



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL SECTOR CIRCUNDANTE A LOS FOSOS DE ACCESO Y ESTACIONES DE LA LÍNEA 2 DEL METRO LOS TEQUES, TRAMO SAN ANTONIO-EL TAMBOR, MUNICIPIO GUAICAIPURO, CARRIZAL Y LOS SALIAS, ESTADO MIRANDA

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo
Por la Br. Salomón J., Mónica D

Caracas, Julio de 2010



TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL SECTOR CIRCUNDANTE A LOS FOSOS DE ACCESO Y ESTACIONES DE LA LÍNEA 2 DEL METRO LOS TEQUES, TRAMO SAN ANTONIO-EL TAMBOR, MUNICIPIO GUAICAIPURO, CARRIZAL Y LOS SALIAS, ESTADO MIRANDA

Tutor Académico: Prof.: Ing. Armando Díaz Quintero

Tutor Industrial: Ing. Antonio Mota

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Para optar al Título de Ingeniero Geólogo
Por la Br. Salomón J., Mónica D

Caracas, Julio de 2010

Caracas 20 de julio 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 la Bachiller Mónica D. Salomón J., Titulado:

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL SECTOR CIRCUNDANTE A LOS FOSOS DE ACCESO Y ESTACIONES DE LA LÍNEA 2 DEL METRO LOS TEQUES, TRAMO SAN ANTONIO-EL TAMBOR, MUNICIPIO GUAICAIPURO, CARRIZAL Y LOS SALIAS, ESTADO MIRANDA

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.

Tutor: Prof. A. Díaz Quintero

Prof. Ramón Montero

Prof. Feliciano De Santis

***A... DIOS,
A... LA GEOLOGÍA***

A...

Milena, mi madre

Alfonso, mi hermano

Stipe, mas que mi tío mi padre

Stefan y Clara, mis abuelos

Mónica Daniza Salomón Jelovcic

AGRADECIMIENTOS

Ante todo debo agradecer a *Dios*, por permitirme estar aquí en este momento y ayudarme a lograr este sueño, a pesar de todas las dificultades.

A la honorable *Universidad Central de Venezuela*, “la casa que vence las sombras”, por toda la enseñanza y las lecciones de vida en ella aprendidas.

Al profesor *Armando Díaz Quintero*, quien me brindó todo su apoyo, conocimientos, comprensión y buenos consejos, siendo siempre un modelo de profesional a seguir.

Al Ingeniero *Antonio Mota Barrios*, por permitirme esta oportunidad y brindarme todo su apoyo y conocimientos.

A la compañía *CONSORCIO LINEA II*, por brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente, en especial al *Departamento de Geología*, al Ingeniero *Ángel Chacón* (Angelito mil gracias por ser más que un compañero de trabajo, un amigo, un apoyo), al Ingeniero *Alonso Vera Lupi* por sus conocimientos y su amistad, al T.S.U *Ramón Omaña* por su amistad y ayuda incondicional, al Ingeniero *Arthur Lobo* y a todas las personas que de una u otra forma colaboraron conmigo durante mi pasantía.

A *Milena*, mi madre, por darme la vida e impulsarme a seguir adelante en todo momento, además de ser un ejemplo de vida a seguir.

A mi hermano *Alfonso*, a mi tío *Stipe*, a mis abuelos *Stefan* y *Clara* por estar a mi lado y apoyarme siempre.

A la Ingeniero *Adriana Zambrano*, por ser más que una amiga y siempre estar allí de forma incondicional en todo momento (Tutora mil gracias por todo).

A todas las personas que hicieron especial mis años en la universidad, *Marco Álvarez* (gracias asesor), *Mijaíl Olivar* (mil gracias por siempre estar pendiente),

Rossmar Pedrique, Andrés Velásquez, Javier Oropeza, Freddy López, Woodwarde Guevara, Walter Guillen, Ricardo Vélez, Johely Zurita, Leomar López, Carlos Ibarra, Rafael Romero, Mirka Farfán, muchachos gracias por ser parte especial en mi vida.

A *Olga López*, por toda su comprensión, amistad y apoyo incondicional siempre, a *Aprilis* por darme muchos buenos momentos, a *Francis, Cielito y Virginia* por su amistad y cariño.

A mi guía el Ingeniero *Vittorio Agabio*, por todos los conocimientos y las oportunidades que siempre me brindo durante su estadía en Venezuela.

A la doctora *María del Pilar Lliso*, profesor *Andrés Correa*, profesor *Jesús Hernández*, profesor *Cesar Cárdenas*, profesora *Marianela Blanco*, al profesor *Miguel Castillejo*, profesora *Marta Serpa*, gracias por su apoyo siempre y por ser un ejemplo de profesionalismo.

Al Coronel (G.N.B.) *José Jesús Hernández Perales*, a la Doctora *Naeroby Rodríguez*, mil gracias por su cariño, apoyo incondicional y buenos consejos.

A todas las personas a las cuales no nombré pero que son parte importante en mi vida, mil gracias a todos.

Salomón J., Mónica D.

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL SECTOR CIRCUNDANTE A LOS FOSOS DE ACCESO Y ESTACIONES DE LA LÍNEA 2 DEL METRO LOS TEQUES, TRAMO SAN ANTONIO-EL TAMBOR, MUNICIPIO GUAICAIPURO, CARRIZAL Y LOS SALIAS, ESTADO MIRANDA

Tutor Académico: Prof.: Ing. Armando Díaz Quintero. Tutor Industrial: Ing. Antonio Mota. Tesis. Caracas, U.C.V., Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, minas y Geofísica. Año 2010, 108 páginas.

Palabras Claves: Hidrogeología, Aguas Subterráneas, Los Teques, Abatimiento, Fosos de excavación.

RESUMEN: La zona de estudio se encuentra situada en el estado Miranda, entre las coordenadas U.T.M. norte 1.143.000-1.147.000 y este 711.000-718.000, correspondiente al trazado de la línea 2 del Metro de los Teques.

En la ejecución de obras subterráneas, es necesario tener bajo control el efecto que tienen sobre las excavaciones las aguas subterráneas, por ello se requiere conocer y caracterizar el régimen hidrogeológico de la zona para poder planificar el abatimiento del nivel freático, tratando de no afectar de manera permanente los recursos hídricos de la zona, ni afectar negativamente las estructuras adyacentes.

El estudio hidrogeológico se fundamentó en las interpretaciones de las pruebas de bombeo, con la ayuda de software especializado para determinar los parámetros hidráulicos del acuífero, tomando en cuenta las pruebas realizadas en cada uno de los fosos, se pudo determinar que el tipo de acuífero presente a lo largo del trazado corresponde a un acuífero libre.

El nivel freático, a lo largo de la zona de estudio varía desde 8,80 m. de profundidad, en el Foso la Matica (Estación Independencia) a 1158,7 m.s.n.m., pasando

por 10,80 m. de profundidad, en el Foso Andrés Bello (Estación Guaicaipuro) a 1151,70 m.s.n.m, hasta los 16,0 m. de profundidad en el Foso Macarena Sur a 1176,0 m.s.n.m, esta variación obedece principalmente a la configuración topográfica de la zona, es decir, donde la cota del terreno sea mayor, el nivel freático estará a mayor profundidad, mientras que en los lugares con menor cota el nivel freático estará más cerca de la superficie del terreno.

Con respecto a la tendencia de las líneas de flujo en la región, tomando en cuenta los valores encontrados en los diferentes fosos durante el estudio realizado, indica que las mismas se mueven desde los lugares con mayor altura sobre el nivel de mar, en el Foso la Macarena Sur (1192,0 m.s.n.m.), pasando por el Foso La Matica y el Foso de Acceso 1 de la Estación Miranda (1167,50 m.s.n.m. en ambos casos) concluyendo en el Foso Andrés Bello (1162,50 m.s.n.m).

Tomando en cuenta los cálculos realizados donde se obtuvieron los valores de permeabilidad y transmisibilidad, se recomendó ejecutar en cada uno de los fosos una cantidad determinada de pozos, de profundidad variable en cada caso, distribuidos de forma adecuada alrededor de la excavación, para realizar el abatimiento durante la construcción, en condiciones más favorables.

