipo desintegrada en el tope gradando a decolorada hacia la base (figura 4.6).



Figura 4.6.- Afloramiento de la Filita de Paracotos.

Rumbo de la foto: N42°E

Estas características litológicas concuerdan con la descripción realizada por SHAGAM (1960), en donde este autor las describe como filitas limosas y carbonosas.

4.3.3.- Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro

En el sector El Ocumo se encuentra ubicado este afloramiento de coordenadas 1.115.523N y 681.346E, el cual muestra una peridotita compuesta principalmente por serpentina, la cual muestra un color fresco verde oscuro y un color meteorizado verde claro y marrón claro. Este afloramiento se caracteriza por tener un grado de meteorización desintegrada hacia el tope y decolorada y fresca hacia la base (figura 4.7).



Figura 4.7.- Grado de meteorización del Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro.

Rumbo de la foto: N24°E

Esta unidad concuerda con la descripción que realiza GRATEROL (1972), en donde la define como una peridotita serpentizada compuesta principalmente por harzburgita de grano grueso con olivino y enstatita de color negro a verdoso de acuerdo al grado de serpentización.

4.3.4.- Complejo El Ocumo

En este afloramiento de coordenadas 1.115.283N y 683.348E se encuentran en contacto horizontal dos litologías, la superior caracterizada por un metaconglomerado carbonáceo con fragmento de roca color verde claro, posiblemente diabasa, y la segunda por un metaconglomerado cuarzoso. La meteorización presente en este afloramiento es desintegrada para los metaconglomerados carbonáceos y decolorada para los metaconglomerados cuarzosos.

4.3.5.- Esquisto de Las Mercedes

Este afloramiento se encuentra ubicado en el sector Los Chorros y se caracteriza por presentar esquistos calcáreos-sericíticos de color fresco blanco y gris claro y color meteorizado marrón claro. Presenta un grado de meteorización desintegrado hacia el tope del afloramiento y decolorado hacia la base, en donde se logran observar dos familias de diaclasas, tanto paralela como perpendicular al plano de foliación (figura 4.8).



**Figura 4.8.- Afloramiento del Esquisto de Las Mercedes.
Rumbo de la foto: N59°W**

Según MACLACHLAN (1960) y SHAGAM (1960) este afloramiento pertenece al esquisto de las Mercedes, mientras que URBANI & RODRÍGUEZ (2004) la cartografían como el Complejo El Tinaco, esta diferencia no solo se observa cartográficamente, sino también en la descripción litológica de éstas (Cuadro 4.3).

Cuadro 4.3.- Diferencias litológicas entre el Esquisto de Las Mercedes y el Complejo El Tinaco

Cartografiado por	MACLACHLAN y SHAGAM	URBANI & RODRÍGUEZ
Nombre de la unidad	Esquisto de Las Mercedes	Complejo El Tinaco
Descripción litológica	<p>AGUERREVERRE Y ZULUAGA (1937): Esquistos calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas.</p> <p>WEHRMAN (1972) y GONZÁLEZ DE JUANA <i>et al.</i>(1980): esquistos cuarzo-muscovítico-calcítico-grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso.</p> <p>URBANI <i>et al.</i> (1989): reconoce cuatro unidades cartografiables, la primera y mayoritaria de esquistos grafitosos y mármol, así como de mármol, de metaconglomerado cuarzo-feldespático-calcáreo, de metaconglomerado y metaarenisca y de esquisto albítico-grafitoso.</p> <p>SMITH (1952): reconoce un color meteorizado rosado en la formación, producto de la meteorización de la sericita</p>	<p>MENÉNDEZ (1965): Reconoció dos unidades metasedimentarias en el complejo; la inferior, denominada Gneis de La Aguadita, consiste de gneises hornbléndicos y biotíticos, gneises cuarzo-plagioclásicos y en menor escala, anfibolitas y mármoles, la superior, designada con el nombre de Esquisto de Tinapú, suprayace concordantemente a la primera y consiste de esquistos muscovíticos, esquistos cloríticos y esquistos conglomeráticos.</p>

Dadas las características de estas unidades, la que más se parece a la descripción realizada en campo es la unidad del Esquisto de Las Mercedes, sin embargo, no se puede establecer una conclusión concreta sobre lo que aflora en esta unidad en base a un solo afloramiento y sin un estudio más detallado.

4.4.- Estructuras

El valle del río Tucutunemo se encuentra ubicado en la faja tectónica Caucagua-El Tinaco, la cual tiene como límite norte y sur fallamientos de carácter regional que le confieren a la zona un marco estructural complejo.

Según SHAGAM (1960), la presencia de pliegues abiertos son comunes en las unidades metamórficas que limitan a este valle, estos plegamientos generalmente de rumbo N75°E, son paralelos a la tendencia general de estas unidades, agregando que en las Filita de Tucutunemo, Filita de Paracotos y Esquisto de Las Mercedes los plegamientos pueden ser de tendencias variables (figura 4.9).



Figura 4.9.- Plegamientos del Esquisto de Las Mercedes.

Rumbo de la foto: N68°W

Es importante resaltar que muchas de las unidades litológicas que se encuentran rodeando al valle, están en contacto de falla. SHAGAM (1960) por su parte destaca la importancia de estos contactos de falla a tal punto de que sugiere una posible falla originada en el valle, la cual reporta en su trabajo más no la cartografía (figura 4.10).



Figura 4.10.- Facetas triangulares que indican la posible existencia de una falla.

Rumbo de la foto: N8°W

MÁRQUEZ (1970) nota un cambio en los espesores del aluvión entre dos pozos ubicados en el asentamiento campesino El Cortijo (figura 4.11), en el que establece la posibilidad de una relación con la falla nombrada por SHAGAM (1960) concluyendo que, las fallas controlan la forma de la cuenca y posiblemente han desarrollado una permeabilidad secundaria en las rocas metamórficas que conforman el basamento.

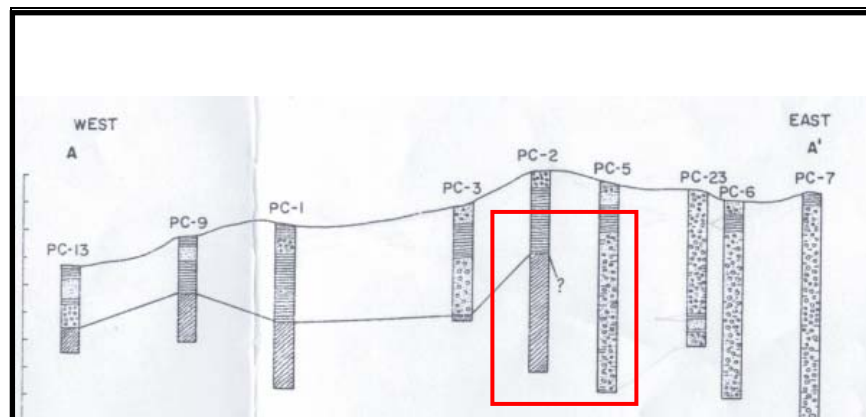


Figura 4.11.- Perfil estratigráfico de MÁRQUEZ (1970) que evidencia la posible falla interpretada por SHAGAM (1960)

La aseveración hecha por MÁRQUEZ (1970), concuerda con el salto vertical de 25 m aproximadamente observado entre los pozos P-A-6 y P-EC-109 ubicados al suroeste de la zona de estudio, el cual es puesto en evidencia por el notable cambio de espesor que presenta el aluvión de un pozo con respecto al otro (perfil estratigráfico A-A', anexo 6).

De igual forma, hacia el SE del área de estudio se observa un salto vertical de 29 m aproximadamente, entre los pozos P-LB-37 y P-LB-43 (perfil estratigráfico E-E', anexo 7), con la diferencia que esta posible falla tiene una aparente expresión superficial, la cual se observa por la alineación de las quebradas El Espinal y Los Bagres ubicadas al norte y sur respectivamente.

La identificación de estos saltos verticales permite sugerir el posible desarrollo de permeabilidad secundaria producto del fracturamiento de las rocas que constituyen el basamento.

4.5.- Relación Clima-Meteorización

De acuerdo a GONZÁLEZ DE VALLEJO (2002), según avanza el proceso de meteorización aumenta la porosidad, permeabilidad y deformabilidad del material rocoso, al tiempo que disminuye su resistencia, agregando que la meteorización dependerá de las características climáticas de la zona y estableciendo que en climas fríos con precipitaciones medias, predominará la meteorización física, mientras que en climas tropicales cálidos, con precipitaciones abundantes las acciones químicas serán las predominantes.

Las características climáticas presentes en el Valle del río Tucutunemo, según los datos proporcionados por la estación climatológica El Cortijo son; precipitación media anual de 890,02 mm (89 cm) y temperatura media anual de 25,1 °C. Dada estas

características, el grado de meteorización físico-química de las rocas en esta zona es muy baja, tal y como lo muestra la figura 4.12, en donde se incluyen el tipo de meteorización predominante (física o química) y su intensidad en función de la temperatura y precipitación.

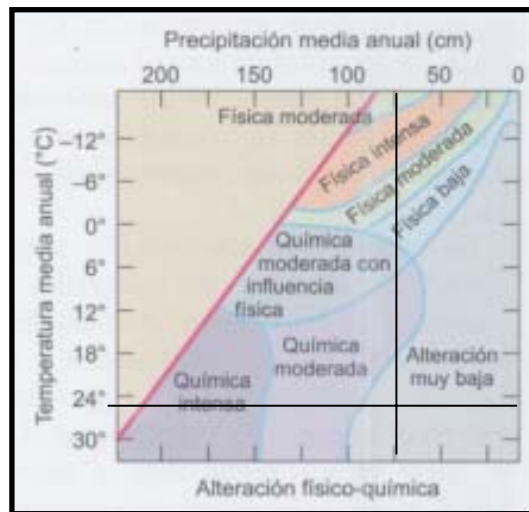


Figura 4.12.- Grados de alteración en las rocas a partir del clima

Tomado de: GONZÁLEZ DE VALLEJO (2002)

Para tales efectos y mediante la observación realizada en los afloramientos, se puede decir que las rocas que conforman el basamento del valle que pudiesen estar siendo afectadas por el proceso de meteorización, no mostrarán un aumento considerable en los valores de porosidad y permeabilidad, como para permitir que la roca almacene agua y sirva de acuífero.

Sin embargo, algunas de las unidades litodémicas que limitan al valle poseen un grado de meteorización del tipo desintegrada (GONZÁLEZ DE VALLEJO, 2002), siendo éste un factor importante que pudiese contribuir junto con un alto grado de fracturamiento, al movimiento del agua a través de ellos permitiendo una posible recarga del acuífero.

CAPÍTULO V

5.- HIDROGEOLOGÍA

5.1.- Generalidades

Una provincia hidrogeológica puede ser definida como una región con características similares, en cuanto a las condiciones de ocurrencia de las aguas subterráneas. Entre los factores que contribuyen en la definición de una provincia hidrogeológica, se destacan la conformación geológica y las características fisiográficas (DURAN & LOBO, 2004). De acuerdo a la Clasificación Hidrogeológica de Venezuela (MEJIAS & GUERRERO, 2000), el Valle del río Tucutunemo se encuentra dentro de la *Provincia Andina*, específicamente en la *Subprovincia Sistema Orogénico Central* (figura 5.1 y cuadro 5.1).

