

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA LAGUNA DE TAIGUAIGUAY
MUNICIPIO ZAMORA, ESTADO ARAGUA**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo
Por los Brs. Biondo D, Luis D.
Esteves A. Norgardy K.

Caracas, Noviembre de 2010

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA LAGUNA DE TAIGUAIGUAY,
MUNICIPIO ZAMORA, ESTADO ARAGUA**

Tutor Académico: Prof. Ramón Montero

Cotutor Académico: Prof. Ruthman Hurtado

Tutor Industrial: Ing. German Zerpa

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo
Por los Brs. Biondo D, Luis D.
Esteves A. Norgardy K.

Caracas, Noviembre de 2010

Caracas, 11 de Noviembre de 2010

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 Luis D. Biondo D.A. y Norgardy K. Esteves A., Titulado:

**EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA LAGUNA DE TAIGUAIGUAY,
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. Ramón Montero

Prof. Alba Castillo

Prof. Ricardo Alezones

A...

Isis, mi Hija

Roque, mi Esposo

Norma y Edgardo, mis Padres

Edgnamar, mi Hermana

Especialmente a ti Hija que me has dado la fuerza y la alegría de seguir adelante, te amo.

Norgardy K. Esteves A.

A DIOS

A...

María De Abreu, mi Madre

Paolo Biondo, mi Padre

María Liliana, mi Hermana

Especialmente a mis Padres a quienes amo!

Luis D. Biondo A.

AGRADECIMIENTOS

A nuestra ilustre Universidad Central de Venezuela por permitirnos vencer las sombras y hacer de nosotros unos profesionales dignos.

A nuestro tutores académicos Profesores Ramón Montero y Ruthman Hurtado por creer en nosotros y brindarnos su apoyo y conocimiento para la culminación exitosa de nuestro trabajo especial de grado.

A nuestro tutor industrial Ing. German Zerpa por darnos todo su apoyo y asesoramiento durante la elaboración de nuestro trabajo especial de grado y al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) por darnos la oportunidad de participar en éste proyecto y especialmente a la Coordinación de Hidrología de Aguas Subterráneas con la ayuda de todos los profesionales que la integran especialmente al Lic. Manuel Figuera y al Ing. Luis Martínez, así como a los Ing. Rafael Navas y Álvaro Bastidas por su colaboración.

Hacemos mención especial de las personas que incondicionalmente colaboraron con el desarrollo de este trabajo: Lic. Fernando Decarli, Ing. Edgar Parada y nuestro amigo Ofni Suarez, mil gracias...

Al Ministerio del Poder Popular para el Ambiente por habernos suministrado información necesaria para la realización de este trabajo especial de grado y a todas aquellas personas que nos acompañaron y ayudaron en la Laguna de Taiguaiquay en especial a los señores Luis Federico Martín, Felipe Carrillo y Ramón Goitia de la Dirección Estadual Ambiental del estado Aragua.

A los profesores Ricardo Alezones y Alba Castillo por creer en nosotros.

Al Director Luis Chacón y a la Lic. Morella Mikaty por todo su apoyo, mil gracias.

Biondo D.A., Luis D.,

Esteves A., Norgardy K.

EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA LAGUNA DE TAIGUAIGUAY, MUNICIPIO ZAMORA, ESTADO ARAGUA

Tutor Académico: Prof. Ramón Montero. Tutor Industrial: Ing. Germán Serpa.
Cotutor: Ruthman Hurtado. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería Escuela
de Geología, Minas y Geofísica. Año 2010, 139p.

Palabras claves: Cuenca de la Laguna de Taiguaiguay, acuíferos, mapas piezométricos, aguas subterráneas.

Resumen. La cuenca de la Laguna de Taiguaiguay está ubicada a 5 km al sur de la ciudad de Cagua, específicamente en la zona sur-oriental de la depresión del Lago de Valencia, municipio Zamora, estado Aragua, entre las coordenadas U.T.M. norte 1124000-1112000 y este 660000-67000, ocupando un área aproximada de unos 144 km². Esta cuenca está comprendida por 9 asentamientos campesinos, cuyos nombres son: Tamborón, Turagua, Castillito, El Mahomo, La Majada, Casa Blanca, Mucura I, Mucura II y Santa María.

El objetivo de esta investigación, es la realización de un estudio hidrogeológico de las reservas de agua subterránea de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay, 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 un corte geológico para establecer las zonas con mejor condición acuífera, el levantamiento geológico de las unidades litodémicas que limitan la cuenca para realizar una evaluación y actualización de la información, dos pruebas de recuperación para determinar los parámetros hidráulicos del acuífero, dos mapas piezométricos correspondientes a los años 1986 y 2010 con el fin de mostrar la variación de la superficie piezométrica a través de los años, elaboración del mapa hidrogeológico de la zona en donde se observan los principales cuerpos de agua y las líneas de flujo del agua subterránea. Se estableció la existencia de dos tipos de acuíferos, uno de régimen libre ubicado hacia el sur de la zona abarcando sectores como La Majada I, Mucura I, Mucura II, Santa María, Tamborón, Casa Blanca y otro de régimen semiconfinado ubicado hacia el NO sectores El Mahoma, Turagua y Castillito.

A partir de la morfología de la superficie piezométrica se determinó que la dirección de flujo de las aguas subterráneas es en sentido NO, siendo ésta la misma dirección en la cual la permeabilidad aumenta.

Se calculó que las reservas permanentes del acuífero son de 237.755.925 m³ de agua y se observa una disminución de los niveles de agua entre los años 1986 y 2010 causado principalmente por la sobreexplotación de los acuíferos asociado al incremento de pozos productores debido al aumento de industrias y asentamientos campesinos en la zona.

La cuenca de la Laguna de Taiguaiguay posee un 57,14 % de pozos aptos para el uso doméstico; y el 42,86 % de los pozos no son aptos para el consumo. En general, los valores de conductividad muestran que todos los pozos son útiles para el riego por tener valores menores a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

A partir del modelo conceptual se logró representar en dos y tres dimensiones las condiciones estáticas y dinámicas del sistema hidrogeológico.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo	Página
1.INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- Generalidades.....	2
1.2.- Ubicación de la zona de estudio.....	3
1.3.- Planteamiento del problema y justificación.....	4
1.4.- Objetivos.....	5
1.4.1.-Objetivo general.....	5
1.4.2.- Objetivos específicos.....	5
1.5.- Financiamiento.....	5
1.6.- Vías de acceso.....	6
1.7.- Trabajo previos.....	7
1.7.1.- Trabajo geológicos.....	7
1.7.2.- Trabajos hidrogeológicos.....	8
2.- GEOLOGÍA REGIONAL.....	13
2.1.- Generalidades.....	13
2.2.- Unidades litodémicas.....	14
2.2.1.- Filita de Tucutunemo.....	14
2.2.2.- Filita de Paracotos.....	16

2.2.3.- Metalava de los Naranjos.....	17
2.2.4.- Complejo el Tinaco.....	18
2.2.5.- Esquisto de Las Mercedes.....	18
2.2.6.- Esquisto de Las Brisas.....	19
2.2.7.- Metalava de Tiara.....	20
2.2.8.- Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro.....	20
2.2.9.- Complejo El Ocumo.....	21
2.3.- Geología estructural regional.....	22
2.3.1.- Napa Caucagua-El Tinaco.....	22
2.3.1.1.- Sistema de fallas de La Victoria.....	22
2.3.1.2.- Sistema de fallas del río Guárico.....	22
2.3.2.- Napa Loma de Hierro.....	23
3.- GEOGRAFÍA FÍSICA.....	24
3.1.- Generalidades.....	24
3.2.- Geografía física.....	24
3.2.1.- Clima.....	25
3.2.2.- Vegetación.....	27
3.2.3.- Drenajes.....	29
3.2.4.- Geomorfología local.....	31
3.2.4.1.- Paisaje de piedemonte.....	34

3.2.4.2.- Paisaje de montaña.....	34
4.- GEOLOGÍA LOCAL.....	36
4.1.- Generalidades.....	36
4.2.- Unidades litodémicas.....	36
4.3.1.- Filita de Tucutunemo.....	36
4.3.2.- Filita de Paracotos.....	37
4.3.3.- Metalava de Los Naranjos.....	37
4.3.4.- Complejo El Tinaco.....	38
4.3.5.- Marco estructural local.....	38
5.- MARCO TEÓRICO.....	40
5.1.- Aguas Subterráneas.....	40
5.1.1.- Origen del agua subterránea.....	40
5.1.2.- Pozo de agua subterránea.....	42
5.2.- Cuenca hidrológica.....	43
5.2.1.- Tipos de cuencas.....	44
5.3.- Acuíferos.....	44
5.3.1.- Tipos de acuíferos.....	45
5.3.1.1.- Acuíferos libres.....	45
5.3.1.2.- Acuíferos confinados.....	45
5.3.1.3.- Acuíferos semi-confinados.....	45

5.3.1.4.- Acuíferos colgados.....	47
5.4.- Nivel estático.....	47
5.5.- Nivel dinámico.....	48
5.6.- Prueba de bombeo.....	49
5.7.- Prueba de recuperación.....	50
5.8.- Parámetros hidrogeológicos.....	50
5.8.1.- Porosidad.....	50
5.8.1.1.- Meteorización.....	52
5.8.2.- Coeficiente de almacenamiento.....	53
5.8.3.- Permeabilidad.....	54
5.8.4.- Transmisibilidad.....	56
5.8.5.- Gradiente hidráulico.....	57
5.8.6.- Caudal.....	58
5.6.- Nivel piezométrico.....	58
5.6.1.- Superficies piezométricas.....	58
5.6.2.- Mapas piezométricos.....	59
5.7.- Conductividad eléctrica.....	59
5.8.- Balance hídrico superficial.....	60
5.9.- Reservas de aguas subterráneas.....	63
5.10.- Modelo conceptual.....	64

6.- MARCO METODOLÓGICO.....	65
6.1.- Metodología.....	65
6.1.1.- Fase pre-campo.....	65
6.1.2.- Fase de campo.....	66
6.1.3.- Fase post-campo.....	68
7.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	71
7.1.- Generalidades.....	71
7.2.- Evaluación y actualización geológica del área de estudio.....	72
7.2.1.- Filita de Tucutunemo.....	73
7.2.2.- Filita de Paracotos.....	75
7.2.3.- Complejo El Tinaco.....	77
7.2.4.- Estructuras.....	78
7.2.5.- Relación clima-meteorización.....	79
7.3.- Parámetros hidráulicos.....	81
7.3.1.- Prueba de recuperación.....	82
7.3.2.- Transmisibilidad.....	83
7.3.3.- Permeabilidad.....	87
7.3.4.- Coeficiente de almacenamiento.....	91
7.4.- Superficie piezométrica.....	91
7.5.- Interpretación de la superficie piezométrica del año 2010.....	93

7.6.- Superposición de las superficies piezométricas 2010 y 1986.....	96
7.7.- Balance hídrico.....	97
7.8.- Cálculo de reservas.....	101
7.9.- Conductividad.....	103
7.10.- Modelo hidrogeológico conceptual.....	106
7.10.1.- Elaboración del modelo hidrogeológico conceptual.....	106
7.10.1.1.- Mapa base.....	107
7.10.1.2.- Corte geológico.....	108
7.10.2.-Base de datos.....	110
7.10.3.- Modelo digital 2D y 3D de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay.....	112
7.10.4.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M1 (Arcillas).....	114
7.10.5.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M2 (Arenas finas).....	115
7.10.6.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M3 (Arcillas).....	117
7.10.7.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M4 (Arenas medias)....	119
7.10.8.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M5 (Arcillas).....	120
7.10.9.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M6 (Arenas gruesas)...	122
7.10.10.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M7 (Arcillas).....	124
7.10.11.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M8 (Gravas).....	125
7.11.- Visualización en 3D del modelo hidrogeológico conceptual.....	127
8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	129

8.1.- Conclusiones.....	129
8.2.- Recomendaciones.....	131
BIBLIOGRAFÍA.....	133
ANEXOS.....	139

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1.1 Mapas que muestran la ubicación de la zona de estudio.....	3
1.2 Mapas de ubicación de las principales vías de acceso a la zona de estudio....	6
2.1 Ubicación de áreas montañosas y formaciones sedimentarias	
Recientes de la zona de estudio.....	13
2.2 Fallas activas de la zona de estudio.....	23
3.1 Gráfico de precipitación media mensual, período 1971-199.....	25
3.2 Gráfico de temperatura media mensual, período 1971-1991.....	26
3.3 Gráfico de evaporación mensual, período 1971-1991.....	27
3.4 Vegetación característica de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay.....	28
3.5 Patrón de drenajes de la zona.....	29
3.6 Aliviadero de la Laguna de Taiguaiguay.....	31
3.7 Imagen SPOT a blanco y negro.....	32
3.8 Imagen SPOT a color.....	32
3.9 Mapa de unidades de paisaje.....	33
5.1 Condiciones naturales del agua.....	42

5.2	Pozo de agua subterránea. Ubicado en el sector Tamborón visitado durante la etapa de campo.....	43
5.3	Acuífero.....	45
5.4	Tipos de acuíferos.....	47
5.5	Nivel estático.....	48
5.6	Nivel dinámico.....	48
5.7	Medición de niveles estáticos y dinámicos realizados en campo.....	49
7.1	Provincias hidrogeológicas de Venezuela.....	71
7.2	Meta arenisca. Ubicación: Mucura II, Unidad Filita de Tucutunemo.....	73
7.3	Meta arenisca. Ubicación: Mucura II, Unidad Filita de Tucutunemo.....	74
7.4	Filita. Ubicación: Mucura II, Unidad Filita de Tucutunemo.....	74
7.5	Filita. Ubicación: Mucura II, Unidad Filita de Tucutunemo.....	75
7.6	Meta arenisca. Ubicación: Mucura II, Unidad Filita de Tucutunemo.....	76
7.7	Meta arenisca. Ubicación: Mucura II, Unidad Filita de Tucutunemo.....	76
7.8	Esquisto Clorítico. Ubicación: Mucura I, Unidad Complejo El Tinaco.....	77
7.9	Muestra de mano. Esquisto Clorítico. Ubicación: Mucura I, Unidad Complejo El Tinaco.....	77
7.10	Distribución de pozos por sector.....	79
7.11	Estado actual de los pozos.....	80
7.12	Uso de los pozos.....	80
7.13	Prueba de recuperación.....	82
7.14	Mapa de transmisibilidad.....	86
7.15	Variación de los niveles dinámicos en la prueba de recuperación 1, en el pozo P-SM35.....	88
7.16.-	Variación de los niveles dinámicos en la prueba de recuperación 2, en el pozo P-MII29.....	89
7.17	Recta de mejor ajuste para el pozo P-SM35.....	90

7.18	Recta de mejor ajuste para el pozo P-MII29.....	90
7.19	Mapa piezométrico 2010.....	94
7.20	Mapa piezométrico 1986.....	95
7.21	Superposición de las superficies piezométricas del año 1986 y 2010.....	96
7.22	Variación mensual de precipitación y evapotranspiración estación El Cortijo.....	100
7.23	Variación mensual de precipitación y evapotranspiración estación Santa Cruz Edafológica.....	101
7.24	Mapa de conductividad.....	105
7.25	Mapa base de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay.....	107
7.26	Corte geológico A-A' ubicado al norte de la zona de estudio.....	109
7.27	Mapa de superficie 2D de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay.....	112
7.28	Mapa de superficie 3D de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay.....	113
7.29	Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M1 (Arcillas).....	114
7.30	Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M1 (Arcilla).....	115
7.31	Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M2 (Arenas finas).....	116
7.32	Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M2 (Arenas finas).....	117
7.33	Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M3 (Arcillas).....	118
7.34	Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M3 (Arcillas).....	118
7.35	Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M4 (Arenas medias).....	119
7.36	Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M4 (Arenas medias).....	120
7.37	Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M5 (Arcillas).....	121
7.38	Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M5 (Arcillas).....	122
7.39	Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M6 (Arenas gruesas).....	122
7.40	Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M6 (Arenas gruesas).....	123

7.41	Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M7 (Arcillas).....	124
7.42	Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M7 (Arcillas).....	125
7.43	Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M8 (Gravas).....	125
7.44	Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M8 (Gravas).....	126
7.45	Visualización en 3D del modelo hidrogeológico conceptual.....	128

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página	
5.1	Porosidades totales y eficaces según los materiales geológicos.....	51
5.2	Escala de meteorización de las rocas sedimentarias detríticas.....	52
5.3	Clasificación de terrenos por la permabilidad.....	56
7.1	Grados de metamorfismo.....	72
7.2	Valores estimados para el coeficiente de almacenamiento.....	81
7.3	Ubicación de los pozos con recuperación.....	82
7.4	Valores de transmisibilidad.....	83
7.5	Datos obtenidos en la prueba de recuperación 1, en el pozo P-SM35.....	84
7.6	Datos obtenidos en la prueba de recuperación 2, en el pozo P-MII29.....	85
7.7	Valores de permeabilidad.....	87
7.8	Valores de los coeficientes de almacenamiento.....	91
7.9	Niveles piezométricos.....	92
7.10	Estaciones 9350 y 417 año 1990.....	97
7.11	Balance hídrico estación El Cortijo.....	98
7.12	Balance hídrico estación Santa Cruz Edafológica.....	99

7.13	Volumen espesor saturado.....	102
7.14	Cálculo de volumen reserva de agua.....	103
7.15	Conductividades de muestras de agua.....	104
7.16	Ubicación de los pozos para la realización del corte geológico.....	106
7.17	Base de datos.....	111

LISTA DE ANEXOS

Anexo

1	Inventario de pozos
2	Planillas de perfiles litológicos de pozos
3	Corte geológico A-A´
4	Mapa de paisajes geomorfológicos
5	Mapa de unidades geomorfológicas
6	Mapa de transmisibilidad
7	Mapa de conductividad
8	Mapa piezométrico año (2010)
9	Mapa piezométrico año (1986)
10	Mapa topográfico y de ubicación de pozos
11	Mapa hidrogeológico

CAPÍTULO I

1.- INTRODUCCIÓN

La cuenca de la laguna de Taiguaiguay es una zona que presenta un deterioro de la calidad de sus aguas. El crecimiento demográfico y la expansión de las actividades económicas, entre ellas la industrial, en el transcurso de los últimos años ha generado problemas ambientales, tales como; contaminación por fuentes puntuales y no puntuales, deterioro de la calidad de las aguas en la cuenca, aumento de la demanda de agua, sobre-explotación de los acuíferos, manejo y disposición inadecuada de desechos vertidos.

Actualmente se ha observado un marcado deterioro de la calidad de las aguas de esta laguna, por ser receptora de las descargas de aguas residuales domésticas e industriales a través de los tributarios afluentes a ella. Como consecuencia de esta contaminación, la laguna presenta un proceso de eutrofización de sus aguas, llegando en la actualidad al estado de hipereutrofización, evidenciada por la disminución de oxígeno disuelto en las zonas profundas de la laguna, aumento de nutrientes y materia orgánica, así como un crecimiento excesivo de algas, limitando el curso de este cuerpo de agua.

En este estudio se presentan las características hidrogeológicas de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay perteneciente a la cuenca del Lago de Valencia: la litología del subsuelo, el comportamiento de los niveles de aguas subterráneas; elementos de la recarga y descarga de los acuíferos. Para la elaboración de este estudio se recopiló toda la información disponible, la cual fue revisada, seleccionada, sistematizada y procesada para formar la documentación básica: perfiles litológicos de pozos, niveles de aguas subterráneas.

El modelo hidrogeológico en el acuífero, pretende establecer las propiedades hidrogeológicas de la zona de estudio, así como la explotación y aprovechamiento sustentable de los recursos de agua subterránea, estableciendo de manera global las características hidrogeológicas del acuífero del área de estudio, ya que en la actualidad no existe un trabajo que presente un modelo relacionando los parámetros que definen este acuífero altamente productivo y del cual se benefician muchos sectores agrícolas e industriales en el estado Aragua.

1.1.-Generalidades

El estudio del agua subterránea es importante para la realización de obras de ingeniería, la ejecución de investigaciones geológicas y especialmente en el desarrollo de obras de captación de agua con fines de abastecimiento para satisfacer las necesidades de la comunidad. Actualmente la culminación de la construcción del trasvase de agua desde el embalse de Taiguaiguay hasta el valle del río Tucutunemo (municipio Zamora, estado Aragua), ha permitido controlar el nivel del lago de Valencia al trasvasar 3 mil litros por segundo hasta los valles de Tucutunemo, además de reimpulsar al sector agrícola, beneficiando a la comunidad de los municipios Zamora, José Ángel Lamas, Girardot, Francisco Linares Alcántara y Libertador del estado Aragua.

La cuenca de la laguna de Taiguaiguay está ubicada a 5 km al sur de la ciudad de Cagua, específicamente en la zona sur-oriental de la depresión del lago de Valencia, estado Aragua. Dicha laguna pertenece a la cuenca principal del lago, cuyos afluentes son los ríos Turmero, Aragua y Las Minas, quebrada Tamborón y caño Maraca, con un área de 198 km² y una superficie del embalse de 2.033,99 Ha.

1.2.-Ubicación de la zona de estudio

El área estudiada se localiza en la zona centro-norte de Venezuela, entre las coordenadas U.T.M. norte 1.124.000-1.112.000 y este 660.000-672.000, ocupando un área aproximada de unos 144 km². Esta zona cubre parte de los distritos Zamora y Mariño del estado Aragua. La figura 1.1 muestra la ubicación geográfica relativa de la zona estudiada.

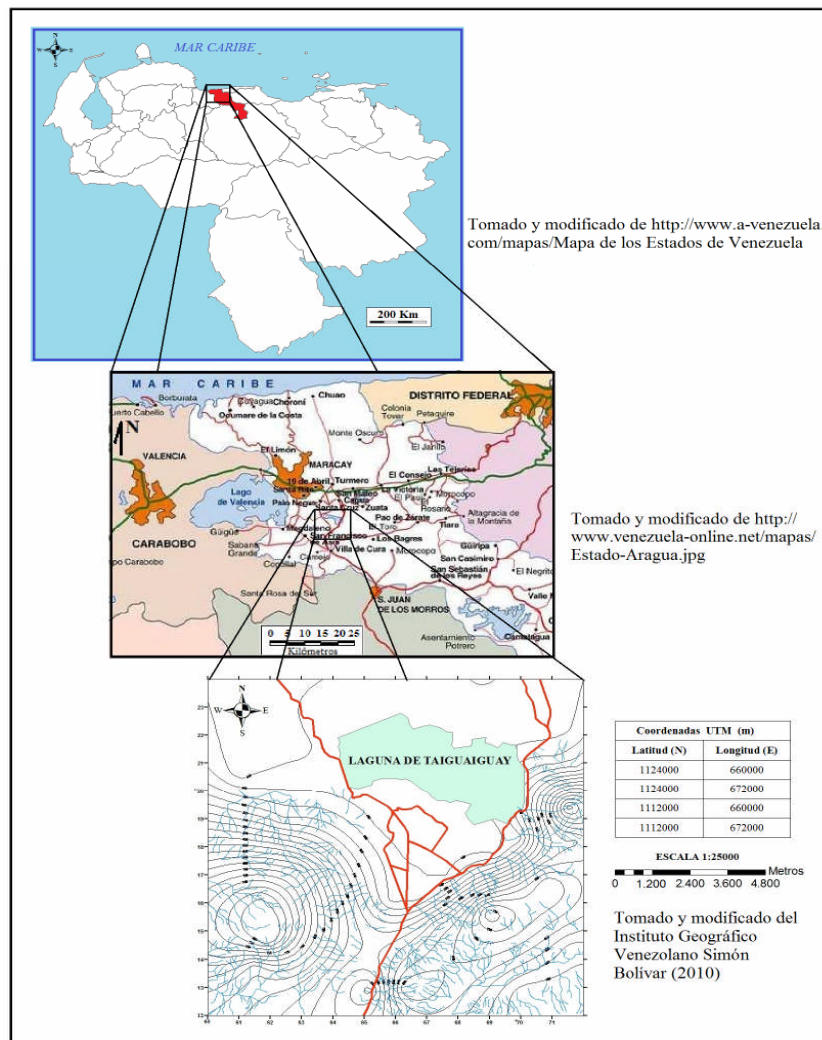


Figura 1.1 Mapas que muestran la ubicación relativa de la zona de estudio.

1.3.- Planteamiento del problema y justificación

La cuenca de la laguna de Taiguaiguay es un embalse usado para el riego de aproximadamente 8.000 Ha, recibe aportes del caño Maraca, el río Turmero y del río Aragua, más la cantidad de agua tratada, que igual se descarga en el embalse, en ocasiones alcanza su cota máxima de 436,50 m, excedente que retorna por el caño Aparo, afluente del lago de Valencia. Para un mayor y mejor aprovechamiento de esta agua, se realizó una obra hidráulica que tiene como finalidad el incremento de la disponibilidad del agua, orientado principalmente al consumo humano y a sistemas de riego. Esa obra hidráulica es el sistema Trasvase Taiguaiguay-Tucutunemo en el estado Aragua; además de permitir la recuperación de la calidad de las aguas, beneficiará el desarrollo sostenido de la agricultura en la zona.

El trasvase es implementado a través de una estación de bombeo con 5 equipos de 2.250 HP (caballos de fuerza, por sus siglas en inglés), que funcionan de la siguiente manera: 4 equipos en operación y uno en reserva, cada equipo tiene una capacidad de succión de 750 l/s, es decir, extrae en total unos 3 mil (3.000) l/s desde Taiguaiguay por medio de 6,5 km de tubería de acero de 48 pulgadas de diámetro. Este caudal es impulsado a través de un túnel de 824 m, que seguidamente cae en un canal disipador que permite reducir la velocidad del agua hasta el río Tucutunemo, luego el agua drena hasta el río Guárico para finalmente desembocar al embalse de Camatagua, lugar desde donde se extrae agua para la ciudad de Caracas. El trasvase constituye uno de los eslabones más importantes del sistema de agua potable que abastece distintas ciudades; sin embargo, no se conocen las condiciones hidrogeológicas actuales del acuífero, caracterización, inventario de los pozos y la reserva. Es por ello que se hizo necesario realizar un estudio general basado en la caracterización del acuífero, estudio implementado a través de este proyecto proponiendo para ello los siguientes objetivos:

1.4.- Objetivos

1.4.1.- Objetivo general

Evaluar las condiciones hidrogeológicas y reservas del agua subterránea del acuífero ubicado en la cuenca de la laguna de Taiguaiguay, municipio Zamora, estado Aragua.

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar y actualizar la información geológica de la cuenca.
- Revizar y actualizar el inventario de pozos.
- Determinar los períodos de recarga del acuífero.
- Calcular las reservas probables del acuífero.
- Determinar parámetros hidráulicos del acuífero mediante pruebas de bombeo.
- Establecer un modelo hidrogeológico conceptual.
- Elaborar el mapa hidrogeológico del área de estudio.
- Determinar el balance hídrico del área estudiada.

1.5.- Financiamiento

Los medios y métodos utilizados para llevar a cabo el proyecto fueron sustentados y financiados por los tesisistas: Norgardy Esteves y Luis Biondo con la invaluable ayuda del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMEH. Las actividades realizadas abarcan los siguientes aspectos: transporte, alimentación, materiales e instrumentos necesarios para la elaboración del Trabajo Especial de Grado.

1.6.- Vías de acceso

La principal vía de acceso al área de estudio es la carretera nacional que une las poblaciones de Cagua-San Juan de los Morros; específicamente en La Encrucijada, se tomó el desvío hacia Santa Cruz y Bella Vista, que conduce a la cuenca de la Laguna de Taiguaguay; mientras que los otros accesos a la laguna son las carreteras rurales que unen los poblados de Turagua-El Guásimo y Mucura, ubicadas hacia el suroeste del área de estudio (Figura 1.2).

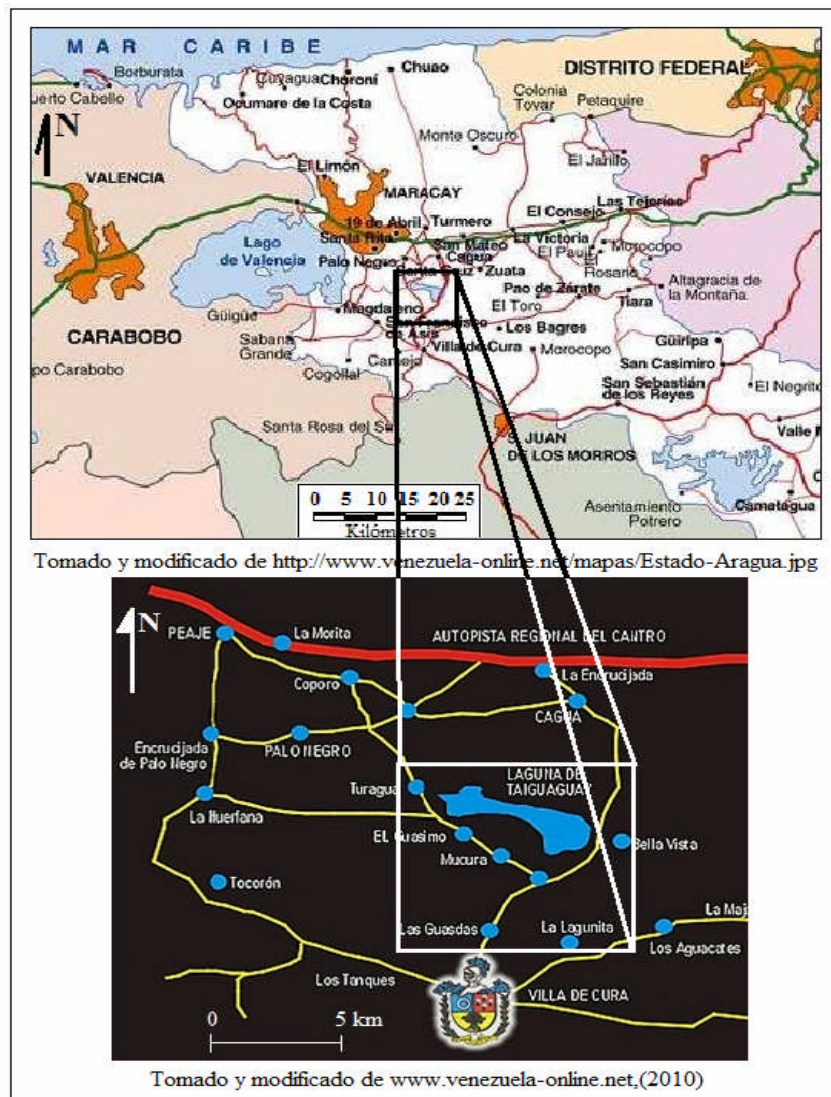


Figura 1.2 Mapas de ubicación de las principales vías de acceso a la zona de estudio.

1.7.-Trabajos previos

1.7.1.- Trabajos geológicos

González de Juana “et al.” (1980) sus estudios se refieren a que en la parte media de la depresión axial entre la Cordillera de la Costa y la Serranía del Interior Central se encuentra la Planicie del Lago de Valencia y describió 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.

Navarro (1983) realizó un estudio geológico-geoquímico sobre rocas asignadas al Grupo Villa de Cura y a La Formación Volcánicas de Tiara. Litoestratigráficamente las rocas aflorantes se han agrupado en cuatro unidades informales, tres de ellas pertenecientes al Grupo Villa de Cura y la cuarta es equivalente a La Formación Volcánicas de Tiara.

Propuso un modelo evolutivo por etapas, basándose en el modelo designado por Talukdar y Loureiro (1982), ampliando el modelo original, luego de un estudio petrológico y petrogenético de las rocas de la Faja de Villa de Cura, en la Cordillera de la Costa. El modelo se encuentra dividido en cinco etapas: 1) Protocontinente sur americano al sur con un océano al norte. 2) El protocontinente sufre una ruptura paralela a la costa en la sección norte del proto-continente, comenzando un proceso de subducción con polaridad norte, generando un foco de expansión en el borde del continente, creando un micro continente. 3) Casi la totalidad de la corteza oceánica entre el micro continente y el arco de isla recién creado, se ha consumido bajo éste. 4) Colisión arco-protocontinente y evolución de otro proceso de subducción en la cuenca marginal formada entre el micro continente y el protocontinente con polaridad sur. 5) Colisión del nuevo arco volcánico con la masa conformada por el primer arco de isla y el micro continente.

Grande (1995) señaló que la Formación Tucutunemo aflora en dos franjas continuas en sentido aproximadamente oeste-este. La franja norte se extiende desde Zuata hasta Las Tejerías y la franja sur desde Villa de Cura hasta Tiara, ambas localizadas en Aragua Central. Los intervalos metavolcánicos dentro del Miembro Los Naranjos, constituyen el objeto de estudio del autor, llegando a la conclusión que se trata de basaltos alcalinos y toleíticos intraplaca con algunos de afinidad de arco volcánico, estableciendo una edad Paleozoico Tardío en base de una escasa evidencia fósil en cuerpos de mármol dentro de la unidad.

1.7.2.- Trabajos hidrogeológicos

Ovalles (1982) señala la existencia de condiciones favorables para la explotación de tierras bajo riego, basado en los resultados de clasificación de tierras con fines de riego, en el área comprendida entre el Embalse de Taiguaiguay, Villa de Cura, Macapo y Caño Rico, ubicada en la zona sur-oriental de la depresión del Lago de Valencia, Estados Aragua y Carabobo, con la finalidad de obtener una clasificación de cultivos y hacer un buen uso del suelo para satisfacer las necesidades de la población. Este estudio permitió determinar las áreas dotadas con las mejores condiciones de aprovechamiento para el riego de las tierras.

Cortes (1988) realizó una contribución para el mantenimiento de las aguas del Lago de Valencia, sin causar daños importantes a las infraestructuras aledañas, mediante el vaciamiento en el Embalse Taiguaiguay, teniendo como objetivo el mejoramiento de las condiciones del lago y un mayor aprovechamiento de los recursos hídricos de la zona, utilizó un plan de obras para llevar las aguas servidas a las plantas de tratamiento con el fin de controlar el nivel del lago y el saneamiento de sus aguas.

Muñoz (1988) señala que por medio de la Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología, realiza el “Estudio hidrogeológico y régimen de aguas subterráneas del acuífero de Maracay”, en el cual se 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.

Fundacite Aragua (1999) realizaron una Propuesta del Uso Turístico Sostenible de la Cuenca del Lago de Valencia, dando una visión de las características generales de la cuenca, diseñando además un plan de monitoreo de las industrias para los efluentes líquidos con la finalidad de conocer el comportamiento y controlar los efluentes por parte del parque industrial de los estados Aragua y Carabobo. Otro de los elementos mencionados es la propuesta de generar un sistema de información ambiental del Lago de Valencia, cuyo financiamiento se está gestionando y que estará instalado en la sede del Ministerio del Poder Popular para el Ambiente en Maracay. Se trata de un sistema informático para monitorear progresivamente los controles y el saneamiento que se haga del Lago.

Ramalingam y Santhakumar (1999) realizaron una investigación denominada “*Case study on artificial recharge using remote sensing and GIS*”. El estudio consistió en la elaboración de diferentes mapas temáticos usando datos de teledetección y técnicas de SIG. Entre los mapas preparados se incluyen: geomorfología, geología, uso del suelo, pendiente y drenaje, los cuales se realizaron usando datos de campo y del satélite IRSS, con el fin de identificar las áreas convenientes para la recarga artificial.

Gómez “et al.” (2000) realizaron el Diseño y Desarrollo de un Sistema de Información del Agua Subterránea en España (SIAS). Este trabajo cubrió un conjunto de necesidades de particular importancia en las actividades de la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas y en definitiva de los fines y funciones del

Instituto Geológico y Minero de España y del Ministerio de Ciencia y Tecnología (IGME).

Musa “et al.” (2000) generaron un trabajo que lleva por título: “*Groundwater prediction potencial zone in langat basin using the integration of remote sensing and GIS*”. En este estudio, la integración de la teledetección y los SIG, fueron utilizados para elaborar un mapa de clasificación de las zonas potenciales de aguas subterráneas.

Rao “et al.” (2000) publicaron un artículo de título: “*Integrated groundwater resources mapping in Gurgaon district, India using remote sensing and GIS techniques*”. Esta investigación tuvo como objetivo principal, la preparación de un mapa integrado de los recursos del agua subterránea, haciendo uso de los sensores remotos y técnicas de SIG, el cual indica perspectivas, calidad y profundidad del agua subterránea.

Shahid “et al.” (2000) realizaron un estudio que llevó por título: “*Groundwater potential modelling in a soft rock area using a GIS*”. Estos autores proponen una integración de una herramienta de Sistema de Información Geográfica (GIS) para demarcar las zonas potenciales de agua subterránea en un área de roca suave, usando siete temas hidrogeológicos: litología, geomorfología, suelo, red de recarga, densidad del drenaje, pendiente y cuerpos del agua superficial, usando datos de teledetección para la elaboración de algunos mapas.

Castaño (2001) en la dirección de la Sección de Teledetección e Hidrogeología, del Centro Regional de Estudios del Agua del Instituto de Desarrollo Regional de la Universidad de Castilla-La Mancha, España, se realizaron aplicaciones en la teledetección y SIG al control y cuantificación de las extracciones de agua subterránea. El sistema se basa en la obtención de una clasificación de cultivos mediante el análisis multitemporal de imágenes del satélite LANDSAT sensor TM. Seguidamente estos datos fueron integrados en un Sistema de Información Geográfica, cruzados luego con los valores de necesidades de riego por cultivo, calculados en base al conocimiento diario de las precipitaciones y de la

evapotranspiración, con el propósito de conocer la distribución espacial y temporal de los consumos hídricos para uso agrícola. Conociendo las superficies regadas con aguas superficiales y los aportes de las mismas, pueden extraerse directamente los volúmenes de aguas subterráneas empleados.

Jaiswal “et al”. (2003) realizaron un trabajo denominado “*Role of remote sensing and GIS techniques for generation of groundwater prospect zones towards rural development - an approach*”, donde investigaron poblaciones con zonas de perspectiva de agua subterránea. Se realizó un acercamiento, extrayendo información de litología, estructuras geológicas, cubierta de la tierra, usos del suelo y formas del terreno, de redes de drenaje detectadas por métodos convencionales de sensores remotos, de características del suelo, de la pendiente del terreno, y estudiaron todos éstos de una manera integrada en un ambiente de SIG.

Uzcátegui (2004) realizó su Trabajo de Grado para optar al título de Magíster Scientiae en Obras Hidráulicas (**CIDIAT-ULA**), en el cual elaboró una *Evaluación del impacto de una recarga artificial sobre el acuífero del Valle de Quíbor*, haciendo uso de los recursos numérico-computacionales a través de la modelación y simulación del acuífero con diferentes políticas y condiciones de recarga para establecer el comportamiento del flujo subterráneo en la zona, permitiendo predecir la capacidad de explotación futura del acuífero. Este trabajo refleja la importancia del uso de la modelación y simulación en la resolución de problemas reales de un determinado fenómeno.

Olivar y Pedrique (2006) realizaron un estudio hidrogeológico de las reservas de agua subterránea del valle del río Tucutunemo, para conocer la situación real del acuífero. 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, 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. Lo que les permitió concluir que los acuíferos existentes en la zona 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.

Hernández y Martínez (2008) evaluaron parámetros geológicos y geomecánicos para el análisis de problemas de estabilidad en la excavación del túnel de la obra Traspase Taiguaiguay- Valles de Tucutunemo, estado Aragua. El propósito fue estudiar los parámetros geológicos y geomecánicos con el fin de evaluar el diseño del túnel de la obra, debido a que la zona presenta una geología muy compleja, que puede producir cambios en cuanto a los diseños ya predeterminados, concluyendo que las diferencias presentadas entre los soportes del diseño y los soportes de la ejecución, se debieron a variaciones litológicas en la zona.

CAPÍTULO II

2.- GEOLOGÍA REGIONAL

2.1.- Generalidades

El estado Aragua está ubicado en la parte centro-norte del país, entre los 09°23'06'', 10°32'38'' de latitud norte y 66°32'50'', 67°52'54'' de longitud oeste; limita al norte con el mar Caribe, al este con los estados Carabobo y Guárico y al sur con el estado Guárico y abarca aproximadamente un área de 650 km² (Molina, 2006).

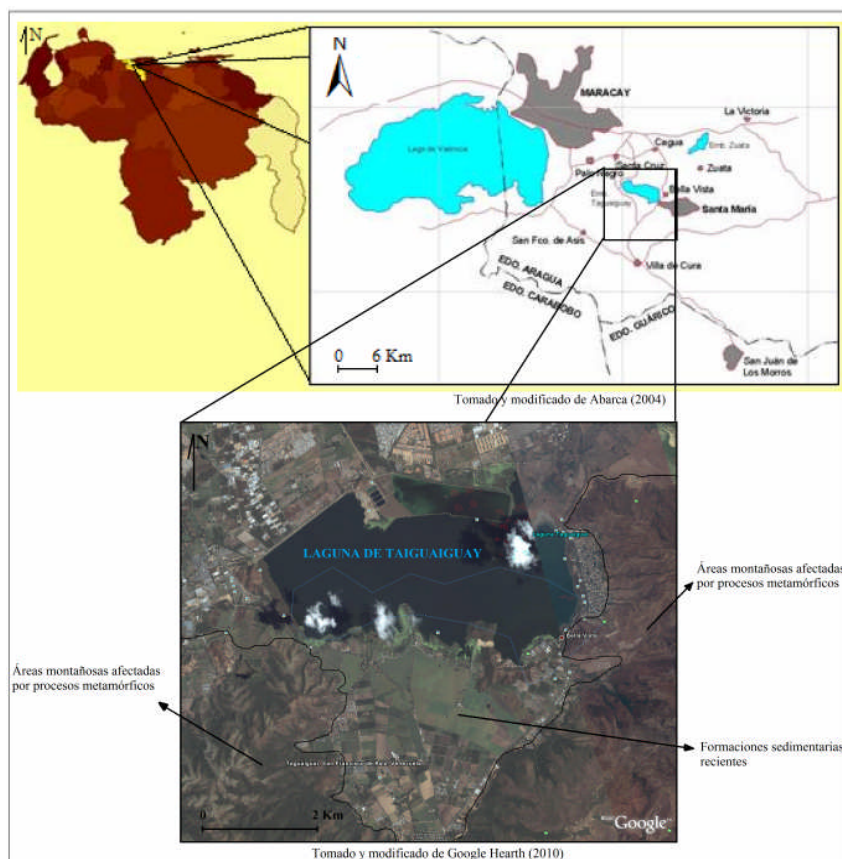


Figura 2.1.- Ubicación de áreas montañosas y formaciones sedimentarias recientes de la zona de estudio.