Con respecto al macizo rocoso, a lo largo de la zona de estudio, se puede decir que el mismo está compuesto en su totalidad por rocas metamórficas, las cuales se pueden encontrar como roca descompuesta blanda (RDb), roca descompuesta blanda fracturada (RDbf), roca meteorizada dura fracturada (RMdf) hasta roca fresca dura fracturada (RFdf) a mayores profundidades, las mismas pertenecen a la formación Las Mercedes y están constituidas por esquistos grafitosos cuarzosos, con presencia de muscovita, micas, sericita, talco y en ocasiones también calcáreo, con una foliación media a incipiente y vetas de cuarzo.

INDICE

RESUMEN	vii
INDICE	ix
LISTA DE FIGURAS Y FOTOS	xii
LISTA DE CUADROS Y TABLAS.....	xiv
CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCION.....	1
1.2.-Objetivos	1
1.2.1.-Objetivo general	1
1.2.2.-Objetivos específicos.....	2
1.3.- Ubicación y extensión del área de estudio.....	3
1.4.-Vías de acceso.....	4
1.5.-Metodología.....	5
1.5.1.-Etapa preliminar	5
1.5.2.- Etapa de campo.	6
1.5.3.- Etapa de análisis e interpretación de resultados.	8
1.6 Trabajos previos	9
CAPITULO II.....	12
2. GEOLOGÍA REGIONAL	12
2.1.- Generalidades.....	12
2.2.- Geografía física.....	12
2.2.1.- Clima	12
2.2.2.- Vegetación	13
2.2.3.- Hidrografía.....	13
2.3.- Estratigrafía regional	15
2.4.- Geología estructural regional.....	19
2.5 Metamorfismo regional	24

CAPITULO III	25
3. GEOLOGÍA LOCAL	25
3.1.- Generalidades.....	25
3.2.- Foso Andrés Bello.....	25
3.3.- Foso La Matica	28
3.4.- Foso Macarena Sur.....	30
3.5.- Foso Acceso 1 - Estación Miranda.....	31
3.6.- Perforaciones y Perfiles Geotécnicos	32
3.6.1.- Perforación PE1-A.....	34
3.6.2.- Perforación P-3.....	34
3.6.3.- Perforación PE1-D.....	35
3.6.4.- Perforación P-4.....	36
3.6.5.- Perforación P-13.....	36
3.6.6.- Perforación P-5.....	36
3.6.7.- Perforación P-7.....	37
3.6.8.- Perforación PE2-A.....	38
3.6.9.- Perforación P2R	38
3.6.10.- PL-3 a PL-10.....	42
3.6.11.- PL-22 a P-27	43
CAPITULO IV	46
4.- HIDROGEOLOGÍA	46
4.1.- Generalidades.....	46
4.2.- El Agua y la geología.....	47
4.3 Parámetros hidráulicos	51
4.3.1.- Balance hídrico.....	52
4.3.2.- Superficie piezométrica	52
4.3.3.- Coeficiente de almacenamiento.....	52
4.3.4.- Porosidad	53
4.3.5.- Transmisibilidad.....	55
4.3.6.- Permeabilidad.....	57
4.3.7.- Cálculo de reservas.....	58
4.4.- Pruebas de bombeo	59

4.5.- Metodología de procedimientos para la ejecución de pruebas de bombeo.....	60
CAPITULO V	71
5.- RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	71
5.1.-RESULTADOS	71
5.1.1.- Foso Macarena Sur	71
5.1.2.- Foso La Matica (Estación Independencia).....	77
5.1.3.- Foso Andrés Bello (Estación Guaicaipuro).....	82
5.2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS	87
5.2.1.- Foso Macarena Sur	87
5.2.1.- Foso La Matica.....	89
5.2.3.- Foso Andrés Bello (Estación Guaicaipuro).....	91
6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
CITAS BIBLIOGRÁFICAS DE MATERIAL CONSULTADO EN INTERNET: 101	

LISTA DE FIGURAS Y FOTOS

Figura 1.1. Mapa de ubicación de la zona de estudio.	3
Figura 1.2. Trazado de la línea 2, Metro los Teques.	4
Figura 1.3. Mapa de ubicación de las principales vías de acceso a la zona de estudio.	5
Figura 2.1. Bosques semidecíduos.	13
Figura 2.2. Cuenca del río San Pedro.	15
Figura 2.3. Mapa geológico del norte de Venezuela.	16
Figura 2.4. Mapa de ubicación de las fajas tectónicas.	21
Figura 2.5. Mapa geológico de la región sur de Caracas.	23
Figura 3.1. Perfil litológico del Foso Guaicaipuro.	29
Figura 3.2. Perfil litológico del Foso la Matica.	31
Figura 3.3. Perfil litológico del Foso la Macarena Sur.	32
Figura 3.4. Perfil litológico del Foso de Acceso 1	33
Figura 3.5. Croquis de ubicación de las perforaciones y estaciones	35
Figura 3.6. Perfil geotécnico 1, Tramo Guaicaipuro- Independencia.	41
Figura 3.7. Perfil geotécnico 2, Tramo Guaicaipuro- Independencia.	42
Figura 3.8. Croquis de ubicación de las perforaciones y estaciones.	43
Figura 3.9. Perfil Geotécnico 1, Estación Independencia - Foso Macarena	46
Figura 3.10. Perfil Geotécnico 2, Estación Independencia – Foso Macarena.	47

LISTA DE FIGURAS Y FOTOS (Cont.)

Figura 4.1	Provincias hidrogeológicas de Venezuela.	63
Figura 4.2	Ubicación de los pozos de bombeo y piezómetros en el Foso Macarena Sur.	75
Figura 4.3	Ubicación de los pozos de bombeo y piezómetros en el Foso la Matica, Estación Independencia.	76
Figura 4.4	Ubicación de los pozos de bombeo y piezómetros en el Foso Andrés Bello, Estación Guaicaipuro.	77
Foto 5.1	Detalle del Foso la Macarena	82
Figura 5.1	Sección transversal del pozo PQE-1, foso Macarena Sur	82
Figura 5.2	Gráfico de abatimiento Foso Macarena Sur.	86
Figura 5.3	Sección transversal del pozo PA-1, foso La Matica	87
Figura 5.4	Gráfico de abatimiento Foso la Matica.	91
Figura 5.5	Sección transversal del pozo PA-2, foso Guaicaipuro	92
Foto 5.2	Detalle del Foso Andrés	94
Figura 5.6	Gráfico de abatimiento Foso Andrés Bello.	96
Figura. 5.7	Ubicación de los pozos de abatimiento y piezómetros, Foso la Macarena Sur	98
Figura. 5.8	Ubicación de los pozos de abatimiento y piezómetros, Foso la Matica	100
Figura. 5.9	Ubicación de los pozos de abatimiento y piezómetros, Foso Andrés	102

LISTA DE CUADROS Y TABLAS

Tabla 2.1.	Forma espectral y factor de corrección ϕ ,	25
Cuadro 4.1	Provincias hidrogeológicas de Venezuela.	64
Tabla 4.1	Porosidades totales y efectivas de diversos materiales según JOHNSON	68
Tabla 4.2	Clasificación de terrenos de acuerdo a su conductividad hidráulica	72
Tabla 5.1.	Coordenadas y cotas de terreno para los pozos	81
Tabla 5.2	Abatimiento en los pozos PQE-1 y piezómetros PZ-1 y PZ-2, Foso Macarena Sur	83
Tabla 5.3	Valores de aforo del Pozo PQE-1, Foso Macarena Sur	83
Tabla 5.4	Valores de la recuperación del Pozo PQE-1 y piezómetros PZ-1 y PZ-2, Foso Macarena Sur.	84
Tabla 5.5	Coordenadas y cotas de terreno para los pozos y piezómetros utilizados en la prueba de bombeo Foso la Matica	87
Tabla 5.6	Abatimiento en los pozos PA-1y PA-2 y piezómetros PZ-1 y PZ-2, Foso la Matica	88
Tabla 5.7.	Valores de aforo del Pozo PA-1, Foso la Matica	89
Tabla 5.8.	Valores de la recuperación del Pozo PA-1 Foso la Matica	89
Tabla 5.9	Coordenadas y cotas de terreno para los pozos y piezómetros utilizados en la prueba de bombeo, Foso Andrés Bello	93
Tabla 5.10.	Abatimiento en los pozos y piezómetros, prueba de bombeo PA-2. Foso Andrés Bello	94
Tabla 5.11.	Recuperación en los pozos y piezómetros, prueba de bombeo PA-2. Foso Andrés Bello	94

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Foto 3.1	Petrografía muestra M1.	25
Foto 3.2	Petrografía muestra M2.	64
Foto 3.3	Petrografía muestra M3.	68
Foto 3.4	Petrografía muestra M4.	72
Foto 3.5	Petrografía muestra M5.	81
Foto 3.6	Petrografía muestra M6.	83
Foto 3.7	Petrografía muestra M7.	83
Foto 3.8	Petrografía muestra M8.	84
Foto 3.9	Petrografía muestra M9.	87
Foto 3.10	Petrografía muestra M10.	88
Foto 3.11	Petrografía muestra M11.	89
Foto 3.12	Petrografía muestra M12.	89
Foto 3.13	Petrografía muestra M13.	25
Foto 3.14	Petrografía muestra M14.	64
Foto 3.15	Petrografía muestra M15.	68

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

La explosión demográfica que ha sufrido la ciudad de Caracas se ha reflejado en las zonas circundantes o llamadas también ciudades dormitorio; es por ello que en el año 1998, para satisfacer la demanda de transporte público en los Altos Mirandinos, se constituye la C.A. Metro los Teques, la cual tuvo como compromiso fundamental la construcción de un sistema suburbano de tránsito masivo entre la ciudad de Los Teques, capital del Estado Miranda y el Área Metropolitana de Caracas, para facilitar el problema de transporte de personas entre las dos ciudades.