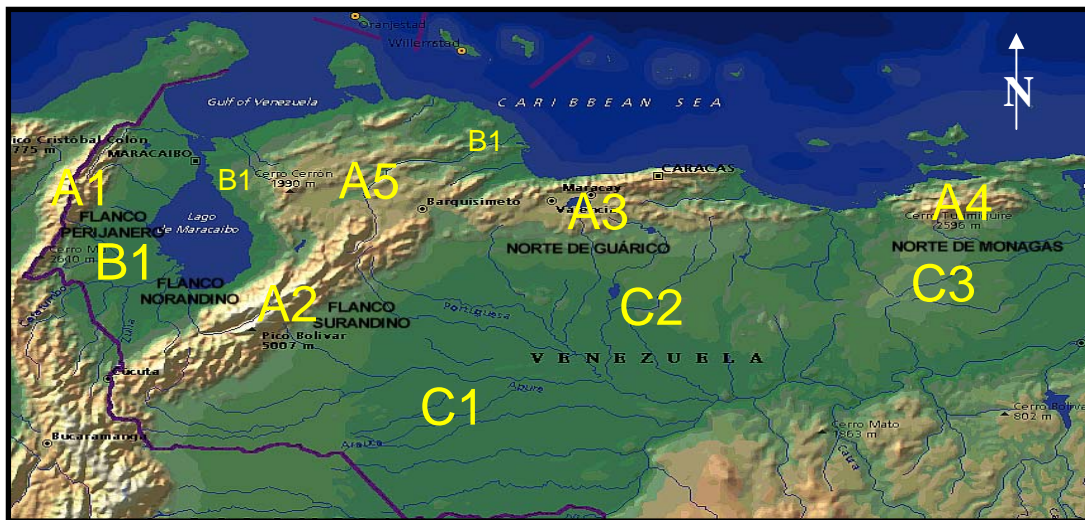


Figura 5.1.- Provincias hidrogeológicas de Venezuela.

Tomado de: MEJÍAS & GUERRERO (2000)

Cuadro 5.1.- Provincias hidrogeológicas de Venezuela.**Tomado de: MEJIAS & GUERRERO (2000)**

Nomenclatura	Provincia Hidrogeológica
A1	Provincia Andina, Subprovincia Sierra de Perijá
A2	Provincia Andina, Subprovincia Andina
A3	Provincia Andina, Subprovincia Sistema Orogénico Central
A4	Provincia Andina, Subprovincia Sistema Orogénico Oriental
A5	Provincia Andina, Serranía de Falcón-Lara-Yaracuy
B1	Provincia Planicies Costeras, Subprovincia Planicie del Mar Caribe
C1	Provincia Orinoco, Subprovincia Llanos Occidentales y de Apure
C2	Provincia Orinoco, Subprovincia Llanos Centrales
C3	Provincia Orinoco, Subprovincia Llanos Orientales

Por su parte, el MINISTERIO DE MINAS E HIDROCARBUROS (1972), estableció que la región montañosa que limita al valle se caracteriza por tener muy baja permeabilidad, por lo que los acuíferos presentes en ella, son locales y su aprovechamiento proviene principalmente de los manantiales, mientras que en el valle como tal, la permeabilidad es variable, generalmente alta, con presencia de acuíferos frecuentemente extensos y de alto rendimiento.

Dentro del la zona de estudio, se inventariaron 128 pozos de agua distribuidos de oeste a este en los sectores: La Lagunita, El Cortijo, La Majada, Los Bagres, Los Chorros, Las Tunitas, El Espinal, El Ocumo y El Onoto, entre los cuales sólo 82 de estos pozos se encuentran activos y en buen estado, siendo utilizados para riego, como apoyo a las actividades agrícolas y pecuarias que se realizan en la zona y para el consumo humano (figuras 5.2.a, 5.2.b y 5.2.c).

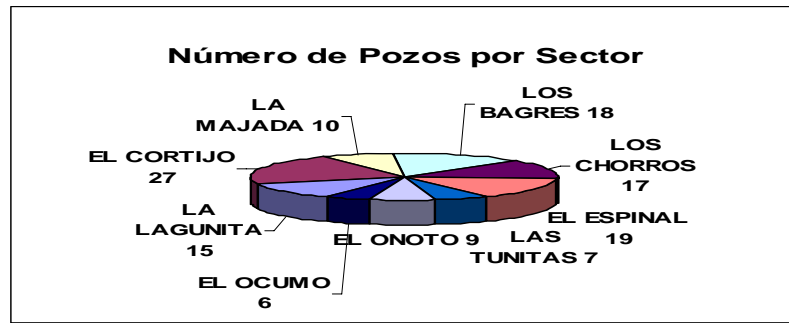


Figura 5.2.a.- Distribución de pozos por sector.

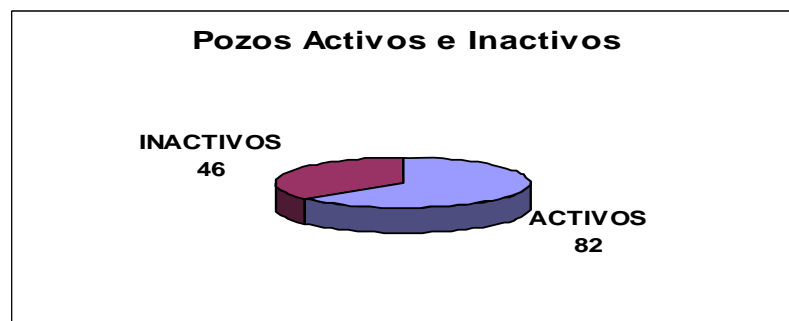


Figura 5.2.b.- Estado actual de los pozos.

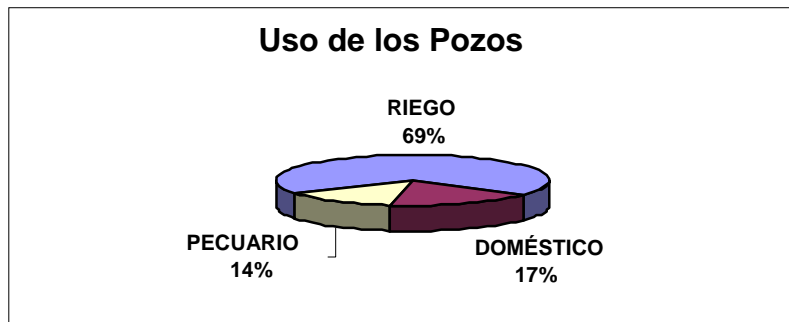


Figura 5.2.c.- Uso de los pozos.

De acuerdo a los valores obtenidos en el inventario de pozos, pruebas de bombeo, perfiles estratigráficos, datos climatológicos y análisis físico-químicos y bacteriológicos, a continuación se muestra la descripción hidrogeológica de este valle.

5.2.- Parámetros Hidráulicos

Para el manejo de un acuífero es importante conocer las características hidráulicas que controlan su capacidad de almacenamiento y de transmisión del agua a través del mismo. Las principales propiedades hidráulicas de un acuífero son la transmisibilidad, la permeabilidad y el coeficiente de almacenamiento.

El coeficiente de transmisibilidad expresa la capacidad de una formación de transmitir agua y es definido por THEIS (1935) como la tasa de flujo de agua en metros cúbicos por día a través de una franja vertical del acuífero de un metro de ancho y que se extiende por todo el espesor saturado bajo la pendiente hidráulica de 100% a la temperatura de 20°C y se calcula a partir del producto del espesor saturado del acuífero y la permeabilidad, siendo esta última definida como el volumen de fluido que en un tiempo dado puede atravesar un área o sección determinada de roca o suelo, bajo una presión dada.

La capacidad de almacenamiento de un acuífero se expresa mediante el coeficiente de almacenamiento, el cual se define como el volumen de agua que el acuífero libera o absorbe por unidad de superficie por cambio unitario de presión en la componente normal a esa superficie.

La determinación de estas características hidráulicas hace posible un mejor entendimiento del funcionamiento del sistema hidrogeológico y ayuda a evaluar los recursos disponibles en función del posible desarrollo de estos.

Estos parámetros fueron calculados, a partir de pruebas de bombeo a caudal constante, utilizando el método de Theis modificado por Jacob.

Las pruebas de bombeo fueron realizadas en diversos lugares del área de estudio (cuadro 5.2), donde sólo tres de ellas son recientes y cuentan con pozos de observación.

Cuadro 5.2.-Ubicación de los pozos con pruebas de bombeo.

Pozo De Bombeo	Pozo De Observación	Fuente
P-EC-87		Ministerio del Ambiente 1970
P-LT-53		Ministerio del Ambiente 1975
P-EC-93		Ministerio del Ambiente 1975
P-A-10		Ministerio del Ambiente 1975
P-EON-10		Ministerio del Ambiente 1976
P-LB-35		Ministerio del Ambiente 1976
P-A-9		Ministerio del Ambiente 1977
P-LCH-76		PARKO C.A 2001
P-LM-81		PARKO C.A 2004
P-LCH-65		PARKO C.A 2004
P-EC-101	P-EC-100	Elaboración propia 2005
P-LL-128	P-LL-126	Elaboración propia 2005
P-LB-51	P-LB-50	Elaboración propia 2005

A continuación se describe cada uno de estos parámetros de acuerdo a los resultados obtenidos.

5.2.1.- Transmisibilidad

Los valores de transmisibilidad correspondientes a las tres pruebas de bombeo, realizadas recientemente en la zona de estudio, fueron obtenidos utilizando el *SOFTWARE ACUIFER TEST V.3.0*, el cual construye los gráficos de tiempo-abatimiento de cada prueba de bombeo y aplica el método de Theis modificado por Jacob, para condiciones de no equilibrio (anexo 8).

Para la construcción del mapa de transmisibilidad se utilizaron los valores obtenidos en las pruebas de bombeo realizadas, además de los valores proporcionados por pruebas de bombeo recopiladas. En el cuadro 5.3 se resumen los valores de transmisibilidad disponibles del área de estudio.

**Cuadro 5.3.-Transmisibilidad de los pozos obtenidas
por pruebas de bombeo.**

Pozo	Transmisibilidad (m³/días/m)
P-EC-87	3510,0
P-EC-97	4390,0
P-EC-93	1810,0
P-A-10	18,9
P-EON-10	157,0
P-LB-35	232,0
P-A-9	129,0
P-LB-51	1060,0
P-EC-101	187,0
P-LL-126	2400,0
P-LM-81	47,1
P-LCH-76	57,4
P-LCH-65	164,0

En el mapa de transmisibilidad (figura 5.3 y anexo 9) se observa un rango de variación entre 18,9 y 4390 m³/día/m, notándose que los mayores valores se encuentran hacia el oeste, en la parte central del Asentamiento El Cortijo y los menores al este en el sector El Ocumo.