La entidad está caracterizada por cuatro unidades geomorfológicas, a saber: Serranía del Litoral, depresión del Lago de Valencia, Serranía del Interior y Llanos Ondulados Centrales. La depresión del Lago de Valencia está constituida por sedimentos recientes, mientras que los altos topográficos como la Serranía del Litoral y la Serranía del Interior han sido altamente afectados por metamorfismo (Figura 2.1).

2.2.- Unidades litodémicas

Desde el punto de vista regional, en el estado Aragua están presentes las siguientes unidades litodémicas: Filita de Tucutunemo, Filita de Paracotos, Metalava de Los Naranjos, Complejo El Tinaco, Esquisto de Las Mercedes, Esquisto de las Brisas, Metalava de Tiara, Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro, Complejo El Ocumo.

2.2.1.- Filita de Tucutunemo

Grande (1995) establece que aunque no exista ninguna información geoquímica acerca de los cantos volcánicos de los metaconglomerados, ni de los fragmentos de basalto en las calizas de la Formación Tucutunemo, si el modelo de océano estrecho propuesto para explicar el origen de la asociación sedimentario-volcánica es correcto, dichas lavas deberían mostrar tendencias alcalinas más definidas y marcos tectónicos de extrusión intraplaca comparadas con las metalavas del Miembro Los Naranjos, que fueron extrusionadas posteriormente en un marco más oceánico.

Los estudios efectuados permitieron modificar y mejorar sustancialmente el mapa geológico de Aragua central, presentado por MacLachlan *et al.* (1995). La Formación Tucutunemo representaría una etapa tardía de rifting que afectó a una antigua corteza continental, actuando la separación continental preferentemente a lo largo de la zona de debilidad representada por la megasutura paleozoica.

Shagam (1960) describe la Formación Tucutunemo como una secuencia de rocas metasedimentarias, constituida por filita carbonácea con intercalaciones arenosas y limosas que varían a meta arenisca y limonitas cuarzo feldespáticas, encontrándose también cantidades menores de areniscas de grano grueso y conglomerados cuarzo calcáreos, que aparecen en contacto de falla con la Formación Paracotos. Se estima un espesor de 350 m, pero debido al plegamiento, esta cifra, debe tomarse solamente de carácter referencial y aparente donde se apunta que las rocas fueron afectadas por un metamorfismo regional de bajo grado, pero lo suficientemente intenso como para causar la destrucción de los restos orgánicos observados en las calizas de la unidad. Algunos factores indican una sedimentación de agua llana, del tipo de plataforma, Tucutunemo parece haber sido producida durante la sedimentación de la Formación Las Mercedes. González (1972), menciona la presencia de la Formación Tucutunemo de este a oeste, desde la región de los Teques-Cúa, estado Miranda, sección considerada como la parte inferior y media de la Formación Paracotos por Smith (1952), hasta la región de Tinaquillo en el estado Cojedes. El mismo autor menciona que la litología de la formación no es constante a lo largo del rumbo, observando una variación en las calizas que disminuyen hacia el oeste, simultáneamente con un aumento del material cuarzoso. González et al. (1980) considera que el aumento de elementos volcánicos que se produce hacia la base de la Formación Tucutunemo, al oeste de la localidad tipo, permitió la introducción del término Miembro Los Naranjos, para su designación (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

La localidad tipo de la Formación Tucutunemo está ubicada en el río Tucutunemo y colinas adyacentes al este de Villa de Cura, estado Aragua. En su extensión geográfica abarca parte de los estados Aragua y Guárico, presenta una topografía kárstica bien desarrollada.

Beck (1985,1986) señala la presencia de madreporáceas y algas mal preservadas, que impiden su estudio. Benjamín; *et al.* (1986) describen crinoides y briozoarios bastante deformados.

La edad de esta formación, es generalmente considerada del Cretáceo Medio a Cretáceo Tardío, la Formación Tucutunemo es equivalente a la Formación Paracotos, al norte del Arco Magmático de Tiara y a las formaciones Garrapata y Escorzonera, al sur del mismo; así mismo, la Formación Tucutunemo corresponde a la sedimentación profunda, de un talud incipiente que bordeaba el arco magmático de Tiara (sur) Navarro *et al.* (1987) (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

2.2.2.- Filita de Paracotos

Bechara y Matos (2006) señalan que las rocas asociadas a la Filita de Paracotos están afectadas en su totalidad por un metamorfismo de las facies de los esquistos verdes y algunas por un metamorfismo anterior de las facies de la anfibolita granatífera.

Shagam (1960) describe a la Filita de Paracotos como una asociación de filita, mármol, metaconglomerado, con metalimolita y metarenisca en menor proporción. La filita constituye el 60% de la formación, siendo limosa y carbonosa, de color azul grisáceo oscuro, con ocasionales peñones de rocas metavolcánicas y metasedimentarias de hasta 20 cm de diámetro, que González de Juana *et al.* (1980) interpretan como una lodolita guijarrosa (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

Esta unidad constituye la Faja de Paracotos de Menéndez (1966), siendo interpretada en forma diferente por Beck (1985, 1986), quien la considera como parte de su Napa de Loma de Hierro. Esta Formación se extiende a través de los estados Cojedes, Carabobo, Guárico, Aragua y Miranda, según Menendez (1966) está limitada parcialmente el norte y al sur, por las fallas de Santa Rosa y Agua Fría, respectivamente (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

En la mayoría de los mapas geológicos publicados aparece en contacto de fallas (normales o de corrimiento) con las unidades adyacentes, mientras que Beck (1985, 1986) interpreta los contactos como estratigráficos con su Formación Tiara y con cuerpos de gabro (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

La edad de la Formación Paracotos se ha asignado al Cretácico Tardío, apuntando principalmente al Maastrichtiense. En el modelo propuesto por Navarro *et al.* (1988) se postula la correlación entre las formaciones Paracotos y Tucutunemo, considerándolas coevales, formadas en un mismo ciclo sedimentario, no obstante se considera a Tucutunemo de ambiente más profundo. González de Juana *et al.* (1980) interpretan una sedimentación tipo "wild flysch", siendo estas rocas posteriormente metamorfizadas y tectonizadas (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

2.2.3.- Metalava de Los Naranjos

Grande (1995) en su análisis de los diagramas de discriminación geoquímica y tectónica concluye, que la Metalava de Los Naranjos fueron originalmente basaltos no orogénicos, pero algunos yacen en campos de basaltos alcalinos e intraplaca indicando que su marco tectónico de origen fue bastante complejo.

MacLachlan *et al.* (1960) y Shagam (1960) indican que la litología dominante de Los Naranjos en la sección tipo, es la metalava maciza que disminuye hacia el oeste, donde son reportados espesores de unos 1.200 m en la localidad tipo; aunque a unos 15 km al oeste de esta zona, el espesor disminuye a unos 200 m. Se extiende por los estados Aragua, Miranda y Cojedes norcentral, no han sido reportados fósiles (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

MacLachlan *et al.* (1960) mencionan que en su parte superior, las metavolcánicas se intercalan con las filitas de la Formación Tucutunemo, Beck (1985,1986) publica una determinación de edad K/Ar de $73,5 \pm 1,9$ m.a., que se interpreta como correspondiente al evento metamórfico del Cretácico Tardío. Este valor coincide con la edad tradicionalmente aceptada para la Formación Tucutunemo, pero a partir del trabajo de Benjamini *et al.* (1986), quien encuentra fauna Pérmica en muestras de mármol de esta Formación, la edad Paleozoica se hace extensiva al Miembro Los Naranjos. Esta edad Paleozoica es aceptada por Ostos (1990) y Grande (1995) (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

2.2.4.-Complejo El Tinaco

Grande (1995) establece que el Complejo El Tinaco está representado por la Metadirorita de La Guacamaya y cuerpos menores de Metatrondhjemita, considerada esta asociación ígnea mucho más antigua que la edad paleozoica, quizás hasta de edad arqueana. Es posible que, en parte, el Complejo El Tinaco sea un bloque tectónico del Complejo de Supamo emplazado tectónicamente en la megasutura paleozoica.

Renz y Short (1960) introdujeron este nombre para designar una gran variedad de rocas sedimentarias metamorfozadas y muy plegadas expuestas entre Tinaquillo, San Carlos y El Pao, estado Cojedes. Posteriormente, es estudiado por Mackenzie (1966) quien describió el Complejo de El Tinaco en mayor detalle con el nombre de "gneises hornabléndicos y rocas asociadas". Se desconoce la base del complejo; su tope está cubierto discordantemente hacia el norte por la Formación Las Placitas. Su edad se considera pre-Albiense; posiblemente pre-Mesozoico. Estas rocas de basamento son posibles equivalentes de los gneises de Peña de Mora y Sebastopol (Menéndez, 1966) y de rocas similares expuestas al este de Santa Lucía, en la quebrada Charallave, al norte de Táchata, al oeste de la Laguna de Taguaguay y en Cascabel al oeste del Lago de Valencia (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

2.2.5.-Esquisto de Las Mercedes

Aflora en una extensa franja, al sur de la fila Maestra de la cordillera de La Costa, entre Carenero, estado Miranda, hasta el estado Cojedes. (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997). Aguerrevere y Zuloaga (1937) la define como esquistos principalmente calcáreos, con zonas micáceas. Según Whermann (1972) la litología predominante consiste en esquisto cuarzo-muscovítico-calcítico-grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado "Fase de los Colorados". En la zona de Valencia- Mariara, estado Carabobo, Urbani et al. (1989) cartografiaban dos unidades.

La mayor extensión de esquistos calcítico-grafitoso y mármol, con una asociación mineralógica de cuarzo, calcita, muscovita, albita, grafito, clorita y epidoto. Una segunda subunidad minoritaria de cuerpos de mármol masivo, contentivo de calcita, cuarzo, muscovita, grafito y albita.

En la zona de La Sabana-Chirimena-Capaya, Distrito Federal y Miranda (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997), la localidad tipo se ubica en la antigua Hacienda Las Mercedes al este de Caracas, estado Miranda, hoy urbanización Las Mercedes y Valle Arriba. Ostos (1990) señala que el contacto de la Formación Las Mercedes con la Formación Las Brisas lo interpreta como de corrimiento (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997). El relleno fluvio-lacustre Cenozoico, atribuible solo al Cuaternario en el área de afloramiento de su planicie, presenta espesores variables desde 300 m a 400 m en las partes centrales del relleno. Hacia los bordes rocosos disminuyen los espesores gradualmente.

2.2.6.- Esquisto de 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. En esta región la litología distintiva consiste en esquistos cuarzo feldespático-micáceos, esquistos y gneises grafitosos con lentes, bloques y bandas de mármoles oscuros (González de Juana, 1980). Generalmente se encuentran capas de gneis microclino-calcáreo.

Prada (1983) señala que en los alrededores de San Juan de los Morros afloran tanto rocas metamórficas de origen volcánico como sedimentarias, separadas por la falla de La Puerta. La secuencia metamórfica corresponde a la Formación Santa Isabel del Grupo Villa de Cura; constituida predominantemente por grano-fels cuarzo-albítico-epidótico que gradan a esquistos de similar composición

mineralógica. La Formación Santa Isabel ha sido sometida a dos períodos de plegamiento sobreimpuestos y sometida a un metamorfismo de alta presión.

2.2.7.- Metalava de Tiara

Smith (1953), utilizó el término Rocas Volcánicas de Tiara, para designar una secuencia de rocas volcánicas que aflora en la región de Loma de Hierro y de Táchata, estados Aragua y Miranda, por su parte Shagam (1965) describió a las lavas de la formación, como metabasalto porfídico, de color verde, de grano fino, formados por fenocristales grandes de augita, plagioclasa, magnetita titanífera y olivino, en una pasta de microcristales de augita y plagioclasa. Indicó además, rocas de tipo intrusivo gabroicas o diabásicas, de mineralogía semejante a las de las lavas, con láminas augíticas grandes en relación ofítica y subofítica, con granos tabulares de plagioclasa. Los afloramientos de la Formación Tiara se extienden por unos 60 km en una franja discontinua desde los cerros al sur de Ocumare del Tuy y Cúa, al sur de Táchata, Altagracia de la Montaña, Agua Fría, Tiara, El Pao de Zárata y las cabeceras del valle del río Tucutunemo, en Aragua central y en el sector occidental del estado Miranda (Beck, 1985, 1986) (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

Navarro *et al.* (1988) en su modelo evolutivo de la Cordillera de la Costa le asigna a la Formación Tiara una edad Albiense – Maastrichtiense. Smith (1952) correlacionó a la Formación Tiara con la Formación La Luna, de occidente, y con la Formación San Antonio, de oriente. Actualmente se considera que los afloramientos de la sección tipo de Tiara y los de San Sebastián, están en unidades tectónicas diferentes, los primeros en la Napa de Loma de Hierro, y los segundos en la Napa Caucagua-El Tinaco (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

2.2.8.- Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro

Graterol (1972) señala que el Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro se compone de peridotita serpentinizada, troctolita y gabro asociado a basalto. La

serpentinización es más intensa hacia los bordes del bloque; su borde norte está formado por rocas intermedias entre peridotitas y gabro, como son troctolita y gabro olivinífero serpentizado y rodingita, producto de la alteración del gabro. El cuerpo principal del Complejo tiene una extensión de unos 21 km, desde unos 4 km al oeste del poblado de Tiara, estado Aragua, hasta las proximidades de Túcata, estado Miranda, con una anchura variable entre 1 a 5 km. Según Beck (1985) el contacto septentrional entre el cuerpo de rocas ultramáficas con la Formación Tucutunemo, es tanto de fallas de ángulo alto, como de corrimiento, mientras que el contacto meridional con el cuerpo de gabros masivos es estratigráfico. Por su parte, el contacto entre el gabro y las rocas de la Formación Tiara es reconocido tanto como de naturaleza estratigráfica, como a través de fallas de ángulo alto. Se ha interpretado una edad Cretácica en base a la asociación de las rocas ultramáficas y gabroides, con su cobertura sedimentaria y las volcánicas de la Formación Tiara (Beck, 1985, p. 250, 1986) (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

2.2.9.- Complejo El Ocumo

Beck (1985, p. 231, 1986) utiliza este nombre para designar una asociación de conglomerados carbonáticos y rocas pelíticas, que afloran en un lugar intermedio entre El Pao de Zárate y Villa de Cura, estado Aragua. Considera que esta unidad es una de las que constituyen la cobertura sedimentaria de la "Napa de Loma de Hierro". Beck (1985, p. 246-247; 1986) describe una serie de afloramientos con predominio de conglomerados y bloques que reposan sobre serpentinitas y lavas (Formación Tiara). Más hacia el sur, se localizan conglomerados irregularmente estratificados, mal escogido y pobremente cementados, así como también rocas pelíticas intercaladas con conglomerados (mal cementados, lenticulares, casi idénticos a los anteriores, con fragmentos de diabasa y gabro, matriz ferruginosa). En base al contenido faunal, Beck (1985) le asigna una edad Paleoceno superior - Eoceno inferior (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

2.3.- Geología regional estructural

La cuenca de la Laguna de Taiguaiguay está limitada al norte por el Sistema de Fallas del Río Guárico y al sur por el Sistema de Fallas de La Victoria, formando parte principalmente de la Napa Caucagua-El Tinaco (Molina 2006), cuyos sistemas de fallas son de componente transcurrente dextral (Figura 2.2). También cabe resaltar que la zona de estudio forma parte de la Napa de Loma de Hierro.

2.3.1.- Napa Caucagua-El Tinaco: Pertenece a una de las cuatro fajas tectónicas en las que fue dividida la parte central de las Montañas Centro-Occidentales del Caribe (Molina 2008), definida por la zona de fallas de La Victoria. Está situada en la parte norte de la Serranía del Interior entre la zona de falla de La Victoria y la falla Santa Rosa. La unidad más antigua está representada por el Complejo de El Tinaco de edad probablemente Pre-Mesozoico. Comprende dos unidades metasedimentarias el Gneis de La Aguadita en su parte inferior y el Esquisto de Tinapù en su parte superior (Molina, 2006).

2.3.1.1.- Sistema de fallas de La Victoria: Representa un sistemas de fallas longitudinales que se ha seguido por aproximadamente 140 km de distancia, desde la zona central del estado Miranda (Molina, 2006). Este sistema cruza la cordillera de la Costa al norte de Venezuela, cortando principalmente rocas metamórficas, bordeando la cuenca del río Tuy pasando a través de la cuenca del Lago de Valencia.

2.3.1.2.- Sistema de fallas del Río Guárico: Está ubicada en la región Norte Central de Venezuela específicamente cruzando la Cordillera de la Costa en dirección oblicua, con una longitud de 120 km. Este sistema aflora en rocas ígneas (serpentinias y peridotitas), rocas metamórficas de probable edad Cretácica (formaciones El Caño, El Chino y Santa Isabel), en la Formación Guárico del Paleoceno y en el Pleistoceno, se interpreta debajo de terrazas del Cuaternario. Se ubican al sureste de Villa de Cura, al sur de Boca Chica, El Semen, al norte de Morros de San Juan, Guárico, San Juan de Los Morros. Igualmente, pasa por La Puerta e intersecta las quebradas La Puerta, El Chivo, El Samán y La Garita (Molina, 2006)

2.3.2.- Napa Loma de Hierro: La estrecha Napa de Loma de Hierro, delimitada por las fallas de Santa Rosa y Agua Fría, está situada en la parte sur de la cuenca. Está representada por la Formación Paracotos de edad Cretáceo superior, constituida por lutitas filíticas, limolíticas y carbónceas (Molina, 2006).

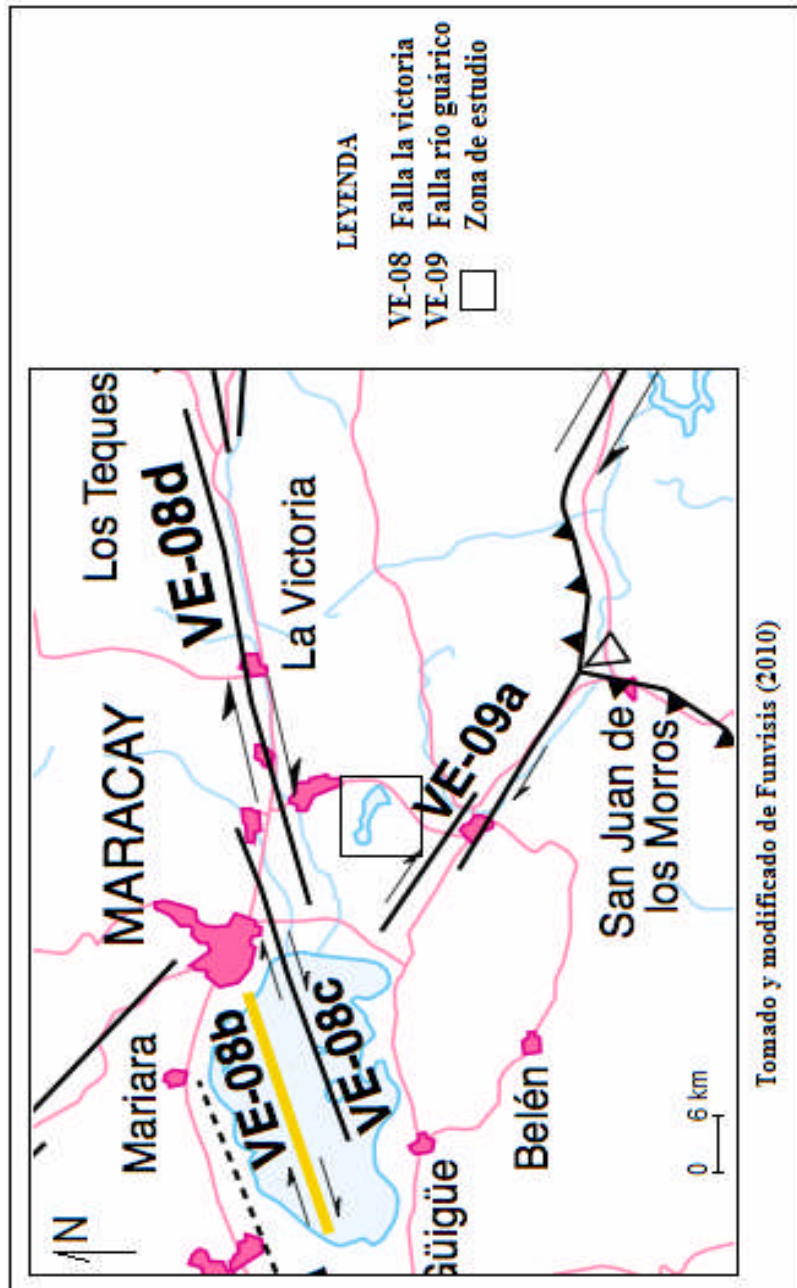


Figura 2.2.- Fallas activas de la zona de estudio

CAPÍTULO III

3.- GEOGRAFÍA FÍSICA

3.1.- Generalidades

La Laguna de Taiguaguay está ubicada en el sistema montañoso de la Cordillera del Caribe. Es una cuenca endorreica o un sistema de drenaje interno donde las aguas no se vierten al mar debido al relieve característico de la zona, esto debido a que existe una depresión endorreica (o cuenca), en la cual el agua se acumula en esta depresión rodeada por elevaciones. La rápida evaporación del agua y el volumen excesivo de la que se infiltra, hacen disminuir progresivamente el caudal de los ríos a lo largo de su curso (Canal, 2007).

A continuación se describen las principales características físicas y geomorfológicas de la zona.

3.2.- Geografía física

Los datos de precipitación, temperatura y evaporación utilizados fueron suministrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), que corresponden a un período comprendido entre los años 1951-2003 de seis estaciones climatológicas. Debido a que los datos se encuentran incompletos se tomaron sólo las estaciones con mayor cantidad de información desde el año 1971 hasta el año 1991, las cuales fueron: la estación Santa Cruz Edafológica cuyas coordenadas geográficas son 10°10'00" N y 67°29'15" W con una altitud de 444,00 m y la estación El Cortijo de coordenadas 10°04'53" N y 67°25'05" W con una altitud de 490,00 m.

3.2.1.- Clima

Según los datos climatológicos de precipitación, temperatura y evaporación disponibles, la zona de estudio presenta una precipitación distribuida en dos períodos bien marcados, uno de lluvia denominado “invierno” y otro de sequía o “verano”. La figura 3.1 permite observar una frecuencia modal durante el año. La primera de ellas abarca desde el mes de abril hasta el mes de noviembre, con agosto como el mes de mayor precipitación, con un máximo de 160 mm; mientras que el segundo período comienza en diciembre y finaliza en el mes de marzo, registrándose los valores más bajos de sequía en enero y febrero.

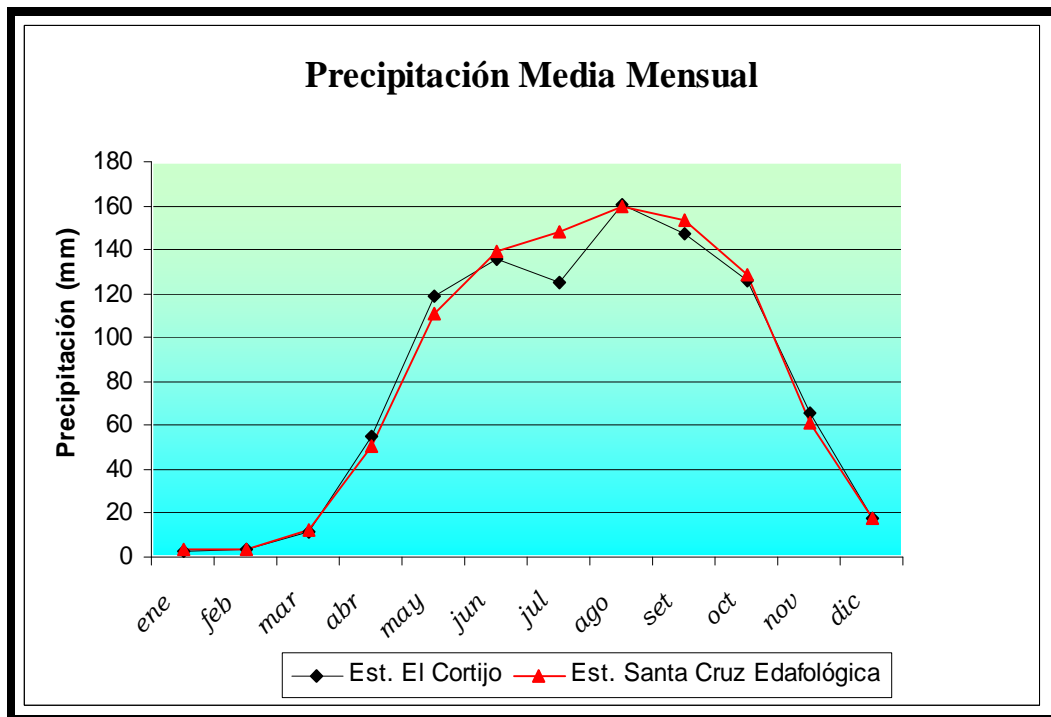


Figura 3.1.- Gráfico de precipitación media mensual, período 1971-1991.

Por su parte, la temperatura máxima se alcanza en el mes de abril en 26,7 °C en la estación El Cortijo, con una máxima de 27,3 °C en la estación Santa Cruz

Edafológica, mientras que la temperatura mínima se registró en el mes agosto con 24,0 °C para la estación El Cortijo y 25,3 °C para la estación Santa Cruz Edafológica.

La temperatura durante todo el año, tiene un comportamiento similar entre las dos estaciones, con una diferencia de 1,0 °C a 1,5 °C entre las dos curvas representadas en la (Figura 3.2). Entre la estación Santa Cruz Edafológica y El Cortijo, existe un desnivel de 46 m lo que causa una variación de temperatura entre los datos generados por cada una de las estaciones, debido al gradiente térmico, el cual es en promedio de 6,5 °C por cada 1000 m de altitud.

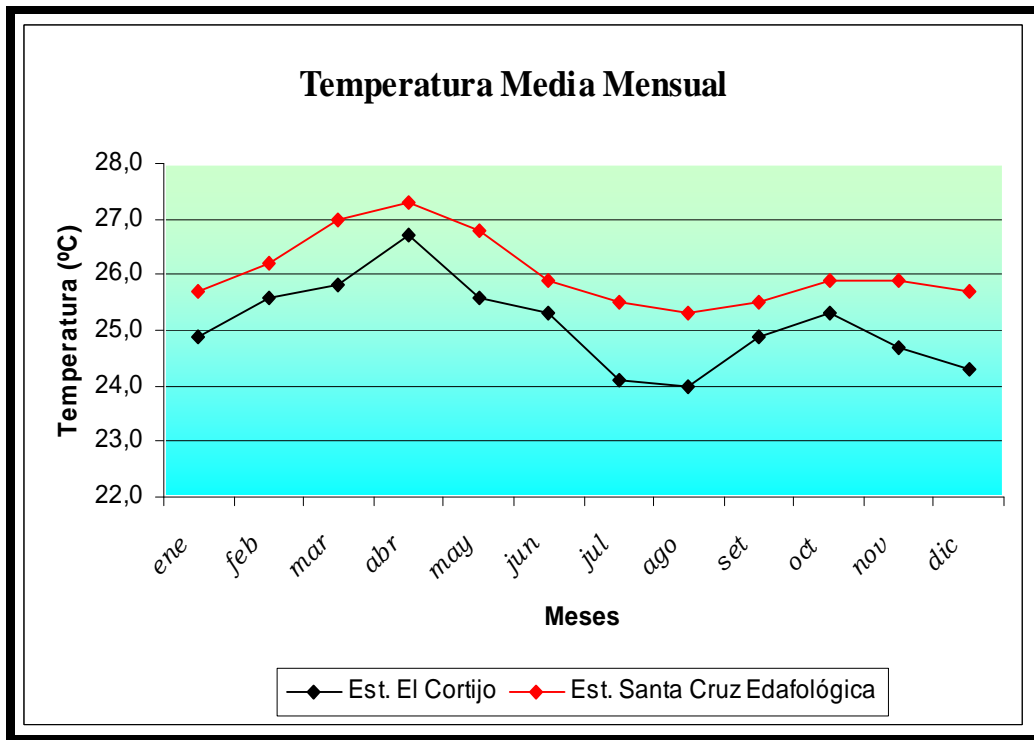


Figura 3.2.-Gráfico de temperatura media mensual, período 1971-1991.

La evaporación en la zona de estudio alcanza sus valores máximos en el mes de marzo, con valores de 250,0 mm en la estación El Cortijo y 287,6 mm en la estación Santa Cruz Edafológica (Figura 3.3).

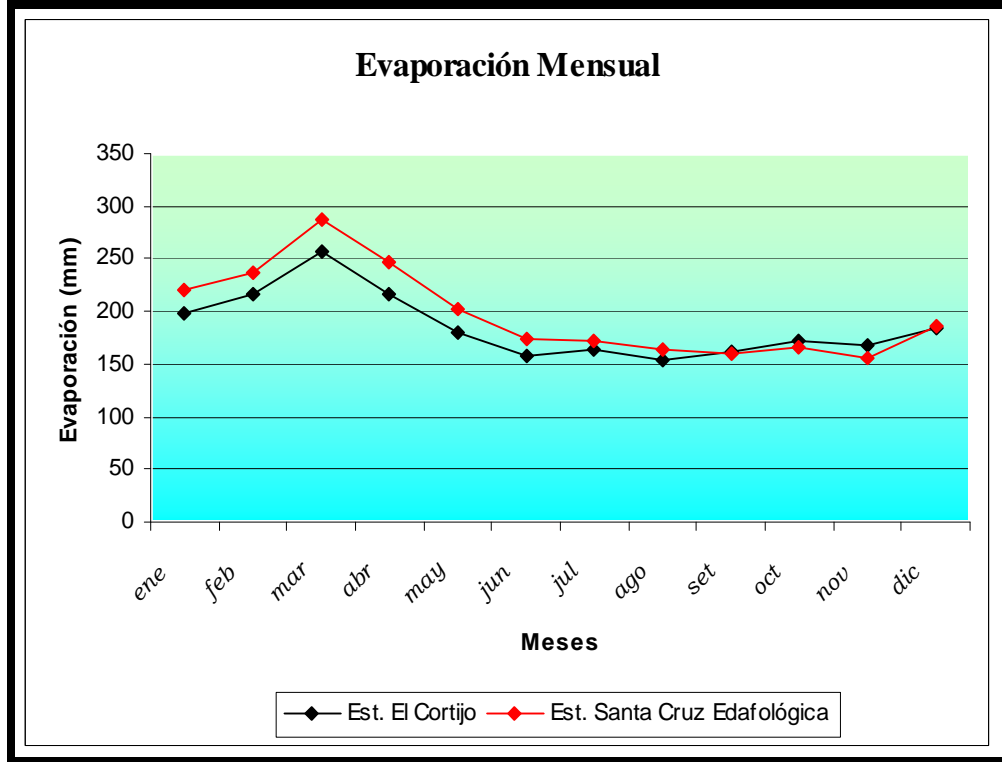


Figura 3.3.-Gráfico de evaporación mensual, período 1971-1991.

3.2.2.- Vegetación

La vegetación de la cuenca está determinada en gran parte por los cambios de humedad, de allí la presencia de una gran extensión de bosques siempre verdes a lo largo de las serranías. A menores altitudes, donde la humedad es más restringida se desarrollan bosques semidecídulos, deciduos, matorrales y espinares de sabana (Marnr, 1981).

En la cuenca de la laguna de Taiguaiguay existe una variedad de zonas de vida que va desde un bosque seco premontano en transición con el bosque seco tropical y el bosque muy seco tropical, hasta un bosque montano bajo en las proximidades de la vertiente norte de la cuenca. El bosque seco premontano presenta una variedad de

paisajes, abarcando algunos de los suelos más productivos, donde la vegetación ha sido muy alterada resultando una vegetación secundaria, en cuyo caso casi todos los componentes del bosque son deciduos, presentando especies perennifolias en asociaciones edáficas húmedas, presentes en cauces de quebradas y en otras áreas de alto nivel freático (Marnr,1981).

La zona de transición entre los bosques muy secos y el piso tropical alrededor de la laguna presenta dos aspectos en su vegetación: la primera de ellas es la llanura lacustre, en la cual, debido a la presencia de suelos fértiles y alto nivel freático, se encuentran árboles como Camoruco (*Sterculia carthagenensis*), Bucare (*Erythrina glauca*), Ceiba (*Ceiba pentandra*) y Samán (*Samanea saman*) (Figura 3.4).

El segundo tipo se presenta compuesta por especies típicas como Cardones, Cujies e Indio Desnudo. El área de la cuenca comprende tierras agropecuarias, residenciales e industriales, con áreas deforestadas para cultivos, ganadería, urbanizaciones, barrios y zonas industriales, ocupando el área de piedemonte de ambas serranías y la llanura y valles alrededor de la laguna (Molina 2006).



Figura 3.4.-Vegetación característica de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay (Loyo, 2008).

3.2.3.- Drenajes

La cuenca de la laguna de Taiguaiguay, presenta un patrón dendrítico de escurrimiento cerrado donde los ríos y quebradas convergen a la Laguna de Taiguaiguay, cuyo nivel de agua varía constantemente con los aportes de los tributarios (Figura 3.5). La cantidad de drenajes está determinado por la presencia de los altos topográficos, evidenciado al sur en el sector de Villa de Cura donde existe una alta densidad de drenajes ubicados en el cerro Guayabal y cerro Ojo de Agua hacia el oeste y la fila Tamarindo al este; mientras que, al norte la densidad de drenaje es muy baja, por encontrarse sobre la terraza de inundación enmarcada en los bajos topográficos. También cabe resaltar que el patrón de drenaje principal es dendrítico con drenajes subparalelos en algunas zonas como al sur de la fila Tamarindo, conformados por las vertientes que descienden de las laderas de las montañas y se conectan perpendicularmente a los ríos Turmero y Aragua.

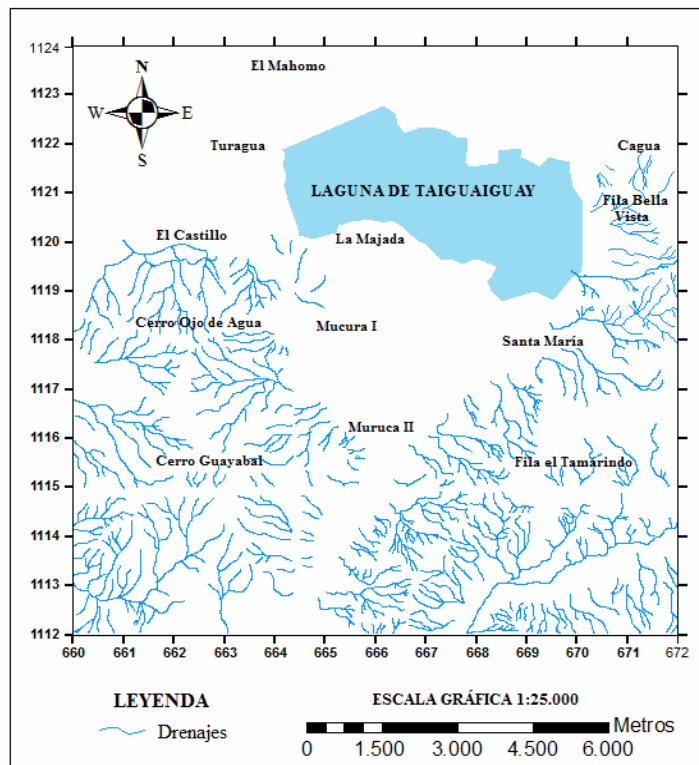


Figura 3.5.- Patrón de drenajes de la zona.

Los principales afluentes que aportan agua a la cuenca de la laguna de Taiguaiguay son:

Río Turmero, está ubicado al noreste de la cuenca del Lago de Valencia. Se origina por los aportes de los ríos Guayabita y Paya al norte de la ciudad de Turmero, siendo su principal afluente el río Guayabita. El sector Polvorín, posee una captación para consumo doméstico; sus aguas son utilizadas con fines recreacionales y agrícolas. Tiene una longitud aproximada de 41 km, drenando un área de 360 km²; su caudal es elevado y constituye uno de los ríos que alimenta el embalse Taiguaiguay (Molina 2006).

Río Aragua, se forma por la confluencia de la quebrada Macanillal y del río San Carlos. La dirección de recorrido es E-W a partir de La Victoria, con una longitud de 58 km y el área de drenaje es 360 km². El río Aragua es el más largo y caudaloso de la cuenca, sus aguas son desviadas en dos puntos: a) En el Dique La Curia, mediante un canal aductor para alimentar el embalse de Suata y b) aguas abajo está controlado por el Dique Aragua, donde se une al río Turmero. Ambos ríos alimentan al embalse Taiguaiguay a través del canal aductor Turmero Aragua, por lo que el uso principal de estos es el riego.

Durante la temporada de lluvia al igual que en el caso de Turmero, el excedente continúa por el cauce natural del río Aragua hasta el lago; mientras que en la época de sequía, las aguas que llegan al lago, son exclusivamente las aguas servidas domésticas vertidas aguas abajo del dique. El río Aragua también funciona como aliviadero (Figura 3.6) del embalse Taiguaiguay en época de lluvia cuando se rebosa el canal de riego Los Flores (Molina, 2006).

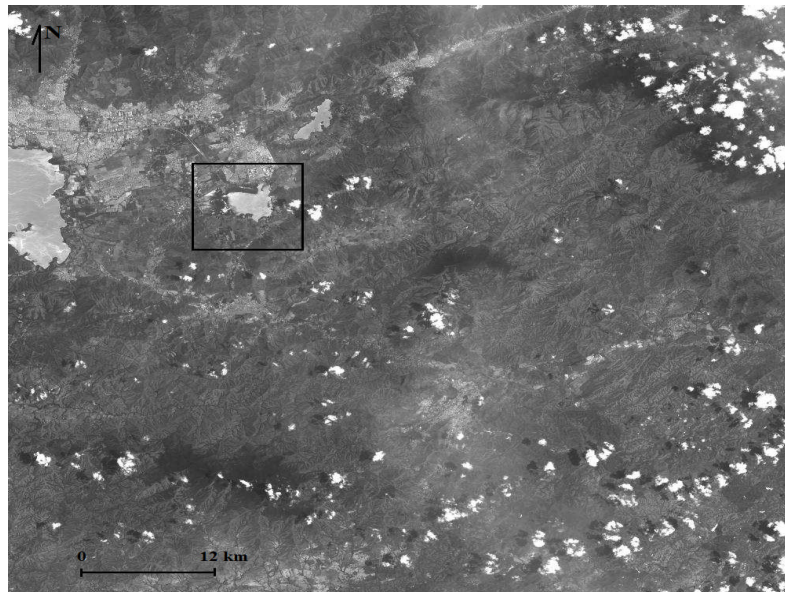
También están presentes drenajes de menor envergadura, no obstante que constituyen un importante aporte de agua a la Laguna de Taiguaiguay, los cuales son: al sur el Río Las Minas con una orientación N-S, al este quebrada El Burro con orientación este-oeste, quebrada Tamborón con dirección N45°E y caño Maraca orientada N60°E y al oeste tenemos el Río Largo con dirección este-oeste.



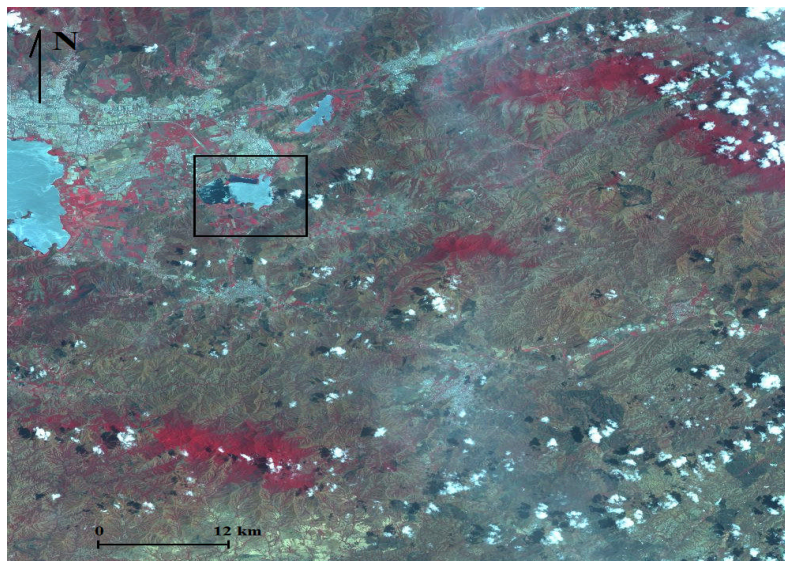
Figura 3.6.- Aliviadero de la Laguna de Taiguaiquay.

3.2.4.- Geomorfología local

La cuenca de la laguna de Taiguaiquay constituye una depresión limitada por dos sistemas de fallas principales, la falla la Victoria al norte y la falla río Guárico al sur, que poseen una componente transcurrente dextral. Esta depresión está conformada por la depositación de los sedimentos cuaternarios provenientes de la meteorización y transporte de los altos topográficos constituidos por: la fila Tamarindo, cerro Guayabal, cerro Ojo de Agua y fila Bella Vista. El estudio geomorfológico se realizó con el análisis de las imágenes de teledetección SPOT a blanco y negro (Figura 3.7) y a color (Figura 3.8) de la zona, usando el software Erdas Imagine 8.0; proporcionadas por la Fundación Instituto de Ingeniería específicamente el Laboratorio de Procesamiento Avanzado de Imágenes Satelitales. También se empleó la herramienta de Google Earth.



**Figura 3.7.- Imagen SPOT en blanco y negro (Fundación Instituto de Ingeniería, 2010).
El cuadro muestra la zona de estudio.**



**Figura 3.8.- Imagen SPOT a color (Fundación Instituto de Ingeniería, 2010)
El cuadro muestra la zona de estudio.**

La zona de estudio muestra dos tipos de paisajes, en función de la textura de las imágenes SPOT: uno de piedemonte que se encuentra al norte de la laguna desde el extremo este al oeste, así como también en la zona sur correspondiente a los sectores de La Majada, Mucura I y Mucura II; y el segundo tipo de paisaje es el de montaña que ocupa los extremos desde el oeste al SO y desde el este al SE (Figura 3.9).