Para la ejecución de estas obras, es necesario tener bajo control una serie de parámetros, tales como el efecto que las aguas subterráneas pueden generar sobre las excavaciones, en la construcción de las estaciones que comprende la primera etapa del proyecto de la línea 2 de Metro Los Teques, la cual contribuirá en la expansión de este servicio a lo largo de los Altos Mirandinos. Por este motivo surge la necesidad de conocer y caracterizar el régimen hidrogeológico de la zona y de esta forma se podrá planificar el abatimiento del nivel freático durante la construcción, tratando de no afectar de manera permanente los recursos hídricos de la zona, ni afectar negativamente las estructuras adyacentes.

1.2.-OBJETIVOS

1.2.1.-OBJETIVO GENERAL

Realizar el estudio hidrogeológico del sector circundante a los fosos de acceso y estaciones de la línea 2 del Metro los Teques (en su primera etapa), tramo San Antonio-El Tambor, municipio Guaicaipuro, Carrizal y Los Salias, estado Miranda.

1.2.2.-OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la actualización de la información geológica en los fosos: Andrés Bello, La Matica (Independencia) y Macarena Sur, correspondientes a la línea 2 del Sistema Metro los Teques, para de esta manera establecer su influencia en el desarrollo del régimen hidrogeológico local.
- Conocer y caracterizar el régimen hidrogeológico existente en los alrededores de cada una de las estaciones del Metro, en los fosos mencionados.
- Evaluar la influencia que el régimen de las aguas subterráneas puedan tener en la evolución de las excavaciones, construcción y el funcionamiento rutinario de las respectivas estaciones, fosos de bombeo y de extracción, entre otros.
- Realizar pruebas de bombeo con la finalidad de determinar los parámetros hidráulicos de los acuíferos (coeficientes de transmisibilidad, permeabilidad y almacenamiento) en cada uno de los fosos y estaciones del Metro en el tramo señalado.
- Planificar el abatimiento de la mesa de agua y el mantenimiento por debajo de la rasante de las excavaciones, durante las obras de construcción de las estaciones y sus operaciones rutinarias.
- Suministrar recomendaciones específicas para lograr el manejo de las aguas subterráneas, en cada una de las excavaciones a cielo abierto o subterráneas, para garantizar la seguridad y operatividad de las mismas.

1.3.- UBICACIÓN Y EXTENSIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

La zona de estudio se encuentra situada en el estado Miranda, específicamente entre los municipios Guacaipuro, Carrizal y Los Salias (Figura 1.1), entre las coordenadas U.T.M. norte 1.143.000-1.147.000 y este 711.000-718.000, correspondiente al trazado de la línea 2 del Metro de los Teques, en el tramo San Antonio-El Tambor (en su primera etapa), abarcando 3 estaciones a lo largo del mismo: Estación Guacaipuro, Miranda y los Cerritos (Figura 1.2).

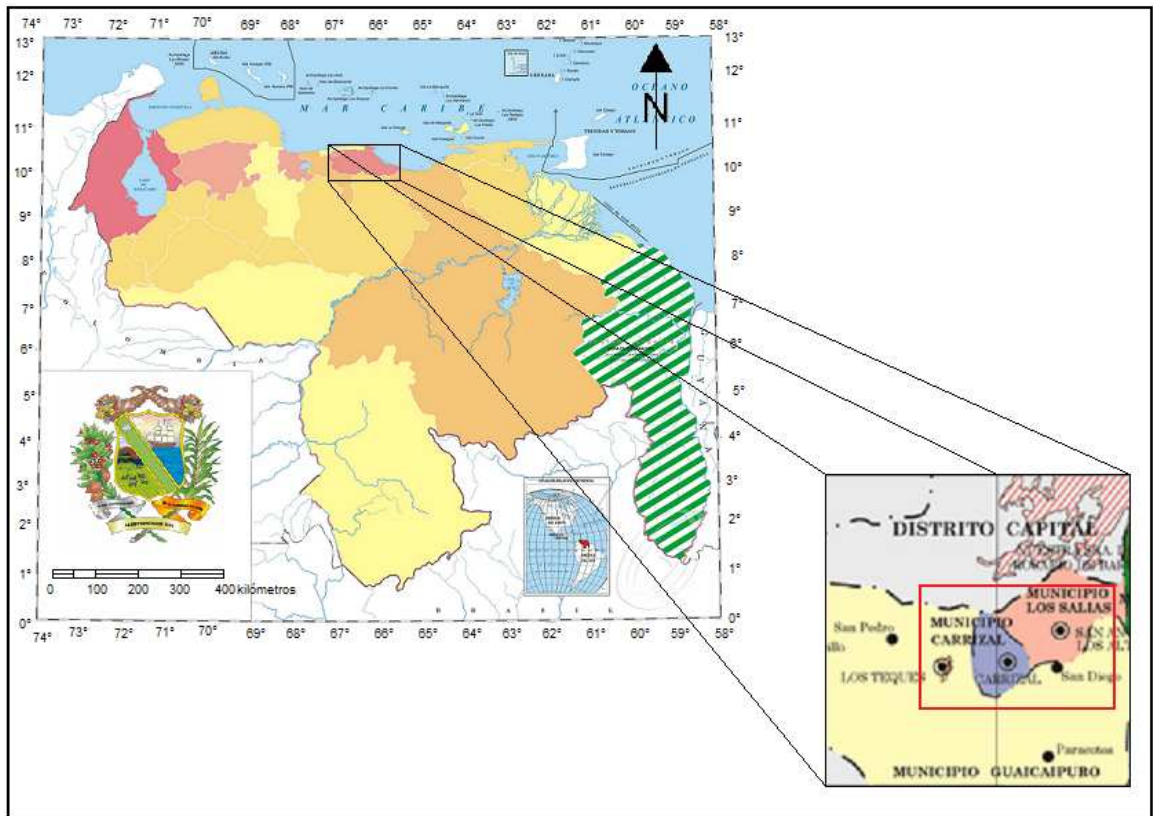


Figura 1.1. Mapa de ubicación de la zona de estudio. Tomado de <http://www.igvsb.gov.ve/site2007>