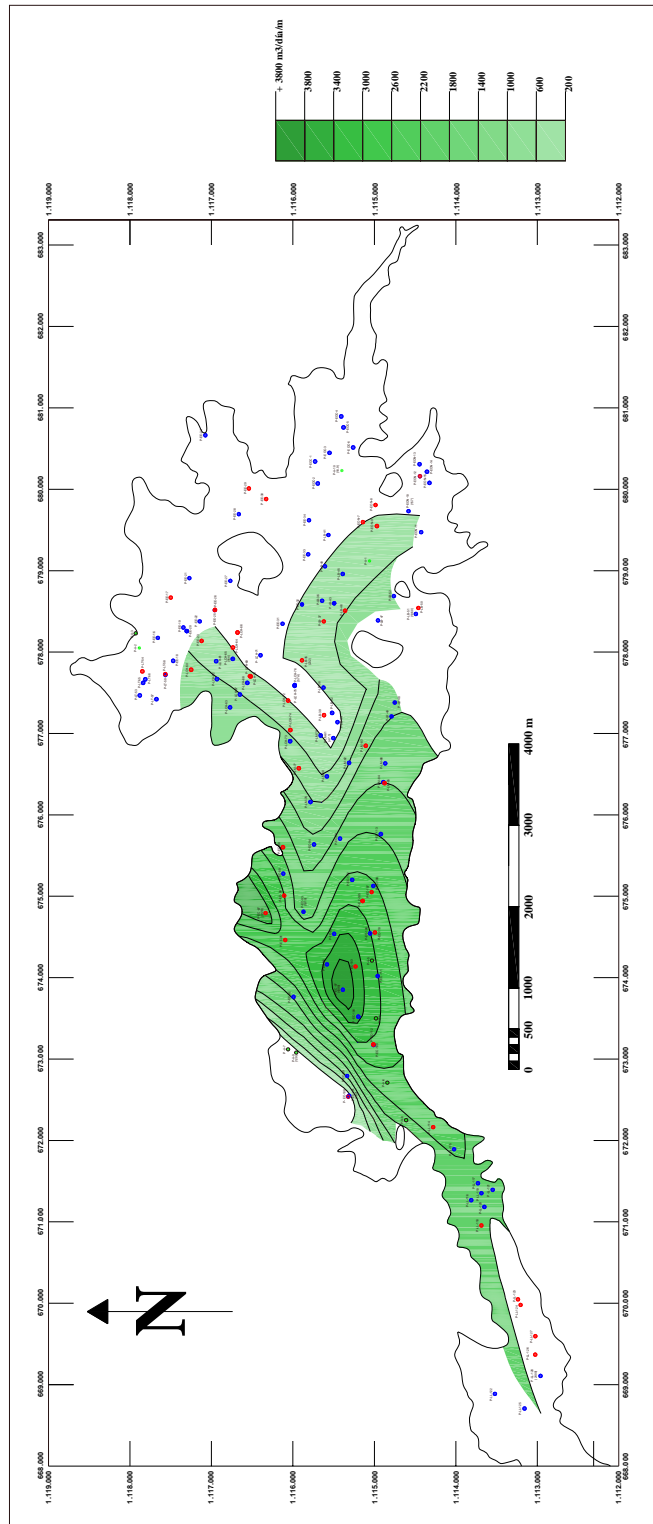


Figura 5.3.- Mapa de Transmisibilidad

Estos valores de transmisibilidad son compatibles con los rangos de espesores aproximados de acuíferos detectados, lo cual está apoyado en los perfiles estratigráficos de los pozos que poseen valores de transmisibilidad, ya que aquellos que tienen una alta transmisibilidad presentan potentes espesores de sedimentos permeables, mientras que los que tienen bajas transmisibilidades se caracterizan por tener mayor presencia de sedimentos impermeables. Es importante destacar que esta información no es lo suficientemente concluyente y debe ser complementada, debido a que la mayoría de los pozos no llegan al tope de roca, lo que impide el cálculo del espesor total del acuífero en la zona de estudio.

Otro aspecto importante que permite establecer este parámetro es la productividad del acuífero, ya que según THEIS (1935), las formaciones con transmisibilidades menores que $12,4 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$ son útiles sólo para pozos de uso doméstico, mientras que transmisibilidades superiores a $124 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$ son consideradas valiosas para cualquier pozo industrial, municipal o de riego. En el área de estudio según los valores de transmisibilidad obtenidos, se puede decir que la mayoría de los pozos son considerados productivos para uso industrial, municipal o de irrigación exceptuando los pozos P-LM-81 y P-LCH-76, que presentan valores de transmisibilidad menores a $124 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}$, lo que los hace menos productivos que los anteriores.

5.2.2.- Permeabilidad

Los valores de permeabilidad promedio se calcularon únicamente para las pruebas de bombeo que contaran con su respectivo perfil litológico, utilizando la razón $\mathbf{K}=\mathbf{T}/\mathbf{e}$, donde \mathbf{T} representa la transmisibilidad promedio en $\text{m}^3/\text{día}/\text{m}$ y \mathbf{e} el

espesor en metros promedio del acuífero captado por el pozo. En el cuadro 5.4 se resumen los valores de permeabilidad obtenidos.

Cuadro 5.4.- Valores de permeabilidad.

Pozo	Transmisibilidad (m ³ /día/m)	Espesor (m)	Permeabilidad (m/día)
P-A9	129	20	6,45
P-EC-97	4390	27,5	159,64
P-EC-87	3510	15	234,00
P-EC-93	1810	32	56,56
P-LM-81	47,1	53	0,89
P-LCH-76	57,4	66	0,87
P-LCH-65	164	40	4,10
P-LB-35	232	16	14,50
P-EON-10	157	26	6,04

La clasificación de los suelos de acuerdo a los valores de permeabilidad, se realizó mediante el cuadro 5.5 que se muestra a continuación.

Cuadro 5.5.- Clasificación de suelos por la conductividad hidráulica o permeabilidad. Tomado de: MEJÍAS Y GUERRERO (2000)

Permeabilidad (m/día)	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10 ¹	10 ²	10 ³
Calificación	Impermeable		Poco Permeable		Algo Permeable		Permeable		Muy Permeable	
Tipo de Materiales	Arcilla Comp. Pizarra Granito		Limo Arenoso Limo Arcilla-Limosa		Arena Fina Arena Limosa Caliza Frac.		Arena Limpia Grava y Arena Arena Fina		Grava Limpia	

De acuerdo a los resultados obtenidos en el cuadro 5.5, existen tres rangos de permeabilidad (algo permeable, permeable y muy permeable) los cuales están asociados con el tipo de suelo presente, ya que en aquellos lugares donde se tienen

permeabilidades altas, se encuentran espesores de arenas y gravas, tal y como se muestra en los perfiles estratigráficos de los pozos P-EC-97 y P-EC-87 (anexo 6), los cuales a pesar de no tener espesores saturados grandes, poseen buena continuidad.

Por su parte las permeabilidades bajas coinciden con los pozos que poseen mayores espesores saturados (pozos P-LM-81 y P-LCH-76), lo que puede estar indicando que los espesores de material permeable están siendo influenciados por la presencia de material fino, logrando disminuir la capacidad de transmitir agua.

5.2.3.- Coeficiente de Almacenamiento

Al igual que los valores de transmisibilidad, los valores de los coeficientes de almacenamiento de las tres pruebas de bombeo (con pozos de observación) realizadas, son producto de los resultados arrojados por el *SOFTWARE ACUIFER TEST V.3.0* al aplicar el método de Theis modificado por Jacob, para condiciones de no equilibrio. A continuación se muestra el cuadro 5.6 en el cual se resumen los valores obtenidos.

Cuadro 5.6.-Valores de los coeficientes de almacenamiento para cada prueba de bombeo.

Pozo de Bombeo	Pozo de Observación	Distancia Entre Pozos (m)	Coefficiente de Almacenamiento
P-EC-101	P-EC-100	17	0,0206
P-LB-51	P-LB-50	75	$3,69 \cdot 10^{-3}$
P-LL-128	P-LL-126	260	$1,45 \cdot 10^{-3}$

El coeficiente de almacenamiento es una de las características hidrológicas que permite establecer el tipo de acuífero, siendo los acuíferos libres los que poseen

un coeficiente de almacenamiento entre 0,01 y 0,35 y los acuíferos confinados los que tienen un rango entre $1*10^{-5}$ y $1*10^{-3}$.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se tiene que en la prueba de bombeo realizada en el pozo P-EC-101, el acuífero es libre, es decir, que existe una superficie libre del agua encerrada en ella, que está en contacto directo con el aire y por lo tanto, a la presión atmosférica.

Por su parte, los coeficientes de almacenamiento de las dos pruebas de bombeo restantes (pozos P-LB-51 y P-LL-128) se encuentran en el rango establecido para acuíferos confinados, los cuales se caracterizan por tener el agua subterránea sometida a una presión mucho mayor que la atmosférica y rodeada de estratos relativamente impermeables.

5.3.- Superficie Piezométrica

La distancia desde la superficie del terreno al nivel de agua en un pozo cuando no se le bombea, es conocida como nivel estático. Cuando los niveles estáticos de los pozos son referidos al nivel del mar, se pueden construir curvas equipotenciales de la superficie piezométrica, para luego generar un mapa de curvas isopiezas que exprese la morfología de la superficie piezométrica del acuífero durante una época determinada.

En la zona de estudio, se realizaron mediciones del nivel estático en 22 pozos, efectuadas en el período de sequía, específicamente en los meses de enero, febrero y marzo del año 2004 (cuadro 5.7).

Cuadro 5.7.- Niveles piezométricos, para los meses de Enero-Marzo de 2004 (sequía) en base a datos proporcionados por el INDER (2004).

Pozo	M.S.N.M.	Nivel Estático (m)	Nivel Piezométrico (m)
P-LL-122	549	30	519
P-EC-105	590	41	549
P-EC-104	576	31	545
P-EC-92	572	28	544
P-EC-103	587	43,7	543,3
P-EC-93	579	31,5	547,5
P-LM-84	598	55	543
P-LB-40	620	57	563
P-LB-45	622	45	577
P-LB-43	613	42	571
P-LB-37	611	47	564
P-LB-44	597	46,8	550,2
P-LB-49	608	45	563
P-LB-48	604	51	553
P-LT-57	619	74	545
P-LT-56	618	72	546
P-LCH-76	599	35	564
P-LCH-65	610	65	545
P-LCH-60	611	63	548
P-EE-26	619	67	552
P-EOC-3	638	18,4	619,6
P-EOC-1	635	17	618

Por medio de la información recolectada se generó el mapa piezométrico (figura 5.4) y se trazaron las líneas de flujo, lo cual sirvió de base para los análisis y cálculos respectivos.

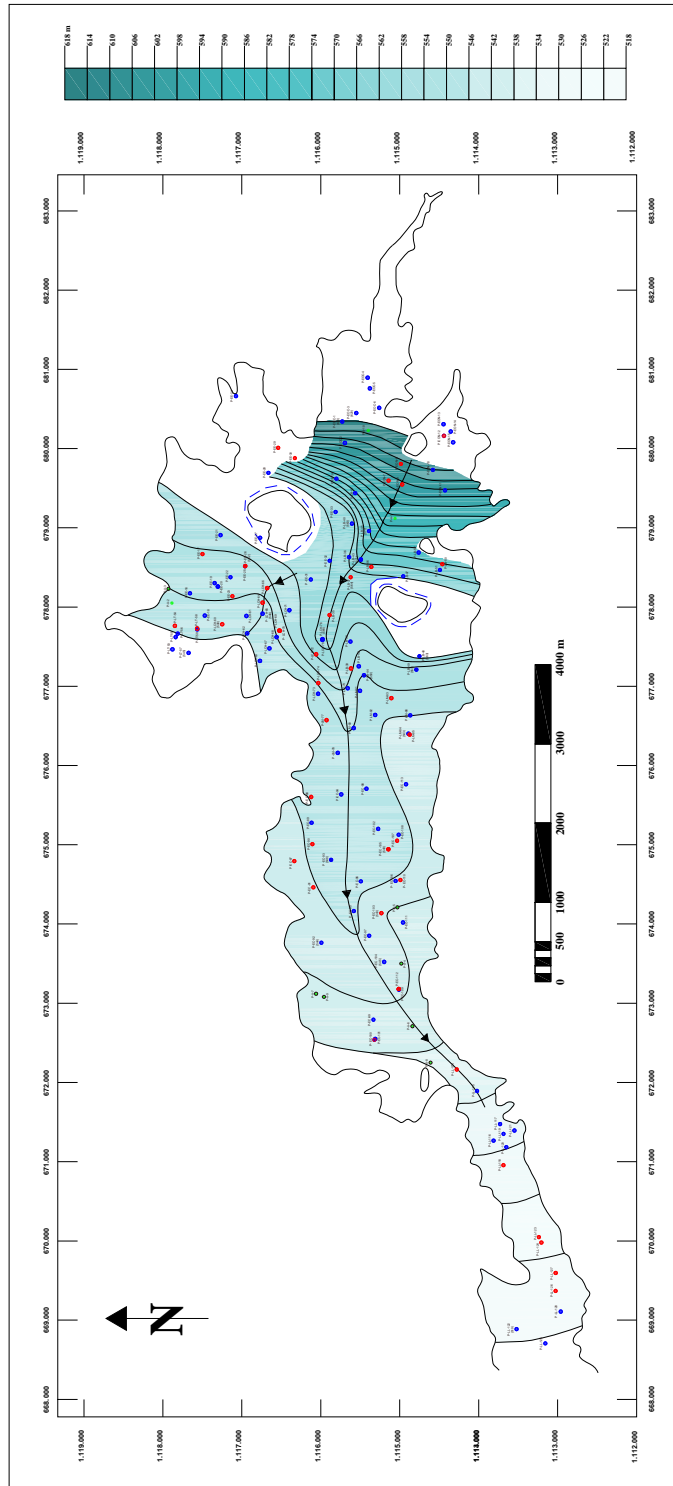


Figura 5.4.- Mapa Piezométrico, año 2004
(Período de Sequía)

5.3.1.- Morfología de la Superficie de Agua Subterránea

Analizando el mapa de isopiezas del área de estudio (anexo 10), se observa que los niveles piezométricos menos profundos se encuentran ubicados en el sector El Ocumo, al este del área de estudio, alcanzando 620 m, mientras que los niveles más profundos se encuentran hacia el oeste por el sector de La Lagunita, con valores de 519 m, mostrando una dirección general de descenso de las isopiezas, este-oeste.