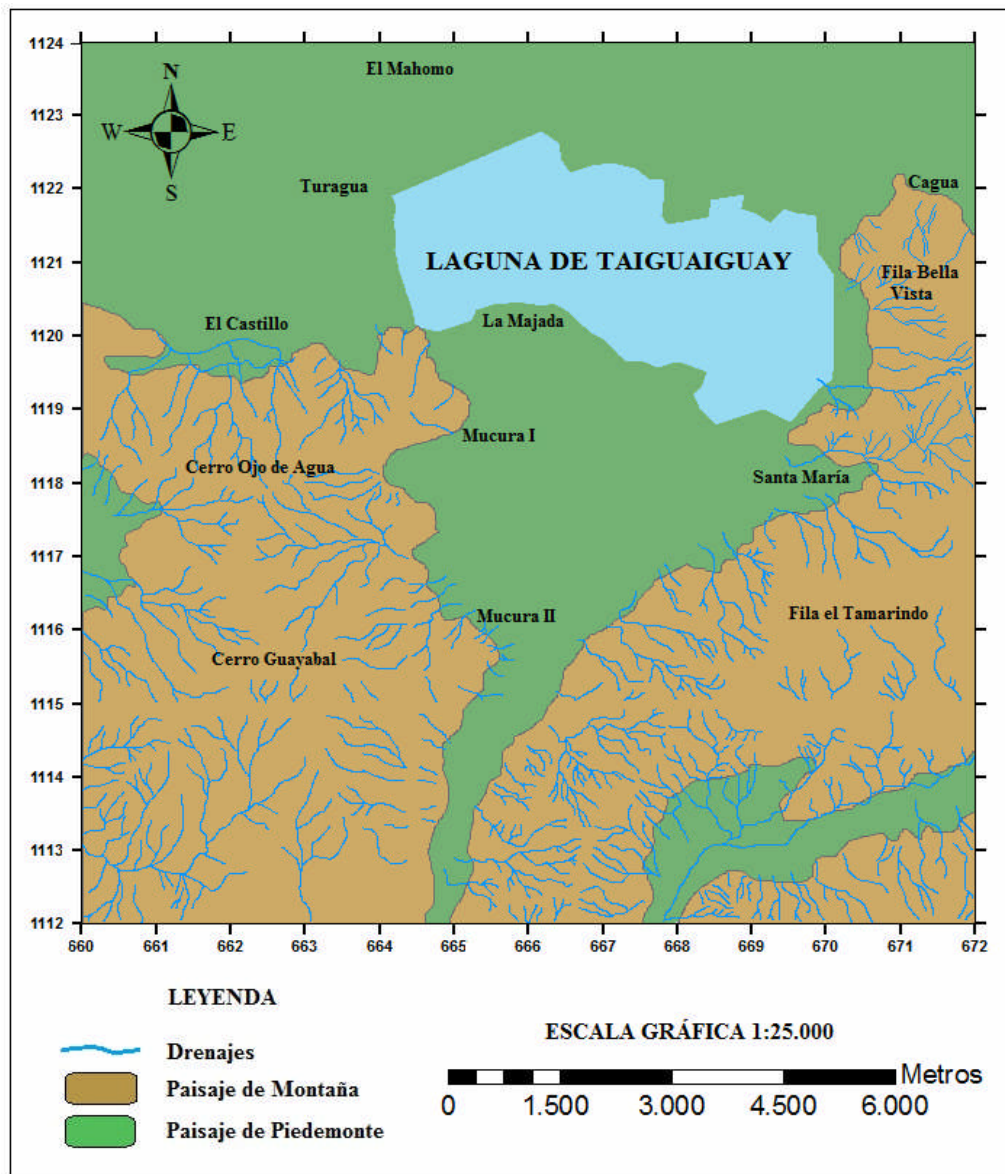


Figura 3.9.- Mapa de unidades de paisaje.

Seguidamente son descritos los principales tipos de paisajes que caracterizan a la zona de estudio.

3.2.4.1.- Paisaje de piedemonte

Éste se encuentra limitado entre los altos topográficos del este por la fila Tamarindo y al oeste por los cerros Ojo de Agua y Guayabal, alcanzado cotas máximas de 480 m caracterizado por poseer muy poca densidad de drenaje. El piedemonte abarca los sectores del Asentamiento El Castillo, El Mahomo y Turagua que se ubican al oeste de la zona; hacia el noreste corresponde a Cagua y al sur de la Laguna abarca los sectores de Mucura I, Mucura II, El Tamborón, Santa María, Casa Blanca que constituyen la zonas agrícolas. Dentro de este tipo de paisaje se ubican pequeñas colinas (Anexo 5) en la localidad de Turagua y el oeste de Santa María, principalmente en contacto directo y alrededor de la Laguna de Taiguaiguay cuyas altitudes oscilan entre los (450-480) m; no poseen una orientación general preferencial sino irregular; sus laderas son asimétricas con pendientes moderadas, teniendo mayor pendiente las laderas que buzan al norte.

En general el piedemonte, está conformado por llanuras coluvio-aluviales originadas por la depositación de sedimentos finos principalmente de tamaño de granos de arcillas y arenas finas y medias de origen local, provenientes de la meteorización y transporte de los altos topográficos adyacentes.

3.2.4.2.- Paisaje de montaña

Este tipo de paisaje se encuentra bordeando las llanuras coluvio-aluviales conformando los altos topográficos de la zona, alcanzando altitudes de (740-924) m Posee además, una gran densidad de drenajes con patrones principalmente dendríticos, en pocos casos subparalelos. Está representado con gran imponencia al oeste por el cerro Ojo de Agua con cota máxima de 805 m y el cerro Guayabal con

altitud máxima de 924 m, y al este por la fila el Tamarindo con cota máxima de 782 m (Anexo 5).

El cerro Ojo de Agua se ubica al oeste de la laguna de Taiguaiguay y tiene una extensión areal aproximada de 36 km²; su geoforma es triaxial con orientación general preferencial NE-SO y un patrón de drenaje dendrítico muy denso. Posee altitudes máximas de 805 m y mínimas de 460 m.

El cerro Guayabal es el más relevante en la zona oeste, por tener un área aproximada de 50 km² alcanzando altitudes máximas de 924 m y mínimas de 650 m. Posee una red de drenaje característica radial, debido a su geoforma circular u ovalada que se irradia desde un mismo punto central hacia afuera en todas direcciones.

Con respecto al este de la laguna de Taiguaiguay, se encuentra la fila el Tamarindo, con laderas asimétricas y de mayor pendiente las que buzan al sur, que a su vez representan las laderas del valle de Tucutunemo. Su geoforma es alargada en dirección general NE-SO, y tiene una extensión areal aproximada de 52 km² representando el alto topográfico dominante en la zona. Tiene patrones de drenaje dendríticos y subparalelos.

CAPÍTULO IV

4.- GEOLOGÍA LOCAL

4.1.- Generalidades

La cuenca de la laguna de Taiguaiguay está constituida por capas de sedimentos permeables, semipermeables e impermeables de composición mineralógica heterogénea, como consecuencia de las diferentes unidades litológicas presentes en la zona. Las capas permeables están compuestas por gravas y arenas granodecrecientes de base a tope (desde muy finas a gruesas) características de ambientes aluviales. Sus posiciones verticales varían en espesor y extensión, con cotas comprendidas entre los 530 m y 545 m de altitud, de litología favorable en cuanto a la acumulación y la extracción del agua subterránea, lo cual ha permitido la concentración de los pozos de producción que han sido estudiados en el presente trabajo.

4.3.- Unidades litodémicas

Los afloramientos presentes a lo largo de la cuenca de la laguna de Taiguaiguay están en contacto con el aluvión. Las unidades presentes en la zona de estudio están compuestas principalmente por rocas metamórficas, de acuerdo a la nomenclatura propuesta por Urbani (1999) que corresponden a la Filita de Tucutunemo (KSm1), Filita de Paracotos (KSm1), Metalava de Los Naranjos (KSm1) y Complejo El Tinaco (PzI).

4.3.1.- Filita de Tucutunemo

Esta unidad consiste principalmente en filitas gráficas arenosas que varían a meta areniscas y limolitas cuarzo feldespáticas, encontrándose también cantidades menores de areniscas de grano grueso y conglomerados cuarzo-carbonáticos. 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, abarcando parte de los estados Aragua y Guárico (Hernández, 2008).

4.3.2.- Filita de Paracotos

Shagam (1960) describe una asociación de filita, mármol, metaconglomerado, con metalimolita y metarenisca en menor proporción. La filita constituye el 60% de esta Formación, siendo limosa y carbonosa, de color azul grisáceo oscuro, con ocasionales peñones de rocas metavolcánicas y metasedimentarias de hasta 20 cm de diámetro, que González de Juana *et al.* (1980, p. 346) interpretan como una lodolita guijarrosa (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

Smith (1952) no fija una localidad tipo específica, pero indica que los mejores afloramientos pueden observarse en: (1) Sur de Guayas en el camino hacia Tiara, (2) en el río Tuy al norte de Táchata, (3) cerca de Paracotos, y (4) sitio de El Paují en la quebrada Suapire (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

4.3.3.- Metalava de Los Naranjos

MacLachlan *et al.* (1960) y Shagam (1960) indican que la litología dominante de la unidad en la sección tipo es la metalava maciza, pero disminuye hacia el oeste, donde la sección se hace más tobácea y las brechas de flujos son comunes. La metalava es de color verde claro o verde azulado más oscuro en las rocas de textura más afanítica; en superficies frescas se puede observar una ligera foliación metamórfica, a veces se observa estructura almohadillada. La textura microlítica con cristales sin orientación está formada por fibras de anfíbol de grano fino (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

Se extiende por los estados Aragua, Miranda y Cojedes norcentral. Buenos afloramientos se encuentran cerca de la localidad tipo y en el cerro Los Naranjos, así como en el río Toro, al noroeste de El Pao de Zárate y La Candelaria, estado Aragua (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

4.3.4.- Complejo El Tinaco

Menéndez (1965) reconoció dos unidades metasedimentarias en el complejo: la inferior, denominada Gneis de La Aguadita, consiste de gneises hornabléndicos y biotíticos, gneises cuarzo-plagioclásicos y en menor escala, anfibolitas y mármoles. La unidad superior, designada con el nombre de Esquisto de Tinapú, suprayace concordantemente a la primera y consiste de esquistos muscovíticos, esquistos cloríticos y esquistos conglomeráticos (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

Menéndez (1966) interpretó algunas unidades expuestas al sur de la falla de La Victoria, asignadas previamente al Grupo Caracas, como equivalentes al Complejo de El Tinaco. Jarvis (1966) describió afloramientos surorientales del complejo al este del río Pao. El Complejo El Tinaco se reconoce desde Caucagua, estado Miranda, hasta El Tinaco, estado Cojedes (Código Estratigráfico de Venezuela, 1997).

4.3.5.- Marco estructural local

La cuenca de la laguna de Taiguaiguay está limitada al norte por el Sistema de Fallas del Río Guárico y al sur por el Sistema de fallas de la Victoria, formando parte principalmente de la Napa Caucagua-El Tinaco, por lo cual la zona de altos topográficos que bordean la cuenca se encuentran altamente deformados (Molina 2006).

Sistema de fallas del Río Guárico: esta falla se extiende desde la cuenca del lago de Valencia hasta Altagracia de Orituco, estado Guárico, presenta una longitud de 120 km con un movimiento normal de componente dextral, ubicándose al sur de la zona de estudio (Molina, 2006).

Sistema de fallas de La Victoria: Este sistema cruza la cordillera de la Costa al norte de Venezuela, se extiende con sentido este-oeste por 350 km desde el sur de Barquisimeto hasta Cabo Codera con un movimiento normal de componente dextral. El sistema de fallas bordea la cuenca del río Tuy y pasa a través de la cuenca del lago de Valencia; se encuentra ubicada al norte de la zona de estudio (Molina, 2006).

CAPÍTULO V

5.- MARCO TEÓRICO

A continuación se desarrolla una serie de conceptos útiles para la comprensión del trabajo.

5.1.- Aguas Subterráneas

El agua subterránea es el agua que está presente en el subsuelo, la cual se almacena en los poros de las rocas, fisuras, fracturas o cavernas (Custodio y Llamas, 1983).

5.1.1.- Origen del agua subterránea

La casi totalidad del agua subterránea puede ser considerada como una parte del ciclo hidrológico, incluyendo la atmosférica y superficial (agua meteórica). No obstante, una cantidad de agua subterránea menor puede entrar a formar parte de este ciclo por conductos diferentes. Así mismo, el agua asociada es el agua que se ha quedado atrapada entre los poros de las rocas sedimentarias que a lo largo del tiempo se han depositado allí. Esta agua puede proceder del océano o de las fuentes de agua dulce que a lo largo del correr de los años se ha mineralizado de una forma típica; así como también puede ser el agua magmática, el agua volcánica y el agua cósmica; al añadirse al agua terrestre, la incrementan de forma considerable.

El ciclo hidrológico se define, como el proceso que describe la ubicación y el movimiento del agua en nuestro planeta. Es un proceso continuo en el que una partícula de agua evaporada del océano vuelve después de pasar por las etapas de precipitación, escorrentía superficial y/o escorrentía subterránea. El concepto de ciclo se basa en el permanente movimiento o transferencia de las masas de agua, tanto de un punto del planeta a otro, como entre sus diferentes estados (líquido, gaseoso y sólido). Este flujo de agua se produce por dos causas principales: la energía solar y la

gravidad (Enciclopedia Nicaragüense de Cuencas Hidrográficas, 2010). La figura 5.1 muestra el ciclo hidrológico, cuyos procesos se mencionan a continuación:

- Precipitación: el agua primeramente se infiltra y parte de ella se escurre sin importar la superficie del terreno.
- Infiltración: una vez dentro, el agua migra hacia abajo, básicamente en dirección vertical.
- Flujo Lateral: luego, en el acuífero se genera un movimiento horizontal hasta llegar al mar o a un río.
- Evaporación: continúa el ciclo cuando se evapora.

El agua subterránea se acumula en formaciones geológicas permeables conocidas con el nombre de acuíferos. Estos tienen características particulares que permiten el movimiento del agua a través de ellos bajo ciertas condiciones especiales; las formaciones de agua (en forma de capas, estratos o depósitos) son capaces de almacenar grandes cantidades de agua; un ejemplo son las arcillas, que tienen baja conductividad hidráulica, que pueden contener agua pero no la pueden transmitir.

Cuando una roca o suelo tiene espacios libres que no están ocupados por minerales sólidos, estos espacios son ocupados por el agua subterránea y reciben el nombre de espacios vacíos, intersticios o poros. Dado que estos poros pueden actuar como conductores del agua, su estudio tiene una importancia fundamental para el movimiento del agua subterránea. Están caracterizados por su tamaño, forma, irregularidades y distribución. Los poros originales se crean en los procesos geológicos que rigen el origen de la formación geológica; están presentes en las rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas. Por su parte, los poros secundarios se desarrollan una vez que la roca ha sido formada; ejemplos típicos de éstos son las fracturas, soluciones originadas por disolución, así como las formadas por los animales y las plantas.

Los poros se pueden clasificar, atendiendo a su tamaño en: capilares, supercapilares y subcapilares. Los poros capilares son lo suficientemente pequeños

para que las fuerzas debidas a la tensión superficial mantengan el agua dentro de ellos; los poros supercapilares son más grandes que los capilares, y los subcapilares son tan pequeños que el agua se mantiene en ellos debido a las fuerzas adhesivas. La estructura que tienen los poros de las rocas puede ser en forma de malla que conecte unos a otros, o pueden estar aislados entre sí (Custodio y Llamas, 1983).



Figura 5.1- Condiciones naturales del agua.
(Enciclopedia Nicaragüense de Cuencas Hidrográficas, 2010).

5.1.2.- Pozo de agua subterránea

Un pozo es un túnel vertical perforado en la tierra, hasta una profundidad suficiente para alcanzar una reserva de agua subterránea conocida con el nombre de nivel freático (límite superior del acuífero) (Figura 5.2). Existen pozos como los artesianos que son un tipo de manantial o pozo que comunica con un acuífero confinado de agua, estando el nivel piezométrico (o nivel potenciométrico) del líquido por encima del nivel freático. Se clasifica como pozo artesiano surgente,

cuando el líquido confinado asciende por encima de la superficie del terreno de forma natural hasta alcanzar un nivel casi equivalente al del punto de alimentación de la capa confinada, quedando aminorado debido a la pérdida de carga (Custodio y Llamas, 1983).



5.2.-Pozo de agua subterránea, ubicado en el sector Tamborón, visitado durante la etapa de campo.

5.2.- Cuenca hidrológica

Las cuencas hidrológicas son unidades morfológicas integrales, las cuales incluyen todo lo referente al concepto de cuenca hidrográfica, abarcando también la estructura hidrogeológica subterránea de los acuíferos. En otras palabras, el concepto de cuenca hidrográfica es la zona de escurrimiento superficial de las precipitaciones; mientras que el de cuenca hidrogeológica también incluye a las aguas subterráneas. Dependiendo de la geología del sector de interés, estas cuencas pueden ser diferentes, ya que en muchos sitios el agua subterránea se mueve en distintas direcciones que la

superficial y aflora en sitios diferentes a la de la cuenca donde cayeron las precipitaciones que la alimentan (Keith, 1973).

5.2.1.- Tipos de cuencas

Las cuencas hidrológicas pueden ser clasificadas en tres tipos: exorreicas, endorreicas y arreicas.

- Exorreicas: drenan sus aguas al mar o al océano. Un ejemplo es la cuenca del Plata, en Sudamérica y la cuenca del Lago de Maracaibo, en Venezuela.
- Endorreicas: desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación o salida fluvial al mar. Por ejemplo, la cuenca del río Desaguadero, en Bolivia y la cuenca del Lago de Valencia, en Venezuela.
- Arreicas: las aguas se evaporan o se infiltran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje. Los arroyos, aguadas y cañadones de la meseta patagónica central pertenecen a este tipo, ya que no desembocan en ningún río u otro cuerpo hidrográfico de importancia (Machado, 1976).

5.3.- Acuíferos

Se definen como el reservorio del cual se pueden extraer cantidades significativas de agua. Es aquel estrato o formación geológica que permite la circulación del agua por sus poros y/o grietas (Figura 5.3). Estas formaciones pueden estar conformadas por materiales geológicos muy variados como gravas de río, calizas muy agrietadas, areniscas porosas poco cementadas, arenas de playa, rocas volcánicas (Fortunecity, 2010).

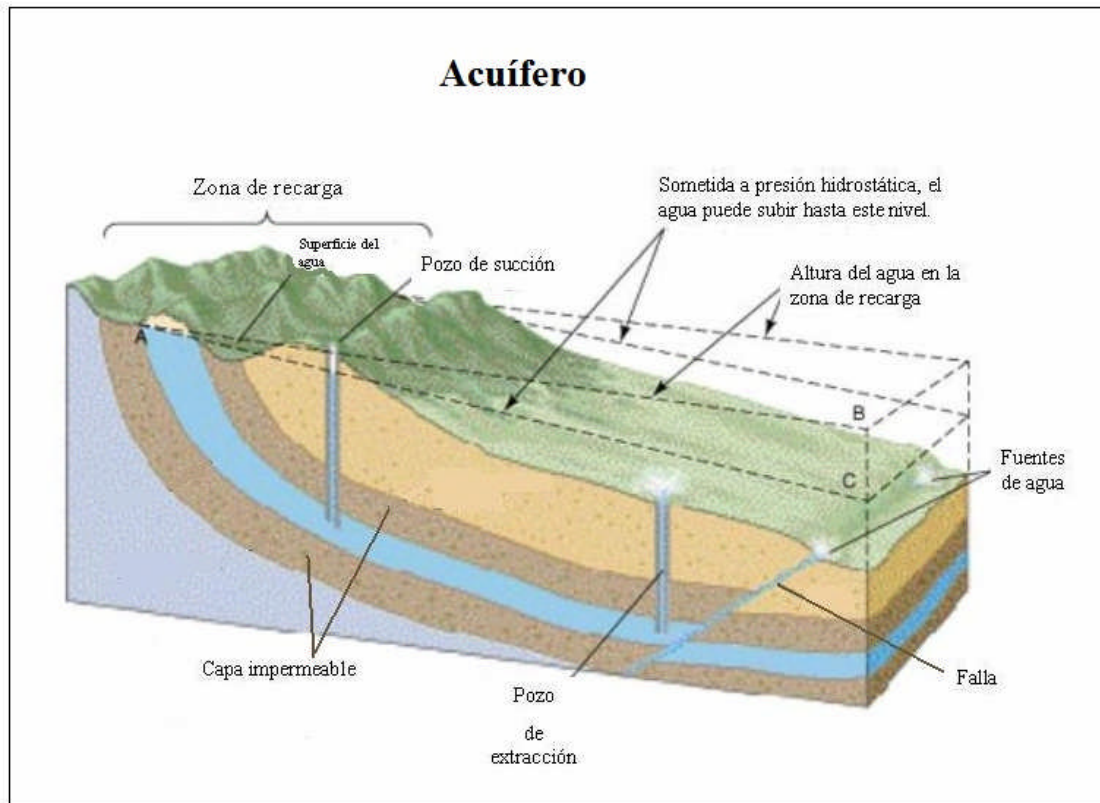


Figura 5.3.- Acuífero (Modificado de Gibson, 1974).

5.3.1.- Tipos de acuíferos

Los acuíferos se pueden clasificar según los materiales litológicos que los constituyan, como: detríticos, fisurados y volcánicos, entre otros. Sin embargo, estos también pueden ser divididos atendiendo al factor de la presión hidrostática del agua contenida en los mismos. En ese sentido, se traduce en unas circunstancias prácticas muy útiles al hablar de captaciones de esa agua (Figura 5.4) (Fortunecity, 2010).

5.3.1.1.- Acuíferos libres

También llamados no confinados o freáticos, en los cuales existe una superficie libre y real del agua encerrada, que está en contacto con el aire y a la

presión atmosférica. Entre la superficie del terreno y el nivel freático se encuentra la zona no saturada. El nivel freático define el límite de saturación del acuífero libre y coincide con la superficie piezométrica. Su posición no es fija sino que varía en función de las épocas secas o lluviosas. Si se perfora total o parcialmente la formación acuífera, la superficie obtenida por los niveles de agua de cada pozo forman una superficie real: superficie freática o piezométrica, que coinciden (Fortunecity, 2010).

5.3.1.2.- Acuíferos confinados

El agua contenida en los acuíferos confinados, está sometida a una presión superior a la atmosférica; esta además ocupa la totalidad de los poros o huecos de la formación geológica, saturándola totalmente. Están sellados tanto suprayacente como infrayacente por materiales impermeables que no permiten que el agua ascienda hasta igualar su presión a la atmosférica. Por este motivo al perforar pozos que atraviesen el límite superior del material que constituye el acuífero, se observará que el nivel del agua asciende muy rápido hasta que se estabiliza en el nivel piezométrico (Fortunecity, 2010).

5.3.1.3.- Acuíferos semi-confinados

Constituyen una variedad de los confinados, que se caracterizan por capas particularmente suprayacentes e infrayacentes selladas por materiales que no son totalmente impermeables, sino que constituyen un acuitardo; es decir, un material que permite una filtración vertical que alimenta muy lentamente al acuífero principal. En estos casos, existirán situaciones en los cuales la recarga podrá hacerse en ambos sentidos en función de la diferencia de potencial (Fortunecity, 2010).

5.3.1.4.- Acuíferos colgados

Constituyen una capa de material más o menos impermeable por encima del nivel freático. El agua que se infiltra queda atrapada en esta capa en forma de lente, que normalmente tiene una extensión limitada sobre la zona saturada más próxima. Los acuíferos colgados son más comunes de lo que se pueda suponer, aunque quizás sólo ocupan unos pocos centímetros de espesor, o sólo se alimenten después de una recarga muy excepcional. No suponen un recurso muy fiable, ya que a veces se puede perforar del todo y el pozo construido facilita el drenaje del agua contenida en el lente hacia la zona saturada (Fortunecity, 2010).

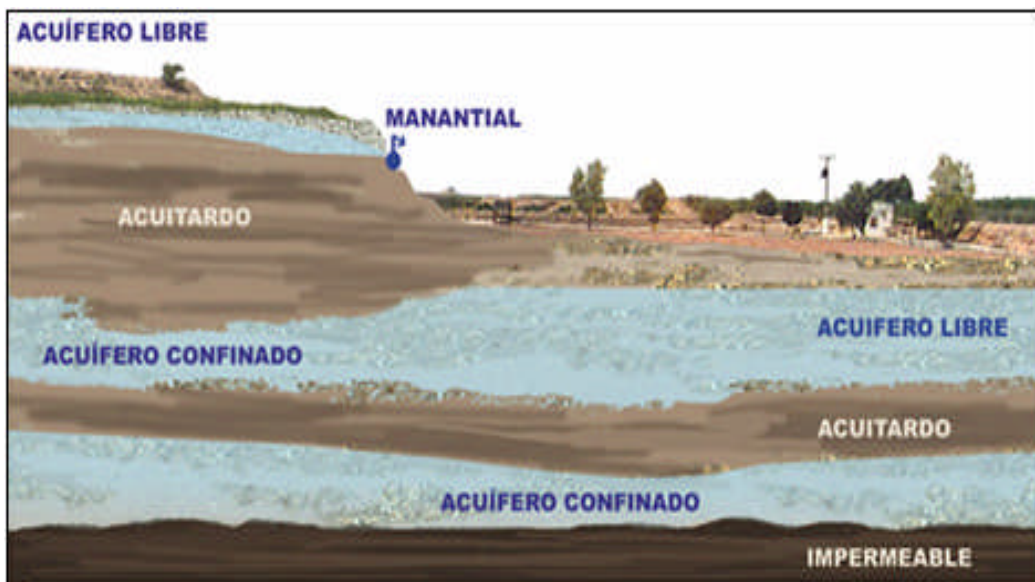


Figura 5.4.- Tipos de acuíferos (Libro Digital del Agua, 2010).

5.4.- Nivel estático

Es la distancia vertical en metros, medida desde el suelo o terreno hasta el nivel freático del pozo cuando no hay una bomba operando (Figura 5.5) (Medina, 2006).

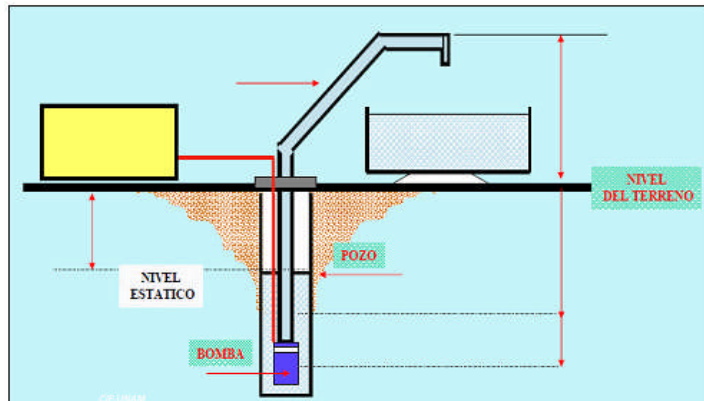


Figura 5.5.- Nivel estático (Modificado de Medina, 2006).

5.5.- Nivel Dinámico

Es la distancia vertical en metros, medida desde el suelo o terreno hasta el nivel freático del pozo cuando hay una bomba operando (Figura 5.6). A continuación se aprecia un diagrama que muestra la medición de los niveles estáticos y dinámicos realizados en campo (Figura 5.7) (Medina, 2006).

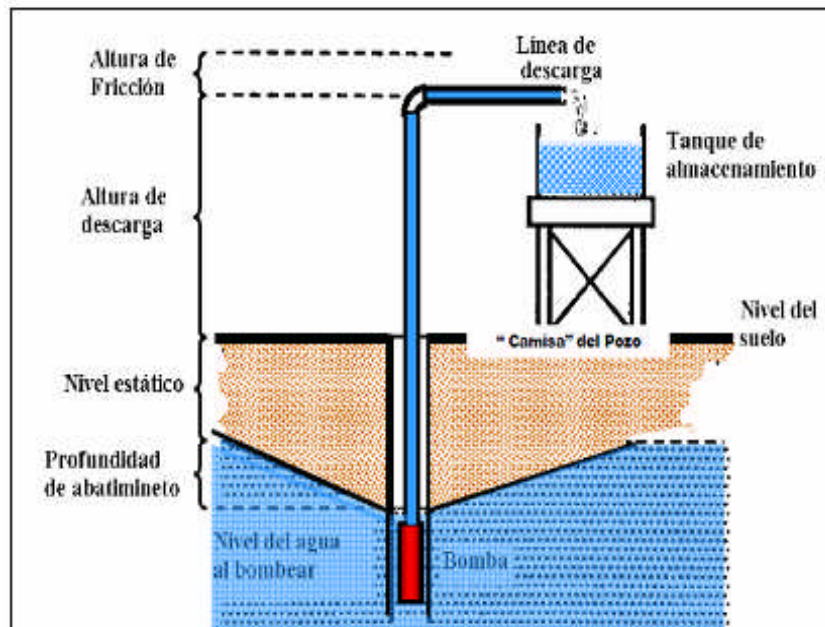


Figura 5.6. Nivel dinámico (Modificado de Medina, 2008).



Figura 5.7.-Medición de niveles estáticos y dinámicos realizados en campo.

5.6.- Prueba de bombeo

Las pruebas de bombeo son utilizadas para conocer los parámetros hidrogeológicos de un acuífero, a saber: conductividad hidráulica (K), transmisibilidad (T) y el coeficiente de almacenamiento (S); determinar el comportamiento del acuífero frente a un bombeo; reconocer fronteras como flujo impuesto o potencial constante. La permeabilidad y el coeficiente de almacenamiento son necesarios para el diseño de pozos, cálculo de abatimientos, e interferencias, entre otros; así como para disponer de un manejo óptimo del recurso del agua subterránea (Mares, 1996).

5.7.- Prueba de recuperación

La manera más conveniente de analizar conceptualmente la prueba de recarga, es pensar en la razón de bombeo como constante a lo largo del período de medición. Al término de cualquier prueba de bombeo, los pozos son apagados y el acuífero retoma su nivel original, la etapa de recuperación es donde el nivel del agua regresa a sus condiciones de prebombeo; es decir, es un período durante el cual el nivel del agua cambia en el acuífero (Mares, 1996).

5.8.- Parámetros hidrogeológicos

La productividad de un acuífero es función de sus características geológicas, de los factores del flujo de las aguas subterráneas y de sus parámetros hidrogeológicos tales como: porosidad, coeficiente de almacenamiento, permeabilidad, transmisibilidad y caudal (Machado, 1976).

5.8.1.- Porosidad

La porosidad es una de las características esenciales de las rocas en lo que se refiere a sus propiedades acuíferas. Ésta se define como la fracción del volumen total de la roca no ocupada por el esqueleto mineral de la misma. Desde el punto de vista hidrogeológico se distinguen dos tipos de porosidad:

1.- La porosidad total, definida como la relación entre el volumen de poros que están interconectados y el volumen total de la roca. Esta propiedad le permite a la roca tener capacidad para almacenar fluidos por medio de sus poros (Machado, 1976).

2.- La porosidad eficaz, diferenciada de la anterior porque su valor expresa en términos porcentuales el volumen de agua drenable o movable a través de los espacios que se encuentran interconectados en la roca almacén (Machado, 1976).

El cuadro 5.1, muestra los valores de las porosidades totales y eficaces para los diversos materiales geológicos.

Cuadro 5.1. Porosidades totales y eficaces según los materiales geológicos (Rojas, 2003).

Material		Porosidad, n (%)					Porosidad eficaz n _e (%)			Notas
		Valores normales			Valores extraordinarios		Media	Máx.	Mín.	
Tipo	Descripción	Media	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Media	Máx.	Mín.	
Rocas masivas	Granito	0.3	4	0.2	9	0.05	< 0.2	0.5	0.0	A
	Caliza masiva	8	15	0.5	20		< 0.5	1	0.0	B
	Dolomía	5	10	2			< 0.5	1	0.0	B
Rocas metamórficas		0.5	5	0.2			< 0.5	2	0.0	A
Rocas volcánicas	Piroclastos y tobas	30	50	10	60	5	< 5	20	0.0	C, E
	Escorias	25	80	10			20	50	1	C, E
	Pumitas	85	90	50			< 5	20	0.0	D
	Basaltos densos, fonolitas	2	5	0.1			< 1	2	0.1	A
	Basaltos vacuolares	12	30	5			5	10	1	C
Rocas sedimentarias compactadas	Pizarras	5	15	2	30	0.5	< 2	5	0.0	E
	Areniscas	15	25	3	30	0.5	10	20	0.0	F
	Creta blanda	20	50	10			2	5	0.2	B
	Calizas detriticas	10	30	1.5			3	20	0.5	
Sedimentos	Aluviones	25	40	20	45	15	15	35	5	E
	Dunas	35	40	30			20	30	10	
	Gravas	30	40	25	40	20	25	35	15	
	Loess	45	55	40			< 5	10	0.1	E
	Arenas	35	45	20			25	35	10	
	Depósitos glaciares	25	35	15			15	30	5	
	Limos	40	50	35			10	20	2	E
	Arcillas sin compactar	45	60	40	85	30	2	10	0.0	E
Suelos superiores	50	60	30			10	20	1	E	

Desde el punto de vista geológico se distinguen dos tipos de porosidad:

1.- La porosidad primaria, que se desarrolla u origina en el momento de la formación o depositación del estrato. Los poros formados en esta forma son espacios vacíos entre granos individuales de sedimento (Machado, 1976).

2.- La porosidad secundaria o inducida, es aquella que se forma a posteriori, debido a un proceso geológico subsecuente a la depositación del material del estrato o capa. Esta porosidad puede ser: porosidad en disolución, porosidad por fractura, porosidad por dolomitización, entre otros (Machado, 1976).

5.8.1.1.- Meteorización

Se refiere a la modificación sufrida en la composición o estructura de una roca, situada en la superficie terrestre o en sus proximidades, debido a la acción de agentes atmosféricos. El cuadro 5.2 muestra la escala de meteorización de rocas detrítica

Cuadro 5.2.-Escala de meteorización de las rocas sedimentarias detríticas (Moye, 1995).

Grado de Meteorización	Denominación	Criterios de Reconocimiento
I	Sana	Roca no meteorizada. Conserva el color y el lustre en toda la masa.
II	Sana con juntas teñidas de óxidos	Las caras de las juntas están manchadas de óxidos pero el bloque unitario entre ellas mantiene el color y el lustre de la roca sana.
III	Moderadamente Meteorizada	Claramente meteorizada a través de la petrofábrica reconociéndose el cambio de color respecto de la roca sana. El cambio de color puede ser desde simples manchas a variación de color en toda la masa, generalmente a colores típicos de óxidos de fierro, la resistencia de la roca puede variar desde muy análoga a la roca grado II a bastante más baja, pero tal que trozos de 25 cm ² de sección no pueden romperse a mano.
IV	Muy Meteorizada	Roca intensamente meteorizada, que puede desmenuzarse y romperse a mano, aunque sus elementos son perfectamente reconocibles.
V	Completamente Meteorizada	Material con aspecto de suelo, completamente descompuesto por meteorización "in-situ", pero en el cual se puede reconocer la estructura de la roca original. Los elementos constitutivos de la roca se encuentran diferenciados, aunque totalmente diferenciados

Generalmente los efectos físicos y químicos de la meteorización se producen simultáneamente, pero depende del clima el hecho que una u otra sea predominante.

Se han creado una serie de escalas de meteorización empíricas para el trabajo de campo, una de ella es la propuesta por Moye (1995), que comprende cinco niveles de meteorización que van desde una roca sana con un grado de meteorización I hasta una roca completamente meteorizada con un grado de meteorización V (Torres, 2004).

5.8.2.- Coeficiente de almacenamiento

Según Amisial y Jégat (1984), señalan que el coeficiente de almacenamiento se expresa como el volumen de agua de una columna vertical del acuífero, que tiene como base la unidad de área y como altura el espesor medio del acuífero liberado por expansión del agua y compactación de la matriz sólida cuando la carga hidráulica disminuye en una unidad.

El coeficiente de almacenamiento es, al igual que la porosidad eficaz, adimensional (volumen / volumen). Los valores que presenta son mucho más bajos en los acuíferos confinados perfectos que en los acuíferos semi-confinados. En ese sentido, los valores típicos para los distintos tipos de acuíferos son:

Acuíferos libres: 0,3 a 0,01 ($3 \cdot 10^{-1}$ a 10^{-2})

Acuíferos semi-confinados: 10^{-3} a 10^{-4}

Acuíferos confinados: 10^{-4} a 10^{-5}

El coeficiente de almacenamiento está relacionado con el almacenamiento específico (Ss), mediante la ecuación 1.

$$S = e * Ss$$

Ecuación 1

Simbología:

S = Coeficiente de almacenamiento

e = Espesor medio del acuífero

S_s = Almacenamiento específico

5.8.3.- Permeabilidad

La permeabilidad es una propiedad que indica la capacidad que tiene una roca para conducir un fluido a través de sus poros interconectados. Una de las posibles formas para determinarla es utilizando correlaciones entre porosidad y permeabilidad, a pesar de que esos resultados son muchas veces cuestionados en rocas poco o nada consolidadas. Dentro de la capacidad de transmitir el agua están las capas impermeables que son de baja capacidad de transmisión y las capas permeables que poseen una mayor capacidad.

En general puede indicarse que la relación estadística compleja entre porosidad y permeabilidad, consiste en que las rocas más porosas (grano de tamaño uniforme) tienen una mayor permeabilidad que las menos porosas, y aunque la porosidad puede ser alta en algunas rocas de grano fino, la reducción en el tamaño de los poros trae como resultado una disminución en la capacidad de flujo dentro de la roca. En consecuencia, la permeabilidad disminuye. De igual manera, en otras formaciones como las calizas, las cuales se componen de roca densa interrumpidas por fisuras muy pequeñas o por fracturas de gran extensión, la porosidad en tales formaciones puede ser baja, pero la permeabilidad de una fractura puede ser muy grande (Castany, 1975). En consecuencia, las calizas fracturadas pueden exhibir una porosidad baja conjuntamente con una permeabilidad muy alta.

Técnicamente, el coeficiente de permeabilidad de Darcy (**K**), es el volumen de agua libre que percola durante la unidad de tiempo a través de la unidad de superficie de una sección total del acuífero, bajo un gradiente hidráulico igual a la unidad, a la temperatura de 20°C (Castany, 1975).

Evidentemente, la permeabilidad **K** depende de las condiciones del suelo y de las características del fluido tales como:

- Forma, tamaño y disposición de los granos
- Viscosidad y densidad del fluido

Según la fórmula de Darcy, la permeabilidad viene dada por:

$$\mathbf{K} = \mathbf{Q} / (\mathbf{I} * \mathbf{A})$$

Ecuación 2

Simbología:

K = Permeabilidad (m / día)

Q = Caudal (m³ / día)

I = Gradiente hidráulico (Adimensional)

A = Superficie de la sección flujo (m²)

El cuadro 5.3, muestra la comparación de los valores de permeabilidad con la clasificación cualitativa del acuífero y el tipo de materiales geológicos que lo componen.

Cuadro 5.3.- Clasificación de terrenos por la permeabilidad (Rojas, 2003).

Permeabilidad (m/día)	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10	10 ²	10 ³
Clasificación	Impermeable		Poco Permeable		Algo Permeable		Permeable		Muy Permeable	
Clasificación del Acuífero	Acuícludo		Acuícludo		Acuífero Pobre		Acuífero Regular a Bueno		Acuífero Excelente	
Tipo de Material	Arcilla Compacta		Limo Arenoso		Arena Fina		Arena Limpia			
	Pizarra		Limo		Arena Limosa		Grava y Arena		Grava Limpia	
	Granito		Arcilla Limosa		Caliza Fracturada		Arena Fina			

5.8.4.- Transmisibilidad

Se define como el producto de la permeabilidad por el espesor del acuífero. Por tanto, la transmisibilidad es el caudal del flujo de agua bajo un gradiente hidráulico unitario, a través de una sección de anchura unitaria y altura igual al espesor del acuífero. Se define con la letra T y tiene dimensiones de L^2 / T que indica longitud al cuadrado sobre el tiempo ($m^2 / día$) (Castany, 1975).

Se expresa como:

$$T = K * e \quad \text{Ecuación 3}$$

Simbología:

T = Transmisibilidad

K = Permeabilidad o conductividad hidráulica

e = Espesor saturado del acuífero.

5.8.5.- Gradiente hidráulico

Para el movimiento laminar en los acuíferos arenosos o para la filtración a través de diques de tierra, la pérdida por unidad de longitud de la distancia recorrida o gradiente hidráulico es proporcional a la velocidad del agua subterránea. Cuando la proporcionalidad entre el gradiente hidráulico y la velocidad del agua se expresa en términos matemáticos, se obtiene la ley de Darcy. Los experimentos realizados en 1839 por Henry Darcy le permitieron concluir que en el movimiento a través de lechos de arena estratificados horizontalmente, el caudal Q era inversamente proporcional a la longitud del camino recorrido y directamente proporcional a la pérdida de energía y a un coeficiente K , dependiente de la naturaleza de la arena (Castany, 1975).

El gradiente hidráulico I , es un número adimensional que representa la pérdida de carga por unidad de longitud. El gradiente hidráulico se calcula a partir de los niveles piezométricos mediante la siguiente ecuación:

$$I = (H_1 - H_2) / L \quad \text{Ecuación 4}$$

Simbología:

I = Gradiente hidráulico

H_1 = Nivel piezométrico en la parte superior (m)

H_2 = Nivel piezométrico en la parte inferior (m)

L = Distancia entre los puntos H_1 y H_2 (m).

5.8.6- Caudal

Es el volumen de agua en m^3 que atraviesa una sección total de la capa acuífera, o sección de flujo en m^2 , es normal a la dirección de flujo, en la unidad de tiempo (un segundo). Se expresa en m^3 (Castany, 1975).

$$Q=K.I.A$$

Ecuación 5

$$Q = T.I.L$$

Simbología:

Q = Caudal (m^3/s)

K = Coeficiente de permeabilidad (m/s.)

I = Gradiente hidráulico

A = Sección transversal total (m^2)

T = Transmibilidad (m^2/s)

L = Longitud (m)

5.6.- Nivel piezométrico

Es la altura de la superficie libre de agua sobre el nivel del mar, en los acuíferos libres. En los confinados, es la altura que alcanzaría el agua en el interior de un sondeo hasta equilibrarse con la presión atmosférica (Bosch, 2007).

5.6.1.- Superficies piezométricas

Lugar geométrico de los puntos que señalan la altura piezométrica de cada una de las porciones de un acuífero referidas a una determinada profundidad. Se las

representa mediante líneas de igual altura piezométrica, llamadas líneas isopiezas (Bosch, 2007).

En los acuíferos libres, la superficie piezométrica coincide, a grandes rasgos, con la superficie freática, es decir, con el límite de saturación. En los acuíferos confinados la superficie piezométrica es más elevada que el techo de los mismos. En los acuíferos permeables por fisuración y/o karstificación; así como en general, en acuíferos muy heterogéneos, puede ser una superficie discontinua (Bosch, 2007).

En acuíferos detríticos, pueden existir niveles más o menos aislados por lechos semi-confinantes. Un caso particular sería el de acuíferos afectados por intrusión marina en los que la piezometría está directamente afectada por la densidad del agua, que varía en función de la salinidad (Bosch, 2007).