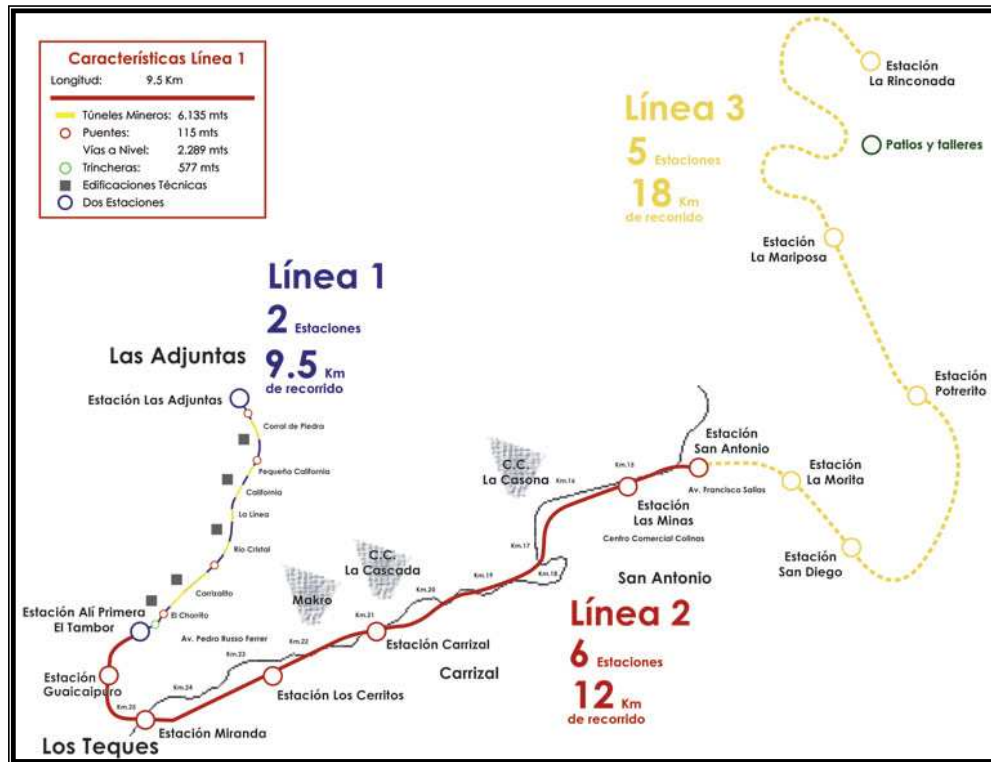


Figura 1.2. Trazado de la línea 2, Metro los Teques. Tomado de <http://www.metrolosteqes.gob.ve/home/maprut.htm>

1.4.-VÍAS DE ACCESO

La principal vía de acceso que conduce al área de estudio es la carretera Panamericana a la cual se accede a través de la autopista El Valle, tomando esta vía en el distribuidor La Gaviota. Existe también un acceso por la vía de la Mariposa, cuyo acceso ocurre por la autopista Caracas-Valencia, desviándose en la entrada hacia el embalse. Otro de las rutas para llegar a los Teques, es a través de la Autopista Francisco Fajardo hasta llegar a las Adjuntas, luego de allí se toma la carretera que pasa por el Carite, las Lomitas y finalmente los Teques (Figura 1.3).

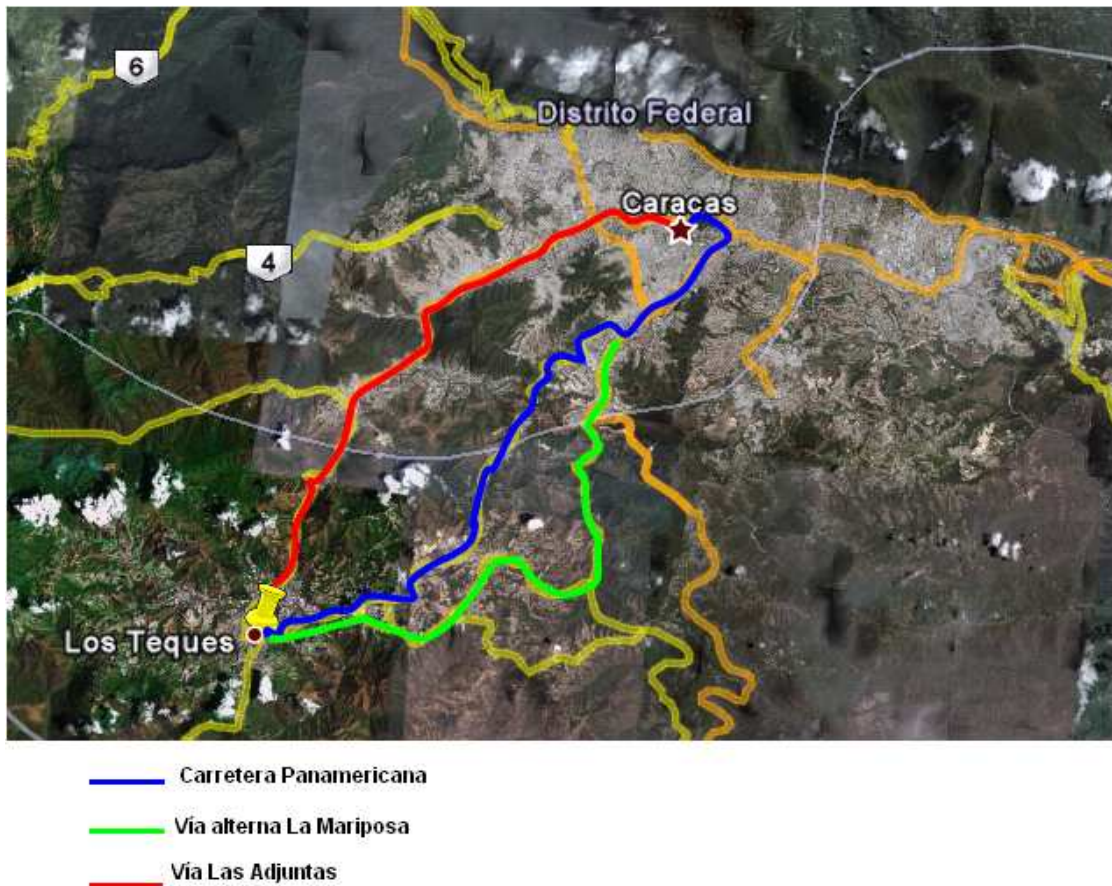


Figura 1.3. Mapa de ubicación de las principales vías de acceso a la zona de estudio. Tomado y modificado de Google Earth (2008).

1.5.-METODOLOGÍA

El trabajo se dividió en tres etapas: etapa preliminar, de campo y de análisis e interpretación de resultados. A continuación se presentan y describen la metodología utilizada de forma detallada.

1.5.1.-ETAPA PRELIMINAR

- Esta etapa consistió en la recopilación, revisión y análisis de la información bibliográfica existente tanto en trabajos especiales de grado,

como en publicaciones de congresos, informes técnicos realizados por compañías perforadoras, informes inéditos y trabajos realizados por el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MINAMB).

- Revisión e integración de la información encontrada en las hojas cartográficas 6747-II-SE y 6847-III-SO a escala 1:25.000, elaboradas por el Instituto Geográfico Venezolano Simón Bolívar.
- Revisión de los mapas geológicos del área de estudio.
- Revisión del Mapa Hidrogeológico de Venezuela a escala 1:500.000 realizado por el Ministerio de Minas e Hidrocarburos (1972).

1.5.2.- ETAPA DE CAMPO.

- Esta etapa involucró el estudio geológico de superficie, buscando evidencia de las litologías presentes y de los controles estructurales y climáticos que influyen en la evolución del perfil de meteorización presente en la zona de estudio, incluyendo la toma de muestras de mano para su estudio en el laboratorio.
- Localización de los pozos de bombeo, tomando en cuenta:
 - Información geográfica
 - Sector
 - Coordenadas U.T.M.
 - Altitud sobre el nivel de mar (m.s.n.m.)
 - Características del pozo
 - Profundidad (m)

- Diámetro del forro (plg)
- Nivel estático (m)
- Caudal (l/s)
- Estado del pozo
- Uso
- Información complementaria:
 - Perfil Litológico
 - Prueba de bombeo
- De los pozos realizados durante el proceso de excavación, fueron seleccionados los que permitieron obtener la información más determinante para este estudio. Fue indispensable la presencia de un pozo de observación cercano para realizar las pruebas de bombeo, estas pruebas se realizaron de la siguiente forma:
 - Se midió la distancia entre el pozo de observación y el pozo de bombeo.
 - Se realizó la medición del nivel estático en el pozo de observación, teniendo apagado el pozo de bombeo durante 24 horas previas a cada prueba.
 - Durante la prueba de bombeo se realizaron las mediciones de los abatimientos con separaciones de tiempo adecuadas para la elaboración del gráfico t/s, con bombeo ininterrumpido hasta la estabilización del nivel dinámico.
 - Para hacer el cálculo del caudal del pozo se debió dejar abierta la llave de distribución hasta que el flujo de agua sea estable,

posteriormente se procedió a tomar el tiempo de llenado de un recipiente con volumen conocido, luego se debió dividir el tiempo medido entre el volumen y se realizó el procedimiento varias veces para obtener el promedio del caudal.