Otra característica que describe al mapa piezométrico generado, es el espaciamiento variable entre las curvas isopiezas (figura 5.4), observándose que hacia el este las curvas están muy cercanas entre sí y a medida que avanzamos hacia el oeste aumenta el espaciamiento entre éstas, notándose un cambio brusco del espaciamiento en la zona central del mapa, sin embargo se puede decir, que conforme descenden los niveles piezométricos, el espaciamiento entre las curvas crece.

La dirección del flujo subterráneo fue interpretada a partir del trazado de líneas de flujo, perpendiculares a las curvas isopiezas. De acuerdo con la trayectoria de estas líneas, en el valle del río Tucutunemo, el agua subterránea se desplaza en dirección este-oeste, sin embargo, existe una zona hacia el NE donde se observa una trayectoria SE-NW.

5.3.2.- Interpretación de la Superficie Piezométrica

A partir del mapa piezométrico y sus correspondientes líneas de dirección de flujo, se puede interpretar la variación de la permeabilidad y el tipo de acuífero (CASTANY, 1969).

De acuerdo a esto, se puede dividir el área de estudio en dos zonas, las cuales se diferencian por el espaciamiento entre las curvas, estas son; la zona este y la zona oeste.

5.3.2.1.- Zona Este

Esta zona abarca los sectores Los Chorros, Los Bagres, El Espinal, El Ocumo, El Onoto y La Majada, y se caracteriza por presentar curvas estrechas con espaciamiento constante, lo cual según CASTANY permite inferir que la permeabilidad en la capa acuífera en esta zona es baja (anexo 10).

Por su parte al observar el perfil de depresión trazado en la línea de flujo ubicada hacia el SE entre los sectores El Onoto y Los Bagres (figura 5.5), se nota que la superficie piezométrica generada es lineal e inclinada en dirección del escurrimiento, lo cual según CASTANY (1969) evidencia la presencia de un acuífero confinado.

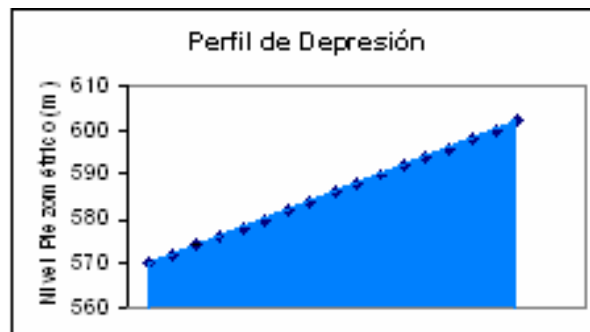


Figura 5.5.-Perfil de depresión trazado entre los sectores El Onoto y Los Bagres.

Este tipo de acuífero concuerda los resultados arrojados por la prueba de bombeo realizada en ese sector (P-LB-51) y con el perfil litológico E-E' (anexo 7), en donde se puede observar la superficie piezométrica al nivel de capas impermeables, lo cual explica que el agua en ese sector se encuentra a una presión distinta de la presión atmosférica debido a una capa impermeable ubicada por encima de ésta, característica típica de los acuíferos confinados.

Por otra parte, al observar los sectores La Majada, Los Chorros y parte de El Espinal, se puede notar a través de la superficie piezométrica trazada en el perfil D-D' (anexo 7), que al igual que en el sector SE de la zona, los niveles piezométricos registrados se encuentran al nivel de capas impermeables, lo que significa que el agua contenida en las capas permeables pudiese estar a una presión mayor que la atmosférica, característica que indica la presencia de un acuífero confinado.

5.3.2.2.- Zona Oeste

Comprende los sectores El Cortijo y La Lagunita y se caracteriza por presentar curvas espaciadas sin equidistancia entre ellas (anexo 10). Según CASTANY (1969), si la permeabilidad crece en sentido del escurrimiento, la pendiente del perfil de depresión disminuye, lo que se traduce como el aumento del espaciamiento entre las curvas isopiezas. Esta característica se observa en el perfil de depresión trazado en el sector El Cortijo (figura 5.6), ya que las curvas isopiezas se encuentran bien espaciadas y generan una pendiente suave en el perfil, permitiendo establecer que la permeabilidad de la capa acuífera en este sector es alta.

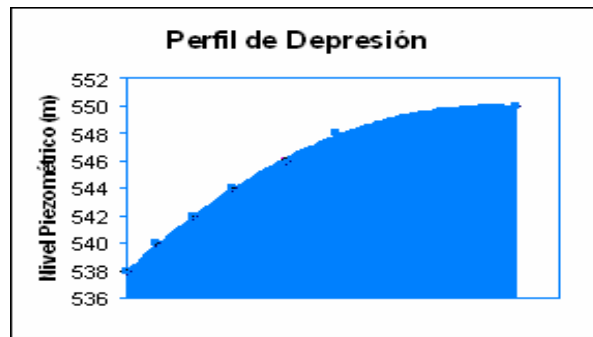


Figura 5.6.- Perfil de depresión trazado en el sector El Cortijo.

En cuanto al tipo de acuífero presente, se puede decir, que como la superficie piezométrica generada es curva, según CASTANY (1969) el tipo de acuífero presente es libre. Este tipo de acuífero se puede observar de una forma más clara en los perfiles estratigráficos A-A', B-B' y C-C' (anexo 6) en donde la superficie piezométrica se encuentra al mismo nivel de las capas acuíferas, lo cual indica que la presión que posee el acuífero es posiblemente la misma que la atmosférica, característica inconfundible de este tipo de acuífero.

5.3.3.- Variación de la Superficie Piezométrica

BASTIDAS Y CABEZA (1982) realizaron mediciones del nivel estático en 42 pozos ubicados en la zona de estudio, en la época de sequía del año 1982, específicamente en el mes de Marzo, información ésta que fue utilizada para construir el mapa piezométrico correspondiente a ese año (figura 5.7) (anexo 11).

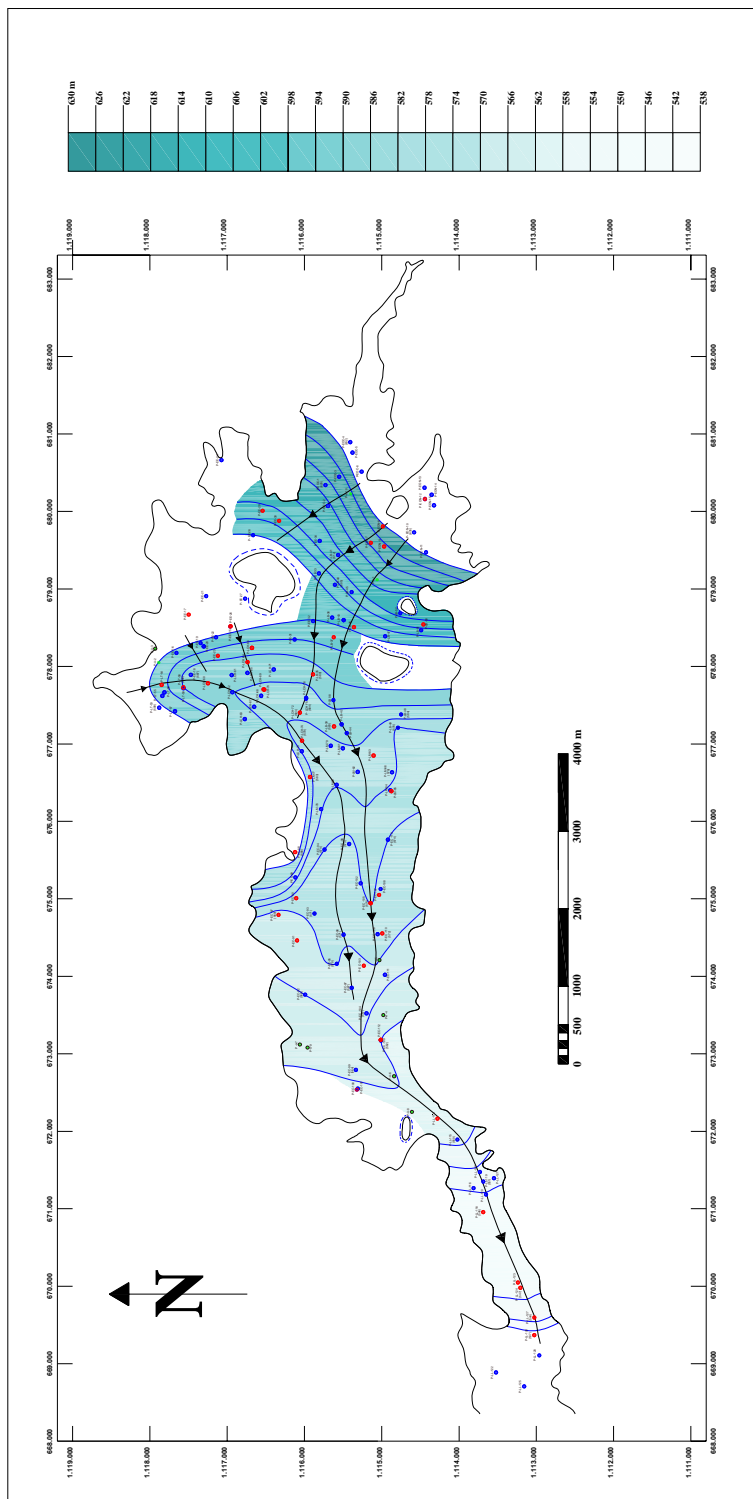
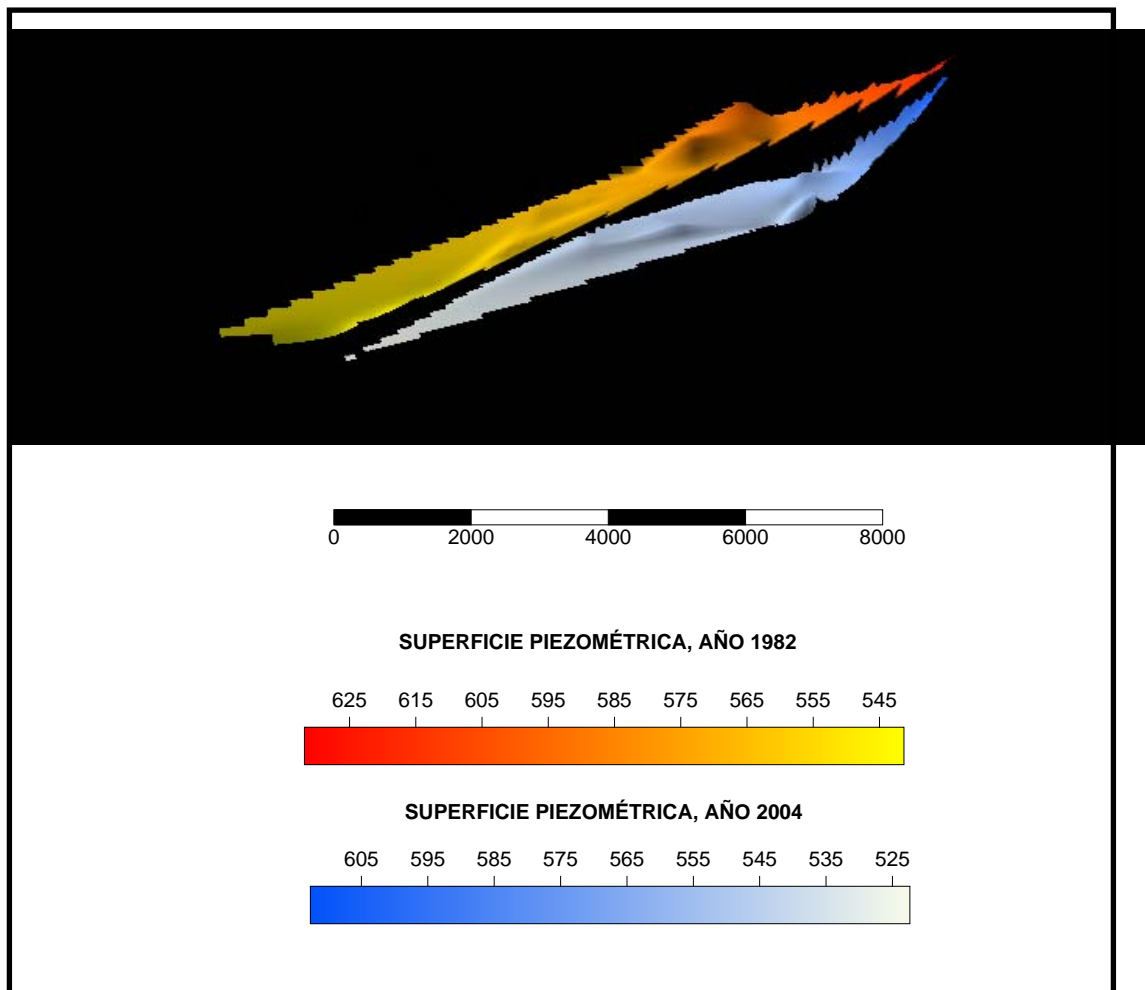