5.6.2.- Mapas piezométricos

Son la representación cartográfica de la superficie piezométrica de un acuífero, construidos por la interpolación de medidas puntuales de la carga hidráulica en diferentes puntos (Bosch, 2007).

5.7.- Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica, se define como la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica (Guillén *et al*, 2007).

El agua pura, prácticamente no conduce la corriente; sin embargo el agua con sales disueltas conduce la corriente eléctrica. Los iones cargados positiva y negativamente son los que conducen la corriente, y la cantidad dependerá del número de iones presentes y de su movilidad. En la mayoría de las soluciones acuosas, entre mayor sea la cantidad de sales disueltas, mayor será la conductividad; este efecto

continúa hasta que la solución está tan llena de iones que se restringe la libertad de movimiento y la conductividad puede disminuir en lugar de aumentar, dándose casos de dos diferentes concentraciones con la misma conductividad.

5.8.- Balance hídrico superficial

El concepto de balance hídrico se deriva del concepto de balance en contabilidad; es decir, que es el equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y los que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado (Camacho, 2009).

Para realizar un balance hídrico superficial es necesario conocer no solo los procesos o caminos que sigue el agua en el suelo, sino también las características fisiográficas, edafológicas y biológicas del lugar en los cuales ellos se desarrollan. Este concepto de balance hídrico está siempre relacionado con el ciclo hidrológico, en donde se tiene en cuenta la distribución y el movimiento del agua, bajo y sobre la superficie del suelo (Camacho, 2009).

La cantidad de agua disponible depende del balance de humedad natural entre un período definido y está ligado con los diferentes factores principalmente precipitación, evapotranspiración potencial y capacidad de almacenamiento de agua en el suelo. Este proceso se realiza con la finalidad de establecer el déficit o excesos de agua natural. La precipitación se considera el elemento que proporciona la humedad del suelo que la vegetación necesita para su desarrollo vegetativo, representado por la evapotranspiración potencial que mide la fuerza evaporante de la atmósfera; por lo que el agua que cae al suelo es consumido por las plantas, si hay exceso, varía la reserva de agua hasta el límite de su capacidad de almacenamiento (Capacidad de campo) (Camacho, 2009).

La formula básica del balance hídrico superficial es:

$$P = ETR + Esc + I$$

Ecuación 6

Simbología:

P = Precipitación media anual (mm) (Volumen agua precipitada)

ETR = Evapotranspiración real media anual (mm) (Volumen evaporado + Volumen transpirado por los seres vivos).

Esc = Escorrentía superficial media anual (mm) (Volumen de agua que escurre superficialmente).

I = Infiltración eficaz al manto acuífero (mm)

Seguidamente son definidos cada uno de los componentes de la ecuación del balance hídrico superficial:

- Precipitación

La precipitación, es agua liberada desde las nubes en forma de lluvia, aguanieve, nieve o granizo. Es el principal proceso por el cual el agua retorna a la Tierra. La mayor parte de la precipitación cae como lluvia (Molina, 2006).

- **Infiltración**

Es el movimiento descendente del agua desde la superficie de la Tierra hacia el suelo o las rocas porosas. El agua subterránea comienza como precipitación, una porción del agua que cae como precipitación y nieve se infiltra hacia el suelo subsuperficial y hacia las rocas. La cantidad infiltrada depende de un gran número de factores. Parte del agua que se infiltra, permanece en las capas más superficiales del suelo y puede volver a entrar a un curso de agua debido a que se filtra hacia el mismo. Otra parte del agua puede infiltrarse a mayor profundidad, recargando así los acuíferos subterráneos. Si los acuíferos son lo suficientemente porosos y poco profundos como para permitir que el agua se mueva libremente a través de ellos (Molina, 2006).

- **Escurrecimiento**

El escurrecimiento es la parte de la precipitación que aparece en las corrientes fluviales superficiales, perennes, intermitentes o efímeras, y que regresa al mar o a los cuerpos de agua interiores. Indicado de otra manera, es el deslizamiento vírgen del agua, que no ha sido afectada por obras artificiales hechas por el ser humano (Molina, 2006).

- **Evapotranspiración potencial (ETP)**

Existe acuerdo entre los diversos autores al definir la ETP, concepto introducido por Thornthwaite (1948), como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua. Según esta definición, la magnitud de la ETP está regulada solamente por las condiciones meteorológicas o climáticas, según el caso, del momento o período para el cual se realiza la estimación.

El concepto de ETP es ampliamente utilizado, desde su introducción ha tenido gran influencia en los estudios geográficos del clima mundial; de hecho su diferencia respecto de las precipitaciones (Pp-ETP) ha sido frecuentemente usada como un

indicador de humedad o aridez climática. También ha influido sobre la investigación hidrológica y ha significado el mayor avance en las técnicas de estimación de la evapotranspiración (Molina, 2006).

Los cálculos de Thornthwaite (1948), están basados en la determinación de la evapotranspiración en función de la temperatura media, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de días del mes. El método es muy empleado en hidrología y en la estimación del balance hídrico para climatología e hidrología de cuencas (Almorox y Cruz, 2008).

5.9.- Reservas de aguas subterráneas

Las reservas indican el volumen almacenado en una cuenca en un momento dado, lo cual es conocido como reservas de agua subterránea. Las mismas pueden ser estacionales o permanentes, en función del coeficiente de almacenamiento y la geología del acuífero (Custodio y Llamas, 1983).

Las reservas estacionales están comprendidas entre los niveles máximos, medios y mínimos de la superficie freática y la base estructural del acuífero. Por su parte, en un acuífero confinado, las reservas estacionales no existen porque la superficie freática se encuentra por encima del techo de la capa confinante, existiendo únicamente las reservas permanentes que están definidas por el techo y la base estructural del acuífero.

Para calcular el volumen de las reservas, tanto para acuíferos libres como confinados se definen los límites y se multiplican por el coeficiente de almacenamiento (S) según sea la condición que presente el acuífero. En el cálculo respectivo, se usa generalmente la información contenida en los mapas de isolíneas de espesores, saturados o isópacos. Las reservas representan el volumen total de agua almacenada en el acuífero; es decir, liberable en el curso de un período determinado, o en un instante dado en una capa acuífera o en una roca almacén y que puede ser aprovechable. Las mismas están condicionadas en primer lugar por la estructura

hidrogeológica, que aporta información sobre las dimensiones y después por la porosidad o rendimiento específico o el coeficiente de almacenamiento, que expresa el volumen de agua libre en la roca almacén. Los datos dimensionales que determinan las reservas en aguas subterráneas son fijos, sustrato y techo impermeable de los mantos cautivos, coeficiente de almacenamiento o variables, y superficie piezométricas de los mantos libres (Custodio y Llamas, 1983).

5.10.- Modelo Conceptual

Los modelos hidrogeológicos conceptuales son representaciones en dos o tres dimensiones de las condiciones estáticas y dinámicas de sistemas hidrogeológicos (IDEAM, 2010). Esta representación incluye la geometría de los acuíferos, delimitación de unidades hidrogeológicas de acuerdo con sus posibilidades de almacenar y transmitir agua, características hidráulicas de los acuíferos, posición de los niveles piezométricos, condiciones del flujo de las aguas subterráneas y su relación con los componentes del ciclo hidrológico; así como características hidroquímicas y eventualmente isotópicas y delimitación de zonas de recarga, tránsito y descarga.

En términos generales, el modelo conceptual sintetiza las condiciones básicas del estado y dinámica de las aguas subterránea en el subsuelo y sus relaciones con los cuerpos de agua superficial y los aportes atmosféricos. Se realiza con base en el análisis e interpretación de información geológica, hidrológica, hidráulica, hidroquímica e isotópica, que permite tener una visión del comportamiento de los acuíferos o sistemas acuíferos de un área dada a la escala deseada (IDEAM, 2010).

CAPÍTULO VI

6.- MARCO METODOLÓGICO

6.1.- Metodología

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

6.1.1.-Fase pre-campo: Esta fase involucró investigar las características geográficas, hidrogeológicas, geológicas, fisiográficas y topográficas del área de estudio, mediante la compilación de trabajos previos, textos hidrogeológicos y mapas cartográficos, hidrogeológicos, topográficos y políticos; así mismo, se digitalizó y analizó la información publicada del tipo geológica y cartográfica de la zona investigada y su entorno, así como los antecedentes y trabajos previos realizados en este sector.

Seguidamente se detallan las actividades realizadas, durante esta fase metodológica:

- Recopilación y revisión del material bibliográfico, tomando en cuenta Tesis de Grado, publicaciones, libros e informes técnicos, así como la información suministrada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).
- Interpretación del material cartográfico correspondiente a la zona de estudio, considerando la topografía de una sección del área de estudio (70 ha) a escala 1:1.000.
- Análisis e interpretación de imágenes SPOT de la zona de Taiguaguay en blanco y negro y a color.
- Revisión e integración de los siguientes aspectos:

Las hojas cartográficas 6646 y 6746 a escala 1:100.000 y 6646-II-NE, 6646-II-SE, 6746-III-NO, 6746-III-SO a escala 1:25.000 (misión 030198, 1975), elaboradas por el Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar.

Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela, a escala 1:25.000, realizado por Urbani y 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).

Ortofotomapas 6746-III-NO Taguaguay y 6746-III-SO Villa de Cura a escala 1:25.000 (misión 0304184, 1994).

6.1.2.- Fase de campo

Esta fase involucró las etapas señaladas a continuación:

- Evaluación y actualización geológica de la información del área de estudio mediante la combinación de la observación directa, la toma de datos de campo y la determinación de las características litológicas.
- Ubicación y clasificación cartográfica de los pozos existentes, de acuerdo a su uso, en acueductos rurales, y/o pozos de riego.
- Selección de los pozos representativos del área de estudio para hacer pruebas de recuperación.

Se ubicó cartográficamente e inventarió un total de 35 pozos; información que fue integrada con la obtenida en la fase previa de la siguiente manera:

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:

- Datos de los estratos del corte geológico
- Datos de las pruebas de recuperación

Del inventario realizado inicialmente se seleccionaron 2 pozos de recuperación distribuidos en la zona. Para efectuar cada una de estas pruebas se cumplió el siguiente procedimiento:

- Se tomaron niveles dinámicos hasta alcanzar el nivel estático medido inicialmente luego del cese del bombeo después que el pozo se mantuviera bombeando por cierta cantidad de tiempo, obteniendo valores de recuperación por cada intervalo de tiempo medido.
- Se hizo la medición de los niveles estáticos y dinámicos en cada uno de los pozos utilizando una sonda de 50 m de longitud, para lo cual fue necesario tener el pozo de bombeo encendido 24 horas antes de realizar cada prueba.
- Se dio inicio a la prueba de recuperación con el apagado de la bomba durante un período de 60 minutos continuos.

- Durante este tiempo se tomaron mediciones del nivel estático en intervalos de uno, tres, cinco, siete, diez, quince, veinte, treinta, cuarenta, cincuenta y sesenta minutos, utilizando la sonda de 50 m 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 Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

6.1.3.- Fase post – campo

Esta fase involucró los siguientes aspectos:

- Fue evaluada la capacidad instalada para explotar las aguas subterráneas, utilizando los datos suministrados por el inventario de pozos y la información recabada por trabajos anteriores realizados en la zona, lo cual sirvió para la interpretación de los parámetros hidráulicos.
- Se realizó un perfil estratigráfico basado en las descripciones litológicas de las perforaciones previamente ejecutadas en la zona con el fin de observar las variaciones de los espesores y realizar un modelo hidrogeológico conceptual.
- Fueron calculadas las reservas probables del acuífero, así mismo se interpretaron tanto las pruebas de recuperación como el modelo hidrogeológico conceptual.

- Fueron elaborados mapas de ubicación de pozos, basado en el inventario realizado; igualmente se construyó el mapa de transmisibilidad en base a pruebas de recuperación, mapas piezométricos, mapa de conductividad, mapa topográfico, mapa de paisaje y mapa geomorfológico.
- Se realizó los cálculos correspondientes para calcular las reservas probables del acuífero.
- Fue elaborado el modelo hidrogeológico conceptual del acuífero.

Se elaboraron ocho (8) mapas con la siguiente información: un (1) mapa topográfico y de ubicación de pozos basado en el inventario realizado; dos (2) mapas geomorfológicos, uno de paisajes y otro de unidades, elaborados con el análisis de las imágenes de teledetección SPOT procesadas usando el Software Erdas Imagine 8.0 y usando la herramienta de Google Heart; un (1) mapa de transmisibilidad en base a las dos pruebas de recuperación realizadas en campo y 3 valores de transmisibilidad obtenidos teóricamente; dos (2) mapas piezométricos, uno del año 2010 obtenido con los datos de los niveles estáticos tomados en campo y otro del año 1986 con datos suministrados por la Dirección Estatal de Aragua; un (1) mapa de conductividad con base en los valores obtenidos con las mediciones realizadas con el conductivímetro; y finalmente un (1) mapa hidrogeológico a escala 1:25.000 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.

Se realizó la interpretación de las pruebas de recuperación mediante la utilización del software Acuífer Test v.3.0, el cual permitió aplicar el método de Theis modificado por Jacob, para determinar los parámetros hidráulicos del acuífero (transmisibilidad); el coeficiente de almacenamiento fue calculado mediante el cuadro de valores estimados del coeficiente de almacenamiento propuesto por Iglesias y

Villanueva (1998), seguidamente permitió inferir el tipo de acuífero presente (semi-confinado y libre).

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.

Se realizó el cálculo del balance hídrico por el sistema de clasificación climática de *Thornthwaite*, con base en la información de las estaciones hidrometeorológicas ubicadas en el Cortijo y Santa Cruz estado Aragua, suministrada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH), 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. 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.

El modelo hidrogeológico conceptual de la zona, se realizó a partir de un mapa base a escala 1:25.000 usando los software Golden Surfer 8.0 y Arcgis 9.3; además se elaboró el corte geológico A-A' utilizando los software Autocad 2008 y Arcgis 9.3.

CAPÍTULO VII

7.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

7.1.- Generalidades

La cuenca de la Laguna de Taiguaiguay está ubicada dentro de la Provincia Andina, específicamente en la Subprovincia Sistema Orogénico Central (Figura 7.1). Esta región posee características similares, en cuanto a las condiciones de ocurrencia de las aguas subterráneas, donde se destacan la conformación geológica y las características fisiográficas (Duran y Lobo, 2004).

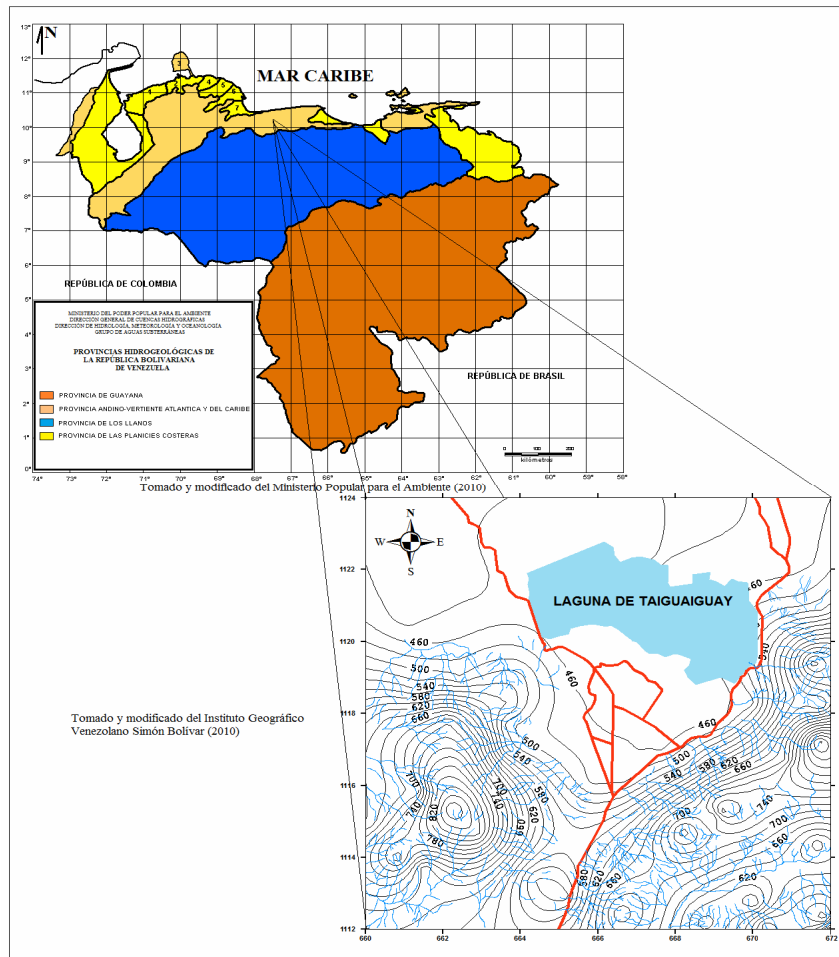
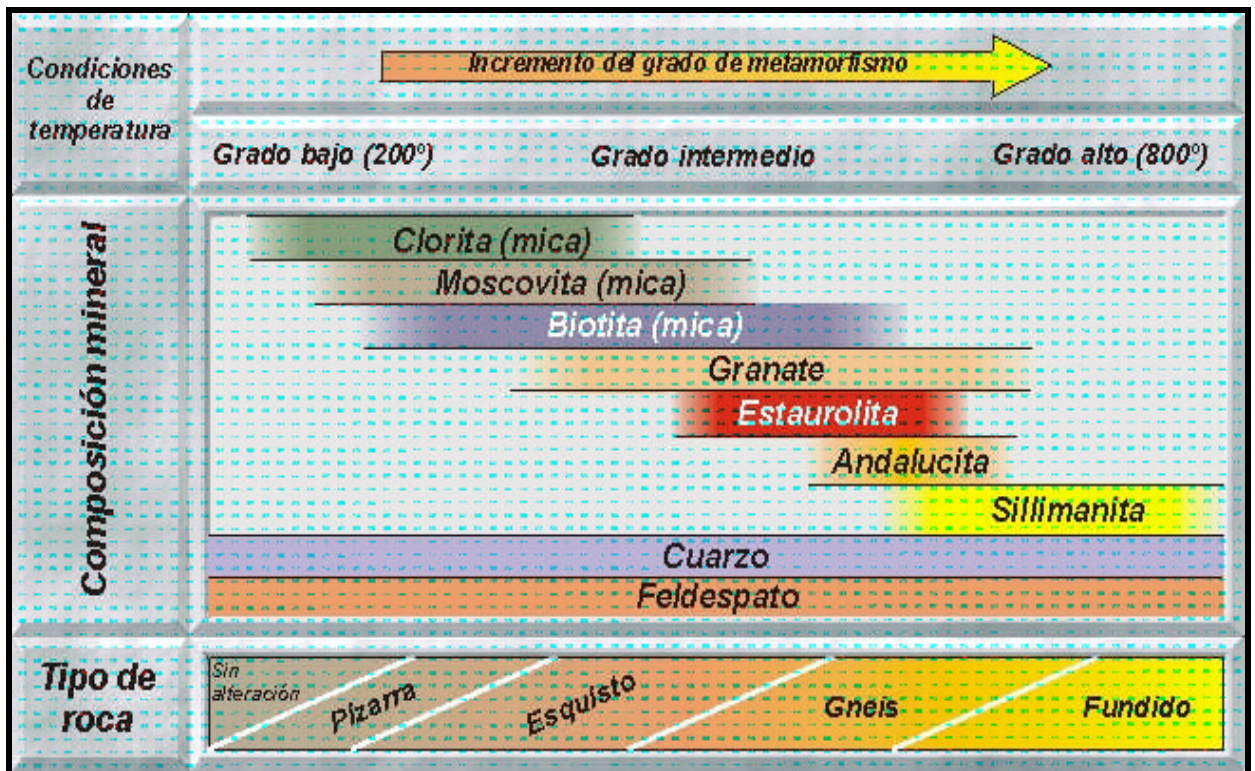


Figura 7.1. Provincias hidrogeológicas de Venezuela.

7.2 Evaluación y actualización geológica del área de estudio

Las unidades litodémicas presentes en la zona fueron observadas, a excepción de la Metalava de Los Naranjos. Las mismas fueron descritas de acuerdo a su mineralogía, grado de meteorización (Cuadro 5.2), grado de metamorfismo (Cuadro 7.1), color fresco y color meteorizado. En este sentido, el cuadro 5.2 presenta la escala de meteorización de las rocas detríticas, en donde los grados de meteorización van desde el grado I con una roca sana, hasta el grado V donde se tiene una roca completamente meteorizada, este cuadro se basa en varios criterios de reconocimiento, como: grado de oxidación, cambios de color, resistencia de la roca, entre otros, mientras que el cuadro 7.1 nos muestra el incremento del grado de metamorfismo a mayores temperaturas y el tipo de roca que se genera.

Cuadro 7.1.-Grados de metamorfismo (Masson, 1985).



A continuación son descritas las unidades litodémicas observadas en campo, a saber: Filita de Tucutunemo, Filita de Paracotos, Complejo El Tinaco.

7.2.1.- Filita de Tucutunemo

Esta unidad fue observada en dos afloramientos localizados en la población de Mucura II; el primero de coordenadas U.T.M 1.115.932N y 666.674E con una altura de 480 m, representa una meta arenisca de color fresco gris y color meteorizado marrón claro con presencia de goethita (figura 7.2 y 7.3), presentando un metamorfismo intermedio (cuadro 7.1) donde los minerales fueron identificados a simple vista y con un grado de meteorización II (Cuadro 5.2).



Figura 7.2. Meta arenisca. Ubicación: Mucura II, Unidad Filita de Tucutunemo.

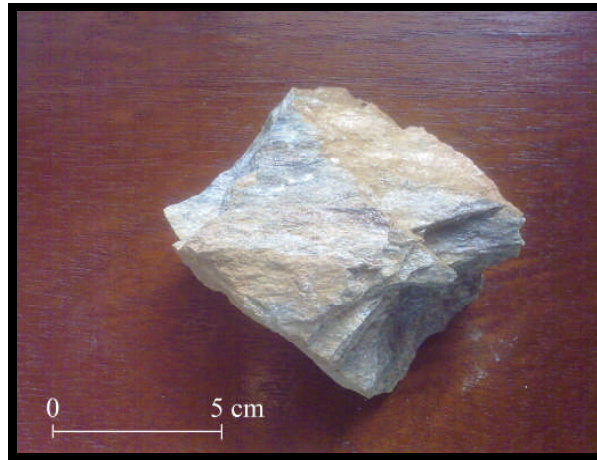


Figura 7.3. Meta arenisca. Ubicación: Mucura II , Unidad Filita de Tucutunemo.

El segundo afloramiento tiene coordenadas U.T.M 1.116.686N y 667.634E con una altura de 469 m, representa una filita de color fresco gris y color meteorizado de marrón oscuro a negro, presenta moscovita, goethita y cuarzo (Figura 7.4 y 7.5); así mismo se observó que posee un metamorfismo intermedio (cuadro 7.1) y un grado de meteorización III (Cuadro 5.2).



Figura 7.4. Filita. Ubicación: Mucura II, Unidad Filita de Tucutunemo.



Figura 7.5.- Filita. Ubicación: Mucura II, Unidad Filita de Tucutunemo.

7.2.2.- Filita de Paracotos

La Filita de Paracotos aflora en Mucura II con coordenadas U.T.M 1.118.961N y 669.747E con una altura de 463 m. Este afloramiento representa una meta arenisca de color fresco gris oscuro y color meteorizado marrón y gris claro, con presencia de vetas de cuarzo (Figura 7.6 y 7.7); además presenta un metamorfismo intermedio (cuadro 7.1) y un grado de meteorización III (Cuadro 5.2).

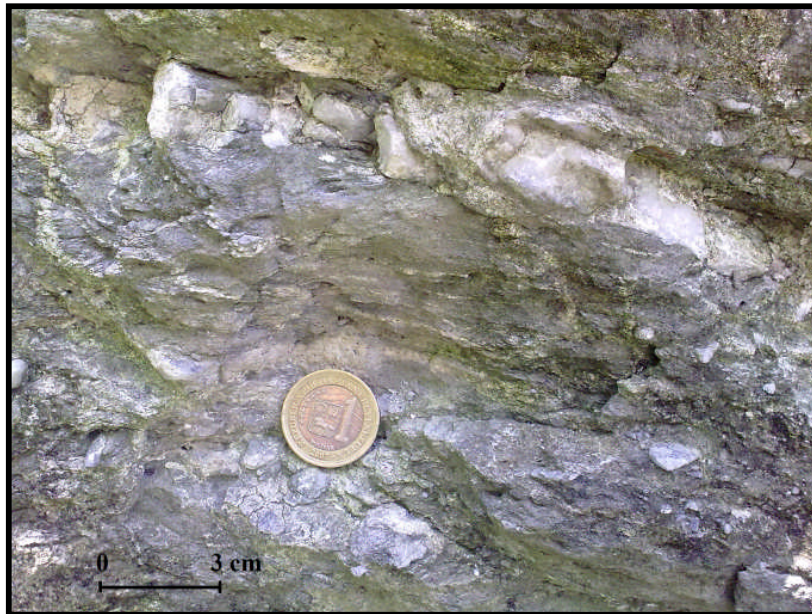


Figura 7.6.- Meta arenisca. Ubicación: Mucura II, Unidad Filita de Tucutunemo.

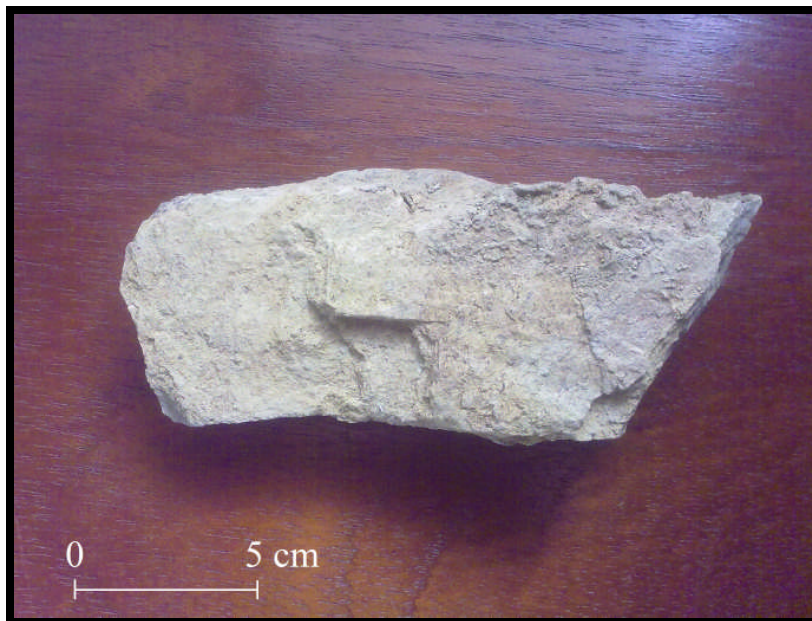


Figura 7.7.- Meta arenisca. Ubicación: Mucura II, Unidad Filita de Tucutunemo.

7.2.3- Complejo El Tinaco

El Complejo El Tinaco se identificó en un afloramiento localizado en la población de Mucura I de coordenada U.T.M 1.121.247 N y 664.195 E, con una altura de 525 m. Representa un esquistó clorítico de color fresco gris verdoso y color meteorizado de gris claro a marrón, presencia de clorita lo que le da su coloración verdosa, presenta un metamorfismo de grado intermedio (cuadro 7.1), asimismo presenta grado de meteorización I (Cuadro 5.2).



Figura 7.8.- Esquistó Clorítico. Ubicación: Mucura I, Unidad Complejo El Tinaco.



Figura 7.9.- Muestra de mano. Esquistó Clorítico. Ubicación: Mucura I, Unidad Complejo El Tinaco.

7.2.4.- Estructuras

La Cordillera de la Costa, presenta un rumbo aproximado N80°E. La depresión topográfica correspondiente a la Laguna de Taiguaiguay, es probablemente consecuencia de un sistema de fallas longitudinales, la mayor de las cuales es la falla de La Victoria (Figura 2.2)

En su evolución tectónica, relacionada muy probablemente con el empuje de la placa tectónica del Caribe hacia el sureste, el Sistema Montañoso del Caribe desarrolló profundas geofracturas y una amplia actividad volcánica seguida de levantamiento, desarrollo de fallamiento normal, inverso y transcurrente, culminando en el Eoceno Superior-Oligoceno con la orogénesis andina (Molina, 2006).

Una serie de bloques aparentemente escalonados orientados en dirección este-oeste, están delimitados por fallas profundas; a saber: en la parte norte se tiene la zona de falla de la Victoria y al sur las Fallas de Santa Rosa y Agua Fría; aunque ésta última parece ser un sobrecorrimiento de buzamiento casi horizontal, puesto que la Faja Volcánica de Villa de Cura estaría descansando como un bloque casi horizontal, discordante sobre la Formación Paracotos y la falla de Guárico, uno de los accidentes de tipo transcurrente más importantes de la cuenca. Atraviesa el sureste, desde Villa de Cura hasta San Francisco de Asís, prolongándose muy probablemente hacia el Lago de Valencia, por debajo del cual posiblemente continúa (Molina, 2006).

Los bloques delimitados por las fallas longitudinales citadas, las cuales en gran parte parecen ser sobrecorrimientos, están cortados por fallas transcurrentes de dirección noroeste-sureste de edad más reciente, reflejando el sentido del empuje de la placa tectónica del Caribe (Molina, 2006).

7.2.5.-Relación clima-meteorización

Las características climáticas presentes en la laguna de Taiguaiguay, según los datos proporcionados por las estaciones climatológicas El Cortijo y Santa Cruz Edafológica, indican que esta área posee una precipitación máxima de 160 mm (16 cm) y una temperatura máxima de 27°C; las características climáticas de la zona son un factor importante para determinar el grado de meteorización de las rocas; sin embargo, las unidades presentes dentro de nuestra área presentan un grado de meteorización III (Cuadro 7.2), mas el grado de fracturamiento presente en ellas contribuyen a que el agua penetre, constituyéndose en una importante zona de recarga de los acuíferos de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay.

Dentro de la zona de estudio se realizó un inventario de 35 pozos, distribuidos en 9 sectores: Tamborón, Turagua, Castillito, El Mahomo, La Majada, Casa Blanca, Mucura I, Mucura II y Santa María (Figura 7.10). Sólo 31 de ellos se encuentran activos (Figura 7.11), cuyo uso está distribuido en las actividades agrícolas con un 72 %, doméstico con un 24 % y el restante 4 % está asociado al uso comercial (Figura 7.12).

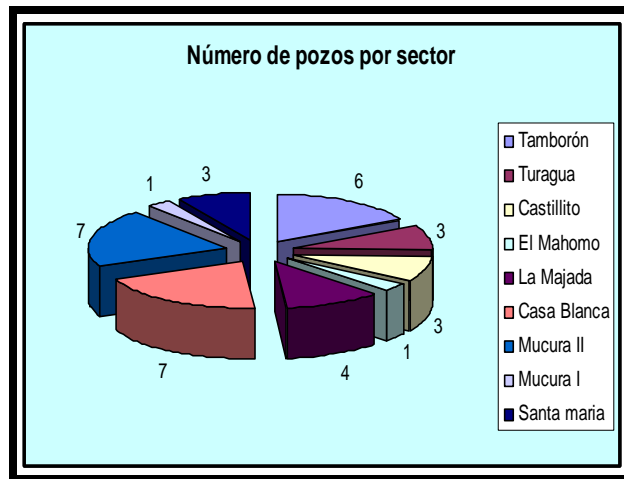


Figura 7.10.- Distribución de pozos por sector.



Figura 7.11.- Estado actual de los pozos.



Figura 7.12.- Uso de los pozos.

La descripción hidrogeológica de la cuenca de la laguna de Taiguaiguay, fue realizada atendiendo a los valores obtenidos a través de inventario de pozos, corte geológico, prueba de recuperación, datos climatológicos, cálculo de reservas y un modelo conceptual que proporciona una representación en 2 y 3 dimensiones de las condiciones estáticas de sistemas hidrogeológicos.

7.3.- Parámetros hidráulicos

Un acuífero posee tres propiedades hidráulicas importantes como lo son: transmisibilidad, permeabilidad y coeficiente de almacenamiento. Los parámetros transmisibilidad y permeabilidad fueron calculados a partir de pruebas de recuperación a caudal constante, utilizando el método de Theis modificado por Jacob (1935); cabe destacar que con este método para la prueba de recuperación no es posible calcular el coeficiente de almacenamiento, por tal motivo se estimó dicho parámetro a partir del cuadro 7.2, mediante datos litológicos del área e inferencia del tipo de acuífero presente. Es importante mencionar que no se logró realizar las pruebas de bombeo dentro del área de estudio como se había propuesto, debido a la falta de pozos de observación y a las condiciones climáticas actuales en la región.

Cuadro 7.2.- Valores estimados para el coeficiente de almacenamiento, (Villanueva e Iglesias, 1998)

Tipo de material permeable	Forma del funcionamiento del acuífero	Valor de S (medio)
Kárstico, caliza y dolomías jurásica	Libre	2×10^{-2}
	Semiconfinado	5×10^{-4}
	Confinado	5×10^{-5}
Calizas y dolomías cretácitas y terciarias	Libre	$2 \times 10^{-2} / 6 \times 10^{-2}$
	Semiconfinado	$10^{-3} / 5 \times 10^{-4}$
	Confinado	$10^{-4} / 5 \times 10^{-5}$
Poroso intergranular: gravas y arenas	Libre	$5 \times 10^{-2} / 15 \times 10^{-2}$
	Semiconfinado	10^{-3}
	Confinado	10^{-4}
Kársticos y porosos: Calcarentas marinas terciarias	Libre	$15 \times 10^{-2} / 18 \times 10^{-2}$

Las pruebas de recuperación se realizaron en dos pozos, cuya ubicación dentro del área de estudio, es mostrada en el cuadro 7.3

Cuadro 7.3.- Ubicación de los pozos con recuperación.

Pozo de Recuperación	Ubicación
P-SM35	Agronomía U.C.V
P-MII29	Mucura II

7.3.1.- Prueba de recuperación

Para la realización de esta prueba se tomaron niveles dinámicos hasta alcanzar el nivel estático medido inicialmente, luego del cese del bombeo después que el pozo se mantuviera encendido por cierta cantidad de tiempo, obteniendo valores de recuperación por cada intervalo de tiempo medido. En la figura 7.13, se muestra el proceso de medición de los niveles dinámicos durante la prueba de recuperación.



Figura 7.13.- Prueba de recuperación.

Los cuadros 7.18 y 7.19, muestran los valores de niveles dinámicos obtenidos durante la prueba de recuperación para cada pozo. Con estos datos obtenidos se utilizó el software Acuífer Test v.3.0 para calcular los siguientes parámetros; a saber: transmisibilidad, permeabilidad y coeficiente de almacenamiento.

7.3.2.- Transmisibilidad

La construcción del mapa de transmisibilidad, se llevó a cabo tomando los datos obtenidos de las dos pruebas de recuperación; así como también de los valores de tres pozos adicionales, calculados al sumar los valores del coeficiente de conductividad hidráulica de cada estrato por su espesor, para cada perfil litológico de los tres pozos. Finalmente, los cinco datos fueron cargados en el software Arcgis 9.3 para realizar la interpolación y con ello obtener el mapa de transmisibilidad (Figura 7.20). En el cuadro 7.4 se muestran los valores de transmisibilidad obtenidos para la zona de estudio.

Cuadro 7.4- Valores de transmisibilidad.

Pozo	Transmisibilidad (m ³ /día/m)	Fuente
P-SM35	914	Propia (2010)
P-MII29	80	Propia (2010)
P-Tu8	1.201,32	Ministerio del Ambiente (1986)
P-Tu9	1.201,35	Ministerio del Ambiente (1986)
P-EM13	1.102,43	Ministerio del Ambiente (1986)

Para el primer pozo P-SM35 se obtuvieron los datos de recuperación mostrados en el cuadro 7.5. Esta prueba se realizó con un caudal de bombeo $Q_b=12,00$ l/s, nivel estático = 28,70 m, nivel final de bombeo = 28,74 m.

Cuadro 7.5.- Datos obtenidos en la prueba de recuperación 1, en el pozo P-SM35.

Tiempo al inicio de la prueba t (min)	Tiempo desde que se detuvo el bombeo t'(min)	t / t'	Nivel Dinámico (m)	Descenso Residual (m)	Recuperación (m)
258	1	258,00	29,03	0,33	1,07
260	3	86,67	28,88	0,18	1,22
262	5	52,40	28,83	0,13	1,27
264	7	37,71	28,80	0,10	1,30
267	10	26,70	28,78	0,08	1,32
272	15	18,13	28,76	0,06	1,34
277	20	13,85	28,76	0,06	1,34
287	30	9,57	28,75	0,05	1,35
297	40	7,43	28,74	0,04	1,36
307	50	6,14	28,74	0,04	1,36
317	60	5,28	28,74	0,04	1,36

Por su parte, para el segundo pozo P-EM13 se obtuvieron los datos de recuperación mostrados en el cuadro 7.6. Esta prueba se realizó con un caudal de bombeo $Q_b=12,00$ l/s, nivel estático = 33,60 m, nivel final de bombeo = 33,36 m.

Cuadro 7.6.- Datos obtenidos en la prueba de recuperación 2, en el pozo P-MII29.

Tiempo al inicio de la prueba t (min)	Tiempo desde que se detuvo el bombeo t'(min)	t / t'	Nivel	Descenso	Recuperación (m)
			Dinámico (m)	Residual (m)	
340	1	340,00	37,50	3,90	2,50
342	3	114,00	35,95	2,35	4,05
344	5	68,80	35,30	1,70	4,70
346	7	49,43	34,96	1,36	5,04
349	10	34,90	34,63	1,03	5,37
354	15	23,60	34,30	0,70	5,70
359	20	17,95	34,08	0,48	5,92
369	30	12,30	33,78	0,18	6,22
379	40	9,48	33,62	0,02	6,38
389	50	7,78	33,50	-0,10	6,50
399	60	6,65	33,40	-0,20	6,60
419	80	5,24	33,36	-0,24	6,64
439	100	4,39	33,36	-0,24	6,64

El mapa de transmisibilidad (Figura 7.14), muestra los valores en un intervalo de 100 hasta 1.300 m³/día/m, ubicándose los valores más altos hacia el NO representados por los sectores del Asentamiento Agrícola El Mahomo y El Asentamiento Agrícola El Castillo. Al NE con valores intermedios, se tiene el sector

de Cagua; y los valores mínimos se ubican al sur en los sectores de Mucura II y Casa Blanca.

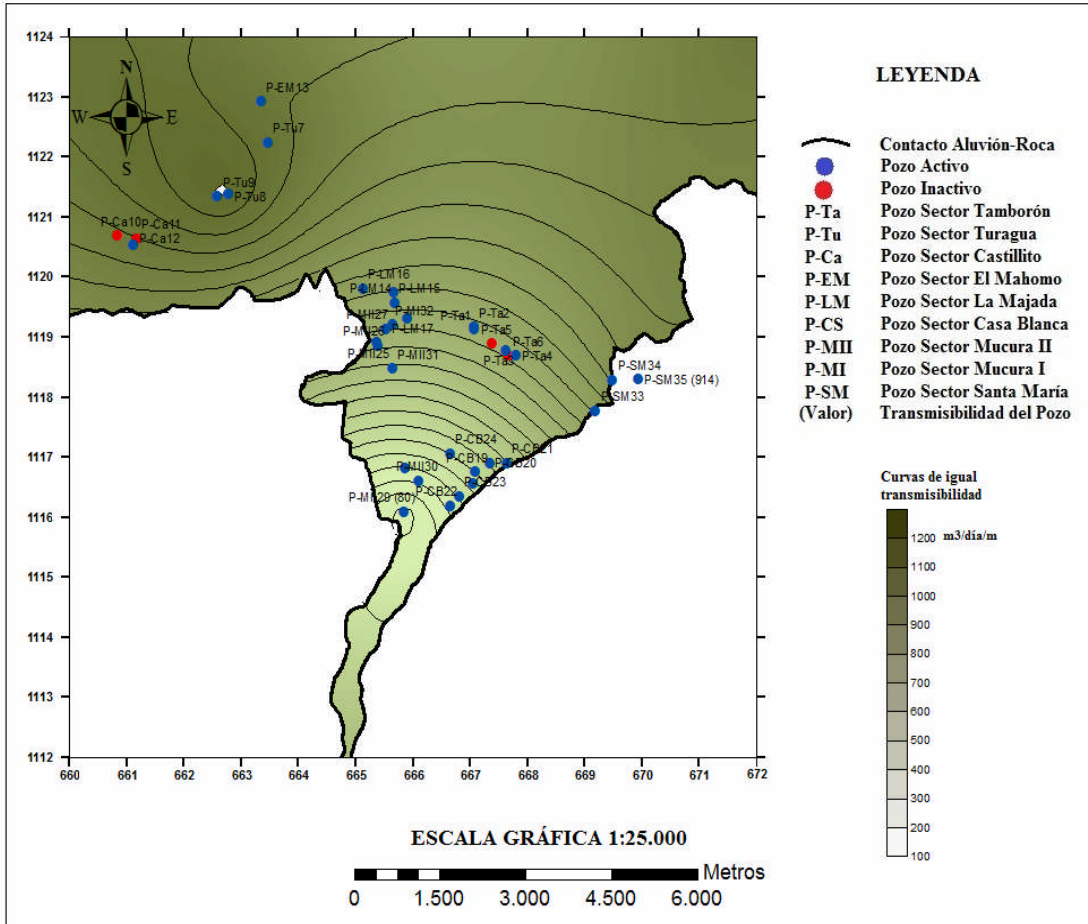


Figura 7.14.- Mapa de transmisibilidad.

Estos valores de transmisibilidad registrados tienen relación con el corte geológico de la zona, debido a que al NO donde los valores de transmisibilidad son muy altos, se hallaron potentes capas de sedimentos muy permeables, que corresponden a capas de areniscas granodecrecientes de base a tope; mientras que al NE donde se observa una disminución de la transmisibilidad se presentan sedimentos más finos e impermeables de tamaño de grano de arcillas.

De acuerdo a los valores obtenidos, en la mayoría de los pozos se observa una óptima producción por lo cual son utilizados principalmente para uso agrícola e industrial, con valores desde los 80,00 m³/día/m, hasta los 1.201,35 m³/día/m. Según THEIS (1935), las formaciones con transmisibilidades menores que 12,40 m³/día/m son útiles sólo para pozos de uso doméstico; mientras que, transmisibilidades superiores a 124,00 m³/día/m son consideradas valiosas para cualquier pozo industrial, municipal o de riego.

7.3.3.- Permeabilidad

La permeabilidad así como el parámetro hidráulico anterior, fueron obtenidos para cada pozo de recuperación; esos valores se muestran en el cuadro 7.7

Cuadro 7.7.-Valores de permeabilidad.