1.5.3.- ETAPA DE ANÁLISIS Y INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

- Se evaluó la capacidad instalada en la zona, para explotar las aguas subterráneas, utilizando los datos suministrados por el inventario de pozos y la información existente en trabajos previos realizados en la zona. La información histórica de la zona permitió tener una idea de los parámetros hidráulicos existentes en la zona.
- Se analizaron las muestras de mano obtenidas para establecer, en lo posible, su clasificación litológica y sus parámetros geotécnicos directamente relacionados con el desarrollo del régimen hidrogeológico local (granulometría, porosidad, entre otros).
- Fueron elaborados perfiles litológicos de la zona, tanto de los fosos, como de sus sectores circundantes.
- Se realizaron las interpretaciones de las pruebas de bombeo con la ayuda de software especializado, para determinar los parámetros hidráulicos del acuífero (transmisibilidad y coeficiente de almacenamiento) e inferir que tipo de acuífero es el que se encuentra en la zona (libre o confinado).
- Se estableció el balance hídrico de la zona, tomando en cuenta los datos suministrados por el MPP para el Ambiente en Caracas (temperatura y precipitación) con los cuales se pudo calcular valores aproximados de evapotranspiración real y potencial, además del mayor periodo de 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 este.
- Se revisó el Decreto 1508 del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, Comisión Nacional de Normas Técnicas, Sub-comisión de Aguas, para poder hacer recomendaciones con respecto al uso de las aguas subterráneas.

1.6 TRABAJOS PREVIOS

- AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937). Realizaron el estudio de las rocas metamórficas de la región de Caracas, introduciendo el nombre de Serie Caracas que posteriormente modificaron a Grupo Caracas.
- DENGO (1951). En su estudio de la región de Caracas describe las formaciones Las Brisas, Antímamo, Las Mercedes y Tacagua, así como su ubicación y posibles relaciones estructurales entre las mismas.
- SMITH (1952). Realizó el estudio geológico de la región de Los Teques – Cúa ampliando la descripción de las rocas estudiadas por DENGO (1951) en la región de Caracas, describió las secuencias metamórficas y las estructuras geológicas presentes. Describe de forma amplia las rocas del Grupo Caracas (actual Asociación Metasedimentaria Caracas) diferenciándola del basamento (Gneis de Sebastopol) que también define.
- SEIDERS (1965). En su estudio hace el reconocimiento de las rocas metamórficas de la región central de la Cordillera de la Costa y añade a la Formación Chuspita como la unidad más joven del Grupo.
- MENÉNDEZ (1966) en su trabajo divide la Cordillera de la Costa en cuatro fajas tectónicas; las cuales son:

1. Faja tectónica de la Cordillera de la Costa, limitada al norte por el sistema de fallas del Caribe y al sur por el de La Victoria.
 2. Faja tectónica de Caucagua-El Tinaco, entre la zona de falla de La Victoria al norte y la falla de Santa Rosa al sur.
 3. Faja de Paracotos, entre la falla de Santa Rosa al norte y la falla de Agua Fría al sur.
 4. Faja tectónica de las volcánicas del “Grupo” de Villa de Cura, limitada por la falla de Agua Fría y Cantagallo al norte y sur respectivamente.
- BELL (1968). Amplía a ocho fajas tectónicas tomando en cuentas las evidencias observadas, siendo las mismas de norte a sur: Faja tectónica de la Cordillera de la Costa, Faja tectónica Caucagua - El Tinaco, Faja tectónica de Paracotos, Faja Villa de Cura, Faja Piemontina, Faja de Corrimiento, Faja volcada y Faja de buzamientos suaves. Interpreta un corrimiento basal sobre el cual se desplaza toda la Faja Piemontina hacia el sur.
 - GONZÁLEZ DE JUANA et al. (1980). Reconstruye la historia geológica del país, describiendo el proceso sedimentario y las características distintivas de cada una de las unidades litológicas.
 - TALUDKAR Y LOUREIRO (1982). Presentan un modelo de evaluación de la Cordillera de la Costa, dentro del marco de la Tectónica de Placas.
 - BECK (1985). Presenta un análisis estratigráfico, litológico y estructural de la Cadena Caribe desde los llanos hasta la ladera sur de la Cordillera de la Costa, dividiéndola en 4 zonas desde el Sureste hacia el Noroeste: Piedemonte, Zona Piemontina, Napas de Aragua y la Cordillera de la Costa.

- NAVARRO et al. (1988). Estudiaron el sector norcentral de la Cordillera de la Costa, señalando que en ella afloran rocas metasedimentarias y metaígneas de orígenes diversos y muy mezclados.
- IASIELLO (1991). Estudió la geología y geotecnia de un área ubicada al norte de la ciudad de los Teques, estado Miranda. Clasificó los diferentes tipos de rocas allí presentes de acuerdo a sus asociaciones mineralógicas y ubicación geográfica en tres unidades: unidad de gneis y esquisto anfibólico, unidad de esquisto cuarzo micáceo, cuarcita y filita grafitosa y unidad de serpentinita y esquisto anfibolítico, todas pertenecientes al Esquisto las Brisas.
- DIAZ (1994). Estudió la geología y geotecnia de las haciendas Santa Rosa y El Carmen, Distrito Guaicaipuro, estado Miranda. Este autor distinguió cinco grupos litológicos; a saber: por filita sericítica grafitosa, esquisto cuarzo micáceo, cuarcita, mármol, serpentina y esquisto anfibólico correlacionables con el Esquisto de Las Brisas.
- URBANI et al. (2004). Proponen una adaptación de la nomenclatura de las rocas ígneo-metamórficas de la parte central de la Cordillera de la Costa de acuerdo a las normas de unidades litodémicas internacionales. La descripción de las mismas aparece en URBANI (2000, 2002).
- DIAZ (2005), realizó la actualización de los mapas geológicos de una porción de la Cordillera de la Costa entre los Teques, La Victoria y San Casimiro.

CAPITULO II

2. GEOLOGÍA REGIONAL

2.1.- GENERALIDADES

El área de estudio se encuentra ubicada entre el Casco Central de la ciudad de los Teques y sus adyacencias en la Carretera Panamericana, donde se plantea construir la línea 2 del proyecto Metro Los Teques, tramo El Tambor-San Antonio.

Esta zona forma parte de la Cordillera de la Costa, caracterizada por una topografía abrupta, con valles estrechos en forma de V, con elevaciones que oscilan entre 1000 y 1700 m.s.n.m., cuyas crestas se caracterizan por presentar formas redondeadas con laderas de fuertes pendientes.

2.2.- GEOGRAFÍA FÍSICA

2.2.1.- CLIMA

En la ciudad de Los Teques el clima varía de cálido a templado. Tomando en cuenta la clasificación climática de Köppen, la zona de estudio pertenece al clima de Sabana (Aw'i) compuesta principalmente de bosques tropófitos sub-húmedos. La temperatura media anual es de 20°C, con mínimos de 18°C durante los meses de diciembre y enero y máximos de 24°C durante los meses de julio y agosto.

Existen dos periodos predominantes de precipitaciones: el lluvioso que va desde mayo a noviembre y el de sequía de diciembre a abril. El promedio anual de precipitaciones está entre 1.100 y 2.200mm. Hay variación en algunos lugares, en los que se presentan mayor precipitación, debido a la presencia de una temporada muy corta de sequía producto de fenómenos convectivos.

2.2.2.- VEGETACIÓN

En esta zona predomina una vegetación caracterizada por la presencia de bosques semidecídus y el bosque tropófilo, el cual sustituye los antiguos bosques decídus destruidos por el hombre. Estos periódicamente, en época de sequía, son azotados por quemas ocasionadas por prácticas agrícolas de los residentes de la zona. También se localiza una vegetación de selva tropical montañosa a una altura comprendida entre los 400 y 700 metros (Figura 2.1).



Figura 2.1. Bosques semidecídus. (Tomado de www.venezuelatuya.com/natura/037.htm)

2.2.3.- HIDROGRAFÍA

El patrón de drenaje predominante en la zona de estudio es de tipo dendrítico, pudiendo éste generarse en zonas que presentan comportamiento homogéneo, en respuesta a los procesos de erosión. Asimismo hacia la parte norte de la zona se observa un drenaje de tipo radial, probablemente controlado por una estructura de mayor envergadura.

La cuenca de mayor importancia en la zona es la está que conformada por el río San Pedro. Las nacientes de este río se localizan en las proximidades del Topo El Arado, en el Parque Nacional Macarao a unos 1700 m.s.n.m. El curso del río tiene

una orientación general oeste-este, cuyo cauce es principalmente sinuoso hasta el sector denominado el Chorrillo, donde se desvía hacia el norte-noreste, generando un valle estrecho con cauce pseudo rectilíneo.