Figura 5.7.- Mapa Piezométrico, año 1982
(Período de Sequía)

Una vez generado el mapa piezométrico, se estableció la comparación entre la superficie piezométrica de ese año y del año 2004 (figura 5.8), notando que los niveles han descendido significativamente durante este período de tiempo, aunque no de manera uniforme, puesto que se tienen descensos máximos de 40 m y mínimos de 5 m (cuadro 5.8).



**Figura 5.8.- Modelo 3D de la variación de la superficie piezométrica.
(Período de sequía de los años 1982 y 2004)**

Cuadro 5.8.- Descenso promedio de los niveles piezométricos por sector.

Sector	Descenso Promedio (m)
La Lagunita	20
El Cortijo	20
Los Chorros	25
Los Bagres	30
El Espinal	40
Las Tunitas	40
El Onoto	15
El Ocumo	2

En cuanto a la dirección de las líneas de flujo, se observa que la línea principal mantiene la dirección este-oeste en ambos mapas piezométricos, sin embargo, existen zonas en las que las líneas de flujo han cambiado su dirección, tal es el caso del tramo ubicado entre los sectores Los Chorros y Las Tunitas (NE de la zona de estudio), en el cual se percibe el cambio de la dirección de la línea de flujo de N-S (mapa piezométrico de 1982) a SE-NW (mapa piezométrico de 2004), característica que coincide con las zonas donde el descenso de los niveles es mayor.

En general, se puede decir, que los descensos de los niveles piezométricos, evidenciado por la variación en la superficie piezométrica del año 2004 en comparación con la del año 1982, indican que el acuífero ha sido sometido a una intensa explotación, la cual interpretamos como una consecuencia directa del incremento en la explotación del recurso, asociado al aumento en el número de pozos de agua en la zona.

5.4.- Balance Hídrico

El balance hídrico se estableció en base a la información suministrada por estaciones climatológicas ubicadas en la zona de interés, permitiendo estimar los

meses en donde el agua a través de la precipitación recarga el acuífero por efectos de la infiltración vertical.

El área de estudio dispone de datos climatológicos provenientes de dos estaciones manejadas por el Ministerio del Ambiente; la estación Santa Cruz Edafológica (10°10' N y 67°29'15" W, 444 m.s.n.m.) con un período de registro de 21 años (1970-1991) y la estación El Cortijo (10°04'53" N y 67°25'05" W, 590 m.s.n.m.) la cual posee un período de registro de 7 años (1980-1987).

Los datos utilizados para el cálculo del balance hídrico fueron los proporcionados por la estación Santa Cruz Edafológica por ser ésta la que presenta el período de registro mínimo ininterrumpido permitido (20 años).

Aplicando la clasificación climática de THORNTHWAITE (1948) utilizando los valores de temperatura (en °C) y precipitación (en mm) para una capacidad máxima de almacenamiento de agua en el suelo de 100 mm, se calculó el balance hídrico de la zona mostrado en el cuadro 5.9 y la figura 5.9.

Cuadro 5.9.- Balance hídrico de la zona de estudio.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
TEMP.	25,7	26,0	26,9	27,3	25,5	26,0	25,6	25,3	25,6	26,0	25,9	25,7	26,0
Im	11,9	12,1	12,8	13,0	11,8	12,1	11,8	11,7	11,9	12,1	12,1	11,9	145,3
Etp	4,0	4,2	4,6	4,7	3,9	4,2	3,9	3,8	4,0	4,2	4,1	4,0	
FF	30,0	27,3	30,9	30,9	32,4	31,8	32,4	32,1	30,6	30,6	29,4	29,7	
ETP	120,0	114,0	143,0	146,0	127,0	133,0	128,0	123,0	122,0	127,0	121,0	120,0	1524,0
PP	4,0	4,0	10,0	54,0	116,0	123,0	139,0	159,0	158,0	123,0	71,0	14,0	976,0
PP-ETP	-116,0	-110,0	-133,0	-92,0	-10,0	-10,0	11,0	37,0	37,0	-4,0	-51,0	-105,0	-546,0
ALM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	48,0	85,0	81,0	30,0	0,0	
D. ALM	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	37,0	37,0	-4,0	-51,0	-30,0	0,0
ETA	4,0	4,0	10,0	54,0	116,0	123,0	128,0	123,0	122,0	127,0	122,0	44,0	977,0
DEF	116,0	110,0	133,0	92,0	10,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	75,0	546,0
EXC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ESC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

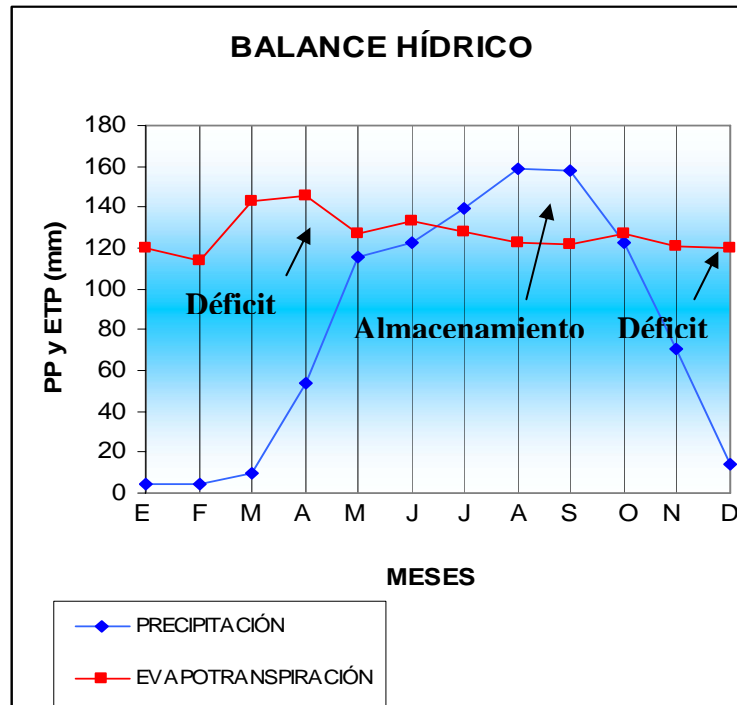


Figura 5.9.- Gráfico de la variación mensual de precipitación y evapotranspiración.

Este sistema de clasificación arrojó como resultado que la cuenca del río Tucutunemo presenta un clima Subhúmedo a Seco con poco o ningún exceso de agua en el suelo, de temperatura Megatérmico o Cálido.

De acuerdo a la figura 5.9, se observa deficiencia de agua entre los meses de diciembre y junio, lo cual es consecuencia del agotamiento del agua almacenada en el subsuelo e indicando que estos son los meses críticos para la explotación del acuífero. Sin embargo, para el mes de julio se observa el comienzo de la restitución del agua al suelo (recarga natural del acuífero) hasta el mes de octubre, considerándose este el período de mayor aporte de agua al subsuelo.

5.5.- Cálculo de Reservas

Las reservas de aguas subterráneas representan el volumen de agua almacenada en los sistemas acuíferos (CASTANY, 1969), estando relacionadas directamente con el espesor saturado de agua y la porosidad eficaz.

El espesor saturado de agua corresponde a la suma de los espesores de las capas permeables (arenas y gravas) que se encuentran por debajo del nivel piezométrico. Por su parte la porosidad se define como el volumen de espacios porosos por unidad de volumen que posee una roca o suelo.

La porosidad puede ser total o efectiva. La porosidad total está referida al volumen total de poros, independientemente de que el fluido tenga o no la capacidad de circular entre ellos, mientras que la porosidad eficaz corresponde al volumen de poros conectados por lo que el transporte de fluidos es posible (GONZÁLEZ DE VALLEJO, 2002).

A continuación se desarrollan los elementos que permitieron calcular las reservas.

5.5.1.- Espesor Saturado de Agua

Para poder determinar el espesor saturado de agua se midieron en los perfiles estratigráficos (anexos 6 y 7) los espesores de las capas permeables que se encontraban por debajo del nivel piezométrico hasta aquellas profundidades en donde las capas fuesen continuas, para luego sumarlos y obtener el espesor total del acuífero.

Al igual que en la descripción de la superficie piezométrica, se tomaron las mismas zonas, este y oeste, basadas principalmente en los perfiles estratigráficos realizados en cada zona.

Al observar los espesores a lo largo de las zonas se puede notar que hacia la zona oeste los espesores promedios son de aproximadamente 16,93 m mientras que hacia la zona este los espesores promedio son de 25 m.

5.5.2.- Porosidad Efectiva del Acuífero

Para fines prácticos, varios autores han establecido valores de porosidad total y efectiva para diversos materiales, en función de las experiencias obtenidas en sus investigaciones. El cuadro 5.10 muestra los valores de porosidades totales y efectivas de diversos materiales sedimentarios no consolidados.

Cuadro 5.10.- Porosidades totales y efectivas de materiales sedimentarios no consolidados. Tomado de: MEJÍAS Y GUERRERO (2000).

Material		Porosidad Total (%)			Porosidad Efectiva (%)		
Material Sedimentario No Consolidado	Aluviones	25	40	20	20	35	5
	Dunas	35	40	30	25	30	10
	Gravas	30	40	25	20	35	10
	Loess	45	55	40	<5	10	0,1
	Arenas	35	45	20	25	35	10
	Depósitos Glaciares	5	35	15	15	30	5
	Limos	40	50	35	10	20	2
	Arcillas sin Compactar	45	60	40	2	10	0,0
	Suelos Superiores	50	60	30	10	20	1

De acuerdo con lo expuesto en el cuadro 5.10, se determinó que el valor de porosidad efectiva media correspondiente al tipo de materiales permeables que se encuentran en el área de estudio (aluviones, gravas y arenas) es del orden del 20%.

5.5.3.- Cálculo del Volumen de Agua

El volumen de reservas de agua se obtiene por el producto del volumen de capas permeables saturadas por la porosidad efectiva de los materiales sedimentarios no consolidados permeables del acuífero.

$$\text{Volumen Reserva de Agua} = \text{Volumen de Espesor Saturada} * \Phi \text{ efectiva}$$

El volumen de espesor saturado corresponde al producto del promedio de los espesores de las capas permeables, que se encuentran por debajo del nivel piezométrico, por el área en metros cuadrados de la zona de estudio, a excepción de los sectores La Lagunita (oeste de la zona de estudio) y El Espinal (NE de la zona de estudio), debido a que estos no poseen información litológica (cuadro 5.11).