Pozo	Transmisibilidad m ³ /día/m	Espesor (m)	Permeabilidad m/día
P-SM35	914	50	42,9
P-MII29	80	70	2,18

El cuadro 7.21 indica que el pozo P-SM35 tiene un valor de permeabilidad más alto que el pozo P-MII29; por lo tanto, el pozo P-SM35 está conformado por sedimentos de tamaño de granos arenas y gravas que son muy permeables. La figura 7.15 muestra el decrecimiento del nivel dinámico en función del tiempo de bombeo para la prueba 1, recuperándose un 99,86 % del nivel total abatido por la bomba.

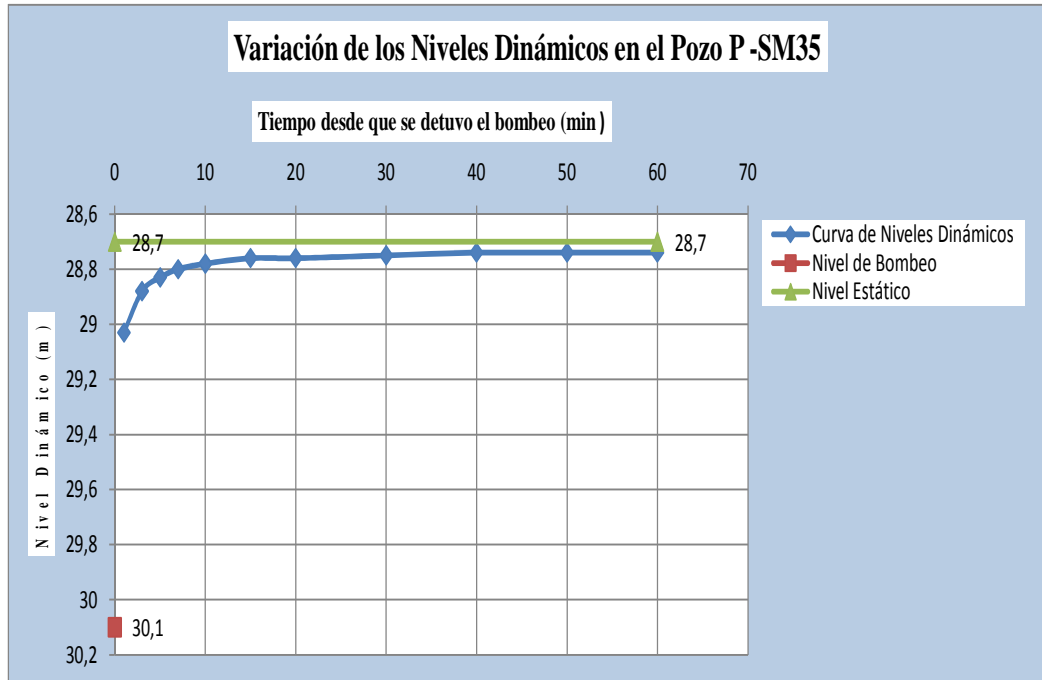


Figura 7.15.- Variación de los niveles dinámicos en la prueba de recuperación 1, en el pozo P-SM35

Por su parte, la figura 7.16 muestra el decrecimiento del nivel dinámico en función del tiempo de bombeo para la prueba 2, recuperándose más del 100% del nivel total abatido por la bomba, debido a que el valor inicial del nivel estático tomado inicialmente fue diferente al nivel estático obtenido 15 días luego cuando se realizó la prueba de recuperación 2; lo que permite inferir que esa variación se debió al aporte de las lluvias en la zona y por tanto, se está en presencia de un acuífero libre.

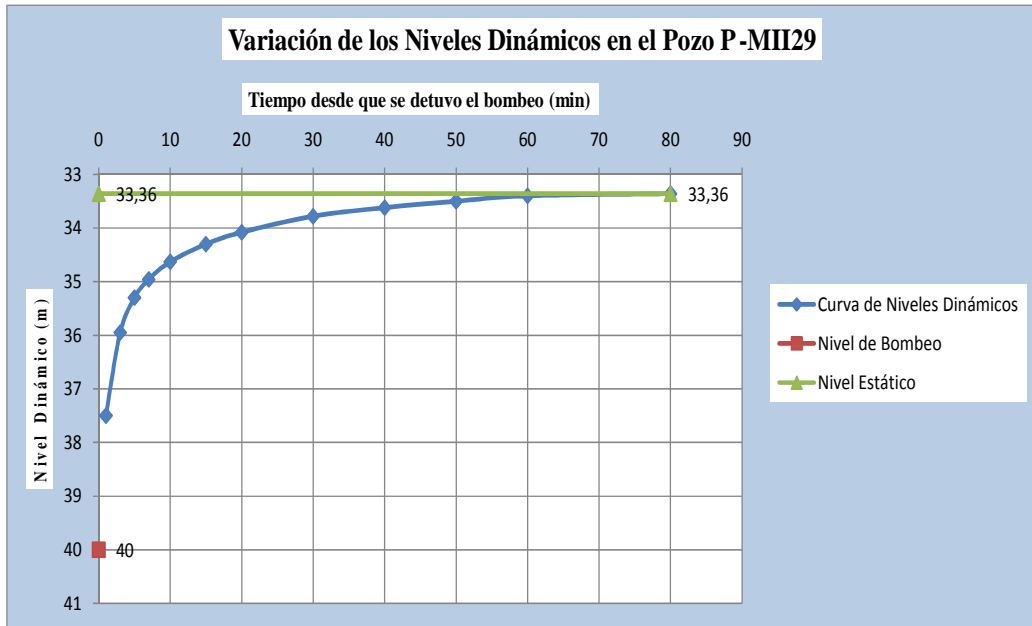


Figura 7.16.- Variación de los niveles dinámicos en la prueba de recuperación 2, en el pozo P-MII29

Para las pruebas de recuperación, las rectas de mejor ajuste deben pasar teóricamente por $s_r = 0$, para $t/t' = 1$; es decir por el origen. En realidad no siempre es así, pero cuando ocurre de esta manera, se dice que las condiciones del acuífero son las ideales. En el caso de las pruebas de recuperación realizadas en los pozos P-SM35 y P-SM35 cuando el descenso residual es cero, la recta pasa por un punto mayor que 1, lo que se atribuye a que el acuífero recibió recarga durante el bombeo y recupera su nivel de equilibrio en un corto tiempo, esto es antes de que $(t/t') = 1$. A continuación se muestran las rectas de mejor ajuste para la prueba de recuperación 1 (Figura 7.17) y la prueba de recuperación 2 (Figura 7.18).

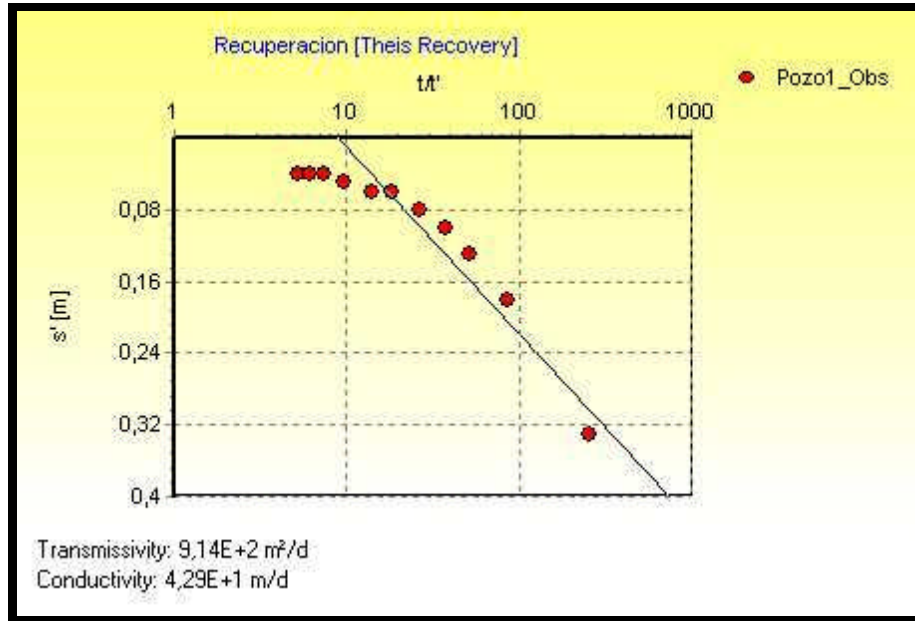


Figura 7.17.- Recta de mejor ajuste para el pozo P-SM35.

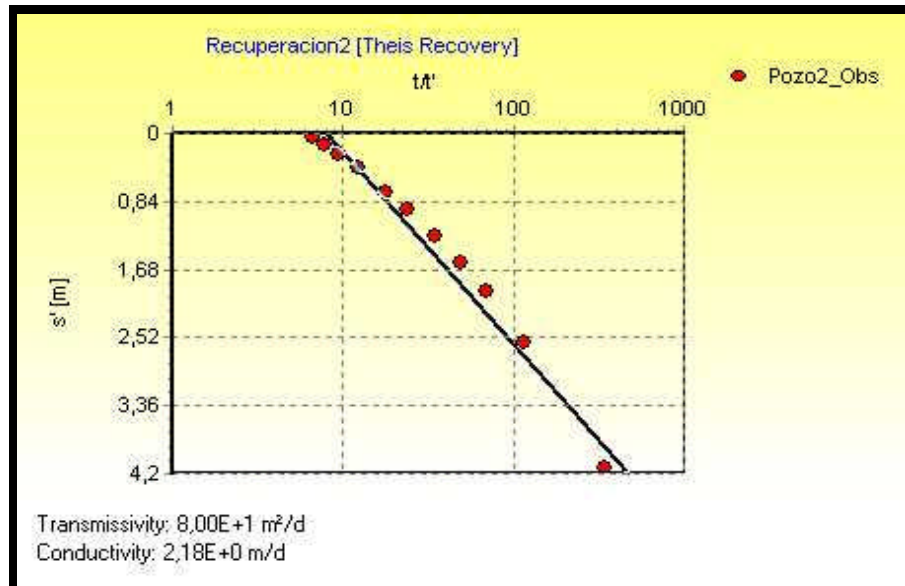


Figura 7.18.- Recta de mejor ajuste para el pozo P-MII29.

7.3.4.- Coeficiente de almacenamiento

El coeficiente de almacenamiento se calcula mediante pruebas de bombeo, pero debido a que las condiciones no eran aptas para realizar dicha prueba, se calcularon los parámetros hidráulicos mediante las pruebas de recuperación, exceptuando el coeficiente de almacenamiento que fue estimado.

Los resultados obtenidos en el pozo P-SM35 permiten inferir que se está en presencia de un acuífero libre hacia esta zona, ya que el pozo recupera su nivel de equilibrio en corto tiempo. El coeficiente de almacenamiento se encuentra entre los valores 5×10^{-2} - 15×10^{-2} (Cuadro 7.8) por lo cual se infiere que es un tipo de material permeable, poroso intergranular como gravas y arenas (Cuadro 5.11).

Cuadro 7.8.-Valores de los coeficientes de almacenamiento.

Pozo	Coeficiente de Almacenamiento
P-SM35	5×10^{-2} / 15×10^{-2}
P-MII29	5×10^{-2} / 15×10^{-2}

7.4.- Superficie piezométrica

En la zona de la cuenca de la laguna de Taiguaguay, se tomaron los valores de niveles estáticos en 15 de los 35 pozos visitados, y dichas mediciones se realizaron durante el período lluvioso del mes de septiembre. En el cuadro 7.9, son presentados los datos de niveles piezométricos de los pozos.

Cuadro 7.9.- Niveles piezométricos.

Pozo	M.S.N.M.	Nivel Estático (m)	Nivel Piezométrico (m)
P-Ta2	447	0,31	446,69
P-Ta4	449	9,45	439,55
P-Ta6	449	9,50	439,50
P-Ca10	435	8,93	426,07
P-Ca11	438	8,51	429,49
P-Ca12	436	7,60	428,40
P-LM15	448	0,61	447,39
P-LM17	452	2,60	449,40
P-MII25	457	6,80	450,20
P-MII26	457	6,43	450,57
P-MII28	474	30,10	443,90
P-MII29	476	33,60	442,40
P-MII31	459	17,60	441,40
P-MI32	455	4,30	450,70
P-SM35	470	28,70	441,30

Estos datos recolectados en campo, se cargaron en el software Arcgis 9.3 para realizar la interpolación y construir el mapa piezométrico del año 2010 (Figura 7.19), para así definir la dirección de flujo del agua subterránea.

7.5.- Interpretación de la superficie piezométrica del año 2010

Las direcciones de flujo subterráneo fueron interpretadas a través del mapa piezométrico de la zona, analizando las curvas isopiezas y trazando líneas de flujo perpendiculares a las curvas. En ese sentido, se tiene que los niveles piezométricos actuales menos profundos se encuentran hacia el centro del mapa ubicados en los asentamientos agrícolas La Majada y MucuraII con valores de 450 m; mientras que los niveles más profundos se encuentran hacia el NO en las inmediaciones de la población de Castillito con valores de 420 m, mostrando una dirección general NO-SE del descenso de las isopiezas (Figura 7.19). Otra característica importante en cuanto al análisis e interpretación del mapa piezométrico del año 2010, es el espaciamiento entre las curvas; es decir, mientras que los niveles piezométricos descienden, el espaciamiento entre las curvas crece, por lo que el agua subterránea se desplaza hacia el NO.

La permeabilidad y el tipo de acuífero pueden ser interpretados mediante el mapa piezométrico con su correspondiente dirección de las líneas de flujo. En tal sentido, las líneas más estrechas que se observan hacia la zona central, indican una baja permeabilidad en los sectores de La Majada y Mucura II; mientras que el espaciamiento aumenta hacia el NO, NE y sur del área de estudio, lo que muestra que hacia estas zonas la permeabilidad es mayor. Esto coincide con la zona de altos topográficos, donde hay un mayor nivel de energía de depositación, apreciando que en esta área la granulometría del material poroso es más gruesa (arenas finas y gruesas) que permite una mayor permeabilidad. Con las características observadas, y partiendo de las altitudes de los niveles piezométricos, se puede inferir que el área presenta dos tipos de acuíferos; uno ubicado al S de la Laguna de Taiguaiguay en los sectores de Tamborón, La Majada, Mucura I, Mucura II Casa Blanca y Santa María, con altitudes piezométricas cercanas a la superficie, y otro ubicado al NO en los sectores de El Castillo y Turagua con mayores cotas piezométricas.

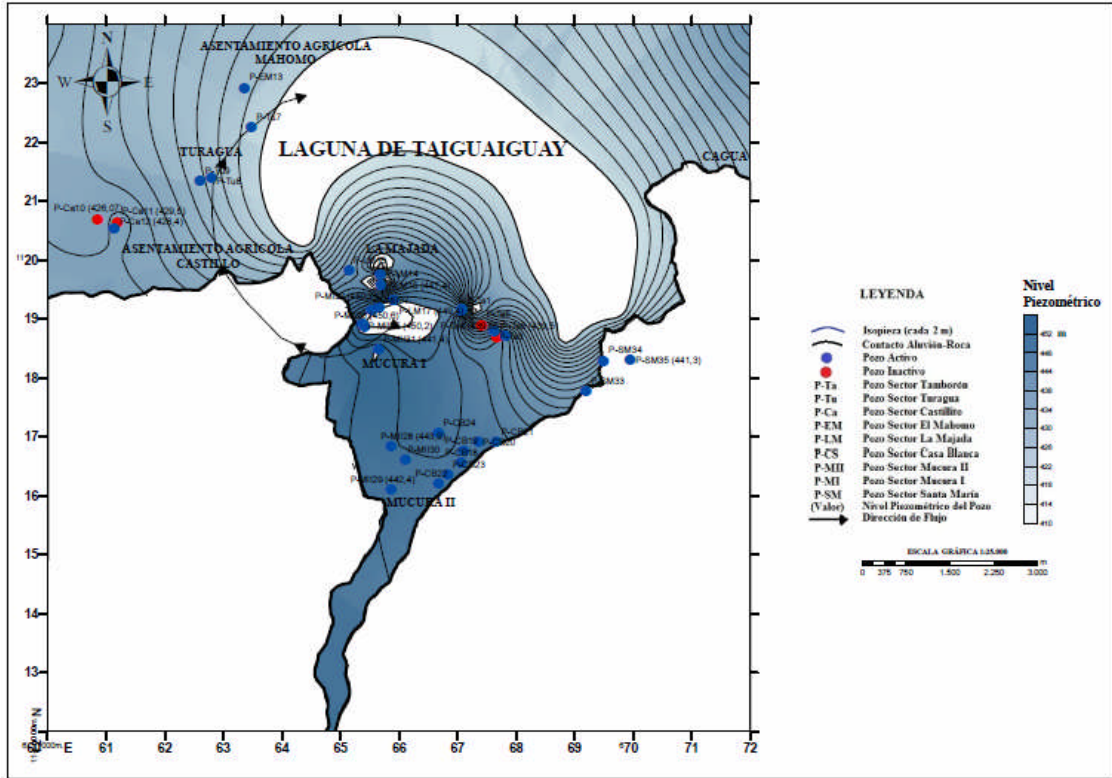


Figura 7.19.- Mapa piezométrico 2010.

El mapa piezométrico del año 2010, muestra una dirección del flujo de agua subterránea en la cuenca de la laguna de Taiguaiguay, desde la zona central en los sectores de La Majada y Mucura I hacia el NO en el sector de Turagua y El Mahomo. A continuación se realizó un segundo mapa piezométrico de la zona, pero interpolando datos del año 1986 suministrados por el Ministerio del Ambiente (Figura 7.20).

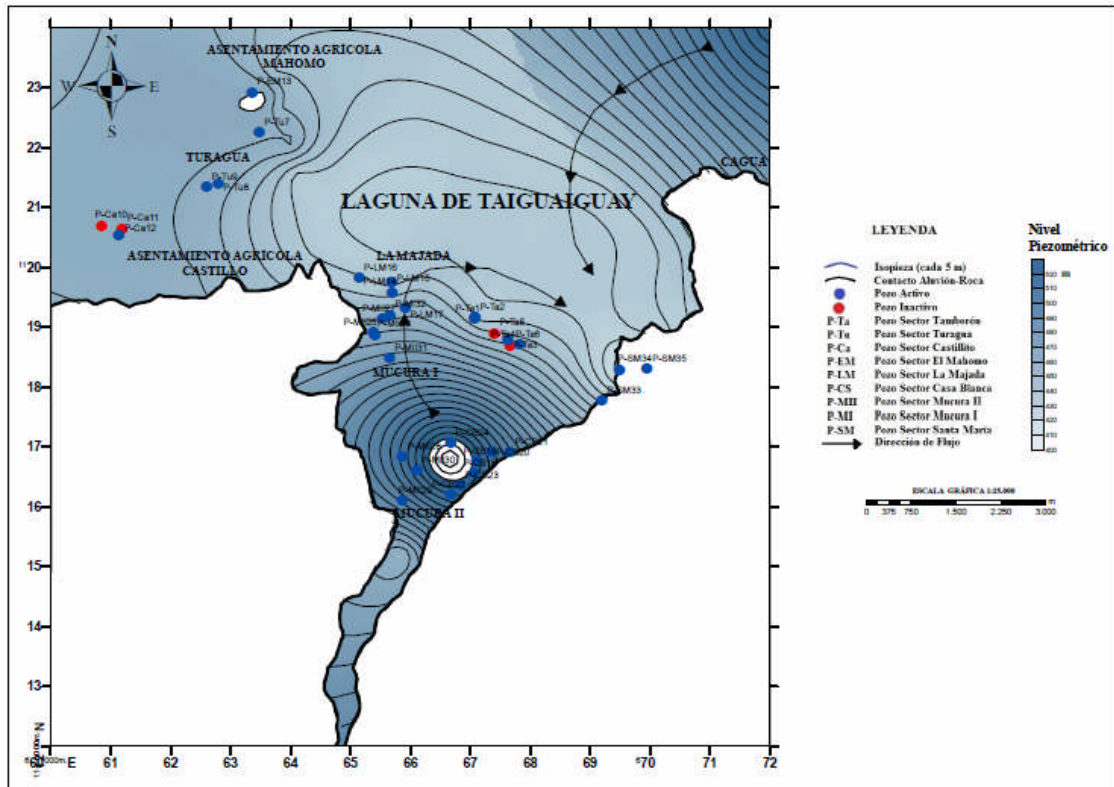


Figura 7.20.- Mapa piezométrico 1986.

El mapa piezométrico del año 1986, muestra dos direcciones de flujo generales del agua subterránea en la cuenca de la Laguna de Taiguaiquay, una desde la zona central en el sector de Mucura I y Mucura II hacia el NE en el sector de Santa María; y otra desde el NE en el sector de Cagua también hacia el sur en el sector de Santa María.

7.6.- Morfología de la superposición de las superficies piezométricas 2010 y 1986

Se realizaron dos mapas piezométricos de la zona, el primero con datos actuales obtenidos durante la etapa de campo (Figura 7.19) el segundo se realizó con datos del año 1986 suministrados por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (Figura 7.20), para observar la variación de los niveles piezométricos de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay en estos 24 años.

Al comparar los dos mapas piezométricos (Figura 7.21), se evidencia un cambio en la dirección del flujo del agua subterránea en la zona, ya que para el año 1986 la dirección del flujo era hacia el este en el sector de Santa María, mientras que en el presente año la dirección del flujo subterráneo es hacia el NO en los sectores de El Mahomo y Turagua; lo que es posible debido a la sobreexplotación del acuífero hacia el NO.

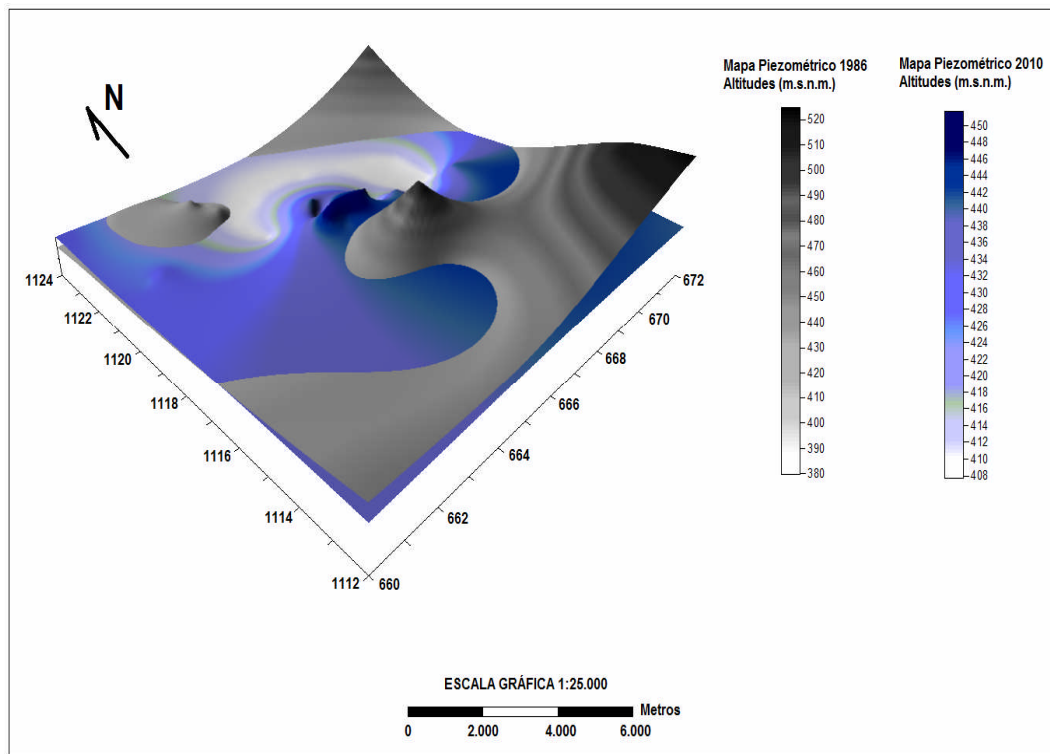


Figura 7.21.- Superposición de las superficies piezométricas del año 1986 y 2010.

Otro factor que muestra la superposición de los mapas, es que los niveles piezométricos del año 2010 aumentaron significativamente con respecto a los niveles del año 1986, en aproximadamente 50 m. Este aumento en la superficie piezométrica se atribuye al aporte del flujo subterráneo del lago de Valencia y que ha afectado a la región en los últimos años, forzando al Estado Nacional a construir el trasvase hacia el Valle de Tucutunemo.

7.7.- Balance hídrico

Para la determinación del balance hídrico se tomaron los datos mensuales de precipitación, insolación máxima absoluta y temperatura media, proporcionados por Sistema Nacional de Información Hidrológica y Meteorológica (SINAIHME), provenientes de dos estaciones climatológicas ubicadas en el estado Aragua, específicamente de: la estación (417) Santa Cruz Edafológica (10°10'00" N y 67°29'15" W, de altitud 444 m) y la estación (9350) El Cortijo (10°04'53" N y 67°25'05" W, de altitud 590 m) con un período de registro de 20 años (1971-1991). Cabe destacar que la estación El Cortijo posee datos incompletos en algunos años, por lo que se desenglobaron los datos usando el método de repartición proporcional con dos estaciones vecinas. En el cuadro 7.10 se muestra un ejemplo del método utilizado para el desenglobe de datos, específicamente el mes de Enero, en las estaciones de El Cortijo y Santa Cruz Edafológica para el año 1990.

Cuadro 7.10.- Estaciones 9350 y 417, año 1990.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1990	-	0.4	4.8	19.9	127.2	233.1	173.4	310.7	223.9	67.2	44.4	2
1990	0.6	0.4	0	5.9	138.5	185.0	150.9	144.9	202.1	135.8	87.2	11.8

Desenglobe (Ene)= $(0,6/(0,6+0,4))*0,4=0,24\text{mm}$

Entonces en el mes de Enero= 0,24mm

El balance hídrico de la zona se calculó mediante el programa Balance 1 realizado en Microsoft Excel (Sánchez, 2000), el cual calcula la Evapotranspiración Potencial (ETP), el coeficiente exponencial “a” mediante la clasificación climática de Thornthwaite (1948) y el balance hídrico mes a mes ingresando los valores de temperatura, horas teóricas de sol y precipitación para una capacidad máxima de almacenamiento de agua en el suelo de 100 mm. Los cuadros 7.11 y 7.12 muestran en azul los datos ingresados y en negro los valores calculados por el programa, para el cálculo del balance hídrico en las estaciones El Cortijo y Santa Cruz Edafológica, respectivamente.

Cuadro 7.11.- Balance hídrico estación El Cortijo.

														Reserva máx:	100
		Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Total	
temp		26,7	25,6	25,3	24,1	24	24,9	25,3	24,7	24,3	24,9	25,6	25,8		
i		12,63	11,85	11,64	10,82	10,75	11,37	11,64	11,23	10,95	11,37	11,85	11,99	138,10	a= 3,2746
ETP sin corr		138,6	120,7	116,2	99,1	97,7	110,3	116,2	107,4	101,8	110,3	120,7	123,9		
nºdías mes		30	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31		
nº horas luz		11,8	11,8	11,4	11,8	11,5	11,4	11,4	10,9	11	11	11,3	11,3		
ETP corr.		136,3	122,7	110,4	100,7	96,8	104,7	114,0	97,5	96,4	104,4	106,1	120,5	1310,6	
P		54,543	109,8	133	126	146	147	122	45,5	16,2	2,49	3,17	11	915,6	
ETR		54,5	109,8	110,4	100,7	96,8	104,7	114,0	97,5	64,2	2,5	3,2	11,0	869,3	
Déficit		81,7	12,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,3	101,9	102,9	109,6	441,3	
Reserva	0	0,0	0,0	22,8	47,7	96,4	100,0	100,0	48,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Excedentes		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,3	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,4	

Aplicando el sistema de clasificación Thornthwaite 1948 se obtuvo que la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay presenta un clima Subhúmedo a Seco con poco o ningún exceso de agua en el suelo, de temperatura megatérmico o cálido. La zona de estudio presenta un déficit de noviembre hasta mayo consecuencia del agotamiento del agua almacenada en el subsuelo, luego tenemos que desde mayo hasta octubre es la época de almacenamiento y desde octubre hasta enero la utilización de la reserva del suelo.

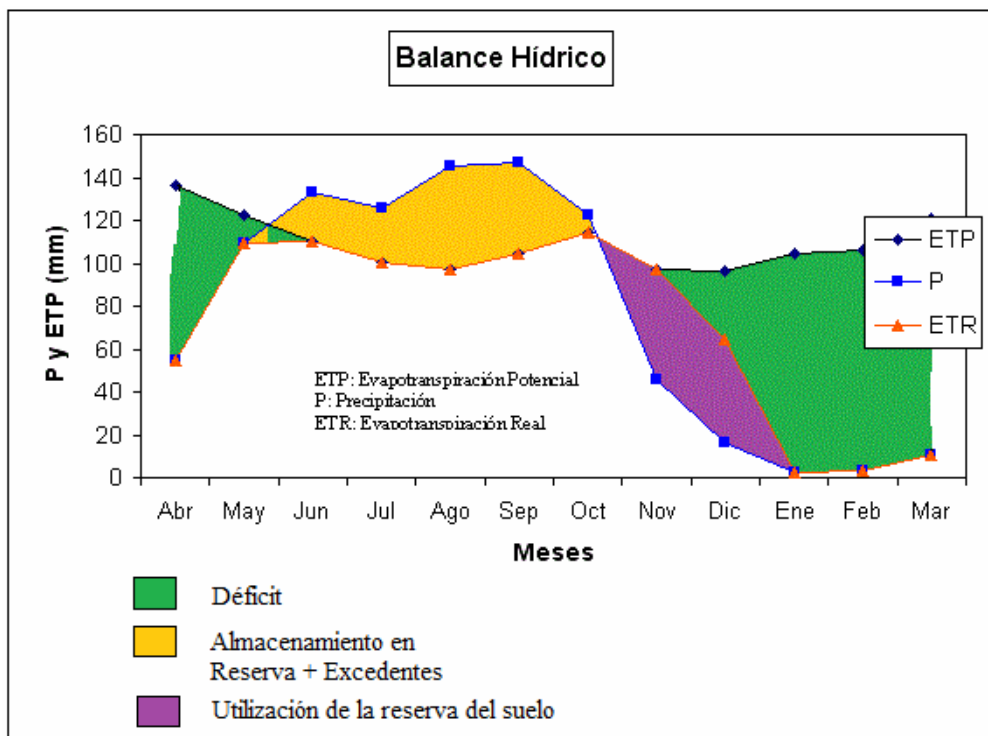


Figura 7.22. Variación mensual de precipitación y evapotranspiración estación El Cortijo.

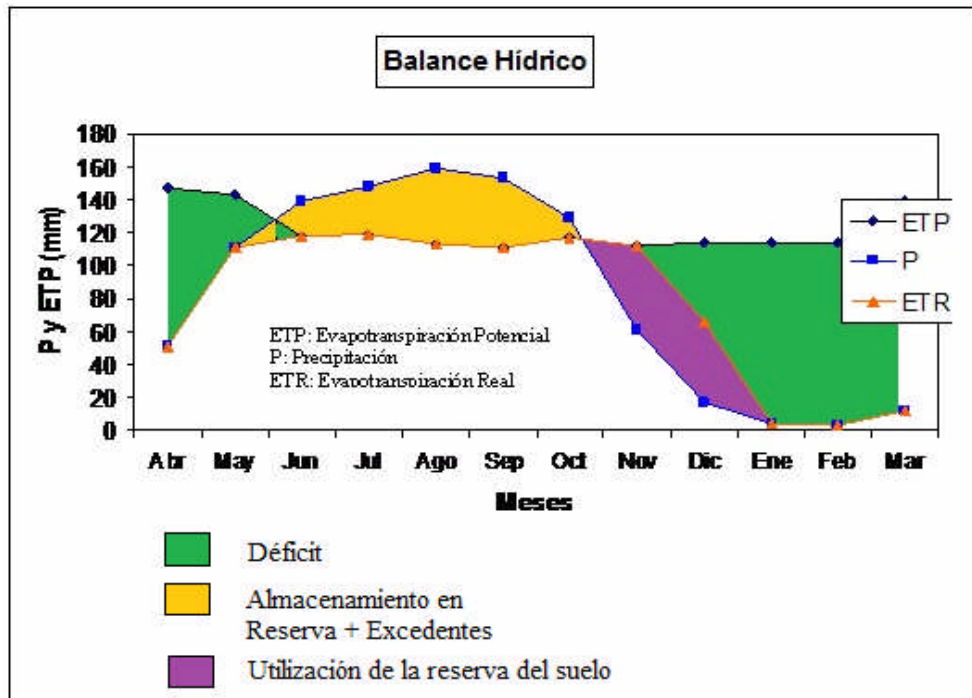


Figura 7.23.- Variación mensual de precipitación y evapotranspiración estación Santa Cruz Edafológica.

7.8.-Cálculo de reservas

Para realizar el cálculo de reservas, se tomaron en cuenta los valores de espesor saturado de agua y porosidad efectiva del acuífero.

Espesor saturado de Agua

Al observar la variación de los espesores de los estratos en el corte geológico A-A' (Anexo 3), se aprecia que hacia la zona oeste los espesores promedios de las capas permeables están alrededor de 54,33 m, mientras que hacia la zona E los espesores promedios de las capas permeables son de 33,00 m; indicando desde el punto de vista hidrogeológico, que la zona oeste en el sector de El Mahomo y Turagua tienen las mejores condiciones de explotación del acuífero.

Porosidad efectiva del acuífero

Para calcular la porosidad efectiva del acuífero, se debe discriminar los datos empleando cualquiera de las tablas de clasificación de los autores que establecieron intervalos de valores de porosidad efectiva para cada tipo de sedimento no consolidado (Rojas, 2003). El cuadro 7.36, muestra la porosidad efectiva media para el acuífero que es de 22,5 % constituido principalmente por arenas finas, arenas gruesas y gravas; valor que se obtuvo del promedio de las porosidades efectivas de la zona E y W.

- Cálculo del volumen del agua

Para calcular el volumen del agua se empleó la fórmula descrita a continuación (Custodio y Llamas, 1983).

$$\text{Volumen reserva de agua} = \text{Volumen de espesor saturada} * \text{Porosidad efectiva}$$

El volumen de espesor saturado, se obtuvo multiplicando el espesor de las capas permeables de cada zona por el área de la zona de estudio, obteniendo los datos mostrados en el cuadro 6.13.

Cuadro 7.13.- Volumen espesor saturado.

Zona	Volumen (m3)
Este	3.993.000.000
Oeste	657.3930.000
Total	10.566.930.000

- Cálculo de Volumen de Reserva de Agua

Finalmente, con los datos de volumen de espesor saturado de cada zona, se calcularon los volúmenes de reserva de agua, aplicando la fórmula. En el cuadro 7.14, se muestran los valores de volúmenes de agua (m³) obtenidos de cada zona, con un volumen de agua total de 2.377.559.250 m³.

Cuadro 7.14.- Cálculo de volumen reserva de agua.

Zona	Volumen (m ³)	Porosidad Efectiva	Volumen de Agua (m ³)
Este	3.993.000.000	22,5%	898.425.000
Oeste	6.573.930.000	22,5%	1.479.134.250
Total	10.566.930.000	22,5%	2.377.559.250

Las reservas permanentes del acuífero son de 237.755.925 m³ de agua. Los cálculos fueron efectuados con una porosidad efectiva de 22,5%.

El corte geológico A-A´ (Anexo 3) muestra un aumento de los niveles estáticos con respecto a los niveles del año 1986, originado por la recarga desde el lago de Valencia hacia la laguna de Taiguaiguay, por lo que en esta zona de Turagua y El Mahomo, se encuentran las mayores reservas del acuífero con los mayores espesores de capas permeables, siendo el área más recomendable para la explotación de nuevos pozos.

7.9.- Conductividad

La conductividad eléctrica, es la capacidad que tienen las sales inorgánicas en solución (electrolitos) para conducir la corriente eléctrica.

Para realizar el mapa de conductividad, se tomaron 28 valores de conductividad de muestras de agua (Cuadro 7.15) del área para así observar su variación en toda la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay. Con la elaboración del mapa (Figura 7.24), se pudo analizar que mientras mayor es la distancia que recorre el agua, ocurre un incremento del contenido mineral conforme se desplaza. La mayor conductividad está concentrada hacia el NO en el Asentamiento Agrícola Castillito, con un valor de 1.500 uS/cm.

Cuadro 7.15.- Conductividades de muestras de agua.

Pozo	uS/cm	Pozo	uS/cm
P-Ta1	676	P-CB21	518
P-Ta2	640	P-CB22	980
P-Ta3	680	P-CB23	897
P-Ta4	696	P-CB24	904
P-Tu7	1.207	P-MII26	1.203
P-Tu8	1.173	P-MII27	1.154
P-Tu9	1.097	P-MII28	1.022
P-Ca12	1.627	P-MII29	831
P-LM14	966	P-MII30	904
P-LM16	1.206	P-MII31	1.026
P-LM17	1.172	P-MI32	1.290
P-CB18	871	P-SM33	466
P-CB19	499	P-SM34	1.062
P-CB20	729	P-SM35	479

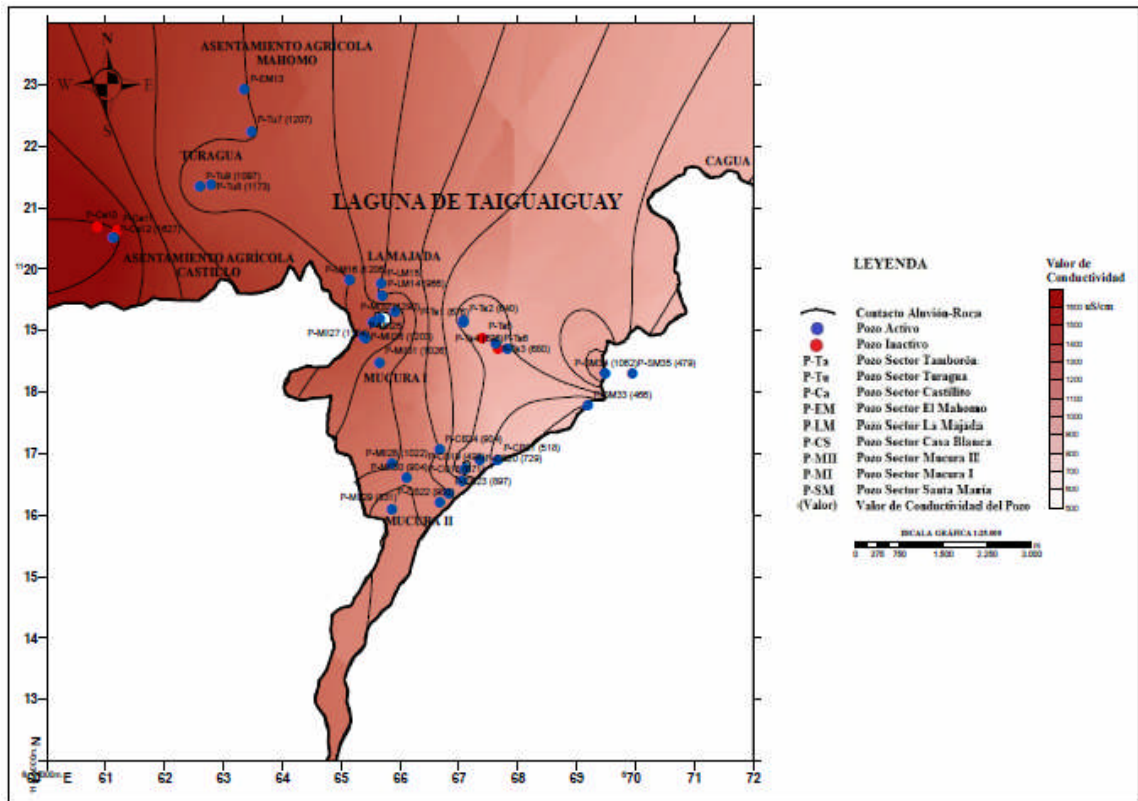


Figura 7.24. Mapa de conductividad.

El aumento de la conductividad hacia el NO del mapa, corresponde posiblemente al transporte que ha tenido el agua subterránea desde las zonas de mayor pendiente hidráulica en los sectores de La Majada, Mucura I, Mucura II, hasta las zonas de menor pendiente en la población de El Castillo.

Los valores de conductividad eléctrica para el agua de uso doméstico, debe estar comprendida entre 500 y 1.000 $\mu\text{S/cm}$, si es superior a 1.000 $\mu\text{S/cm}$ no es apta para el consumo y aguas con conductividades mayor a 2.000 $\mu\text{S/cm}$ se consideran no utilizables para el riego (Infoagro, 2010). En tal sentido, la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay posee un 57,14 % de pozos aptos para el uso doméstico y el 42,86 % del total de pozos no es apta para el consumo.

7.10.-Modelo hidrogeológico conceptual

La cuenca de la laguna de Taiguaiguay representa un área de gran contraste topográfico, con altitudes mínimas aproximadas de 445 m hacia el norte y sur de la laguna, hasta altitudes máximas de 943 m hacia el suroeste y sureste de la zona. Esto evidencia una variedad en cuanto a la granulometría y litología de los sedimentos que rellenan esta pequeña cuenca, que pertenece a la cuenca principal del Lago de Valencia. Las unidades litológicas pertenecen a formaciones sedimentarias y metamorfizadas. Por consiguiente, durante la elaboración del Modelo Hidrogeológico Conceptual esta variedad granulométrica y litológica marcará importancia por el hecho de diferenciar aquellos estratos permeables compuestos de arenas de grano fino, arenas de grano medio y gravas; así como de los estratos impermeables constituidos por arcillas, permitiendo analizar parámetros como la transmisibilidad del acuífero, dirección del flujo subterráneo, entre otros.

Un modelo hidrogeológico conceptual, es la representación simplificada en tres dimensiones de los elementos que conforman un acuífero, analizando su comportamiento e interacción en la práctica. Para realizar dicho modelo, es necesario buscar la información proveniente de pozos que se encuentren en la zona de estudio ya que son la pieza clave y de contacto entre la superficie del terreno con el reservorio de agua subterránea. La finalidad de aplicar un modelo de este estilo, es para poder obtener características generales del acuífero como son: cantidad de estratos, superficie piezométrica, límites horizontales y verticales y las zonas de carga y descarga. Esto con el propósito posterior de aplicar una correcta toma de decisiones en proyectos de interés.

7.10.1.- Elaboración del modelo hidrogeológico conceptual

Para la elaboración del modelo se requirió un mapa base y un corte geológico.

7.10.1.1.-Mapa base

El modelo está basado en el mapa base a escala 1:25.000 elaborado usando los Software Golden Surfer 8.0 y Arcgis 9.3 (Figura 7.25), cuyas curvas de nivel se generaron con la interpolación de los datos de altitud de los 35 pozos visitados en campo, a partir del cual se realizaron los mapas 2D y 3D de cada uno de los estratos que conforman el corte geológico A-A'.