A lo largo de su trayectoria, el río San Pedro (Figura 2.2) capta a numerosas quebradas. Entre ellas quebrada La Virgen y quebrada Honda son las más representativas, las cuales se caracterizan por un curso de agua permanente, pero escaso durante el periodo de sequía y caudal muy abundante en el periodo de lluvia. El resto de las quebradas más pequeñas, son semejantes llegando la mayoría de ellas a secarse completamente en el período de sequía.

En general las quebradas se caracterizan por formar estrechos valles en forma de V, debido a lo cual en los periodos de lluvia suelen ser intransitables. Como consecuencia de la topografía de la zona, resulta muy común la presencia de saltos y cascadas.

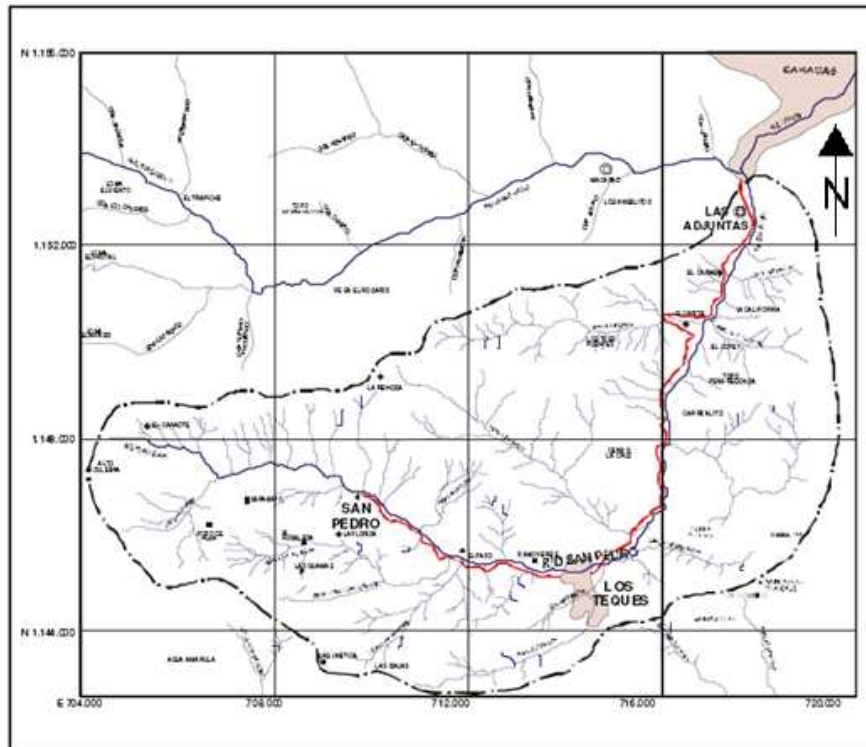


Figura 2.2.- Cuenca del río San Pedro. Proyecto de Saneamiento de la cuenca del río San Pedro, Proconsult 2006

2.3.- ESTRATIGRAFÍA REGIONAL

URBANI y RODRIGUEZ (2004) en el Atlas Geológico de la Cordillera de la Costa, compilaron e integraron trabajos previos de la misma (Figura 2.3), donde separan la totalidad de la cordillera de la Costa en seis napas que son las siguientes:

- ❖ Napas de la Serranía del Litoral:
 - Napa Costera
 - Napa Ávila
 - Napa Caracas
- ❖ Napas de la Serranía del Interior:
 - Napa Caucagua-El Tinaco
 - Napa Loma de Hierro
 - Napa Villa de Cura

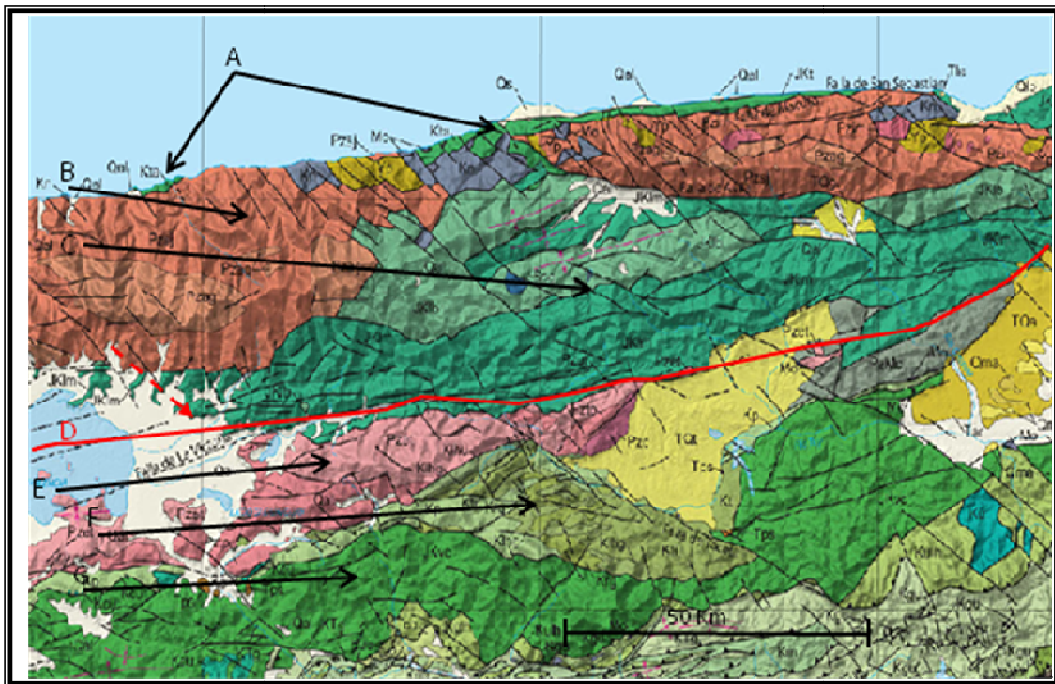


Figura 2.3. Mapa Geológico del norte de Venezuela. Tomado y modificado de HACKLEY et.al (2005) modificado por URBANI & RODRIGUEZ (2004). Distribución de las Napas en la parte central de la Cordillera de la Costa. Napas de la Serranía del Litoral: (A) Napa Costera, (B) Napa Ávila, (C) Napa Caracas, (D) Falla de la Victoria. Napas de la Serranía del Interior: (E) Napa Caucagua-El Tinaco, (F) Napa Loma de Hierro y (G) Napa Villa de Cura.

La zona de estudio se ubica en la Napa Caracas, donde aflora la Asociación Metasedimentaria Caracas, la cual contiene al Esquisto Las Mercedes y al Esquisto Las Brisas, a continuación se resumirá la litología y las características más importantes de estas formaciones, que se encuentran en la parte septentrional del Macizo Central de la Cordillera del Caribe.

Esquisto de Las Mercedes

AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937), definen esta unidad como esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas. En 1938 los mismos autores establecen el nombre de la unidad como formación Las Mercedes.

WEHRMANN (1972) y GONZÁLEZ DE JUANA et al. (1980) describen a la "Caliza de Los Colorados" como un esquisto cuarzo - muscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes y es denominado así cuando alcanza gruesos espesores. Las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio, con un color característico gris pardusco. Se observa también la presencia de pirita, que al meteorizar, infunde una coloración rosada a rojo ladrillo a la roca, otra característica es la extraordinaria proporción de vetas de calcita recristalizada, en colores blanco, pardo y marrón.

AGUERREVERE Y ZULOAGA (op. cit.), hacen referencia a la Fase Los Colorados como excelentes estratos guía, compuestos por calizas oscuras y densas, en capas delgadas intercaladas con esquistos micáceos y arcillosos, todo intensamente plegado.

WEHRMANN (op. cit.), menciona además metaconglomerados en su base, esquistos cloríticos y una sección en el tope, de filitas negras, poco metamorfizadas, con nódulos de mármol negro, de grano muy fino, sin la presencia de fósiles en ellos, además indica que el tope de esta unidad se hace más cuarzosa y menos calcárea en su transición hacia el Esquisto de Chuspita.

SEIDERS (1965), menciona además, meta-areniscas puras, feldespáticas y cuarzosas, de estratificación de grano variable, a veces gradada.