Cuadro 5.11.- Cálculos de volumen de espesor saturado.

Zona	Volumen (m ³)
Este	199.825.000
Oeste	109.706.400
Total	309.531.400

El volumen de reservas permanentes representa el volumen total de agua libre almacenada en el acuífero que puede ser producible por medio de pozos.

Los cálculos del volumen de reservas de agua efectuados para una porosidad efectiva de 20%, se resumen en el cuadro 5.12.

Cuadro 5.12.- Cálculos de volumen de reservas de agua.

Sector	Volumen (m³)	Porosidad Efectiva	Volumen de Agua (m³)
Este	199.825.000	20 %	39.965.000
Oeste	109.706.400	20 %	21.941.280
Total	309.531.400	20 %	61.906.280

Los resultados obtenidos (cuadro 5.12), permiten afirmar que las reservas permanentes del acuífero dentro del área de estudio, sin tomar en cuenta los sectores de La Lagunita (al oeste de la zona de estudio) y El Espinal (al NE de la zona de estudio), para el año 2004 son de aproximadamente 61.906.280 m³ de agua. Reservas que al ser comparadas con las del año 1982 para el mismo período (100.785.938 m³ de agua) representan una disminución del 39% en las reservas de agua.

Este marcado descenso se puede observar en los perfiles estratigráficos (anexos 6 y 7) donde se aprecia la brusca caída de los niveles de agua, causado principalmente por la sobreexplotación de los acuíferos asociado al incremento de pozos productores, la cual se ve reflejada a través de los caudales de algunos pozos, que pueden ser visualizados en el cuadro 5.13.

Cuadro 5.13.- Comparación de los caudales de los pozos para 1982 y para 2004.

Pozo	CAUDALES (lps)		Diferencia (lps)
	1982	2004	
P-EOC-5	30,73	10	20,73
P-LB-43	27,17	7	20,17
P-LB-35	44,15	3	41,15
P-EC-93	37,6	7	30,6
P-EC-105	35	15	20
P-EC-96	20	3	17
P-EC-92	41	16	25
P-EC-95	53	30	23
P-EC-94	61	30	31
P-EC-98	41,31	30	11,31
P-EC-113	33,9	20	13,9
P-LM-78	50	20	30
P-LCH-73	34	7	27
P-LCH-72	55,69	20	35,69
P-LCH-61	63	20	43
P-LL-116	40	6	34
P-LL-120	40	8	32
P-LT-53	30,87	6	24,87

5.6.- Calidad Físico-Química y Bacteriológica de las Aguas

El movimiento relativamente lento del agua que percola a través del suelo, le permite a ésta mantener un contacto prolongado y estrecho con los minerales. Estos minerales son solubles en mayor o menor grado, de tal modo que el agua aumenta su contenido mineral conforme se desplaza, hasta que se alcanza un equilibrio combinado de las sustancias en solución.

La utilidad del agua para varios fines se ve afectada por su contenido de minerales disueltos. Si uno o más minerales exceden de la cantidad que puede tolerarse para un uso determinado, debe aplicarse al agua algún tipo de tratamiento que elimine el mineral indeseable y torne al agua apta para el propósito al que se le va a destinar (JOHNSON, 1975).

En el valle del río Tucutunemo, el agua subterránea es utilizada con fines de riego, cría de animales y consumo humano. Debido a que no se contaba con información acerca de la calidad de agua en esta zona, se realizaron análisis físico-químicos y bacteriológicos a muestras de agua tomadas en 20 pozos distribuidos a lo largo del área de estudio (anexo 12).

A continuación se muestran los resultados obtenidos de los análisis de acuerdo a su uso.

5.6.1.-Total de Sólidos Disueltos

La concentración total de sólidos disueltos (TSD) en el agua es un índice general de la adaptabilidad del agua para diversos usos, es por esto que a partir de las 20 muestras tomadas (cuadro 5.14), se realizó un mapa de TSD de manera tal de observar la variación a lo largo de la zona de estudio (figura 5.10).

Cuadro 5.14.- Valores de TSD de las 20 muestras de agua analizadas.

Pozo	TSD (ppm)	Pozo	TSD (ppm)
P-EC-92	334	P-EON-14	173
P-EC-101	248	P-EC-106	275
P-EC-94	301	P-LM-84	204
P-LCH-73	212	P-LB-44	220
P-LCH-68	342	P-LB-43	220
P-EE-18	272	P-LB-52	266
P-EE-21	254	P-EOC-6	177
P-EE-28	237	P-LL-128	314
P-EE-33	174	P-LL-119	209
P-EE-31	206	P-EOC-3	175

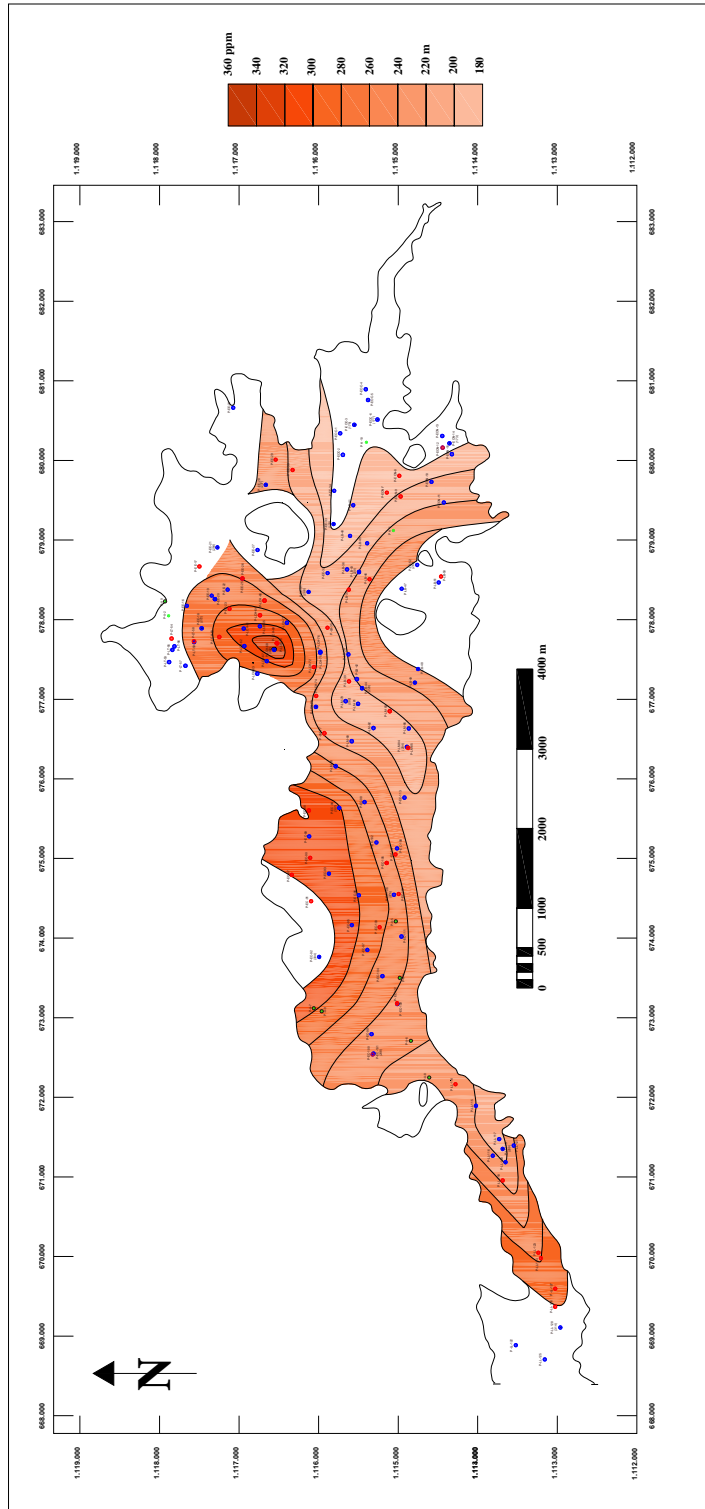


Figura 5.10.- Mapa de total sólidos disueltos (TSD)

Al observar el mapa de TSD (anexo 13), se nota que existe una menor concentración de sólidos disueltos al este del valle, específicamente en los sectores de El Ocumo y El Onoto (ubicado al este de la zona de estudio), mientras que los mayores valores se ubican hacia los sectores de La Lagunita y norte de El Cortijo ubicados al oeste de la zona y el sector Los Chorros ubicado hacia el centro.

El aumento del TSD en estas zonas podría deberse al hecho de que las aguas han experimentado un transporte desde las zonas de mayor pendiente hidráulica, es decir, aquellas donde las curvas isopiezas son más estrechas (sectores El Onoto y El Ocumo), las cuales durante su trayecto han adquirido las características de los minerales presentes en el suelo y subsuelo. Sin embargo, también podrían tener su explicación en el hecho de que esos sectores poseen pendientes hidráulicas bajas, tal es el caso del sector El Cortijo en donde las curvas isopiezas se encuentran separadas, generando de esta forma que las aguas permanezcan más tiempo en contacto con los materiales que las contienen, provocando así una disolución de los materiales constituyentes del acuífero con un consecuente aumento del contenido mineralógico (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, 1976).

Según JOHNSON (1975), el agua que contiene mucha materia mineral disuelta no es satisfactoria para muchos usos; estableciendo que si esta contiene menos de 500 p.p.m, es por lo general adecuada para uso doméstico y para varios propósitos industriales.

Por lo tanto, el total de sólidos disueltos de las muestras de agua a lo largo del valle del río Tucutunemo permiten establecer que dicha zona se encuentra apta para los usos que actualmente se desarrollan.

5.6.2.- Calidad de Agua para Consumo

De acuerdo con el total de pozos ubicados en la zona de estudio, se tiene que el 31% de los pozos activos son actualmente utilizados para consumo, a través de acueductos rurales, granjas avícolas y ganadería.

Para que estas aguas sean aptas para este tipo de consumo deben cumplir con un conjunto de parámetros físico-químicos y bacteriológicos, establecidas por el MINISTERIO DE SANIDAD Y ASISTENCIA SOCIAL (1998), descritos a continuación (cuadro 5.15).

Cuadro 5.15.- Rangos permitidos para los parámetros físicos y químicos.

Parámetro	Componente o Característica	Unidad	Valor Deseable Menor a	Valor Máximo Aceptable
Físico	Color	UCV	5	15
Químico	Dureza Total	mg/l CaCO ₃	250	500
Químico	pH		6,5	8,56
Químico	Total de sólidos disueltos	mg/l = ppm	600	1000
Químico	Cloruro	mg/l = ppm	250	300
Químico	Sulfato	mg/l = ppm	250	500
Químico	Nitrito	mg/l = ppm		0,03
Químico	Nitrato	mg/l = ppm		45
Químico	Hierro	mg/l = ppm	0,1	0,3
Químico	Manganeso	mg/l = ppm	0,1	0,5
Químico	Sodio	mg/l = ppm		200
Bacteriológico	Coliformes Totales	NMP/100ml	Ausente	< 2
Bacteriológico	Coliformes Fecales	NMP/100ml	Ausente	< 2

Al comparar los resultados de las muestras de agua se puede notar que todos sus parámetros físicos y químicos se encuentran dentro de los valores máximos permisibles, sin embargo, al observar los parámetros bacteriológicos (coliformes totales y fecales) se nota que existe un total de 8 pozos con valores superiores a los máximos permisibles (cuadro 5.16).

Cuadro 5.16.- Pozos con presencia de coliformes en el agua.