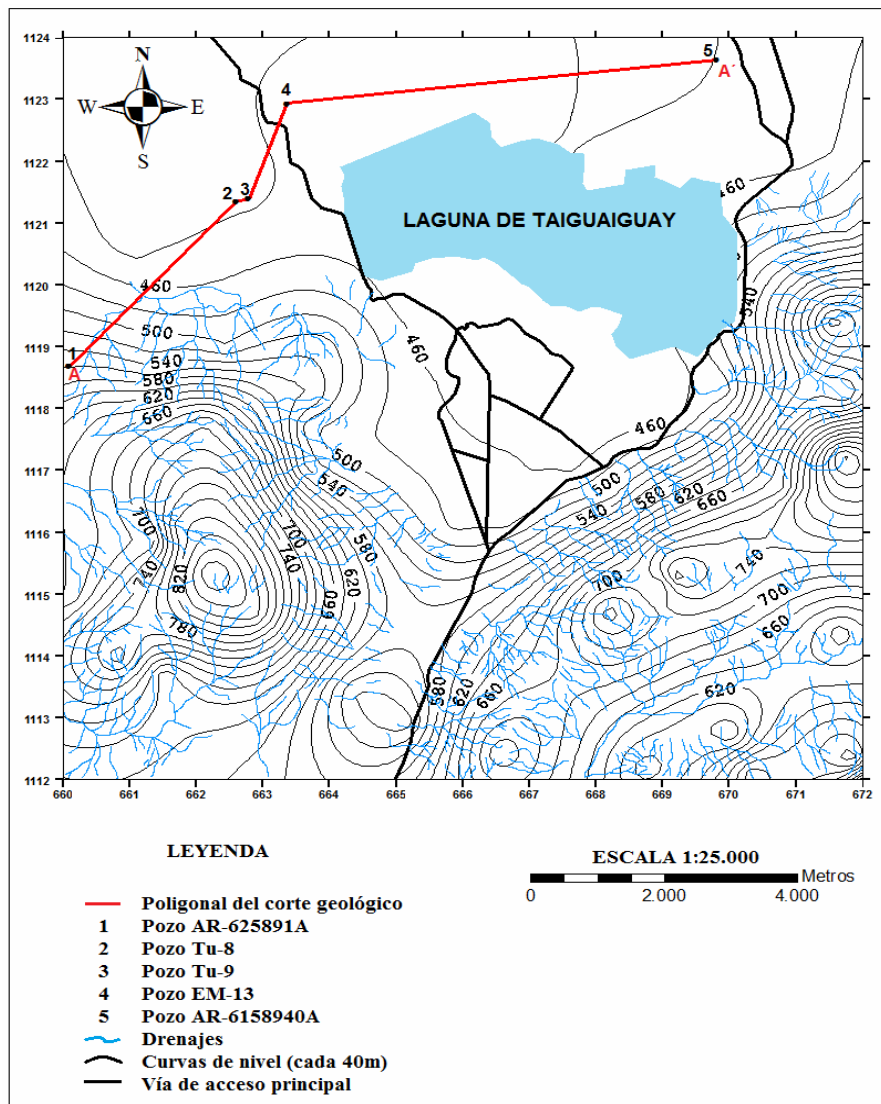


Figura 7.25.- Mapa base de la cuenca de la Laguna de Taiguaguay.

7.10.1.2.- Corte geológico

Los sedimentos cuaternarios que conforman el relleno del aluvión, son predominantemente de tamaño de grano arcillas con intercalaciones de arenas y gravas que constituyen los acuíferos potenciales de la zona. El cuadro 7.16 muestra la ubicación de los pozos visitados en campo y que fueron utilizados para realizar el corte geológico A-A', comparando los porcentajes de estratos permeables e impermeables de cada pozo.

Cuadro 7.16.- Ubicación de los pozos para la realización del corte geológico.

Pozo	Sector	% Capas Permeables	%Capas Impermeables
AR-625891A	Las Vegas	50	50
P-Tu8	Turagua	83	17
P-Tu9	Turagua	75	25
P-EM13	El Mahomo	44	56
AR-6158940	Cagua	42	58

El corte geológico A-A' (Anexo 3), se realizó a partir de la correlación de los datos litológicos de perforaciones de 5 pozos ubicados al norte de la zona de estudio de los 35 visitados en campo, esto debido a que no se tenían los datos litológicos de los 30 pozos restantes. De los 5 pozos usados, 2 fueron obtenidos en campo y 3 suministrados por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente del estado Aragua. Con ésta información se realizó la correlación, unificando criterios de descripción litológica para los cinco pozos debido a que fueron descritos con características particulares de cada autor. Finalmente, se generó el corte geológico (Figura 7.26) usando los Software AutoCad 8.0 y Arcgis 9,3; a partir del cual se tomaron los valores de altitudes con respecto al nivel del mar (m.s.n.m.) de las bases

de los 8 estratos (M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8) de tope a base, para elaborar la base de datos.

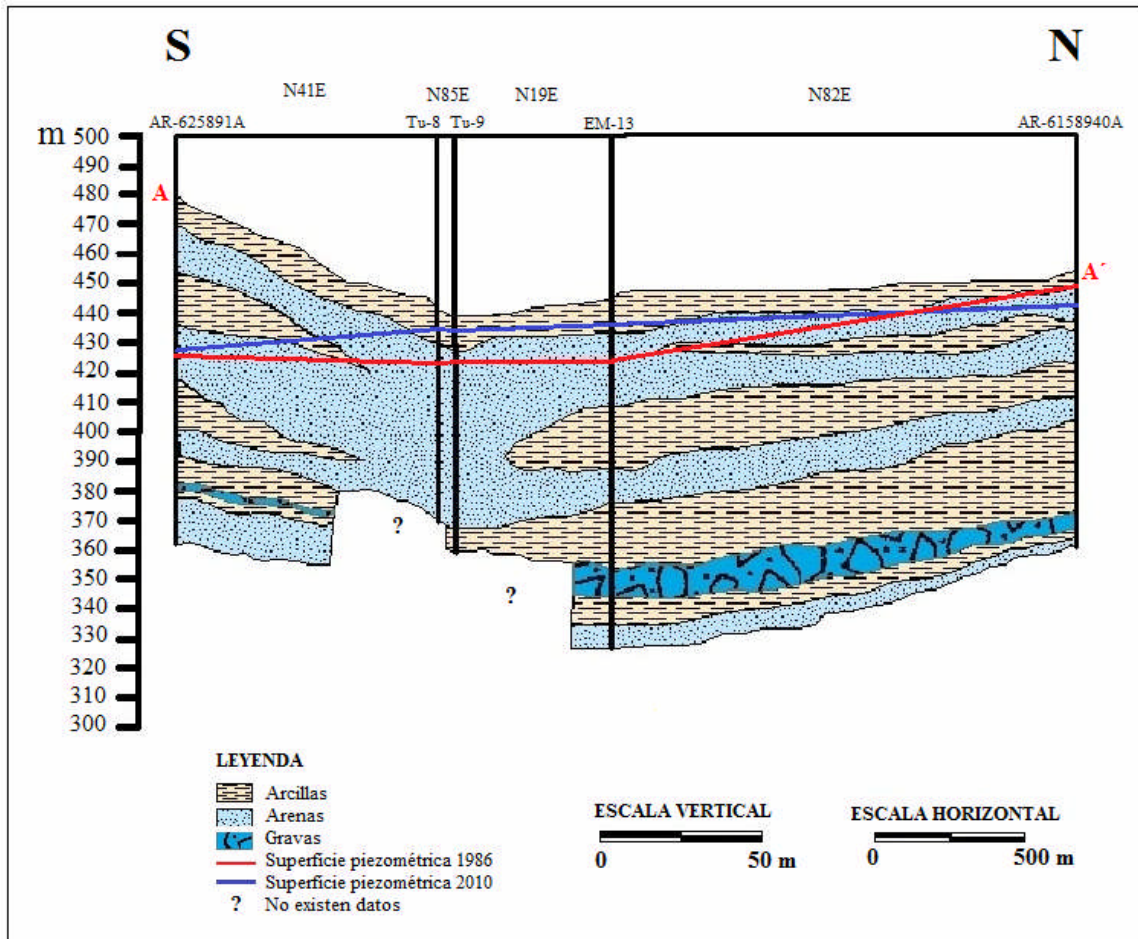


Figura 7.26.- Corte geológico A-A' ubicado al norte de la zona de estudio.

Este corte geológico, tiene una orientación general NE-SO y abarca las poblaciones de Las Vegas, Turagua, El Mahomo y Cagua. Se caracteriza por tener un comportamiento litológico similar, apreciando capas permeables (arenas finas, arenas medias y gravas) intercaladas con capas impermeables (arcillas). Este permite evidenciar una continuidad lateral en la mayoría de los estratos, excepto de algunos lentes de arcilla que desaparecen en la parte central. Nótese que como característica principal, las arenas aumentan sus espesores de 10 a 15 m desde el norte hacia el centro del corte con espesores de aproximadamente 70 m. Las arcillas se incrementan

hacia el N con espesores aproximados de 15 a 30 m; mientras que las gravas se observan en las capas infrayacentes hacia la base de la secuencia estratigráfica aumentando su espesor hacia la parte central del perfil en 15 m aproximadamente.

Desde el punto de vista hidrogeológico, esto indica que se tiene un comportamiento más impermeable hacia el NE de la zona de estudio en el sector de Cagua, por poseer una cantidad significativa de sedimentos finos; mientras que hacia el NO hay grandes espesores de capas de arenas y gravas con alta porosidad y permeabilidad, favoreciendo una mejor condición para la acumulación de agua en los sectores de Turagua y El Mahomo, lo que permite inferir un mayor aporte de sedimentos de alta energía, generando este cambio de facies a lo largo de todo el perfil estratigráfico.

7.10.2.-Base de datos

La base de datos se realizó en el programa Microsoft Excel, diseñada en forma de tabla lo más práctica y ordenada posible, para permitir cargar los datos en cualquier programa de interpolación evitando confusiones e inconvenientes. La tabla está conformada por las coordenadas UTM de cada pozo, valores de altitudes sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) de cada pozo, y los valores de altitudes sobre el nivel del mar (m.s.n.m.) de las bases de los 8 estratos identificados (Cuadro 7.17).

A continuación se presenta la base de datos:

Cuadro 7.17.- Base de datos.

No. POZO	CÓDIGO	ESTE	NORTE	COTA (m)	BASE (M1)	BASE (M2)	BASE (M3)	BASE (M4)	BASE (M5)	BASE (M6)	BASE (M7)	BASE (M8)
1	AR-625891A	660.091	1.118.670	484	474	458	440	422	404	396	386	384
2	P-Tu8	662.783	1.121.389	437	425	X	X	X	X	365	X	X
3	P-Tu9	662.596	1.121.343	438	426	X	X	X	X	366	358	X
4	P-EM13	663.352	1.122.928	444	432	407	386	375	352	343	333	326
5	AR-6158940A	669.808	1.123.631	454	448	437	434	423	412	404	373	367

Leyenda de los campos (columnas):

No. Pozo = Número de pozo

Código = Código identificación del pozo

Este = Coordenada UTM en dirección este

Norte = Coordenada UTM en dirección norte

Cota = Altitud del pozo (terreno) sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)

Base M1 = Arcillas = Altitud de la base de la unidad M1 y tope de la unidad M2

Base M2 = Arenas finas = Altitud de la base de la unidad M2 y tope de la unidad M3

Base M3 = Arcillas = Altitud de la base de la unidad M3 y tope de la unidad M4

Base M4 = Arenas medias = Altitud de la base de la unidad M4 y tope de la unidad M5

Base M5 = Arcillas = Altitud de la base de la unidad M5 y tope de la unidad M6

Base M6 = Arenas gruesas = Altitud de la base de la unidad M6 y tope de la unidad M7

Base M7 = Arcillas = Altitud de la base de la unidad M7 y tope de la unidad M8

Base M8 = Gravas = Altitud de la base de la unidad M8

7.10.3.- Modelo digital 2D y 3D de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay

Para obtener el modelo digital 2D del área de estudio correspondiente a la cuenca de la laguna de Taiguaiguay (Figura 7.27), se tomaron los valores de altitud de los 35 pozos visitados en campo, adicionalmente se añadieron las altitudes de 60 puntos ubicados dentro de la zona aprovechando la herramienta de Google Earth, ingresando de esta manera una mayor cantidad de datos para realizar una mejor interpolación con el software Golden Surfer 8.0 y así obtener un mayor detalle en la topografía.

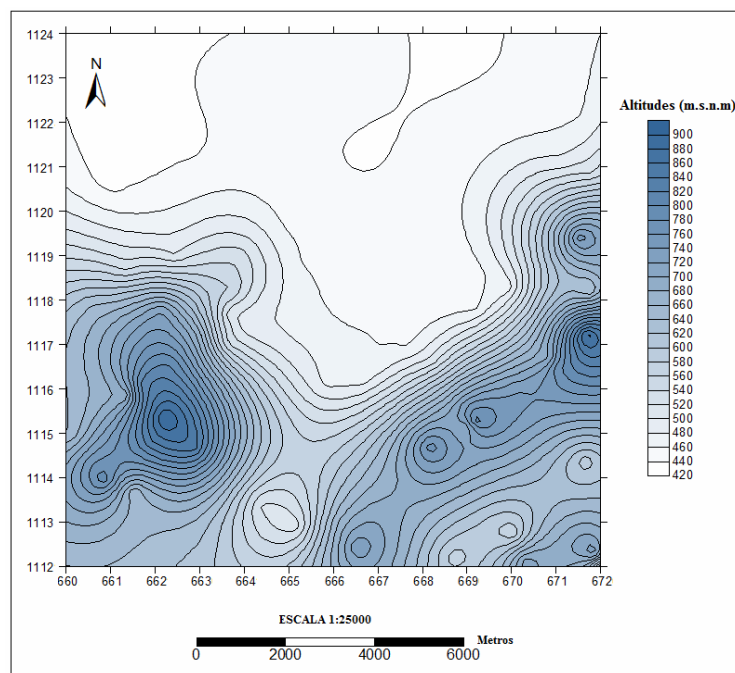


Figura 7.27.- Mapa de superficie 2D de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay. Contorno cada 20 m.

La representación en 2D (Figura 7.27) se obtuvo una vez realizada la interpolación, aplicando la opción de Contour Map del Software Golden Surfer 8.0. Esta posee una máxima altitud de 900 m al este y SO del área de estudio y una mínima altitud de 420 m al norte de la Laguna de Taiguaiguay.

Para obtener la representación en 3D (Figura 7.28), se tomó la misma interpolación obtenida anteriormente y se aplicó la opción 3D Surface del Software Golden Surfer 8.0, generando el modelo tridimensional. En éste se aprecia que los mayores altos topográficos se encuentran principalmente al SO conformado por el Cerro Guayabal y al SE conformado por la Fila Tamarindo; por su parte, los bajos topográficos se ubican en toda la zona norte en los sectores de El Castillo, El Mahomo, Turagua y Cagua.

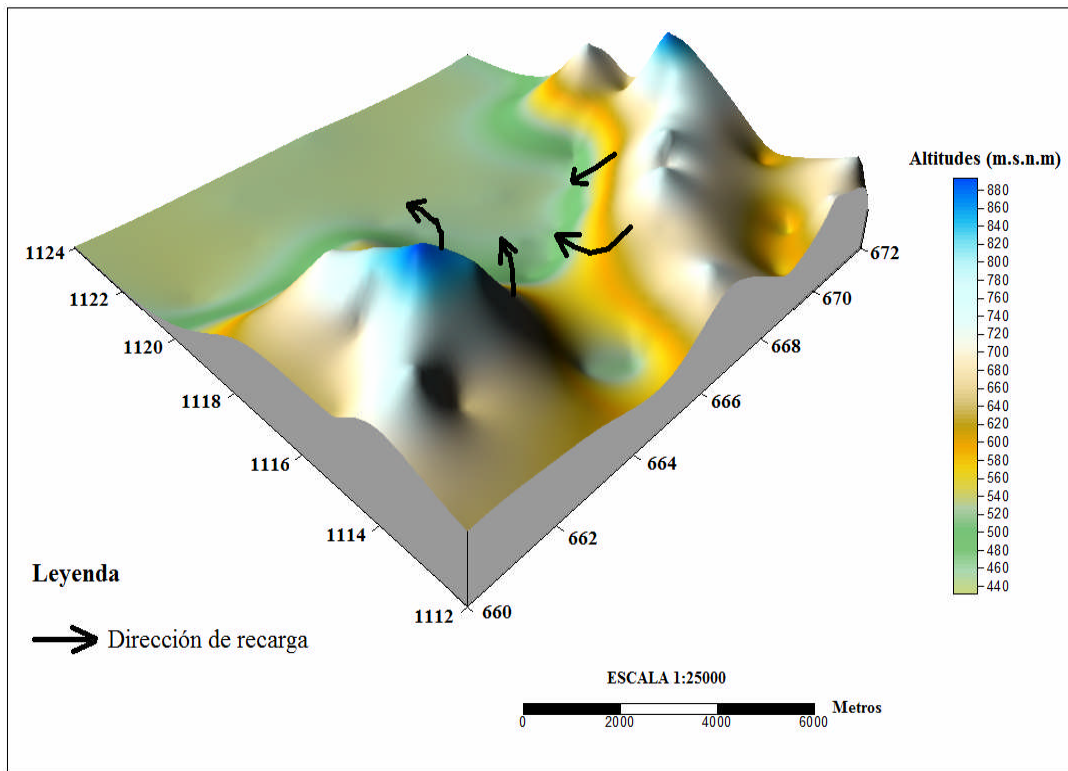


Figura 7.28.- Mapa de superficie 3D de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay. Vista en dirección N45°E.

7.10.4.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M1 (Arcillas)

Esta superficie 2D (Figura 7.29), posee una medición puntual mínima de 424 m en la zona NO de la laguna de Taiguaiguay y máxima de 470 m al oeste de la zona de estudio.

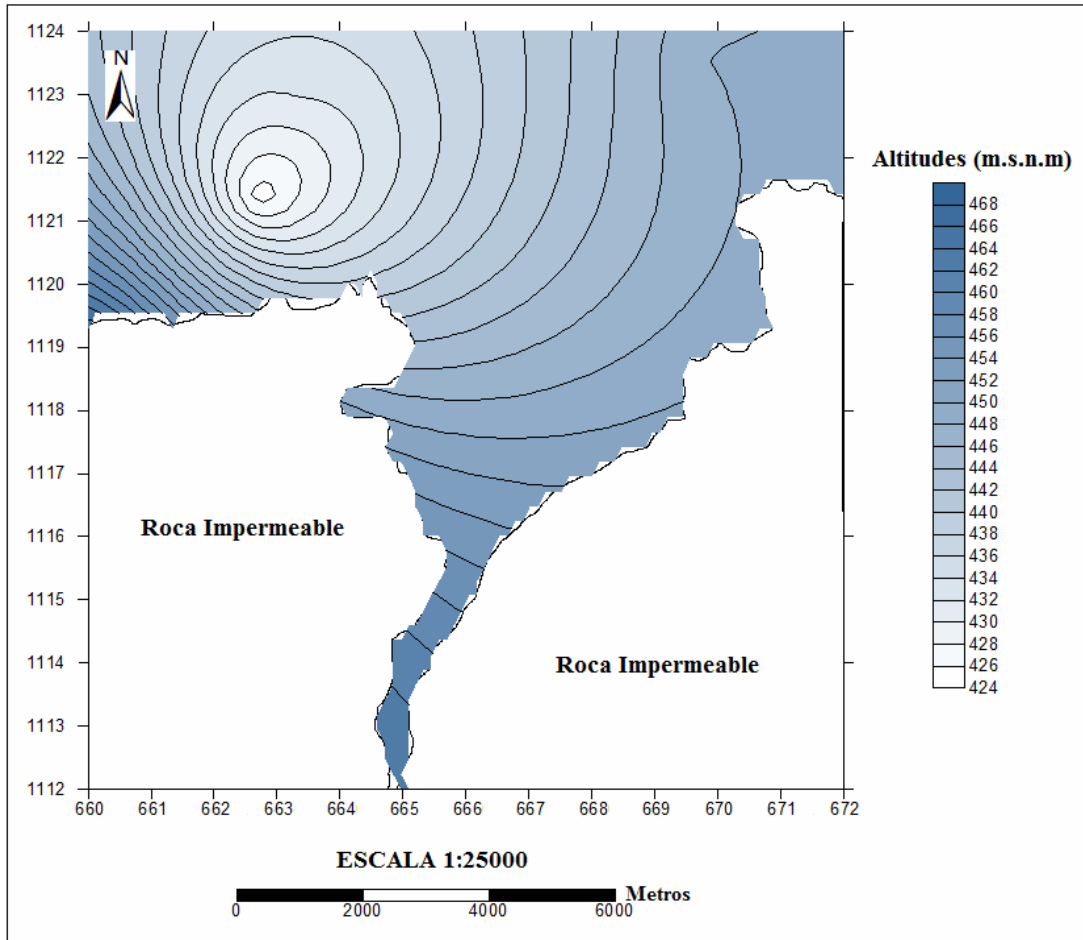


Figura 7.29.- Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M1 (Arcillas). Contorno cada 2 m.

La representación 3D de este estrato de arcillas (Figura 7.30) muestra que las mayores altitudes corresponden al sector del Asentamiento El Castillo al oeste y los sectores de Mucura I, Mucura II, La Majada, al sur de la zona de estudio; mientras que las mínimas altitudes corresponden al sector de El Mahomo y Turagua al NO.

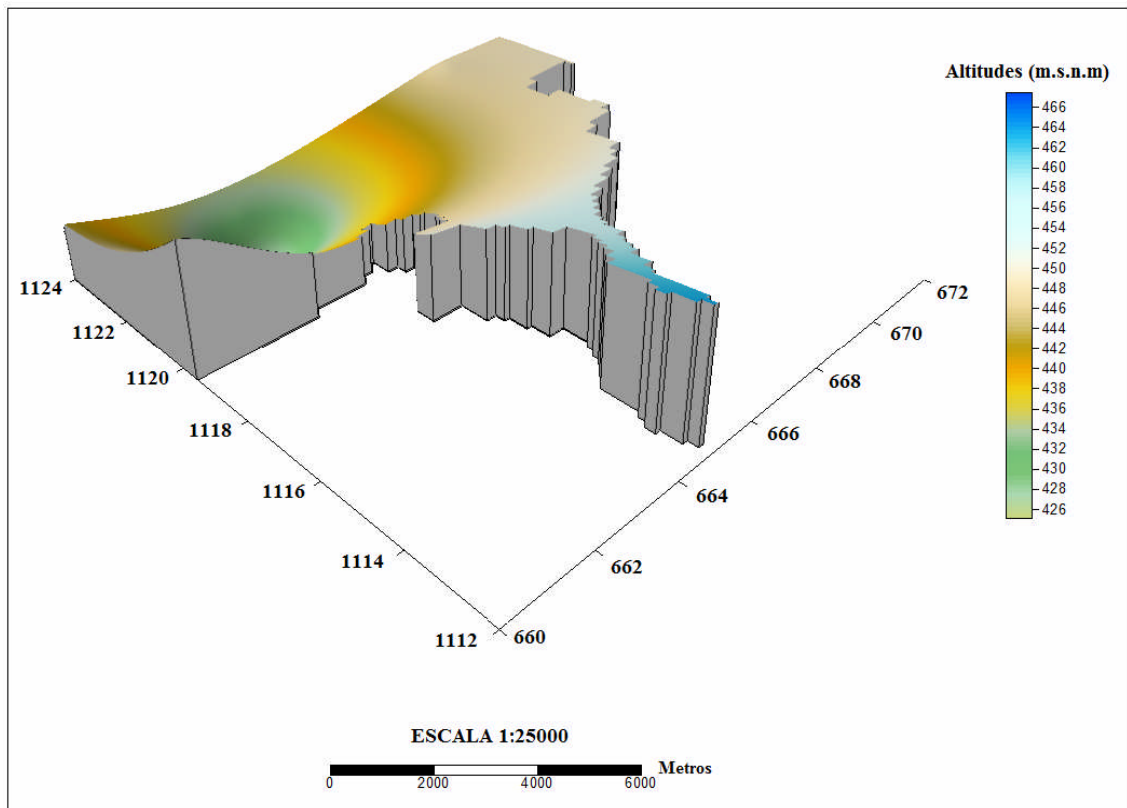


Figura 7.30.- Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M1 (Arcilla).
Vista en dirección N45°E.

7.10.5.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M2 (Arenas finas)

Esta superficie 2D (Figura 7.31), posee una medición puntual mínima de 365 m al NO de la laguna de Taiguaiguay y máxima de 450 m al oeste, noreste y sur de la zona de estudio.

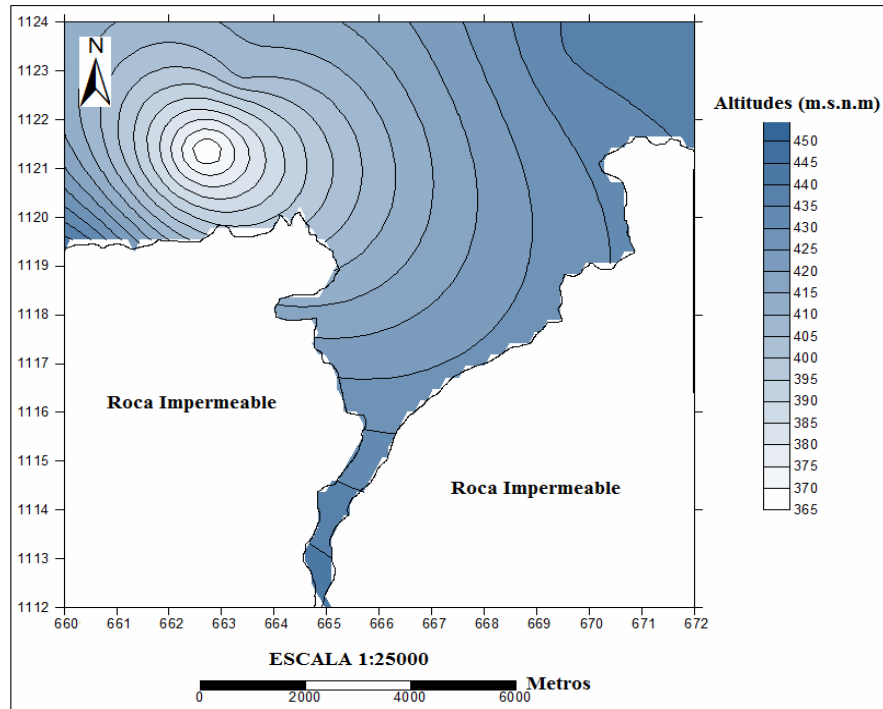


Figura 7.31.- Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M2 (Arenas finas). Contorno cada 5 m.

La representación 3D de este estrato de arenas finas (Figura 7.32), muestra que las mayores altitudes corresponden al sector del Asentamiento El Castillo al oeste, los sectores de Mucura I, Mucura II, La Majada, al sur de la zona de estudio, y el sector de Cagua al este; mientras que las mínimas altitudes corresponden al sector de El Mahomo y Turagua al NO.

Desde el punto de vista hidrogeológico, tiene gran relevancia porque este estrato de arenas finas por ser permeable, evidencia que las direcciones del flujo de agua subterránea a través del mismo fluyen hasta llegar a la depresión apreciada en la figura 7.8 y ubicada al NO en las localidades El Mahomo y Turagua; que constituyen un área de gran potencial de almacenamiento y explotación del agua.

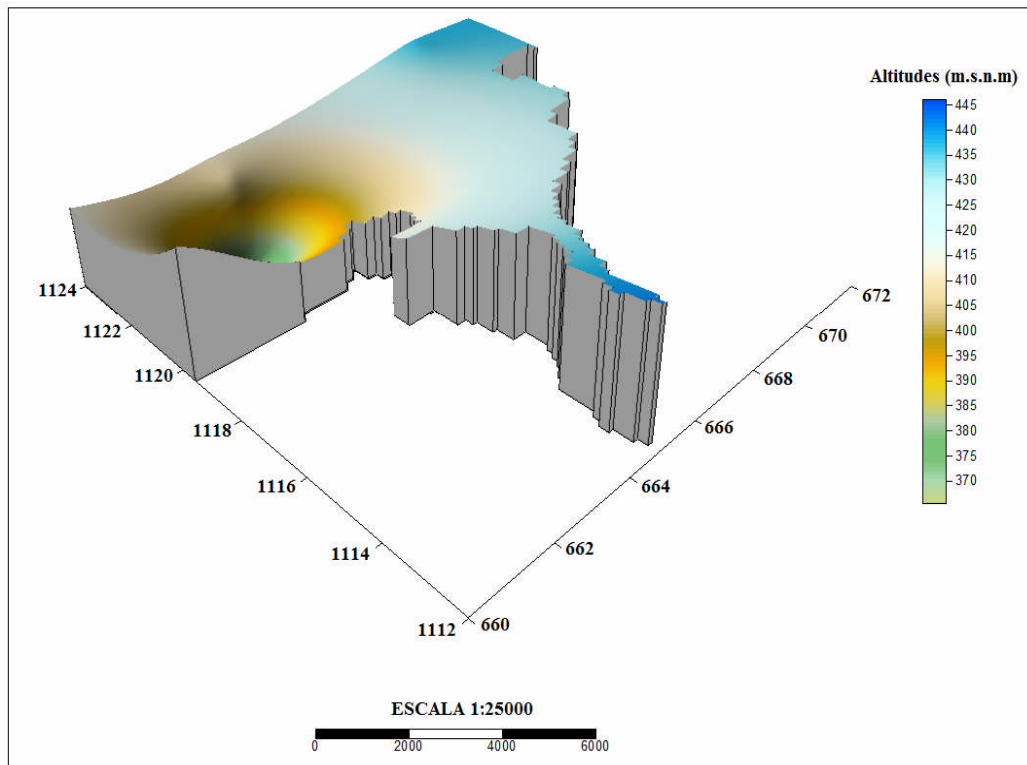


Figura 7.32.- Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M2 (Arenas finas).
Vista en dirección N45°E.

7.10.6.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M3 (Arcillas)

Esta superficie 2D (Figura 7.33), posee una medición puntual mínima de 355 m al NO de la laguna de Taiguaiguay y máxima de 435 m al NE, 425 m al sur, y 400 m al oeste de la zona de estudio.

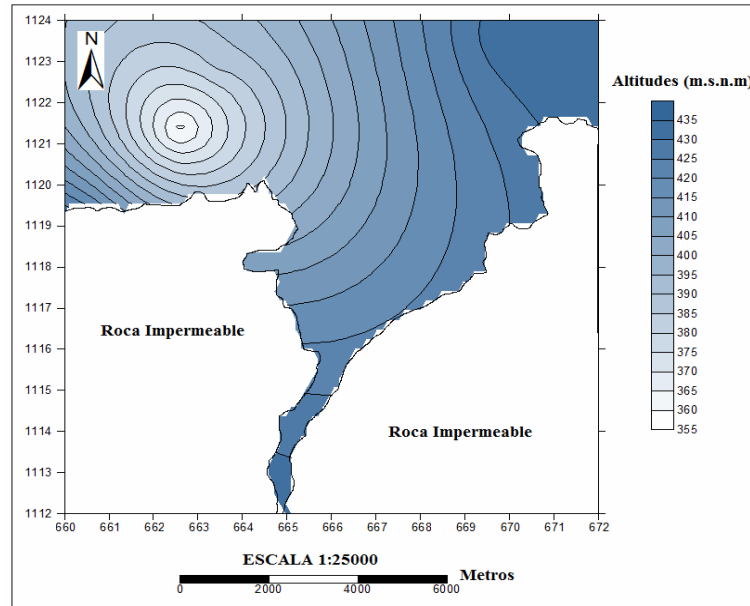


Figura 7.33.- Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M3 (Arcillas). Contorno cada 5 m.

La representación 3D de este estrato de arcillas (Figura 7.34), muestra que las mayores altitudes corresponden al sector de Cagua al NE, el sector de Santa María al este y el sector de Mucura II al sur; mientras que las mínimas altitudes, corresponden al sector de El Mahomo y Turagua al NO.

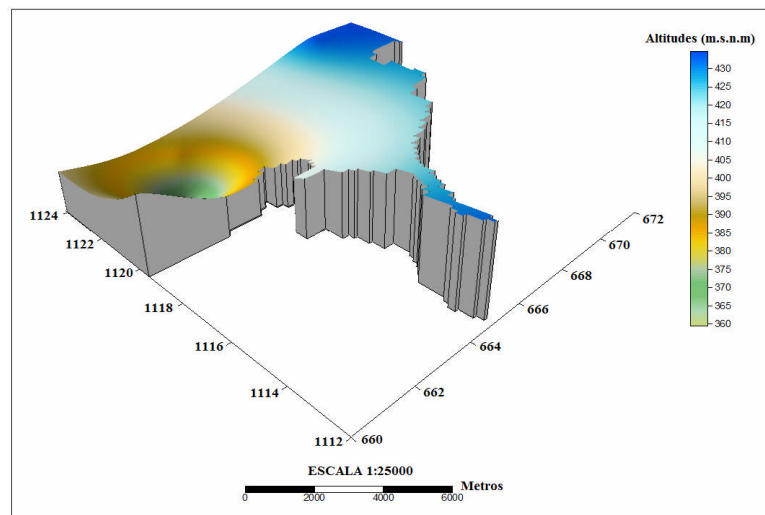


Figura 7.34.- Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M3 (Arcillas). Vista en dirección N45°E.

7.10.7.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M4 (Arenas medias)

Esta superficie 2D (Figura 7.35), posee una medición puntual mínima de 374 m en la zona NO de la cuenca de la laguna de Taiguaiguay, y máxima de 428 m al NE, y 420 m en la parte central del área de estudio.

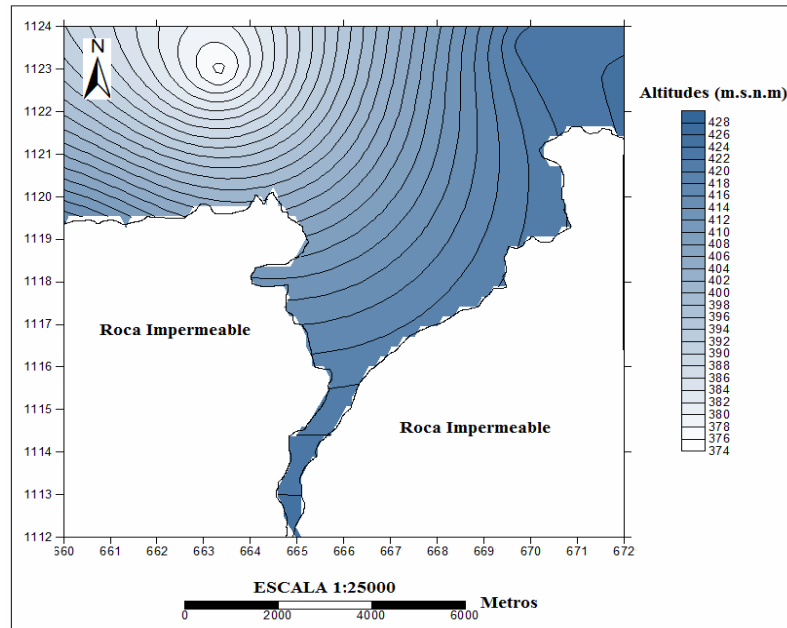
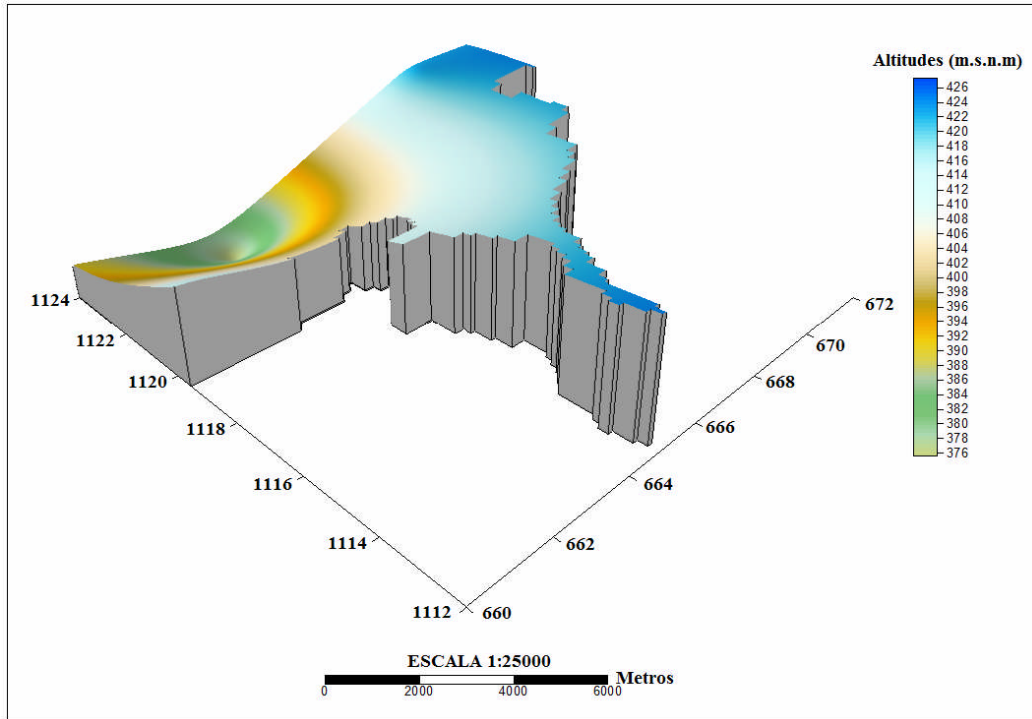


Figura 7.35.- Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M4 (Arenas medias). Contorno cada 2 m.

La representación 3D de este estrato de arenas medias (Figura 7.36), muestra un gran contraste ya que las mayores altitudes corresponden al sector de Cagua al NE, el sector de Santa María al este y el sector de Mucura II al sur; mientras que las mínimas altitudes corresponden al sector de El Mahomo y Turagua al NO, al igual como se apreció para el estrato de arenas finas.

Desde el punto de vista hidrogeológico, este estrato también tiene mucha importancia, porque en el mismo se evidencia que sus pendientes hidráulicas son mayores a las del estrato de arenas finas. Las direcciones del flujo de agua subterránea a través de éste fluyen hasta llegar a la depresión apreciada en la figura

7.12 y ubicada al NO en las localidades El Mahomo y Turagua; corroborando esta zona con un gran potencial de almacenamiento y explotación del agua.



**Figura 7.36.- Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M4 (Arenas medias).
Vista en dirección N45°E.**

7.10.8.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M5 (Arcillas)

Esta superficie 2D (Figura 7.37), posee una medición puntual mínima de 350 m al NO de la Laguna de Taiguaguay y máxima de 415 m al NE, y 400 m en la parte central del área de estudio.

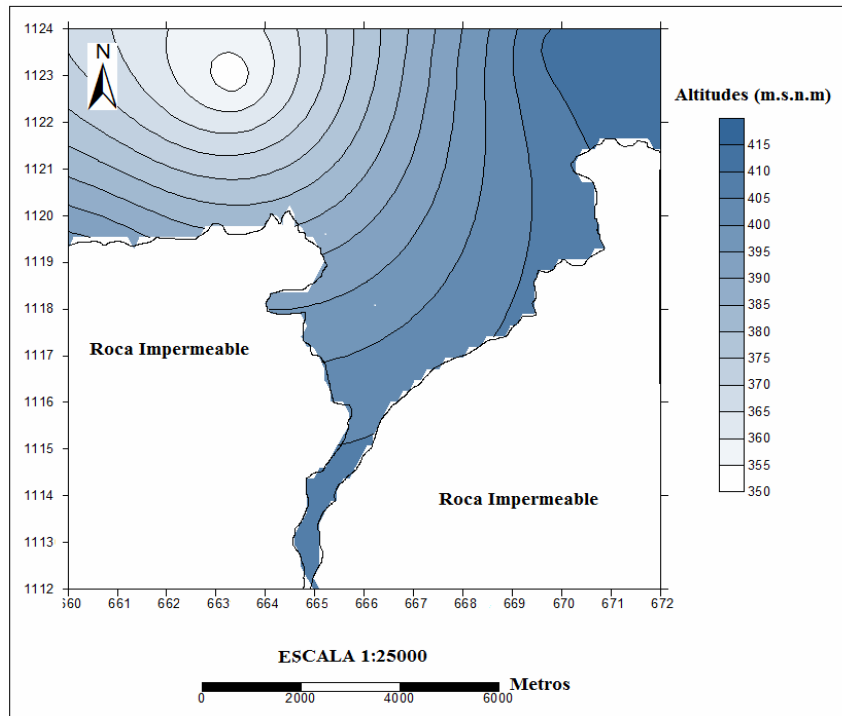
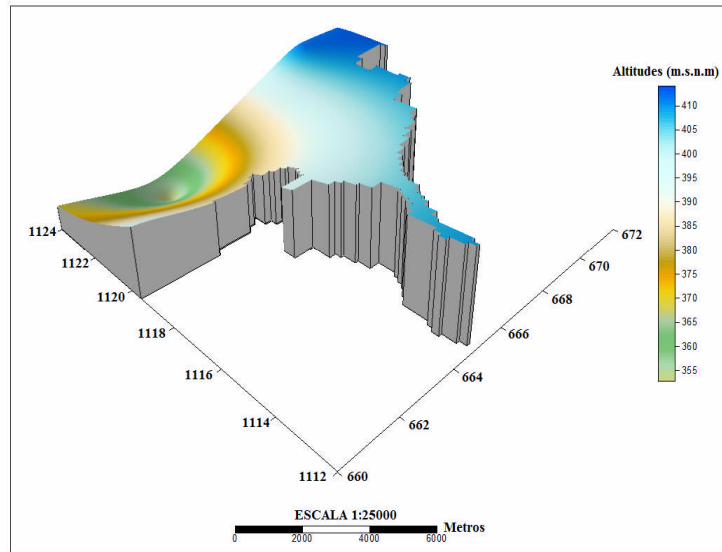


Figura 7.37.- Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M5 (Arcillas). Contorno cada 5 m.