URBANI et al. (1989) reconoce en la zona de La Sabana - Chirimena - Capaya, Distrito Federal y Miranda, cuatro unidades cartografiables, correspondientes a un metamorfismo de bajo grado en la facies de los esquistos verdes, zona de la clorita, dichas rocas son:

- Esquisto grafitoso y mármol
- Metaconglomerado cuarzo - feldespático – calcáreo
- Metaconglomerado y metarenisca
- Esquisto albítico – grafitoso

La localidad tipo de esta unidad se encontraba en la antigua hacienda Las Mercedes al este de Caracas, actualmente llamada Urb. Las Mercedes. Debido al incremento del urbanismo con la consecuente desaparición de los afloramientos de la localidad tipo, WEHRMANN (1972) propone trasladar la sección de referencia a la carretera Petare-Santa Lucía, donde se expone la sección completa de la formación hasta su transición con la Formación Chuspita. Igualmente hay una sección bien expuesta en la autopista Caracas - Valencia, en el tramo Hoyo de la Puerta - Charallave.

Esta unidad se encuentra a lo largo de toda la extensión del macizo central de la Cordillera de la Costa y también en sus flancos, entre Carenero, estado Miranda, hasta el estado Cojedes. Tomando en cuenta las asociaciones de fósiles poco diagnósticas solo permiten sugerir una edad Mesozoica, sin diferenciar.

El contacto entre las formaciones Las Mercedes y Las Brisas, se considera actualmente de tipo tectónico conservando paralelismo en la foliación en ambas unidades, según GONZÁLEZ DE JUANA et al. (1980). Por otra parte CANTISANO (1989) indica que el contacto entre las formaciones Las Mercedes y Antímano corresponde a una falla de corrimiento.

Esquisto de Las Brisas

Los primeros en estudiar esta unidad fueron AGUERREVERE Y ZULOAGA (1937), quienes la denominan Conglomerado Basal de Las Brisas y describen esta unidad como una secuencia de sedimentos metamorfizados que afloran en la región de Caracas y sus adyacencias.

La litología fue descrita inicialmente por AGUERREVERE Y ZULOAGA (op. cit.) como un conglomerado basal arkósico, con cantos rodados derivados de la roca basal de Sebastopol, cantos de cuarzo y cemento, principalmente silíceo. Posteriormente DENGO (1951) observa que la mayor parte de la formación, está constituida por esquisto cuarzo-micáceo, en el que se incluye gneis microclínico, esquistos granatíferos, cuarcitas y calizas.

Por otra parte WEHRMANN (op. cit.) afirma que la Formación Las Brisas, está constituida en un 90% de esquistos cuarzo-feldespático-moscovíticos; el 10% restante lo constituye, en orden de abundancia, esquistos cuarzo-feldespáticos, epidóticos o cloríticos, calizas, cuarcitas y metaconglomerados.

Generalmente se encuentran capas de gneiss microclino-calcáreo asociado con los cuerpos calcáreos. La textura es esquistosa y se hace gnéissica a medida que aumenta el contenido de feldespato. LAUBSCHER (1955) indica que todas estas capas, con excepción de algunas de gneiss, están íntimamente mezcladas por procesos tectónicos. Asimismo indica que las intercalaciones de rocas calcáreas dentro de la Formación las Brisas son formas tectónicas tales como “budines”, bloques girados y lentes tectónicos envueltos por una zona de rocas desintegradas mecánicamente.

Por otro lado, sobre estas rocas la meteorización mecánica predomina sobre la química. La meteorización actúa de manera profunda sobre los esquistos cuarzo-micáceos feldespáticos, lo que hace que la roca sea muy friable y fácilmente desintegrable en afloramientos (Fase Zenda).

Su localidad tipo se ubica en el km 10 de la antigua carretera Caracas-Ocumare del Tuy, cerca de la represa de la Mariposa y se extiende a todo lo largo del macizo central de la Cordillera de la Costa, entre el Cabo Codera y el graben del río Yaracuy. URBANI (1969), con el descubrimiento de varios fósiles de *Exogira* sp. aff., E. vírgula (Defrance), sugiere que la edad de esta formación es Jurásico Tardío, ya que los ejemplares encontrados son característicos del Kimmeridgiense.

La Formación Las Brisas se sitúa sobre el Complejo Basal de Sebastopol y el contacto, entre ambas formaciones, es discordante, bien sea por la foliación discordante o por el hiatus de tiempo, tomando en cuenta la opinión generalizada. Su relación con la formación Las Mercedes, es generalmente transicional, aunque a veces, el contacto es estructural.

2.4.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

MENÉNDEZ (1966) fue el primero en estudiar y dividir la Cordillera de la Costa en cuatro fajas tectónicas, tomando en cuenta los rasgos estructurales, principalmente las 3 fallas de extensión regional con rumbo Este-Oeste. BELL(1968) amplía la sub-división hecha por MENÉNDEZ (op.cit) y aumenta a ocho fajas (Figura 2.4) que en sentido Norte-Sur son las siguientes:

- ❖ *La Faja tectónica de la Cordillera de la Costa*: limitada al norte por el sistema de fallas del Caribe y al sur por el sistema de Falla de La Victoria.
- ❖ *La Faja tectónica Cauagua-El Tinaco*: se encuentra limitada al norte por la zona de fallas de La Victoria, al sur limita con la falla de Santa Rosa, que se extiende desde la región de Miranda central hasta las serranías del Cerro El Jobal hacia el oeste.
- ❖ *La Faja tectónica de Paracotos*: Aflora desde la región de Miranda central hasta la región de Carabobo oriental, está limitada por la falla de Santa Rosa al norte y la falla de Agua Fría al sur.

- ❖ *Faja tectónica de Villa de Cura:* Limitada al norte por la falla de Agua Fría y hacia el sur por las fallas de Cantagallo y La Puerta.
- ❖ *Faja Piemontina:* limitada al norte por la falla de Cantagallo y al sur por el corrimiento Frontal. Esta faja es la más extensa y forma el cinturón sur que bordea al Grupo Villa de Cura.
- ❖ *Cinturón de Fallas de Corrimiento:* se denomina así por ser un sistema discontinuo de fallas, que exponen repetidamente secciones de formaciones ubicadas al norte del mismo.
- ❖ *Faja Volcada:* corresponde a un cinturón angosto de rocas terciarias volcadas hacia el sur.
- ❖ *Faja de buzamientos suaves:* constituida por rocas sedimentarias del Eoceno que forman un homoclinal que buza al sur y constituye la parte septentrional de los Llanos a medida que suaviza el buzamiento hacia el sur.



Figura 2.4. Mapa de ubicación de las fajas tectónicas (Tomado y modificado de MENÉNDEZ, et.al.2000)

URBANI & OSTOS (1989) subdividen la Cordillera de la Costa en tres fajas tomando en cuenta sus asociaciones litológicas, de la siguiente manera:

- ❖ Faja Septentrional, donde existe el predominio de rocas metaígneas máficas y ultramáficas.
- ❖ Faja Central, caracterizada por la presencia de gneises graníticos, usualmente rodeados por un esquistos cuarzo-plagioclásico micáceo de alto grado de metamorfismo, con presencia de biotita en coexistencia con almandino (asociación biotita-granate, índice de alto grado metamórfico).
- ❖ Faja generalmente ubicada al sur de la zona de fallas de El Ávila, La Victoria y Las Trincheras-Mariara, donde aflora una secuencia de rocas metasedimentarias pertenecientes al Grupo Caracas, fundamentalmente constituida por sedimentos pelíticos y psamíticos metamorfizados a la facies de los esquistos verdes.

DENGO (1951) sostiene que la tectónica dominante en el mapa geológico del sur de Caracas es post-metamórfica, describe además tres grandes pliegues: El Anticlinal de Baruta, el Anticlinal de El Junquito y el Sinclinal del Cementerio, como estructuras anchas, simétricas con rumbo N60-70E (Figura 2.5), indica también tres tipos de fallas:

- La primera, más antigua, inversas y con buzamiento al sur.
- La segunda, la constituyen fallas con rumbo aproximados N60°O y buzamiento hacia el suroeste.
- El tercer grupo de fallas la constituyen las más jóvenes, de rumbo este-oeste y buzamiento al norte con elevados ángulos.

SINGER (1977) hace referencia a un abombamiento análogo, aunque de menor amplitud y disimétrico que afecta también la superficie delimitada por la Meseta de Los Teques y sus diversos remanentes. Ella se inclina hacia el semi-graben de Caracas donde la interrumpe la falla del Ávila, y bascula con más fuerza hacia el graben del Tuy, más deprimido (Figura 2.5).