Pozo	Sector	Coliformes Totales
P-EON-14	El Onoto	130
P-EC-106	El Cortijo	1600
P-LM-84	La Majada	13
P-LB-52	Los Bagres	13
P-EOC-6	El Ocumo	8
P-LL-119	La Lagunita	30
P-EC-92	El Cortijo	80

Los resultados mostrados en el cuadro 5.16, están indicando que el agua extraída de ellos no es apta para su consumo humano, ya que presentan un alto grado de contaminación biológica, siendo esta situación alarmante en los casos de los pozos P-EON-14, P-EC-106 y el P-EOC-6, por ser estos acueductos rurales que abastecen a las comunidades de los sectores en los cuales se encuentran ubicados.

5.6.3.- Calidad de Agua para Riego

El agua para riego constituye el principal uso de las aguas subterráneas en el Valle del río Tucutunemo, ya que representa el 69% de los pozos activos. Por lo tanto, su uso está condicionado de acuerdo a los resultados de las muestras de aguas,

en base a los parámetros de conductividad hidráulica y la relación de adsorción de sodio.

5.6.3.1 Conductividad Eléctrica

Representa una expresión indirecta del contenido de sales del agua, las cuales pueden afectar el crecimiento de las plantas, ya que limitan su capacidad de incorporar agua al modificar sus procesos osmóticos o generando reacciones metabólicas tales como las que forman los constituyentes tóxicos. De acuerdo a la conductividad eléctrica se pueden clasificar las aguas en cuatro tipos (cuadro 5.17).

Cuadro 5.17.- Clasificación del agua según la conductividad eléctrica.

Conductividad Eléctrica	Tipo	Características
< 250	C ₁	Aguas poco salinas, que pueden ser utilizadas para riego de cualquier cultivo, en suelos donde exista algún lavaje, bajo prácticas comunes de riego.
250 – 750	C ₂	Aguas medianamente salinas, pueden ser utilizadas para riego de la mayoría de los cultivos en suelos con lavaje moderado. Los cultivos resistentes a la salinidad pueden crecer sin prácticas especiales para el control de la salinidad.
750 – 2.250	C ₃	Aguas altamente salinas, pueden ser usadas en suelos con buen drenaje, siendo necesario el empleo de prácticas especiales de manejo para el control de la salinidad.
> 2.250	C ₄	Aguas muy salinas, no adaptables para el riego a menos que exista una combinación de condiciones favorables; el suelo debe ser permeable y tener buen drenaje. Debe aplicarse un exceso de lámina de riego para asegurar un buen lavaje. Sólo pueden sembrarse cultivos de alta tolerancia a la salinidad.

Al observar los valores de conductividad eléctrica de las muestras de aguas tomadas, se puede notar que todas se encuentran dentro de los 250-750 microhms, lo que las clasifica como aguas del tipo C₂, es decir, aguas que pueden ser utilizadas para riego de la mayoría de los cultivos en suelos con lavaje moderado.

5.6.3.2.- Relación de Absorción de Sodio (Ras)

La relación de absorción de sodio expresa la actividad del sodio en reacciones de intercambio con el suelo y se emplea para estimar el daño por sodio en aguas de riego y viene expresada por la relación entre los iones de calcio, magnesio y sodio en miliequivalentes por litro:

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}$$

Esta relación da como resultado cuatro tipos de clasificaciones de las aguas, las cuales se resumen en el cuadro 5.18.

Cuadro 5.18.- Clasificación del agua de acuerdo a la relación de absorción de Sodio.

RAS	Tipo	Características
< 10	S ₁	Agua Excelente, pocos daños por sodio; pueden utilizarse en la mayoría de los suelos.
10 – 18	S ₂	Aguas Buenas, daños medianos por sodio: pueden utilizarse en suelos de textura gruesa y suelos orgánicos de buena permeabilidad, pero ocasionan problemas en suelos de textura fina, a menos que contengan yeso.
18 – 26	S ₃	Aguas Aceptables, daños altos por sodio en casi todos los suelos, excepto los de gran contenido de yeso. Pueden usarse en condiciones de buen drenaje y de alta lixiviación. Adiciones de yeso y materia orgánica pueden ser beneficiosas.
> 26	S ₄	Aguas Pobres, daño muy alto por sodio; No satisfactoria para la mayoría de los propósitos de riego.

Con los valores obtenidos de los análisis de las muestras de agua, se tomaron los cationes de Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} a los cuales se les calcularon su relación de absorción de sodio, resumido en el cuadro 5.19.

Cuadro 5.19.- Valores obtenidos de la relación de absorción de Sodio de cada muestra de agua.

Pozos	Na^+ (mg/l)	Ca^{++} (mg/l)	Mg^{++} (mg/l)	mequiv Na^+	mequiv Ca^{++}	Mequiv Mg^{++}	RAS
P-EOC-3	10	47	19	0,435	2,35	1,583	0,221
P-EOC-5	11	42	17	0,478	2,10	1,417	0,272
P-EON-14	9,1	46	16	0,396	2,30	1,333	0,218
P-LB-52	7	86	19	0,304	4,30	1,583	0,103
P-LB-43	10	58	24	0,435	2,90	2,000	0,177
P-LB-44	8	52	21	0,348	2,60	1,750	0,160
P-LM-84	7	54	13	0,304	2,70	1,083	0,161
P-EC-94	12	98	16	0,522	4,90	1,333	0,167
P-EC-106	11	78	15	0,478	3,90	1,250	0,186
P-EC-101	12	76	13	0,522	3,80	1,083	0,214
P-EC-92	15	124	12	0,652	6,20	1,000	0,181
P-LCH-73	11	58	18	0,478	2,90	1,500	0,217
P-LCH-68	12	112	9	0,522	5,60	0,750	0,164
P-EE-33	11	44	14	0,478	2,20	1,167	0,284
P-EE-18	6	90	16	0,261	4,50	1,333	0,089
P-EE-21	13	88	11	0,565	4,40	0,917	0,213
P-EE-28	11	76	12	0,478	3,80	1,000	0,199
P-EE-31	12	50	22	0,522	2,50	1,833	0,241
P-LL-128	17	93	14	0,739	4,65	1,167	0,254
P-LL-119	14	52	13	0,609	2,60	1,083	0,331

Al observar los valores obtenidos en el cuadro 5.19, se puede notar que todos los valores son menores a 10, por lo tanto el tipo de agua de acuerdo al RAS de Na da una clasificación para las aguas del tipo S1, es decir, agua excelente con pocos daños por sodio las cuales pueden utilizarse en la mayoría de los suelos.

CAPÍTULO VI

6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.- Conclusiones

- El valle del río Tucutunemo constituye un surco tectónico longitudinal encajado en la Serranía del Interior en sentido este-oeste. El material que rellena su cuenca está compuesto de sedimentos aluviales que fueron originados principalmente por la erosión de las unidades litológicas Filita de Tucutunemo, Filita de Paracotos y Esquisto de Las Mercedes y depositados a lo largo de la faja de contacto entre montaña y valle, por las quebradas que bajan de las vertientes montañosas circundantes, cuya expresión superficial está dada por las distintas unidades geomorfológicas ubicadas en el paisaje de piedemonte.
- La distribución que presentan los sedimentos en los perfiles estratigráficos, realizados en el área de estudio, muestra que los materiales gruesos se encuentran ubicados al pie de las cadenas montañosas que rodean al valle y son producto de la depositación de abanicos aluviales, mientras que los sedimentos de la fracción fina se ubican principalmente en la parte central del valle y representan los depósitos de llanura de inundación en el cual se observan depósitos de canal, lo que evidencia un ambiente de depositación del tipo fluvial a lo largo de toda la zona de estudio.
- Según la distribución de los sedimentos gruesos, las zonas con mejor condición acuífera se encuentran en la parte SO hacia el sector El Cortijo y la parte SE, específicamente en el tramo comprendido entre Los Bagres y El Onoto.

- Partiendo del marco estructural del valle del río Tucutunemo y de la interpretación hecha por algunos autores acerca de la presencia de fallas que lo atraviesan, se logró identificar mediante los perfiles estratigráficos, los posibles saltos verticales de dos de estas fallas; el primero de ellos (sin expresión superficial), ubicado al SO del área de estudio, específicamente en el sector El Cortijo y el segundo, ubicado en el sector Los Bagres, al SE de la zona de estudio, cuya expresión superficial está evidenciada por la alineación de algunos drenajes.
- De acuerdo a las pruebas de bombeo y a la interpretación de los mapas piezométricos realizados en el área de estudio, se estableció que existen dos tipos de acuíferos, uno de régimen confinado ubicado hacia el SO y SE del área de estudio, en los sectores de La Lagunita y Los Bagres, respectivamente, y otro con un régimen libre, en la parte central del área de estudio, específicamente en el sector El Cortijo, a los cuales no se les pudo estimar su dimensión y conexión entre ellos por falta de información litológica.
- Los valores de transmisibilidad obtenidos a partir de las pruebas de bombeo (antiguas y recientes) realizadas en la zona de estudio, varían entre 18,9 y 4390 m³/día/m, los cuales están reflejados en el mapa de transmisibilidad, mostrando que la zona más productiva es la parte oeste y central del valle (sector El Cortijo) y la menos productiva la parte SE del mismo (el sector El Ocumo).
- Por medio del mapa piezométrico se logró establecer que la dirección principal de flujo de las aguas subterráneas de la zona es este-oeste.
- Se infirió de acuerdo a CASTANY (1969) que la permeabilidad del área de estudio, tomando como parámetro el espaciamiento entre las curvas isopiezas,

es mayor en la zona oeste (sector El Cortijo) y menor en la zona este (sectores La Majada y Los Bagres).

- De acuerdo al análisis de la pluviometría de la zona, se tiene que la época donde el acuífero logra almacenar agua, corresponde al período comprendido entre los meses de Julio y Noviembre, mientras que para los demás meses del año existe un déficit producto de una mayor descarga natural (evapotranspiración) en comparación con la recarga (infiltración de las precipitaciones).
- Se determinó que de acuerdo a la variación de la superficie piezométrica del año 1982 con respecto a 2004, la zona en el área de estudio que presenta los mayores descensos del nivel piezométrico (40 m) se encuentra al NE.
- Para un volumen $309.531.400 \text{ m}^3$ de espesor saturado de agua, correspondiente a la época de sequía de 2004, se calculó que el espacio poroso existente en el subsuelo aloja aproximadamente $61.906.280 \text{ m}^3$ de agua, estimando una pérdida en las reservas de agua de aproximadamente 39% en los últimos 22 años.
- Los análisis físico-químicos realizados en el área de estudio arrojaron como resultado que el tipo de agua presente de acuerdo a la conductividad eléctrica y la relación de absorción de sodio, es C_2S_1 , clasificación que indica que el agua extraída de estos pozos es apta para el riego de la mayoría de los cultivos sembrados en cualquier tipo de suelo.
- En cuanto a la calidad del agua para uso doméstico, se tiene que los resultados de los análisis físico-químicos y bacteriológicos indican que la mayoría de los pozos analizados no presenta en sus aguas ningún tipo de restricción para este uso, a excepción del agua extraída de 8 pozos ubicados en los sectores de La

Lagunita, El Cortijo, La Majada, Los Chorros, El Onoto y El Ocumo, por presentar coliformes en sus resultados, condición que limita el uso de estas aguas, por ser peligrosa para las comunidades que las consumen.

- La contaminación de las aguas por presencia de coliformes se debe principalmente a la entrada de aguas servidas al acuífero.
- Finalmente se puede decir, que los resultados obtenidos del estudio hidrogeológico realizado en este valle, permiten concluir que los acuíferos existentes en él se encuentran intensamente explotados, como consecuencia de la ausencia de un plan de manejo adecuado de las aguas subterráneas y el aumento indiscriminado del número de perforaciones de pozos de agua sin tomar en cuenta las propiedades hidráulicas del acuífero, siendo esta una situación grave para las comunidades que habitan este valle, puesto que actualmente el agua subterránea es el único recurso hídrico con que cuenta la región.