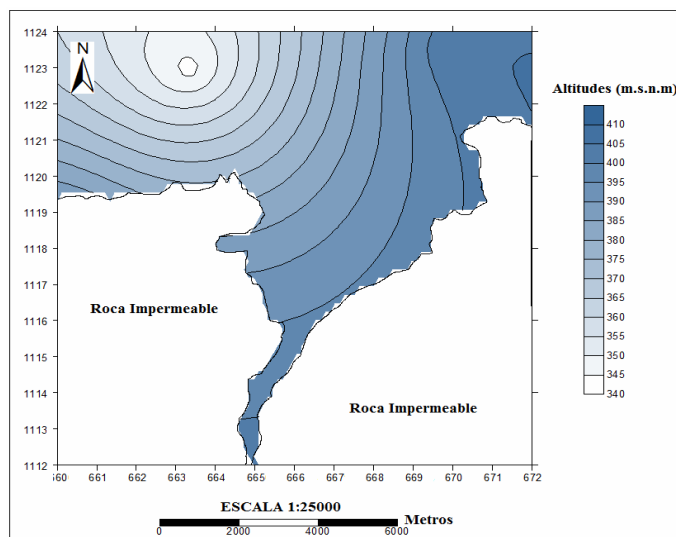
La representación 3D de este estrato de arcillas (Figura 7.38), muestra un contraste resaltante en cuanto a la variación de las pendientes, ya que las mayores altitudes corresponden al sector de Cagua al noreste, el sector de Santa María al este y el sector de Mucura II al sur; mientras que las mínimas altitudes corresponden al sector de El Mahomo y Turagua al noroeste, siendo de forma muy similar a la Unidad M4.



**Figura 7.38.- Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M5 (Arcillas).
Vista en dirección N45°E.**

7.10.9.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M6 (Arenas gruesas)

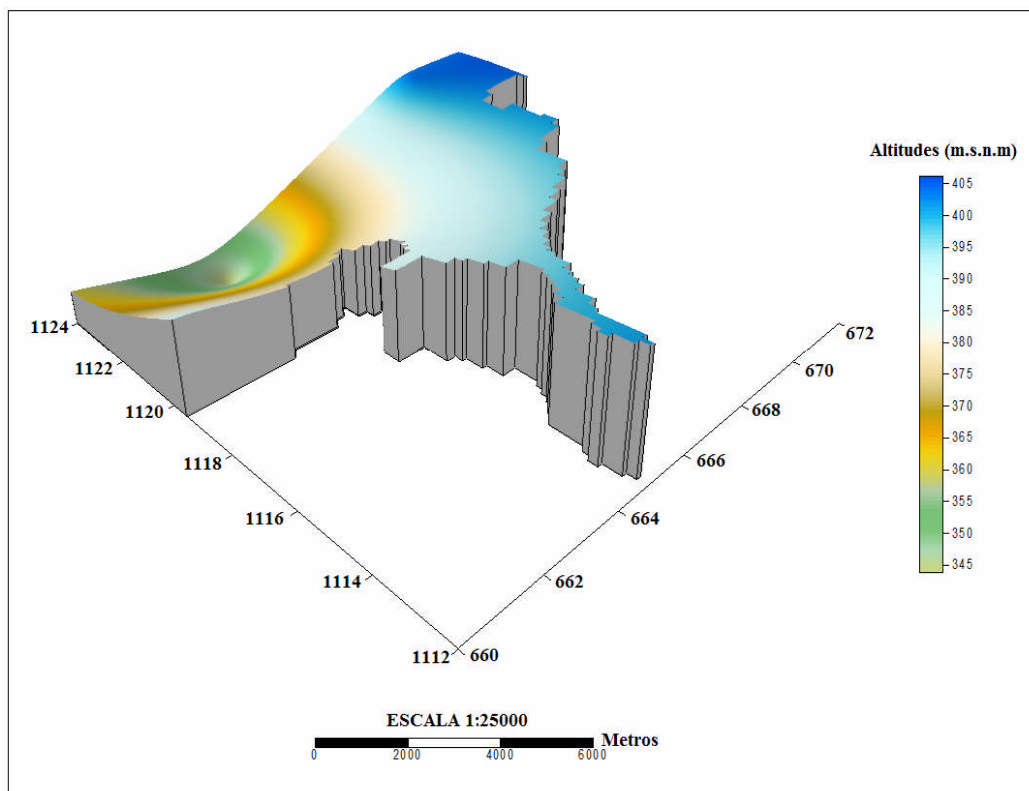
Esta superficie 2D (Figura 7.39), posee una medición puntual mínima de 340 m en la zona NO de la Laguna de Taiguaiguay y máxima de 410 m al NE, y 390 m en la parte central del área de estudio.



**Figura 7.39.- Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M6 (Arenas gruesas).
Contorno cada 5 m.**

La representación 3D de este estrato de arenas gruesas (Figura 7.40), muestra un contraste muy brusco con respecto a las altitudes, ya que las mayores cotas corresponden al sector de Cagua al NE, el sector de Santa María al este y el sector de Mucura II al sur; mientras que las mínimas altitudes siguen correspondiendo como ha sido con los estratos anteriores al sector de El Mahomo y Turagua al NO, siendo de forma muy similar a la Unidad M5.

Desde el punto de vista hidrogeológico, este estrato de arenas gruesas evidencia la acumulación de agua subterránea; porque adicionalmente a sus buenas condiciones de permeabilidad, tiene altas pendientes hidráulicas favoreciendo la dirección del flujo al NO en los sectores de El Mahomo y Turagua.



**Figura 7.40.- Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M6 (Arenas gruesas).
Vista en dirección N45°E.**

7.10.10.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M7 (Arcillas)

Esta superficie 2D (Figura 7.41), posee una medición puntual mínima de 332 m al NO de la Laguna de Taiguaiguay y máxima de 388 al NE, y 370 m en la parte central del área de estudio.

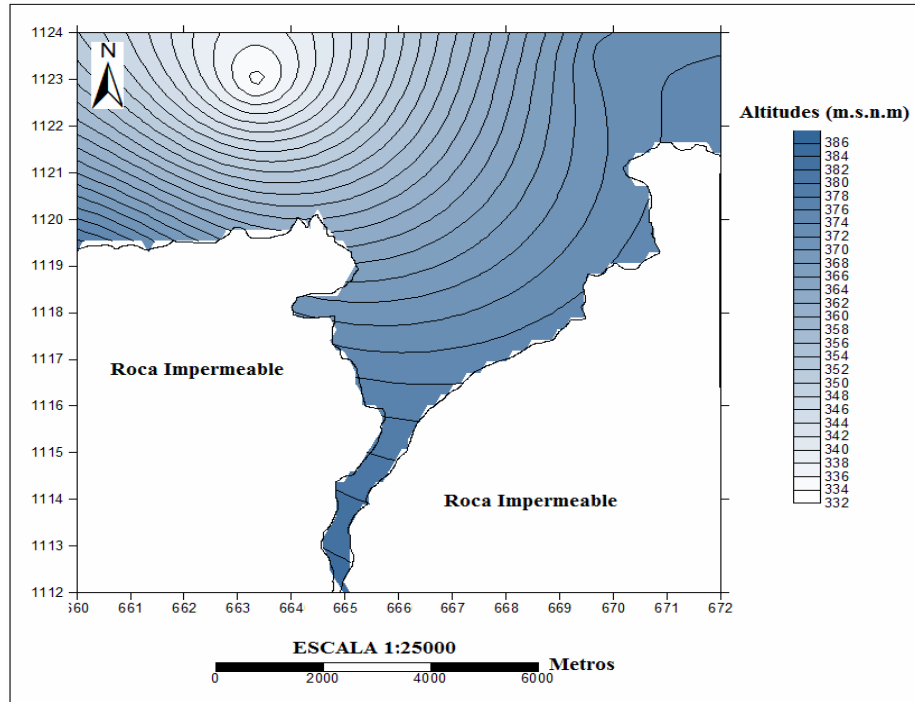


Figura 7.41.- Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M7 (Arcillas). Contorno cada 2 m.

Por su parte, la representación 3D de este estrato de arcillas (Figura 7.42), muestra que las mayores altitudes corresponden al sector de Cagua al NE, el sector de Santa María al este y el sector de Mucura II al sur; mientras que las mínimas altitudes corresponden al sector de El Mahomo y Turagua al NO, siendo de forma muy similar a la Unidad M6.

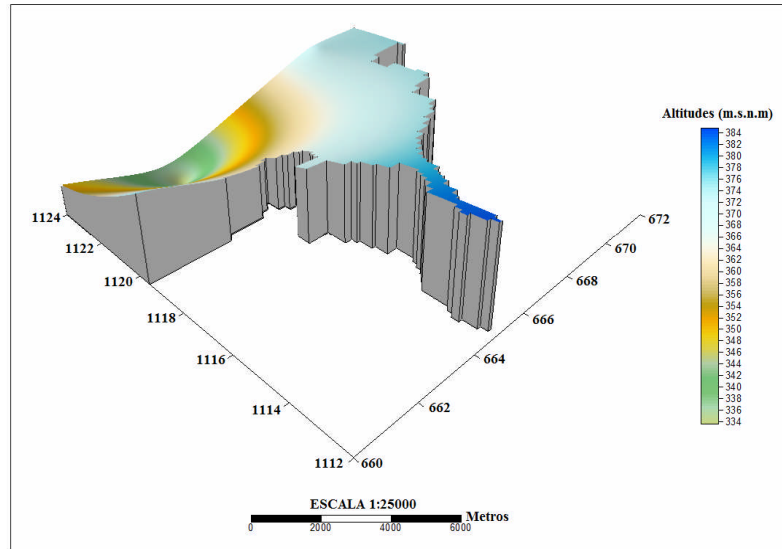


Figura 7.42.- Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M7 (Arcillas).
Vista en dirección N45°E.

7.10.11.- Modelo digital 2D y 3D de la base de la Unidad M8 (Gravas)

Esta superficie 2D (Figura 7.43), posee una medición puntual mínima de 326 m al NO de la Laguna de Taiguaguay, y máxima de 386 m al NE, y 366 m en la parte central del área de estudio.

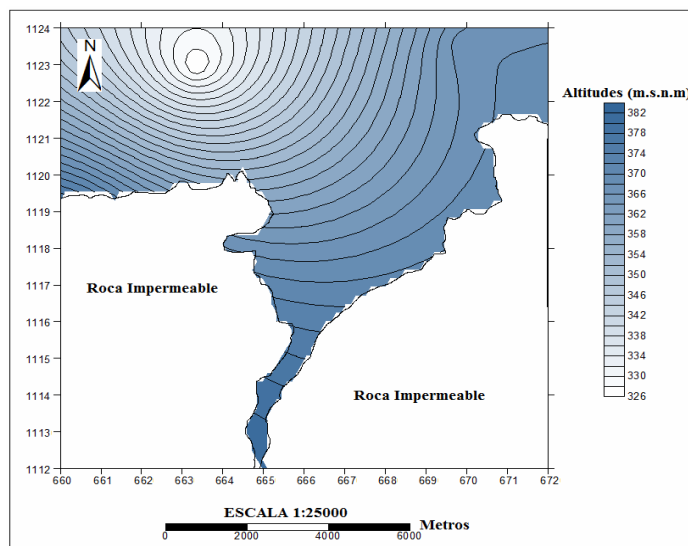
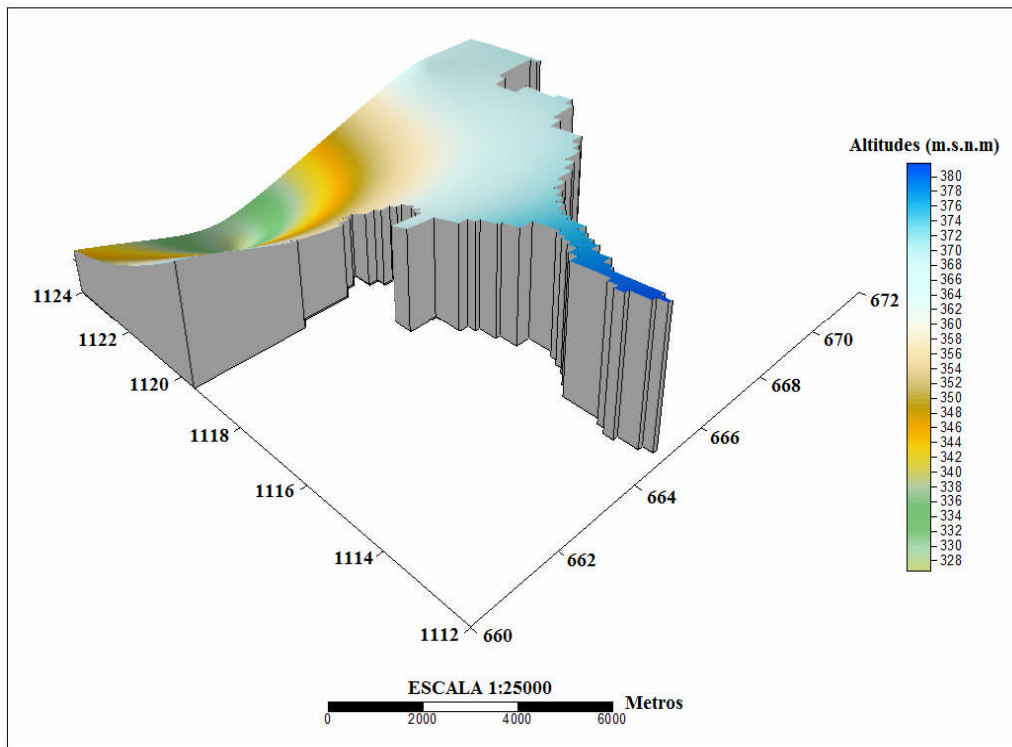


Figura 7.43.- Mapa de superficie 2D de la base de la Unidad M8 (Gravas).
Contorno cada 4 m.

La representación 3D de este estrato de gravas (Figura 7.44), muestra que las mayores altitudes corresponden al sector de Cagua al NE, el sector de Santa María al este y el sector de Mucura II al sur; mientras que las mínimas altitudes corresponden al sector de El Mahomo y Turagua al NO, siendo de forma muy similar a la Unidad M7.

Desde el punto de vista hidrogeológico, este estrato evidencia nuevamente que al NO en los sectores de El Mahomo y Turagua, es la zona de almacenamiento y explotación de las aguas subterráneas.



**Figura 7.44.- Mapa de superficie 3D de la base de la Unidad M8 (Gravas).
Vista en dirección N45°E.**

7.11.- Visualización en 3D del modelo hidrogeológico conceptual

Posteriormente a la realización de los modelados en 3D para cada uno de los estratos que constituyen el corte geológico A-A', se empleó nuevamente el software Golden Surfer 8.0 superponiendo los 8 estratos aplicando para ello la opción de Overlay Maps, generando el modelo (Figura 7.45). Se configuró un color distintivo a cada uno de los 8 estratos para poderlos diferenciar fácilmente.

El modelo muestra claramente que hacia el NO de Taiguaiguay en el sector de El Mahomo, el espesor del acuífero es un poco más potente que hacia el NE en el sector de Cagua. Por otro lado, se evidencia que nuevamente hacia el NO las capas permeables de arenas incrementan su espesor; mientras que por el contrario hacia el NE decrecen, haciéndose más potentes las capas impermeables de arcillas. Estas observaciones tienen sentido, ya que como hacia el NO se encuentra en contacto con altos topográficos, es razonable esperar encontrarse capas potentes y con sedimentos de tamaño de granos gruesos, que evidencian medios de alta energía como las arenas y gravas. Por el contrario hacia el NE, el acuífero posee un menor espesor porque se encuentra rodeado de bajos topográficos característicos de sedimentos de baja energía como corresponde en este caso a las arcillas muy potentes.

La importancia de la elaboración del modelo, fue que desde el punto de vista hidrogeológico permitió identificar las capas permeables de gravas y arenas finas, medias y gruesas. Estas capas permeables poseen el mismo patrón morfológico, evidenciando que la zona de mejor almacenamiento y explotación de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay son los sectores de El Mahomo y Turagua.

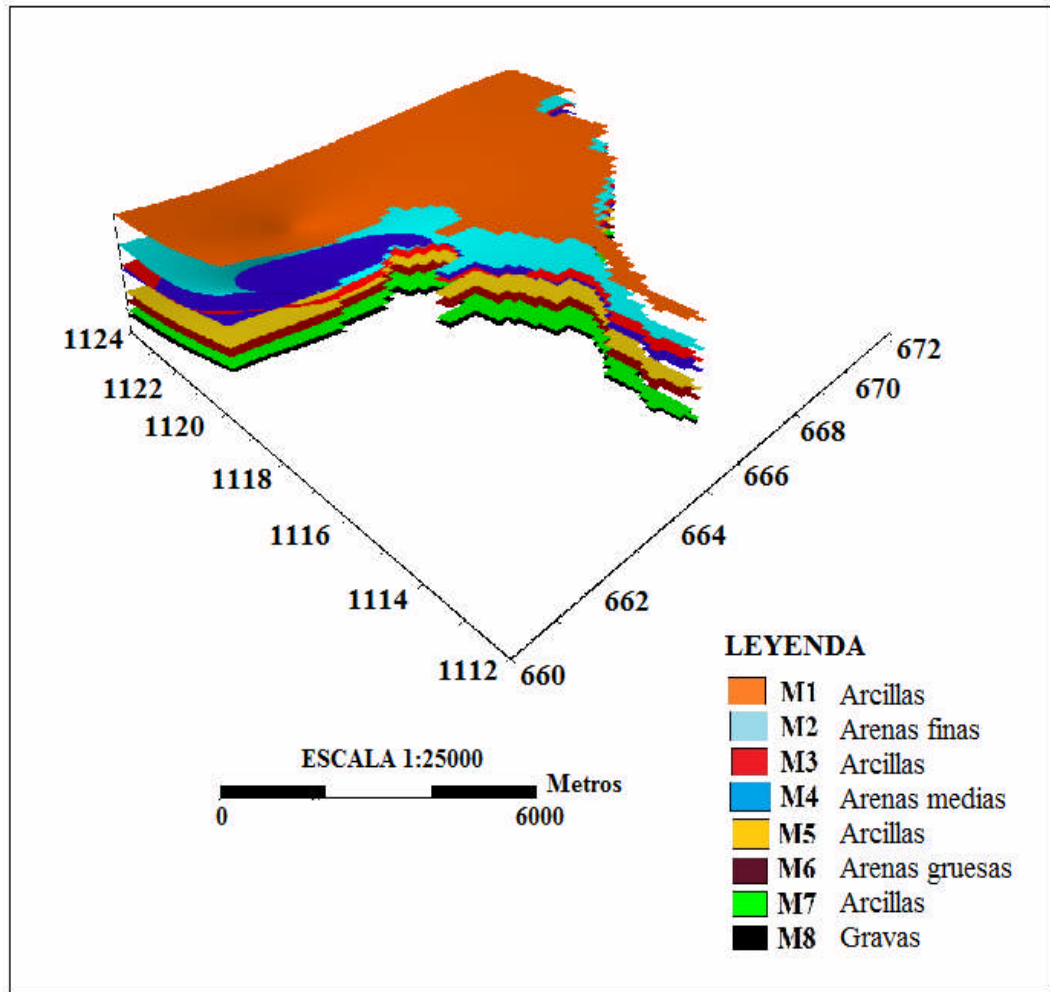


Figura 7.45.- Visualización en 3D del modelo hidrogeológico conceptual.

Vista en dirección N45°E.

CAPÍTULO VIII

8.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1.- Conclusiones

- Los sedimentos que bordean La Laguna de Taiguaiguay están integrados por formaciones geológicas metamórficas de edad Mesozoico y pre-Mesozoico; mientras que la depresión está conformada por relleno fluvio-lacustre de edad Cenozoico. Las unidades litodémicas observadas en la zona de estudio corresponden a la Filita de Tucutunemo, Filita de Paracotos y Complejo de El Tinaco.
- La litología está compuesta por capas permeables, semipermeables e impermeables que intercambian sus posiciones verticales y varían en espesor y extensión en forma irregular. La distribución que presentan los sedimentos a lo largo del corte geológico A-A', muestra que hacia el NE existe una mayor cantidad de material fino de tamaño de granos arcilla (sedimentos de baja energía de depositación), indicando una zona impermeable en el sector de Cagua; mientras que al NO en los sectores de El Castillo y Turagua, se observan sedimentos gruesos de tamaño de granos arena en forma granodecreciente de base a tope y grava (sedimentos de alta energía de depositación) que evidencian más permeabilidad, debido al aporte de sedimentos provenientes de la meteorización y transporte de los altos topográficos adyacentes.
- Las actuales líneas de flujo del agua subterránea están orientadas hacia el NO de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay, indicando una mayor transmisibilidad y recarga hacia Turagua y el Mahomo; zona que ha sido afectada por sobreexplotación.

- Al NO de la zona de estudio en el sector El Castillo se tienen valores altos de conductividad, debido a que en función de la superficie piezométrica, el flujo del agua subterránea inicia en las zonas de mayor pendiente hidráulica correspondiente a las poblaciones de La Majada, Mucura I y Mucura II en dirección NO hacia las zonas de menor pendiente en el sector El Castillo, provocando un mayor enriquecimiento mineralógico de las aguas.
- El balance hídrico mostró un déficit desde el mes de noviembre hasta mayo, como consecuencia del agotamiento del agua almacenada en el subsuelo; luego, desde mayo hasta octubre es la época de almacenamiento; mientras que desde octubre hasta enero, ocurre la utilización de la reserva del suelo.
- Las reservas permanentes del acuífero son de 237.755.925 m³, con una porosidad efectiva media de 22.5%, por lo que en la zona de Turagua y El Mahomo, se encuentran las mayores reservas del acuífero con los mayores espesores de capas permeables, siendo el área más recomendable para la explotación de nuevos pozos.
- Se infirió la presencia de dos tipos de acuíferos; a saber: uno libre ubicado en los sectores de Mucura I, Mucura II, La Majada, Casa Blanca y Santa María con recarga directa de los drenajes adyacentes de los altos topográficos, y el otro acuífero semiconfinado ubicado al NO de la zona, conformado por los sectores El Castillo y Turagua.
- El modelo hidrogeológico conceptual permitió representar en 2 y 3 dimensiones, las características hidrogeológicas de los estratos permeables que constituyen la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay, con el fin de conocer las áreas potenciales de explotación del agua subterránea.

8.2.- Recomendaciones

- A los organismos competentes: actualizar la red de pozos concentrados en el Municipio Zamora estado Aragua, que permita efectuar un estudio con datos más actualizados; ello permitirá la verificación, comprobación y complementación de las conclusiones presentadas en este estudio y una evaluación mas cuantitativa, completa y argumentada del acuífero, así como de su comportamiento futuro.
- Tomar medidas preventivas en cuanto a la utilización adecuada de fertilizantes y los contaminantes de uso industrial, entre otros. Esto debido a que el agua subterránea seguirá siendo un factor importante de abastecimiento de agua de buena calidad de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay y esto en particular para el uso agrícola, y la economía del país.
- Elaborar un modelo matemático que permita realizar simulaciones, teniendo en cuenta que es necesario actualizar los parámetros hidrogeológicos del acuífero mediante pruebas de bombeo.
- Recolectar y analizar muestras de agua para aplicar técnicas de hidrología isotópica utilizando isótopos estables y radiactivos existentes en el medio ambiente; tanto de origen natural como artificial para caracterizar el comportamiento dinámico del agua en el ciclo hidrológico y con esto afinar el modelo conceptual propuesto en este trabajo.
- Elaborar proyectos que ayuden a un mejor uso de las aguas subterráneas para

controlar la sobreexplotación de los acuíferos.

- Efectuar análisis físico-químicos y bacteriológicos de las aguas, para determinar la vulnerabilidad del acuífero y descartar posibles fuentes de contaminación del agua, ya que es una zona con un gran desarrollo agro industrial.
- Realizar estudios geofísicos, aplicando registros eléctricos de potencial espontáneo y resistividad, para obtener de forma más detallada información del subsuelo y del área de estudio, con el fin de estimar las reservas totales de agua.
- Actualizar los datos de las estaciones climatológicas presentes en la zona, con el fin de obtener mayor información para la elaboración de un mejor balance hídrico.
- Exhortar a los organismos competentes a garantizar la conservación, con énfasis a la protección, aprovechamiento sustentable y recuperación de las aguas tanto superficiales como subterráneas, dando cumplimiento al artículo 4 del Título I de la ley de aguas publicado en el año 2007.

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.
- Almorox, J, R. Cruz Díaz, M. (2008). Métodos de estimación de la erosión hídrica. Ed. Agrícola Española, 152 p.
- Bechara, v. Matos, H. (2006). Estudio geológico y caracterización geomecánica de la zona comprendida entre Charallave y Paracotos, estado Miranda. Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela 206 p.
- Beck, C. (1985). La chaine Caraïbe au merideien de Caracas: geologie, tectogenese, place dans l'evolution geodynamique Mesozoique-Cenozoique des Caraïbes Meridionales. L'Universite des Sciences et Techniques de Lille, *Tesis de doctorado de estado*, 462 p.
- Beck, C. (1986). Geologie de la chaine Caraïbe su meridien de Caracas (Venezuela). *Soc. Geol. de Nord, Villeneuve s'Ascq, Francia, Public. no. 14*, 462 p.
- Benjamini, C., R. Shagam y A. Menéndez. (1986). Formación Tucutunemo. Memoria VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 10: 655.
- Camacho, R. (2009). Balance hídrico superficial del estado Bolívar. Trabajo Especial de Grado, ingeniería civil, Universidad Central de Venezuela.
- 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.
- Castaño, F. (2001). Aplicaciones de la Teledetección y SIG, Castilla-La Mancha España.
- Custodio, Emilio y LLamas, Manuel R. (1983). Hidrogeología Subterránea I y II. Ediciones Omega, S.A. Casanova, 220. Barcelona.

- 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.
- Ferreira, L., (2008). Las aguas subterráneas. Universidad de Girona Madrid España.
- Gibson, U., (1974). Tratado de hidrogeología aplicada. ED. Técnicos asociados.
- Gómez, P., (2000). Respuesta hidrológica en medios semi- áridos . Murcia España
- González, L., (1972). Geología de la Cordillera de la Costa, zona centro occidental. IV Cong. Geol. Venezolano. Caracas. Noviembre 1969, Memoria, *Bol. Geol.*, Caracas, Publ. Esp. 5, 3: 1589-1616.
- González de J. (1980). Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Ediciones Foninves Tomo I.
- Grande, S. (1995) Caracterización geoquímica de la metalavas del Miembro Los Naranjos, Formación Tucutunemo, Aragua Central, y su interpretación tectónica. Trabajo de ascenso. UCV.
- Graterol, M, (2003). Diseño de un modelo para la evaluación de sustancias no conservativas en acuíferos homogéneos. Trabajo Especial de Grado, ingeniería civil UCLA.
- Hernandez, M y Martinez R. (2008) Análisis de los parámetros geomecánicos en la excavación del túnel trasvase Taguaiguay-Valles de Tucutunemo, Estado Aragua. Trabajo Especial de Grado, UCV.
- Keith, D. (1973). Hidrología (Aguas Subterráneas). Ediciones Paraninfo, Magallanes 21, Madrid.
- Ley de Aguas, (2007). Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela. Artículo 4, p4.
- Machado, J. (1976). Fundamentos del Ciclo hidrológico. Universidad Central de Venezuela.
- 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). Geology of the La Victoria area, Aragua, Venezuela. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 71(3): 241-248.
- MARNR. Dirección de Hidrología. (1983). Estudio Hidrogeológico preliminar de la cuenca del Lago de Valencia. Caracas.
- Menéndez, V. de V., A., (1966). Tectónica de la parte central de las Montañas Occidentales del Caribe, Venezuela. *Bol. Geol.*, 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.
- Molina, Y, (2006) Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del acuífero de Maracay, estado Aragua. Tesis de Grado, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- Muñoz, A. (1988) Estudio hidrogeológico y régimen de aguas subterráneas del acuífero de Maracay. Trabajo Especial de Grado, UCV.
- 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 - Paleógeno. *Acta Científica Venezolana*, 39: 427-436.
- Navarro, E. (1983) Petrología y petrogénesis de las rocas metavolcánicas del Grupo Villa de Cura. Caracas, UCV.
- Olivar, M y Pedrique R. (2006) Evaluación hidrogeológica del valle del río tucutunemo, municipio Zamora, estado Aragua. Trabajo Especial de Grado, UCV.
- Ostos, M. (1990). Evolución tectónica del margen sur-central del caribe basado en datos geoquímicos. *geos*, caracas, (30): 1-294.
- Ovalles, F. (1982) Estudios de suelo semi-detallado. Depresión del Lago de Valencia. Informe de Avance, Estado Aragua.
- Prada, A. (1983). Geología de los alrededores de San Juan de los Morros y geotecnia. Revalida en ingeniería geológica.

- 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.
- Rojas, M. (2003). Modelo Hidrogeológico del Acuífero de la Cuenca Baja del Río Motatán. Trabajo Especial de Grado, Escuela de Ingeniería Geológica. Universidad de los Andes, Mérida.
- Shagam, R. (1960). Geología de Aragua central (Venezuela). Memoria III Geológico Venezolano, Caracas. Boletín de Geología, Caracas, 2: 574-675.
- Shahid, S., Nath, K. y Roy J. (2000). Groundwater potential modelling in a soft rock area using a GIS. International Journal of Remote Sensing. Publisher: Taylor & Francis. Volume 21, Number 9 / June 15, 2000. Págs.:1867 – 1884.
- 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.
- Thornthwaite, 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.
- Uzcategui, M. (2004). Evaluación del impacto de una recarga artificial sobre el acuífero del Valle de Quíbor. Trabajo de Grado para optar al título: Magíster Scientiae en Obras Hidráulicas, CIDIAT-ULA. Mérida, Venezuela.

Villanueva, M. y Lopez, i, (1998). Técnicas de evaluación mediante ensayos de bombeo. Instituto geológico minero de España.

Referencias Electrónicas

Musa, K., Akhir, J. y Abdullah, I. 2000. Groundwater Prediction Potential Zone in Langat Basin using the Integration of Remote Sensing and GIS. <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ps3/ps318.shtml>

Mosson, (1995). Rocas metamórficas, 2010.

http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/casado/GEORED/Endogenas/metamorficas.htm

Ramalingam, m. y Santhakumar A. R. 1999. Case study on artificial recharge using remote sensing and GIS.

<http://www.gisdevelopment.net/application/nrm/water/ground/watg0002.htm>

Rao, B., Chaudhary, “*et.al*”. 2000. Integrated Groundwater Resources Mapping in Gurgaon District, India using Remote Sensing and GIS Techniques.

<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ts2/water0002.shtm>

Aguas subterráneas. <http://members.fortunecity.es/robertexto/archivo7/suelos.htm>

Mapa del estado Aragua <http://www.venezuela-online.net/mapas/stado-aragua.jpg>

Hidrogeología. <http://www.fortunecity.com/campus/chemistry/195/hidro/hidro.htm>

S.G.M, <http://www.coremisgm.gob.mx/especialidad/ehidrogeo.html>

Código estratigráfico de Venezuela, <http://www.pdvsa.com/lexico/>

[http://www. Google Earth. Com](http://www.GoogleEarth.Com)

Mapa de fallas, http://www.funvisis.gob.ve/sismologia_historica

<http://servicios2.marm.es/sia/visualizacion/lda/>

<http://institucional.ideam.gov.co/jsp/index.jsf>

<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/215/21513007.pdf>

<http://www.monografias.com/trabajos6/sirac/sirac.shtml#intro>

<http://www.geogra.uah.es/inicio/>

<http://www.fundacite-aragua.gob.ve/>

<http://www.igme.es/internet/default.asp>

http://www.geolatina.net/cuencasnicaragua/dada/mail.cgi/archive/Enciclop_Cuencas/

Revistas

RK Jaiswal, S. Mukherjee; Raju KD; Saxena R. (2003), Revista Internacional de Observación de la Tierra y Aplicadas Geoinformación, Volumen 4, Número 1, Agosto 2002, pp. 1-10 (10).

ANEXO 3

CORTE GEOLÓGICO A-A'



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
MINISTERIO DEL AMBIENTE



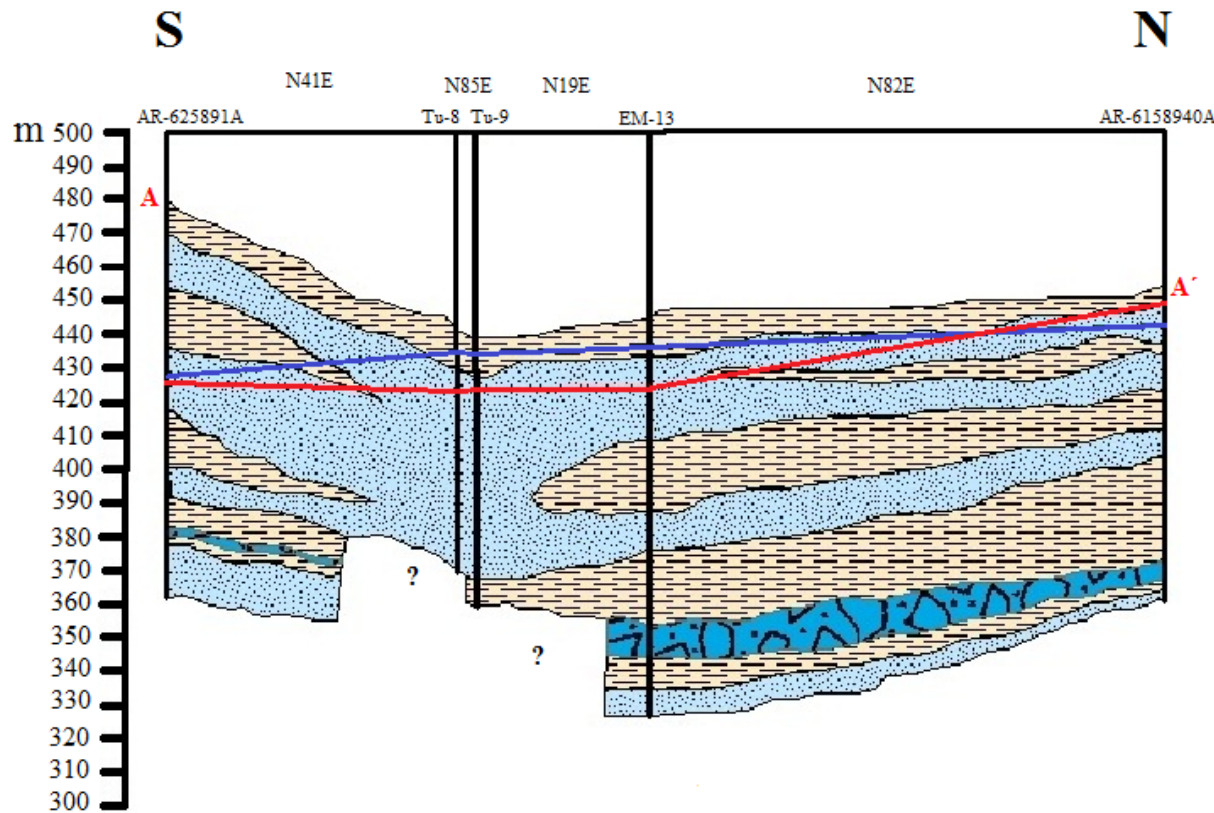
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

"Corte Geológico A-A' de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay, Estado Aragua"

ELABORADO POR:
BIONDO, LUIS
ESTEVEZ, NORGARDY

LEYENDA

- Arcillas
- Arenas
- Gravas
- Superficie piezométrica 1986
- Superficie piezométrica 2010
- ? No existen datos



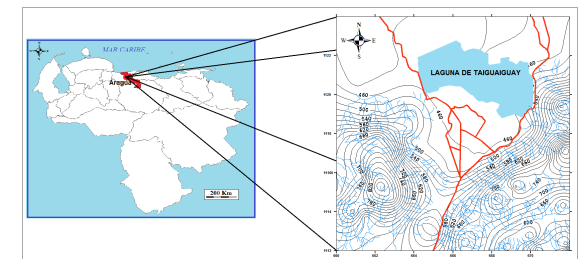
ESCALA VERTICAL

0 50 m

ESCALA HORIZONTAL

0 500 m

Diagrama de ubicación relativa



Tomado y modificado de las hojas 6646-II-NE, 6646-II-SE, 6746-III-NO y 6746-III-SO, a escala 1:25.000 de la Dirección de Cartografía Nacional

FIGURA 4

MAPA DE PAISAJES GEOMORFOLÓGICOS



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
 MINISTERIO DEL AMBIENTE






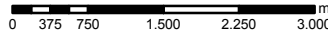
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

"Mapa de Paisajes Geomorfológicos de la cuenca de la Laguna de Taiguaguay, Estado Aragua"

ELABORADO POR:
 BIONDO, LUIS
 ESTEVES, NORGARDY

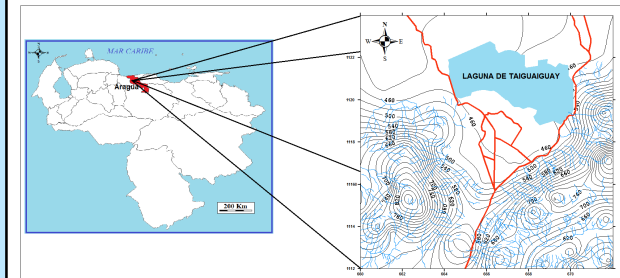
LEYENDA

-  Drenajes
-  Paisaje de Montaña
-  Paisaje de Piedemonte

ESCALA GRÁFICA 1:25.000


Curvas de nivel a intervalos de 20 metros
 Dato vertical: nivel medio del mar
 Proyección mercator transversal
 Dato horizontal la canoa 19

Diagrama de ubicación relativa



Tomado y modificado de las hojas 6646-II-NE, 6646-II-SE, 6746-III-NO y 6746-III-SO, a escala 1:25.000 de la Dirección de Cartografía Nacional

FIGURA 5

MAPA DE UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
MINISTERIO DEL AMBIENTE



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

"Mapa de Unidades Geomorfológicas de la cuenca de la Laguna de Taiguaguay, Estado Aragua"

ELABORADO POR:
BIONDO, LUIS
ESTEVEZ, NORGARDY

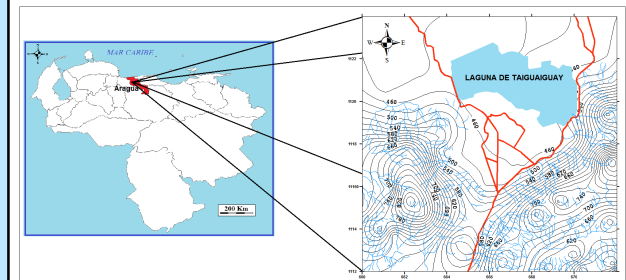
LEYENDA

- U-I = Unidad de Piedemonte
- Laguna
 - Terraza de Inundación
 - Piedemonte
 - Colinas
- U-II = Unidad de Montaña
- Fila el Tamarindo
 - Cerro Ojo de Agua
 - Cerro Guayabal

ESCALA GRÁFICA 1:25.000

Curvas de nivel a intervalos de 20 metros
Dato vertical: nivel medio del mar
Proyección mercator transversal
Dato horizontal la canoa 19

Diagrama de ubicación relativa



Tomado y modificado de las hojas 6646-II-NE, 6646-II-SE, 6746-III-NO y 6746-III-SO, a escala 1:25.000 de la Dirección de Cartografía Nacional

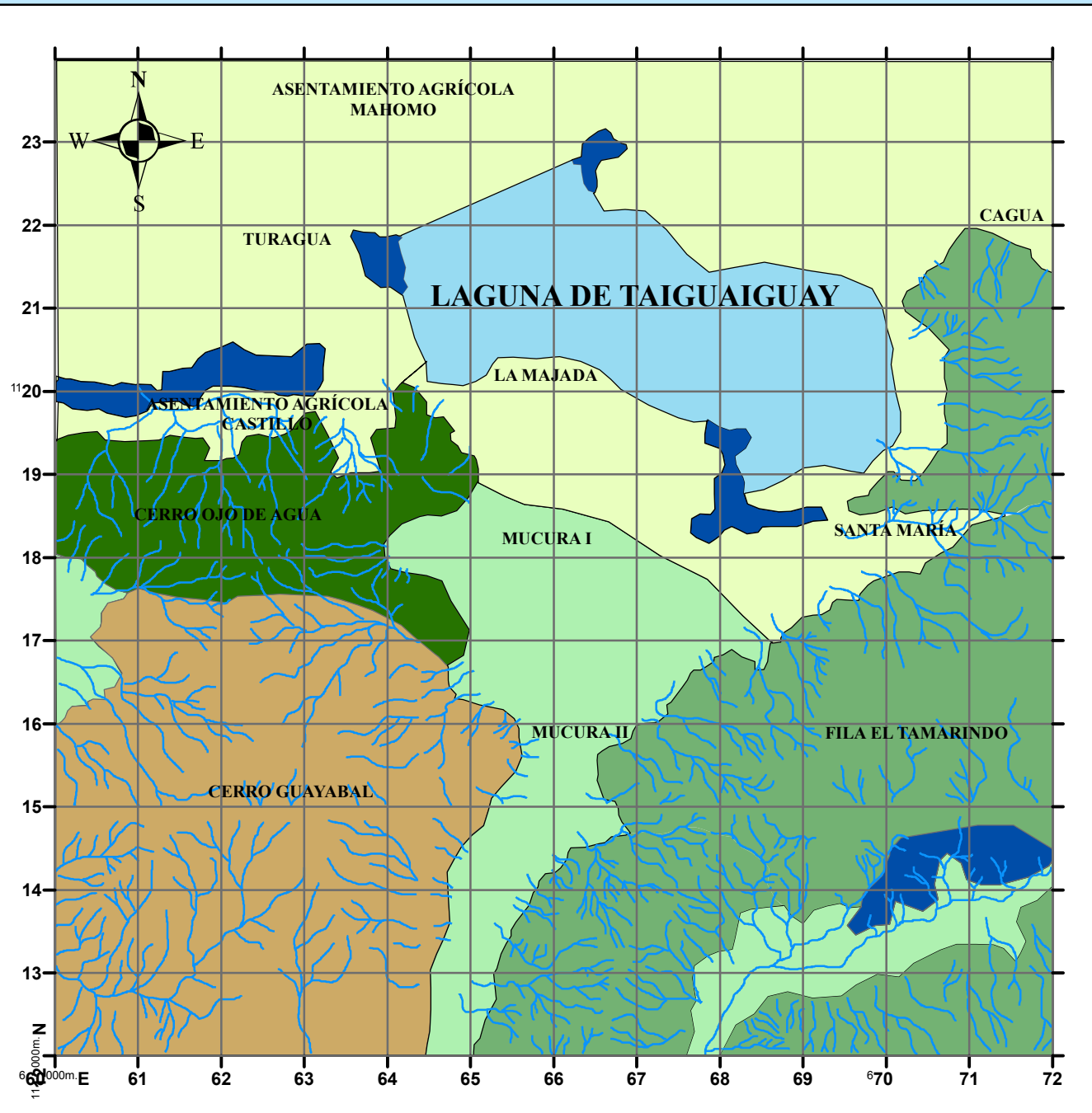
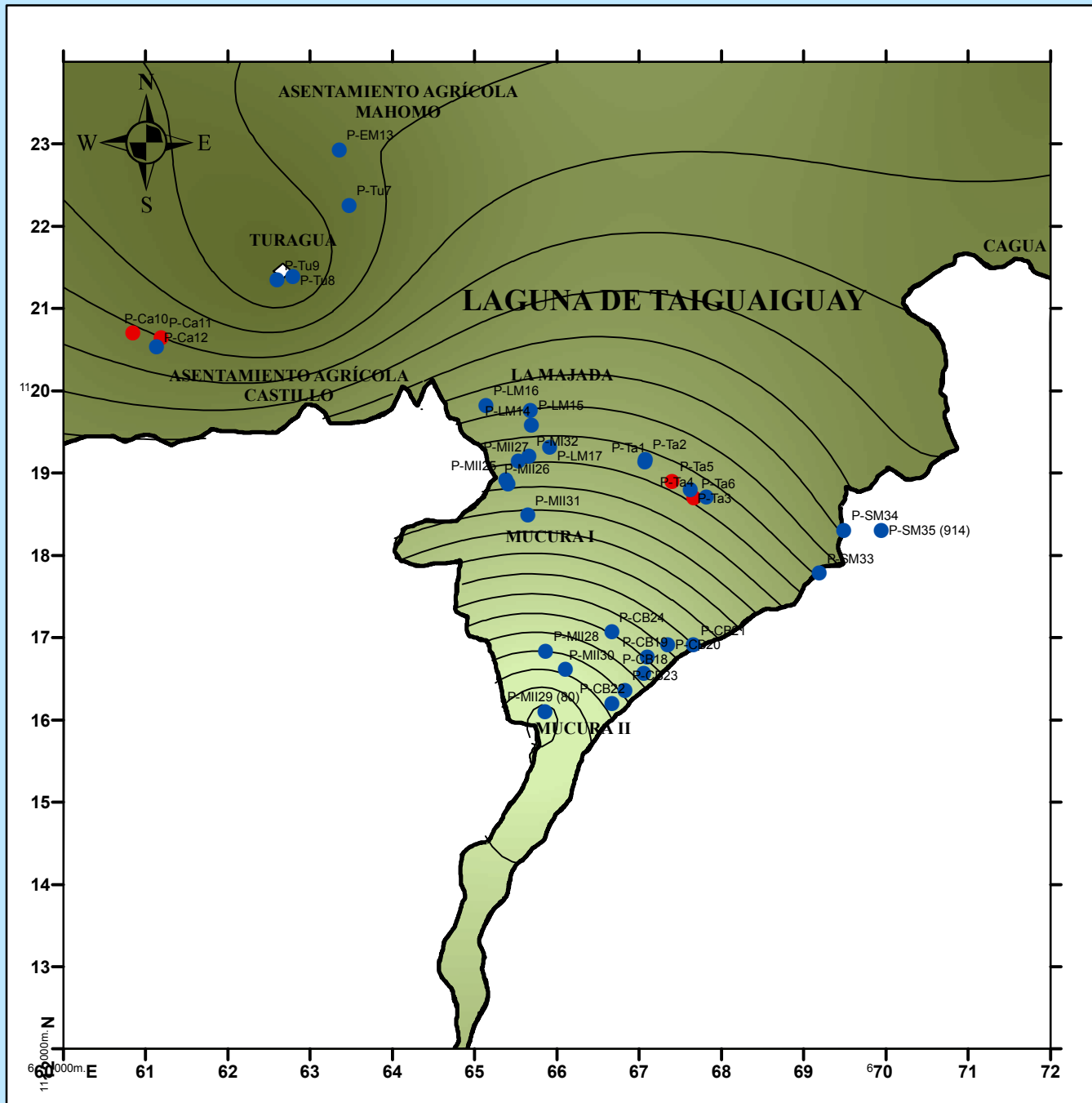


FIGURA 6

MAPA DE TRANSMISIBILIDAD



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
MINISTERIO DEL AMBIENTE



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

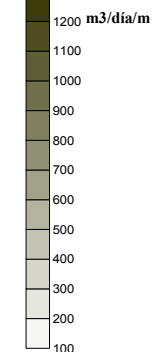
"Mapa de Transmisibilidad de la cuenca de la Laguna de Taiguaguay, Estado Aragua"

ELABORADO POR:
BIONDO, LUIS
ESTEVEZ, NORGARDY

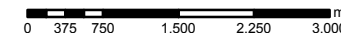
LEYENDA

- Contacto Aluvión-Roca
- Pozo Activo
- Pozo Inactivo
- P-Ta Pozo Sector Tamborón
- P-Tu Pozo Sector Turagua
- P-Ca Pozo Sector Castillito
- P-EM Pozo Sector El Mahomo
- P-LM Pozo Sector La Majada
- P-CS Pozo Sector Casa Blanca
- P-MII Pozo Sector Mucura II
- P-MI Pozo Sector Mucura I
- P-SM Pozo Sector Santa María
- Transmisibilidad del Pozo

Valor de Transmisibilidad

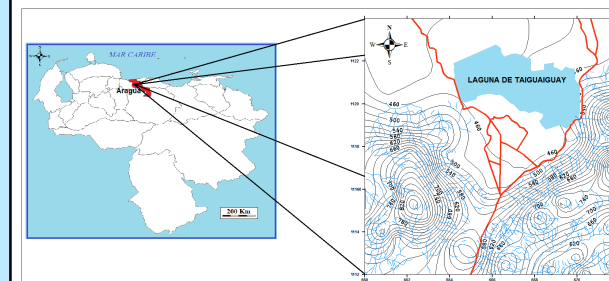


ESCALA GRÁFICA 1:25.000



Curvas de nivel a intervalos de 20 metros
Dato vertical: nivel medio del mar
Proyección mercator transversal
Dato horizontal la canoa 19

Diagrama de ubicación relativa



Tomado y modificado de las hojas 6646-II-NE, 6646-II-SE, 6746-III-NO y 6746-III-SO, a escala 1:25.000 de la Dirección de Cartografía Nacional

FIGURA 7

MAPA DE CONDUCTIVIDAD



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
MINISTERIO DEL AMBIENTE



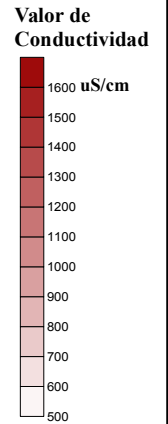
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

"Mapa de Conductividad de la cuenca de la Laguna de Taiguaguay, Estado Aragua"

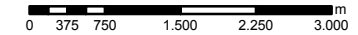
ELABORADO POR:
BIONDO, LUIS
ESTEVEZ, NORGARDY

LEYENDA

- Contacto Aluvión-Roca
- Pozo Activo
- Pozo Inactivo
- P-Ta** Pozo Sector Tamborón
- P-Tu** Pozo Sector Turagua
- P-Ca** Pozo Sector Castillito
- P-EM** Pozo Sector El Mahomo
- P-LM** Pozo Sector La Majada
- P-CS** Pozo Sector Casa Blanca
- P-MII** Pozo Sector Mucura II
- P-MI** Pozo Sector Mucura I
- P-SM** Pozo Sector Santa María
- (Valor)** Valor de Conductividad del Pozo

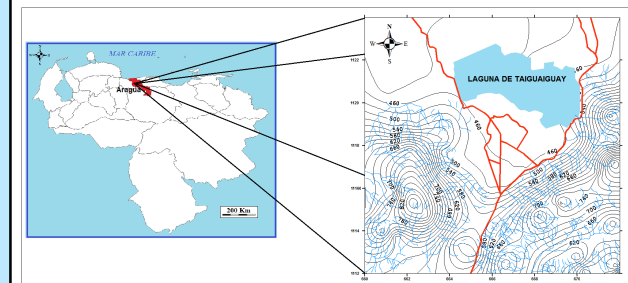


ESCALA GRÁFICA 1:25.000



Curvas de nivel a intervalos de 20 metros
Dato vertical: nivel medio del mar
Proyección mercator transversal
Dato horizontal la canoa 19

Diagrama de ubicación relativa



Tomado y modificado de las hojas 6646-II-NE, 6646-II-SE, 6746-III-NO y 6746-III-SO, a escala 1:25.000 de la Dirección de Cartografía Nacional

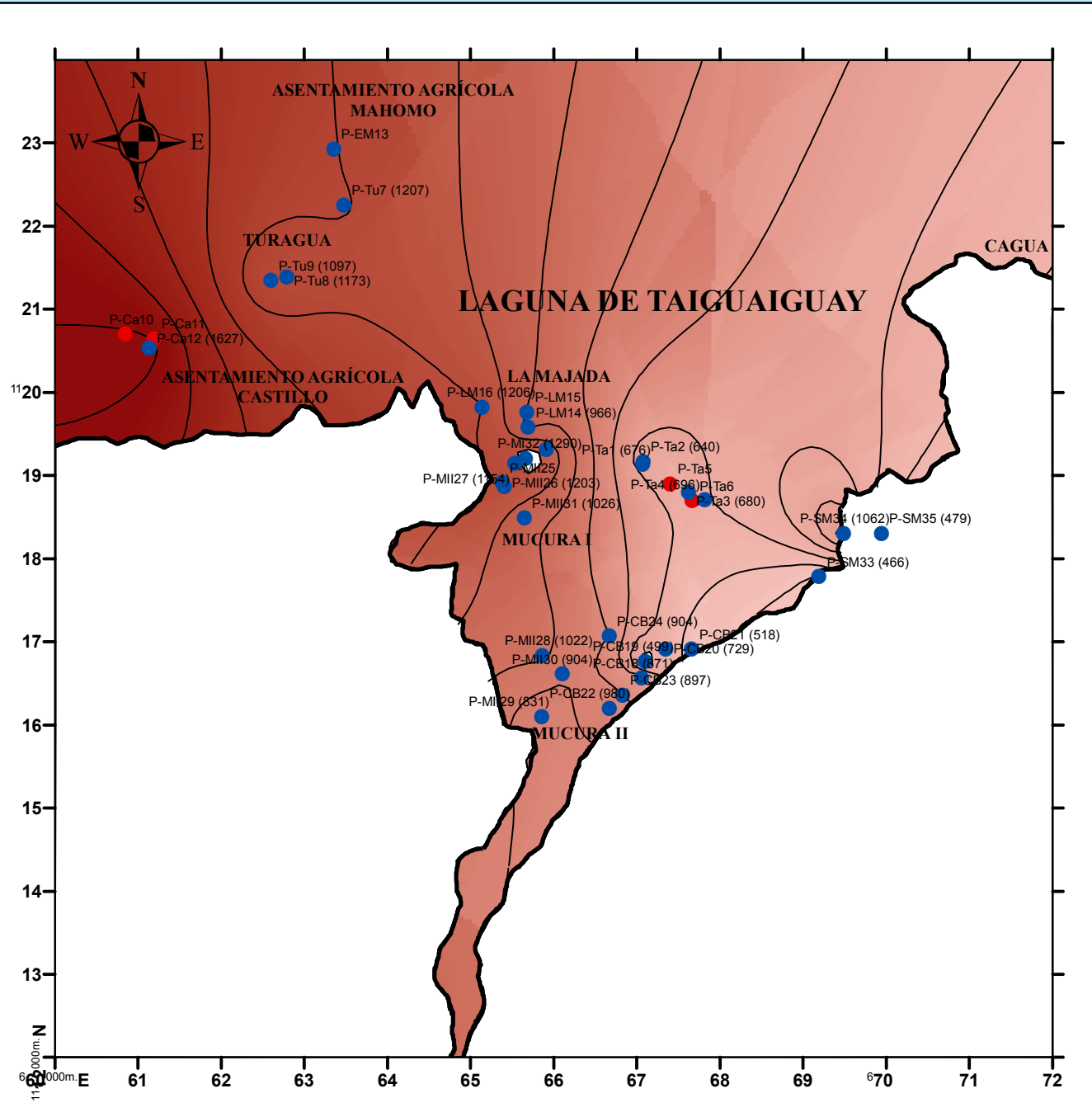


FIGURA 8 MAPA PIEZOMÉTRICO (2010)



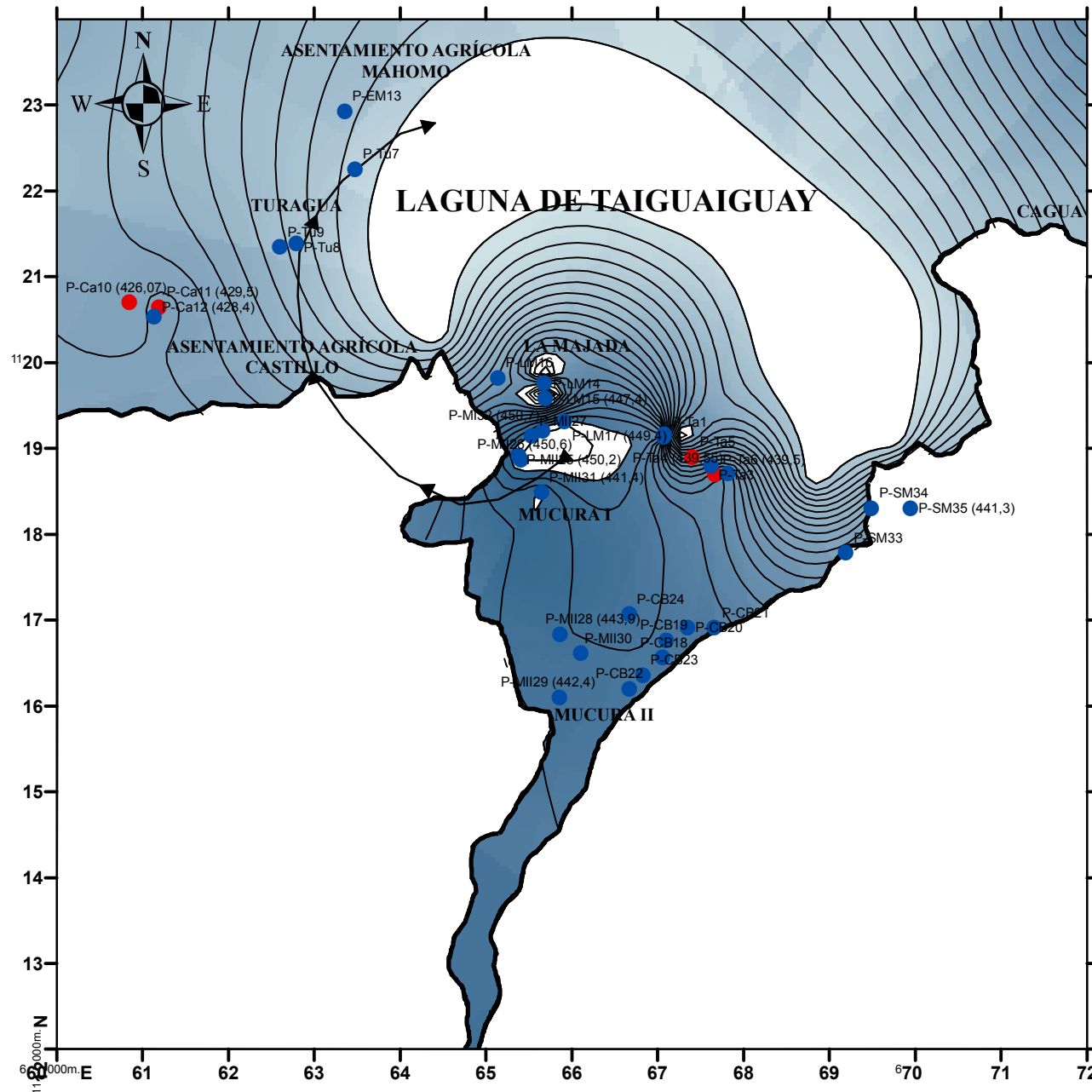
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
MINISTERIO DEL AMBIENTE



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

"Mapa Piezométrico del año 2010 de la cuenca de la Laguna de Taiguaguay, Estado Aragua"

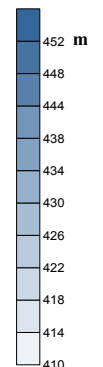
ELABORADO POR:
BIONDO, LUIS
ESTEVEZ, NORGARDY



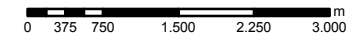
LEYENDA

- Isopieza (cada 2 m)
- Contacto Aluvión-Roca
- Pozo Activo
- Pozo Inactivo
- P-Ta Pozo Sector Tamborón
- P-Tu Pozo Sector Turagua
- P-Ca Pozo Sector Castillito
- P-EM Pozo Sector El Mahomo
- P-LM Pozo Sector La Majada
- P-CS Pozo Sector Casa Blanca
- P-MII Pozo Sector Mucura II
- P-MI Pozo Sector Mucura I
- P-SM Pozo Sector Santa Maria
- (Valor) Nivel Piezométrico del Pozo
- Dirección de Flujo

Nivel Piezométrico

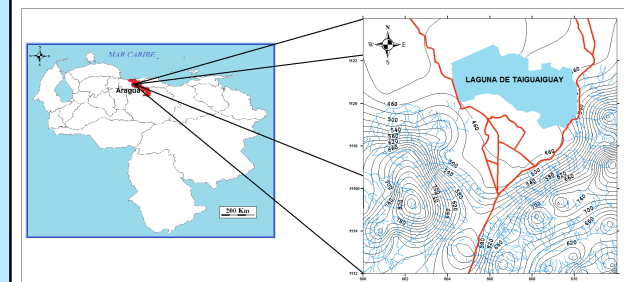


ESCALA GRÁFICA 1:25.000



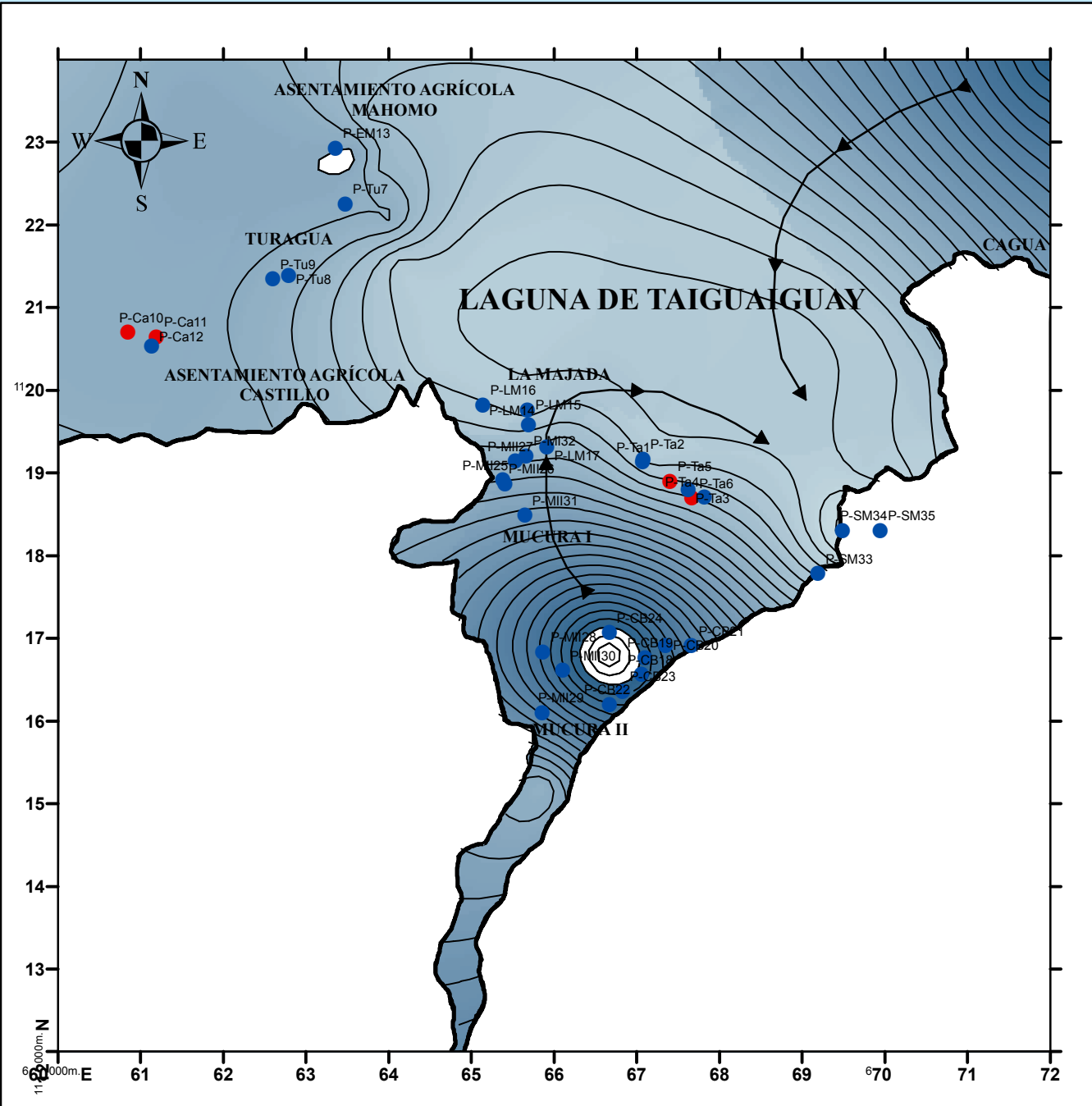
Curvas de nivel a intervalos de 20 metros
Dato vertical: nivel medio del mar
Proyección mercator transversal
Dato horizontal la canoa 19

Diagrama de ubicación relativa



Tomado y modificado de las hojas 6646-II-NE, 6646-II-SE, 6746-III-NO y 6746-III-SO, a escala 1:25.000 de la Dirección de Cartografía Nacional

FIGURA 9 MAPA PIEZOMÉTRICO (1986)



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
MINISTERIO DEL AMBIENTE



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

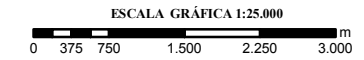
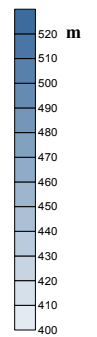
"Mapa Piezométrico del año 1986 de la cuenca de la Laguna de Taiguaguay, Estado Aragua"

ELABORADO POR:
BIONDO, LUIS
ESTEVEZ, NORGARDY

LEYENDA

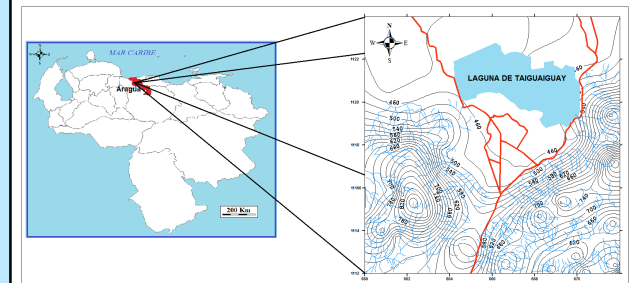
- Isopieza (cada 5 m)
- Contacto Aluvión-Roca
- Pozo Activo
- Pozo Inactivo
- P-Ta Pozo Sector Tamborón
- P-Tu Pozo Sector Turagua
- P-Ca Pozo Sector Castillito
- P-EM Pozo Sector El Mahomo
- P-LM Pozo Sector La Majada
- P-CS Pozo Sector Casa Blanca
- P-MII Pozo Sector Mucura II
- P-MI Pozo Sector Mucura I
- P-SM Pozo Sector Santa Maria
- Dirección de Flujo

Nivel Piezométrico



ESCALA GRÁFICA 1:25.000
Curvas de nivel a intervalos de 20 metros
Dato vertical: nivel medio del mar
Proyección mercator transversal
Dato horizontal la canoa 19

Diagrama de ubicación relativa



Tomado y modificado de las hojas 6646-II-NE, 6646-II-SE, 6746-III-NO y 6746-III-SO, a escala 1:25.000 de la Dirección de Cartografía Nacional

ANEXO 10

MAPA TOPOGRÁFICO Y DE UBICACIÓN DE POZOS



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
MINISTERIO DEL AMBIENTE



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

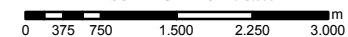
"Mapa Topográfico y de Ubicación de Pozos de la cuenca de la Laguna de Taiguaiguay, Estado Aragua"

ELABORADO POR:
BIONDO, LUIS
ESTEVEZ, NORGARDY

LEYENDA

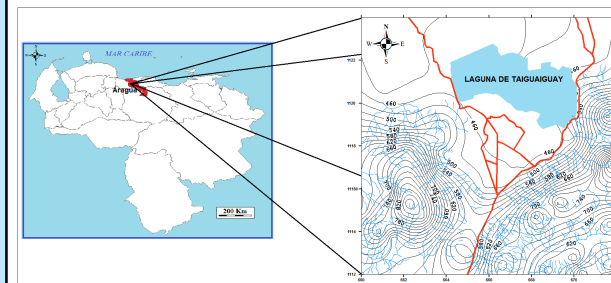
- Via de Acceso Principal
- Drenajes
- Laguna
- Curva de Nivel
- Poblado
- Pozo Activo
- Pozo Inactivo
- Pozo Sector Tamborón
- Pozo Sector Turagua
- Pozo Sector Castillito
- Pozo Sector El Mahomo
- Pozo Sector La Majada
- Pozo Sector Casa Blanca
- Pozo Sector Mucura II
- Pozo Sector Mucura I
- Pozo Sector Santa María

ESCALA GRÁFICA 1:25.000

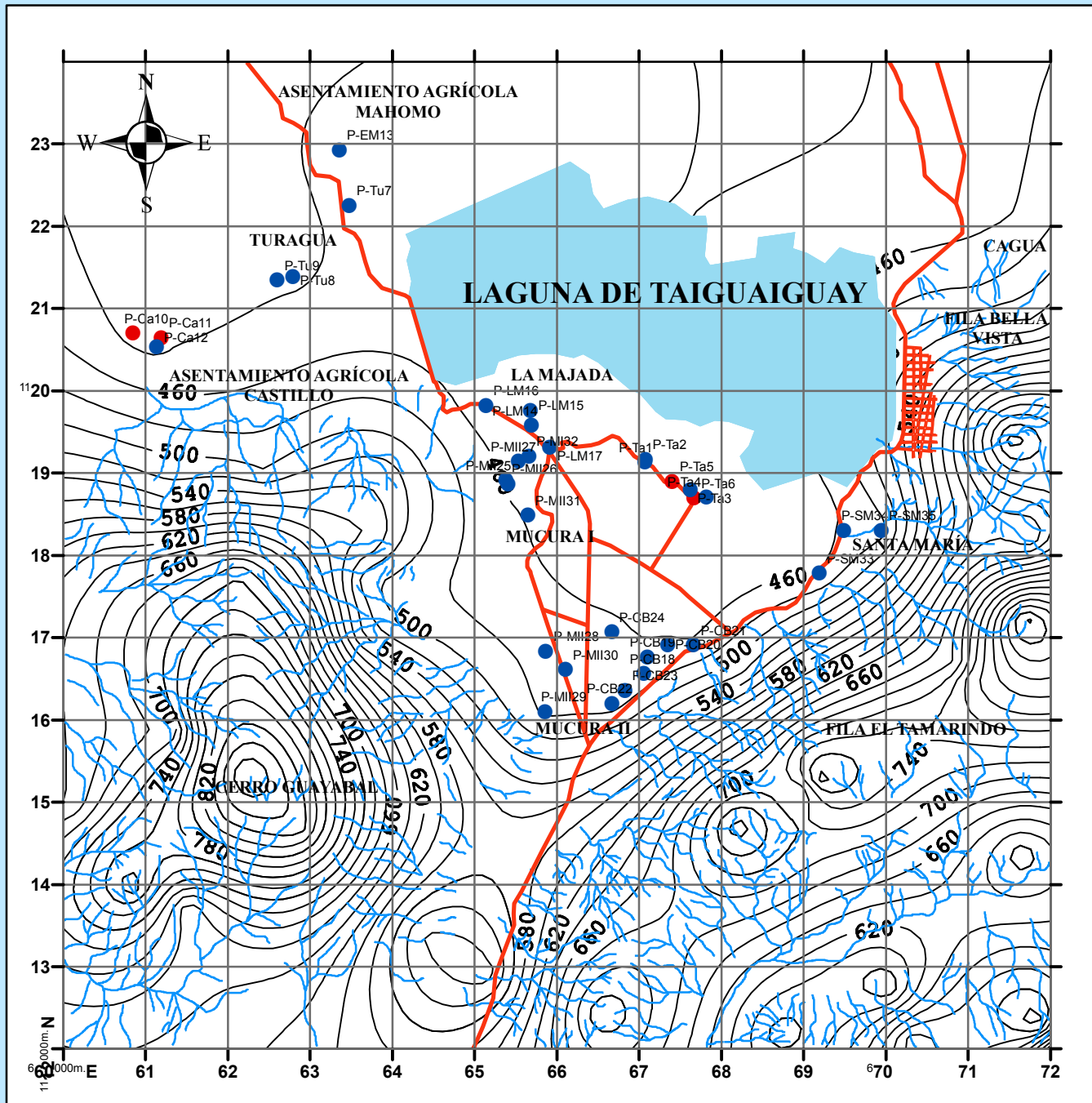


Curvas de nivel a intervalos de 20 metros
Dato vertical: nivel medio del mar
Proyección mercator transversal
Dato horizontal la canoa 19

Diagrama de ubicación relativa



Tomado y modificado de las hojas 6646-II-NE, 6646-II-SE, 6746-III-NO y 6746-III-SO, a escala 1:25.000 de la Dirección de Cartografía Nacional



DATOS DE LITOLOGÍA POZO AR-625891A

Profundidades (m)		Descripción litológica
Desde	Hasta	
0	10	Arcillas
10	26	Arenas finas
26	44	Arcillas
44	62	Arenas Medias
62	80	Arcillas
80	88	Arenas gruesas
88	98	Arcillas
98	100	Grava
100	103	Arcilla
103	118	Arenas medias

DATOS DE LITOLOGÍA POZO Tu-8

Profundidades (m)		Descripción litológica
Desde	Hasta	
0	12	Arcillas
12	35	Arenas finas
35	60	Arenas medias
60	72	Arenas gruesas

DATOS DE LITOLOGÍA POZO Tu-9

Profundidades (m)		Descripción litológica
Desde	Hasta	
0	12	Arcillas
12	35	Arenas finas
35	60	Arenas medias
60	72	Arenas gruesas
72	80	Arcillas

DATOS DE LITOLOGÍA POZO EM-13

Profundidades (m)		Descripción litológica
Desde	Hasta	
0	12	Arcillas
12	19	Arenas finas
19	37	Arenas medias
37	58	Arcillas
58	69	Arenas gruesas
69	92	Arcillas
92	101	Gravas
101	111	Arcillas
111	118	Arenas medias

DATOS DE LITOLOGÍA POZO AR-6158940A

Profundidades (m)		Descripción litológica
Desde	Hasta	
0	6	Arcillas
6	17	Arenas finas
17	20	Arcillas
20	31	Arenas medias
31	42	Arcillas
42	50	Arenas gruesas
50	81	Arcillas
81	87	Gravas
87	90	Arcillas
90	93	Arenas medias

Ubicación de los pozos					
Pozo	Lugar	Estado	Propietario	Coordenadas	
				UTM	
				N	E
P-Ta1	Tamboron	Aragua	José Tabares	1118768	666859
P-Ta2	Tamboron	Aragua	José Tabares	1118803	666862
P-Ta3	Tamboron	Aragua	José Manuel	1118424	667410
P-Ta4	Tamboron	Aragua	José Rangel	1118339	667604
P-Ta5	Tamboron	Aragua	Luis Millan	1118530	667189
P-Ta6	Tamboron	Aragua	x	1118330	667454
P-Tu7	Turagua	Aragua	Juan Curvelo	1121883	663261
P-Tu8	Turagua	Aragua	Alfarería Turagua	1121025	662573
P-Tu9	Turagua	Aragua	Alfarería Turagua	1120978	662386
P-Ca10	Castillito	Aragua	Cornelia Tirado	1120331	660632
P-Ca11	Castillito	Aragua	Juan Blanco	1120277	660974
P-Ca12	Castillito	Aragua	José Sanchez	1120166	660919
P-EM13	El Mahomo	Aragua	Alejandro Aguilar	1122563	663142
P-LM14	La Majada	Aragua	Ignacio Olivero	1119213	665478
P-LM15	La Majada	Aragua	Luis Lara	1119393	665468
P-LM16	La Majada	Aragua	Carlos	1119453	664923
P-LM17	La Majada	Aragua	Carmen Alvarez	1118949	665699
P-CB18	Casa Blanca	Aragua	Agropecuaria Casa Blanca	1116195	666841
P-CB19	Casa Blanca	Aragua	Manuel Medina	1116400	666886
P-CB20	Casa Blanca	Aragua	Santiago	1116547	667136
P-CB21	Casa Blanca	Aragua	Carlos Yobera	1116546	667444
P-CB22	Casa Blanca	Aragua	José Manuel	1115835	666454
P-CB23	Casa Blanca	Aragua	x	1115994	666616
P-CB24	Casa Blanca	Aragua	Enma de Lugo	1116704	666456
P-MII25	Mucura II	Aragua	José Rodríguez	1118546	665164
P-MII26	Mucura II	Aragua	José Rodríguez	1118505	665192
P-MII27	Mucura II	Aragua	Carlos Tabache	1118776	665320
P-MII28	Mucura II	Aragua	Oswal Díaz	1116470	665652
P-MII29	Mucura II	Aragua	Gustavo Hernández	1115735	665642
P-MII30	Mucura II	Aragua	Cervilio Sanz	1116246	665891
P-MII31	Mucura II	Aragua	Luis Velásquez	111812	665434
P-MI32	Mucural	Aragua	Jesús Teran	1118842	665447
P-SM33	Santa María	Aragua	Aires Da silva	1117415	668980
P-SM34	Santa María	Aragua	Agronomía UCV	1117932	669277
P-SM35	Santa María	Aragua	Agronomía UCV	1117937	669733

Datos de Construcción de los pozos							
Pozo	Elevación (m)	Fecha	Profundidad (m)		Profundidad Pozo(m)	Diámetro (pulgadas)	
			Perforada	Entubada		Perforado	Entubado
P-Ta1	432	1960	70	x	70	x	x
P-Ta2	432	1960	x	x	15	x	1 1/4
P-Ta3	453	x	x	x	x	x	x
P-Ta4	454	x	x	x	40	6	x
P-Ta5	445	x	80	76	80	12	2
P-Ta6	444	x	x	x	x	x	x
P-Tu7	453	1999	x	x	x	x	3
P-Tu8	438	1999	72,5	72	72,5	12	6
P-Tu9	435	2007	80,5	80	80,5	14	8
P-Ca10	431	1980	x	x	72	x	8
P-Ca11	435	x	x	x	68	x	8
P-Ca12	431	2007	x	x	65	x	8
P-EM13	439	1982	118	116,4	118	14	8
P-LM14	451	1970	x	x	60	x	10
P-LM15	446	x	x	x	x	x	x
P-LM16	454	x	x	x	x	x	x
P-LM17	456	x	x	x	x	x	4
P-CB18	472	x	x	x	92	x	x
P-CB19	470	1980	x	x	100	x	12
P-CB20	466	x	x	x	x	x	x
P-CB21	468	x	x	x	x	x	x
P-CB22	469	1970	x	x	90	x	10
P-CB23	468	x	x	x	x	x	x
P-CB24	452	1950	x	x	>100	x	10
P-MII25	459	x	x	x	12	x	4
P-MII26	457	x	x	x	x	x	x
P-MII27	453	1980	x	x	x	x	x
P-MII28	477	1970	x	x	110	x	10
P-MII29	475	1970	x	x	70	x	16
P-MII30	473	1960	x	x	110	x	8
P-MII31	455	1960	x	x	104	x	12
P-MI32	471	2000	x	x	6	x	3
P-SM33	454	1960	x	x	68	x	12
P-SM34	460	1970	x	x	75	8	4
P-SM35	462	1970	x	x	>40	x	x

Datos Complementarios							
Pozo	Activo	Inactivo		Uso			
		Tiempo sin funcionar	Motivo	Doméstico	Urbano	Comercial	Agrícola
P-Ta1	si	x	x				si
P-Ta2	si	x	x	si			si
P-Ta3	si	x	x	si			si
P-Ta4	si	x	x	si			si
P-Ta5	no	2 años	x	si			si
P-Ta6	no	x	Derrumbado				
P-Tu7	si	x	x				si
P-Tu8	si	x	x			si	si
P-Tu9	si	x	x			si	si
P-Ca10	no	3 meses	Bomba quemada				si
P-Ca11	no	2 años	Falta de bomba				si
P-Ca12	si	x	x				si
P-EM13	si	x	x				si
P-LM14	si	x	x				si
P-LM15	si	x	x				si
P-LM16	si	x	x				si
P-LM17	si	x	x				si
P-CB18	si	x	x				si
P-CB19	si	x	x	si			si
P-CB20	si	x	x				si
P-CB21	si	x	x				si
P-CB22	si	x	x				si
P-CB23	si	x	x				si
P-CB24	si	x	x				si
P-MII25	si	x	x	si			si
P-MII26	si	x	x	si			si
P-MII27	si	x	x	si			si
P-MII28	si	x	x	si			si
P-MII29	si	x	x				si
P-MII30	si	x	x	si			si
P-MII31	si	x	x				si
P-MI32	si	x	x	si			
P-SM33	si	x	x				si
P-SM34	si	x	x				si
P-SM35	si	x	x				si

Datos de Medición									
Pozo	Información de Campo			Información Verbal			Conductividad		Temperatura °C
	Niveles (m)		Caudal (l/s)	Niveles (m)		Caudal (l/s)	μS/cm	mS/cm	
	Estático	Dinámico		Estático	Dinámico				
P-Ta1	x	x	9	x	x	x	676	480	28,8
P-Ta2	0,31	x	x	x	x	x	640	480	28
P-Ta3	x	x	x	x	x	x	680	487,5	30,5
P-Ta4	9,45	x	3	x	x	x	696	522	27,8
P-Ta5	x	x	x	x	x	6	x	x	x
P-Ta6	9,5	x	x	x	x	x	x	x	x
P-Tu7	x	x	1	11	x	x	1207	844	29
P-Tu8	x	x	x	12	18	12	1173	822	27,8
P-Tu9	x	x	x	12	20	20	1097	768	30,3
P-Ca10	8,93	x	x	x	x	x	x	x	x
P-Ca11	8,51	x	x	x	x	x	x	x	x
P-Ca12	7,6	x	12	x	x	x	1627	1138	28,2
P-EM13	x	x	x	12	18	20	x	x	x
P-LM14	x	x	>15	6	x	x	966	677	27,3
P-LM15	0,61	x	>10	x	x	x	x	x	x
P-LM16	x	x	>10	x	x	x	1206	842	28,4
P-LM17	2,6	x	x	x	x	x	1172	819	27,5
P-CB18	x	x	x	x	x	x	871	608	29
P-CB19	x	x	>15	20	x	x	499	348	28,4
P-CB20	x	x	>12	x	x	x	729	510	27,3
P-CB21	x	x	x	x	x	x	518	360	32,7
P-CB22	x	x	>10	30	x	x	980	685	27,7
P-CB23	x	x	x	x	x	x	897	627	27,5
P-CB24	x	x	>10	x	x	x	904	632	27,5
P-MII25	6,8	x	x	x	x		x	x	x
P-MII26	6,43	x	2,5	x	x	4	1203	840	27,9
P-MII27	x	x	x	x	x	x	1154	808	28,1
P-MII28	30,1	x	x	x	x	8	1022	710	28,9
P-MII29	33,6	x	12	x	x	x	831	582	27,6
P-MII30	x	x	10	x	x	x	904	632	33,4
P-MII31	17,6	x	x	x	x	>12	1026	721	28,3
P-MI32	4,3	x	3,2	x	x	x	1290	901	28,1
P-SM33	x	x	x	25	45	25	466	325	28,4
P-SM34	28,7	x	x	x	x	x	1062	744	27,6
P-SM35	x	x	x	x	30,13	12	479	335	28,3

Datos Litológicos				Observaciones
Pozo	Desde	Hasta	Descripción Litológica	
P-Ta1	x	x	x	Bomba eje vertical
P-Ta2	x	x	x	Pozo Artesanal
P-Ta3	x	x	x	x
P-Ta4	x	x	x	x
P-Ta5	x	x	x	x
P-Ta6	x	x	x	x
P-Tu7	x	x	x	Granja La Caridad
P-Tu8	0	1	Capa vegetal	Tiempo de bombeo: 90 hora/mes 12 mes/año
	1	12	Tierra negra Grea	
	12	35	Polvillo arenoso amarillo	
	35	60	Arena gruesa blanca	
	60	72	Granzón blanco	
P-Tu9	0	1	Capa vegetal	Tiempo de bombeo: 220 hora/mes 8 mes/año
	1	12	Tierra negra Grea	
	12	35	Polvillo arenoso amarillo	
	35	60	Arena gruesa blanca	
	60	70	Granzón blanco	
	70	80	Arcilla roja	
P-Ca10	x	x	x	Parcela 9
P-Ca11	x	x	x	Parcela 10
P-Ca12	x	x	x	Tiempo de Bombeo: 2 Horas/Día, Parcela 21
P-EM13	0	8	Arcilla limosa	Identificación: AR-6158913A Parcela 41
	8	12	Arcilla alta plasticidad	
	12	19	Arena limosa	
	19	37	Arena gruesa cuarzosa	
	37	58	Arcilla amarilla baja plasticidad	
	58	69	Arena gruesa	
	69	88	Arcilla limosa presencia de lentes arenosos	
	88	92	Arcilla limosa presencia de lentes arenosos	
	92	101	Grava gruesa	
	101	111	Arcilla arenosa	
	111	118	Arena arcillosa color gris	
P-LM14	x	x	x	Parcela 25
P-LM15	x	x	x	Parcela 26
P-LM16	x	x	x	Parcela 29
P-LM17	x	x	x	Parcela 21 y 22
P-CB18	x	x	x	x

P-CB19	x	x	x	Parcela 15
P-CB20	x	x	x	x
P-CB21	x	x	x	Parcela 24
P-CB22	x	x	x	Parcela 02
P-CB23	x	x	x	x
P-CB24	x	x	x	Parcela 20
P-MII25	x	x	x	Parcela 3
P-MII26	x	x	x	Parcela 3
P-MII27	x	x	x	Hacienda El Guasimo
P-MII28	x	x	x	Parcela 12
P-MII29	x	x	x	Tiempo de Bombeo: 18 Horas/Días- 3 Días/semana Parcela 8
P-MII30	x	x	x	Parcela 3
P-MII31	x	x	x	Parcela 8, Pozo contaminándose con aceite
P-MI32	x	x	x	Parcela 1
P-SM33	x	x	x	Parcela 9
P-SM34	x	x	x	x
P-SM35	x	x	x	x