6.2.- Recomendaciones

- Realizar un estudio geofísico al detalle en toda el área de estudio (sondeos eléctricos verticales), que permita obtener información confiable y bien definida acerca del contacto aluvión-roca para lograr establecer una mejor estimación de las reservas totales de agua, además de permitir la identificación de estructuras en el subsuelo.
- Realizar un estudio completo de las características físicas (grado de fracturación y meteorización) de las litologías correspondientes a las laderas que limitan al valle, con el fin de determinar si es posible aplicar un plan de recarga artificial del acuífero a través del represamiento de quebradas, además de identificar la litología aflorante en el límite NO de la zona de estudio para

aclarar las diferencias geológicas existentes entre los autores que han definido esta unidad litológica, unos como Esquisto de Las Mercedes y otros como el Complejo El Tinaco.

- Realizar más pruebas de bombeo, preferiblemente en la parte SE y NE de la zona de estudio, correspondientes a los sectores de El Onoto, el Ocumo, El Espinal, Los Chorros y La Majada, para complementar y en algunos casos constatar los parámetros hidráulicos de los acuíferos existentes determinados en el presente estudio y la posible conexión entre ellos.
- En base al inventario de pozos, realizar un estudio minucioso que determine las características actuales de los pozos inactivos que pueden ser utilizados como piezómetros en un futuro inmediato y de esta manera realizar mediciones mensuales de los niveles estáticos, para llenar el vacío de información existente y llevar un control de los diversos cambios en la superficie piezométrica tanto en el período de lluvia como en el de sequía.
- Reactivar la estación climatológica *El Cortijo*, para contar con los datos necesarios que permitan en un futuro realizar un balance hídrico más preciso y así determinar las mejores épocas de recarga del acuífero.
- Realizar análisis físico-químicos y bacteriológicos de las aguas, por lo menos dos (2) veces al año, en el período lluvioso y en el de sequía, para poder tener un control más detallado y equilibrado de la calidad de las aguas de acuerdo a su uso, además de la aplicación de planes de control y tratamiento de las aguas servidas de la zona.
- Establecer un plan de manejo de las aguas subterráneas que tenga como propósito principal la recuperación de los acuíferos mediante la recarga artificial, además de controlar la explotación intensiva de las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUERREVERRE S. E. Y G. ZULOAGA. (1937). **Observaciones Geológicas de la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela.** Boletín de Geología y Minas, Caracas, 1(2-4): 8-24.
- BASTIDAS, L. Y F. CABEZA. (1982). **Estudio de la Situación Actual de los Pequeños Sistemas de Riego de la Zona Central del País. Sector: Valle del Tucutunemo.** Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela. Maracay, 202 p.
- BECK, C. (1985). **La chaîne caraïbe au méridien de Caracas: Géologie, tectonique, place dans l'évolution géodynamique Mésozoïque-Cénozoïque des Caraïbes Méridionales.** L'Université des Sciences et Techniques de Lille, Tesis de doctorado de estado, 462 p.
- BECK, C. (1986). **Géologie de la chaîne Caraïbe au méridien de Caracas (Venezuela).** Soc. Geol. de Nord, Villeneuve s'Ascq, Francia, Public. no. 14, 462 p.
- BELL, J. (1968). **Geología del Área de Camatagua, estado Aragua, Venezuela.** Boletín de Geología, Caracas, 9(18): 291-440.
- BELLIZZIA, A. (1967). **Rocas ultramáficas en el sistema montañoso del Caribe y yacimientos minerales asociados.** Boletín de Geología, Caracas, 8(16): 159-168.
- BELLIZZIA, A. (1972). **Sistema Montañoso del Caribe, borde sur de la placa del Caribe, ¿es una cordillera alóctona?.** Mem. VI Conf. Geol. Caribe, Margarita, p. 247-258.

- BENJAMINI, C., R. SHAGAM Y A. MENÉNDEZ. (1986). **Formación Tucutunemo**. Memoria VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 10: 6551-6574.
- CASTANY, G. (1969). **Métodos de Estudios e Investigación de los Acuíferos**. Ministerio de Minas e Hidrocarburos, Dirección de Geología, Departamento de Aguas Subterráneas, Caracas, 168 p.
- DEWEY, P. Y J. BIRD. (1971). **Origin and emplacement of ophiolite suite: Appalachian ophiolites in New Foundland**. Journ. Geophys. Res., (76): 3179-3206.
- DURAN, D. Y C. LOBO (2004). **Evaluación Hidrogeológica de las Reservas de Agua Subterránea del Acuífero de Los Llanos de Calabozo, estado Guárico, con el apoyo de Técnicas Nucleares**. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad de Los Andes, Mérida, 197 p.
- GONZÁLEZ DE JUANA C., J. ITURRALDE DE A. Y X. PICARD. (1980). **Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas**. Caracas, Ed. Foninves, 2 tomos, 1021 p.
- GONZALEZ DE VALLEJO, L. (2002). **Ingeniería Geológica**. Madrid. Prentice Hall. 715 p.
- GONZÁLEZ, L. (1972). **Geología de la Cordillera de la Costa, zona centro – occidental**. Boletín de Geología, Caracas, Public. esp. 5(3): 1589-1616.
- GRATEROL, M. (1967). **Investigación petrográfica y mineralógica de las peridotitas y serpentinitas de Loma de Hierro, estados de Aragua y Miranda**. Boletín de Geología, Caracas, 8(16): 215-225.

GRATEROL, M. (1972). **Petrogénesis de la peridotita de Loma de Hierro, estado Aragua.** Mem. VI Conf. Geol. Caribe, Margarita, p. 329-336.

JOHNSON, E. (1975). **El Agua Subterránea y los Pozos.** Johnson División, U:O:P: Inc. Minnesota, 513 p.

KONIGSMARK, T. (1958). **Geology of the northern Guárico – Lake Valencia area.** Bol. Inf. Asoc. Venez. Geol., Min. y Petra., 1(5): 151-165.

MACKENZIE, B. (1966). **Geología de la región norte-central de Cojedes.** Boletín de Geología, Caracas, 5 (15): 3-72.

MACLACHLAN, J. C., R SHAGAM Y H. H. HESS. (1960). **Geología de la Región de la Victoria, estado Aragua, Venezuela.** Boletín de Geología, Caracas, Public. esp. 3, 2: 676-684.

MARCANO, E. Y MENDOZA, J. (1996). **Diagnóstico y Evaluación de la Cuenca del Río Tucutunemo con Fines de Manejo Conservacionista.** Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas, 82 p.

MÁRQUEZ, R. (1974). **The Hydrology and Development of the Ground water Resources in the Asentamiento Campesino El Cortijo, estado Aragua, Venezuela.** Boletín Informativo. Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo. Caracas, Vol. 17 (11), 179-215.

MEJÍAS J. Y C. GUERRERO (2000). **Estudio de las Reservas de Agua Subterránea en la Ciudad de Barinas.** Trabajo Final de Grado. Inédito, Universidad de Los Andes, Mérida.

- MENÉNDEZ, A. (1966). **Tectónica de la parte central de las Montañas Occidentales del Caribe, Venezuela**. Boletín de Geología, Caracas, 8(15): 116-139.
- MINISTERIO DE MINAS E HIDROCARBUROS (1972). **Mapa Hidrogeológico de Venezuela, escala 1:500.000**. Dirección de Geología. Departamento de Aguas Subterráneas. Caracas, Venezuela.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS (1976). **Hidrogeología del Área Sabana de Parra-Buría Londres, Estado Yaracuy**. Informe Técnico de la División de Hidrogeología. Ministerio de Obras Públicas, Caracas, 49 p.
- MOLINA, M. (1997). **Evaluación del Modelo de Predicción de Sedimentos y Escorrentía WEPP (Water Erosion Prediction Project) en Microcuencas del Valle del Tucutunemo (Cuenca alta del río Guarico), Estado Aragua**. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Maracay, 83 p.
- MUÑOZ, A. (1988). **Estudio Hidrogeológico y Régimen de Aguas Subterráneas del 10 Acuífero de Maracay, Estado Aragua**. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas, 90 p.
- NAVARRO, E. (1983). **Geología y petrogénesis de las rocas metavolcánicas del Grupo de Villa de Cura**. Geos, UCV, Caracas, (28): 170-317.
- NAVARRO, E., M. OSTOS Y F. YORIS. (1988). **Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte norte – central de Venezuela durante el Jurásico Medio – Paleoceno**. Acta Científica Venezolana, 39: 427-436.

- OSTOS, M. (1990). **Evolución Tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos.** Geos, Caracas, (30): 1-294.
- OXBURGH, R. (1966). **Geology and metamorphism of Cretaceous rocks in eastern Carabobo state, Venezuela coast ranges, Caribbean Geological Investigations.** Geol. Soc. Amer. Mem., (98): 241-310.
- RENDALES, I. (1989). **Diagnóstico Hidrogeológico de la Región Coroza Pando-Camaguán-Río Guarico al Sur de Calabozo, Estado Guárico.** Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas, 50 p.
- RENZ, O. Y K. C. SHORT, (1960). **Estratigrafía de la región comprendida entre El Pao y Acarigua, estados Cojedes y Portuguesa.** Memoria III Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 1: 277-315.
- SANCIO, R. (1965). **Evaluación de la Recarga de los Acuíferos de una Cuenca para la Explotación Racional del Agua Subterránea.** Boletín Informativo. Sociedad Venezolana de Geología, Minería y Petróleo. Caracas. 1(1):13-31.
- SEIDERS, V. (1965). **Geología de Miranda Central, Venezuela.** Boletín de Geología, (6): 289-416.
- SHAGAM, R. (1960). **Geología de Aragua central (Venezuela).** Memoria III Congreso Geológico Venezolano, Caracas. Boletín de Geología, Caracas, 2: 574-675.
- SMITH, J. (1952). **Geología de la región de Los Teques – Cúa.** Boletín de Geología, Caracas, 2(6): 333-406.

TALUKDAR, S. Y D. LOUREIRO. (1982). **Geología de una zona ubicada en el segmento norcentral de la Cordillera de la Costa, Venezuela: Metamorfismo y deformación. Evolución del margen septentrional de Sudamérica en el marco de la tectónica de placas.** Geos, UCV, Caracas, (27): 15-76.

THEIS, C. (1935). **The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage.** Amer. Geophys. Union., vol. 16, 519-524 p.

THORNTON, C. (1948). **An approach toward a rational classification of climates.** Geographical Review, No. 1.

URBANI, F. (1982). **Comentarios sobre algunas edades de las rocas de la parte central de la Cordillera de la Costa.** Geos, UCV, Caracas, (27): 77-85.

URBANI, F. (1999). **Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela.** Revista Geos. UCV. 33: 1-170.

URBANI, F. Y J. RODRÍGUEZ, (2004). **Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela FUNVISIS.** Caracas, VENEZUELA CD.

VAN BERKEL, D. (1988). **Estudio geológico del área de Tácata – Altagracia de la Montaña, estado Miranda.** UCV, Escuela de Geología, Trabajo Especial de Grado, inédito, 152 p.

VAN BERKEL, D., M. OSTOS Y F. YORIS. (1989). **Geología del área ubicada entre las poblaciones de Tácata y Altagracia de la Montaña, estado Miranda.** Geos, UCV, Caracas, (29): 97-107.

VÁSQUEZ, J. (1979). **Estudio Hidrogeológico de Turen II, Estado Portuguesa.**

Serie de Informes Técnicos DGI/IT/61, Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, Caracas, 73 p.

VILORIA, J. Y A. ZINCK. (1986). **Estudio de Suelos Semi-Detallado Depresión del Lago de Valencia, Estados Aragua y Carabobo. Bloque de**

Levantamiento N°30 Valle del Tucutunemo, Estado Aragua. Clasificación Taxonómica de los Suelos y Clasificación de Tierras con fines de Riego. Serie Informes Técnicos Zona 2/IT/. M.A.R.N.R, Maracay, 438 p.

WEHRMANN, M. (1972). **Geología de la región de Guatire – Colonia Tovar.**

Memoria IV Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 4: 2093-2121.