SMITH (1952) indica que la región de los Teques-Cúa, está intensamente fallada a lo largo del rumbo en una dirección N80°E. Junto con estos movimientos, hay fallas normales con dirección N45°O, las cuales están probablemente relacionadas con el movimiento a lo largo del rumbo. Indica que el área se caracteriza por una topografía joven, de erosión rápida y está probablemente todavía en proceso de levantamiento.

PIBURN (1968) opina que los esfuerzos en la Cordillera de la Costa presentaron una orientación en la dirección noroeste-sureste, lo cual según su estudio concuerda con el movimiento del sistema posterior de fallas que se observa en la región. PIBURN (op. cit) señala también que la primera deformación fue esencialmente una compresión norte-sur, la cual generó el desarrollo de grandes pliegues y fallas con rumbo este-oeste.

ASUAJE (1972) concluye con respecto a la Cordillera de la Costa, que su rumbo actual fue originado por fuerzas de compresión norte, noreste-sur, sureste, las cuales, según el autor dieron origen a la gran cantidad de fallas longitudinales que se observan en la Cordillera de la Costa.

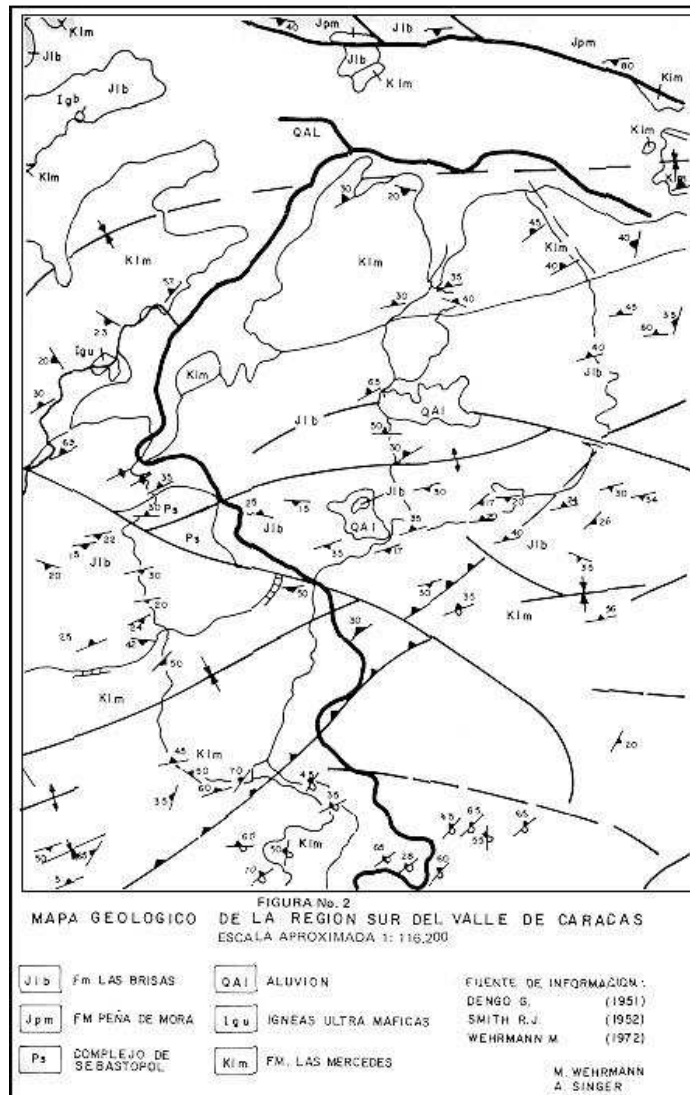


Figura 2.5. Mapa Geológico de la región sur de Caracas DENGO (1951) modificado por WEHRMANN & SINGER (1977)

TALUKDAR & LOUREIRO (1982) reportan cuatros períodos de plegamientos en la Napa Caracas, donde se encuentra la zona de estudio. El primer período (f1) no fue observado en campo, deduciéndolo desde el punto de vista teórico (no fue tomado en cuenta en este trabajo). El segundo período (f2) consta de pliegues isoclinales con planos axiales paralelos a la foliación, es el más antiguo reconocido megascópicamente. Un tercer período (f3) caracterizado por pliegues abiertos cuyos planos axiales guardan una relación angular con los planos axiales de los pliegues (f2). El

cuarto período (f4) está dado por cambios sistemáticos de buzamiento de la foliación lo que permite inferir la existencia de un plegamiento de gran escala. TALUKDAR & LOUREIRO (op. cit) reconocen en la zona nor-central de la Cordillera de la Costa tres sistemas de fallas. El primero con rumbo E-O, el segundo con rumbo N10°O-N60°O y el tercero con rumbo N10-70°E.

2.5 METAMORFISMO REGIONAL

La mineralogía del Esquisto las Mercedes (Grupo Caracas) según BELL (1968) explica que la Faja de la Cordillera de la Costa, para el momento de su metamorfismo, se encontraba enterrada a una profundidad de unos 30 km., lo que representa una evidencia de combamiento considerable hacia la parte inferior de la zona, asimismo, existen evidencias de que el grado metamórfico disminuye hacia el sur de esta faja.

MARESCH (1974) describe una distribución de las facies en el sistema Montañoso del Caribe, manifestando una clara zonación de facies metamórficas, que va de sur a norte, desde rocas no metamorfizadas de edad Cretácica hasta rocas metamorfizadas en la facies de epidoto-anfibolita en Faja Tectónica de la Cordillera de la Costa, aislando la Faja de Villa de Cura, interpretada por el autor como un *klippe*, pasando por la Faja de Paracotos en las facies de zeolita a prehnita- pumpellita y por la Faja de Caucagua-El Tinaco en las facies de los esquistos verdes.

CAPITULO III

3. GEOLOGÍA LOCAL

3.1.- GENERALIDADES

Después de un detallado estudio de la zona a lo largo del alineamiento se pudo determinar la presencia de rocas metamórficas pertenecientes a la Formación Las Mercedes, la cuales serán agrupadas de acuerdo a sus semejanzas en: composición mineralógica, textura y grado de meteorización entre otros, ubicando las mismas según su procedencia:

- ✓ Foso Andrés Bello, Estación Guaicaipuro
- ✓ Foso la Matica
- ✓ Foso Macarena Sur
- ✓ Foso de Acceso 1, Estación Independencia

Como información complementaria se utilizaran los perfiles geotécnicos

3.2.- FOSO ANDRÉS BELLO

En el sitio de emplazamiento del foso para la estación “Guaicaipuro” se observa un perfil litológico cuyas características desde el tope del terreno hasta el fondo del foso se detallan a continuación.

La figura 3.1, que muestra el perfil litológico del Foso Andrés Bello, Estación Guaicaipuro. Superficialmente se encuentra un relleno entre 0 y 6,0 metros de profundidad, representado por una arcilla limo arenosa con abundantes fragmentos de cuarzo tamaño grava y roca de hasta 1,0 cm, de color ocre claro, medianamente compacta, plasticidad baja a media, muy consistente y un espesor de grava de matriz arcillosa, que suprayace a un limo arcilloso arenosa.

Posteriormente entre 6,0 y 9,0 metros de profundidad, se encuentra roca descompuesta blanda (RDb) del esquisto grafito-cuarzoso de color gris claro, con comportamiento mecánico de suelo arcilloso, bien escogido, baja humedad,

plasticidad media, muy friable. Presenta vetas de cuarzo, algunas veces fracturados y foliación incipiente.

Por debajo de la misma, entre los 9,0 y 14,0 metros de profundidad, se reporta una secuencia de roca meteorizada dura fracturada (RMdf) del esquisto grafito-cuarzoso, de color gris claro, destacándose que la meteorización es más acentuada hacia el tope de este intervalo, observándose vetas de cuarzo y foliación marcada.

Culminando la excavación en 30,9 metros, se reporta la presencia de roca fresca dura fracturada (RFdf), constituida por el esquisto grafito cuarzoso, color gris claro al tope y gris oscuro en su base, se observan vetas de cuarzo en la foliación, con fragmentos grandes. La roca presenta mejores condiciones geotécnicas a medida que aumenta en profundidad.

En este caso se logró detectar el nivel freático a 10,80 m de profundidad de la superficie del terreno.

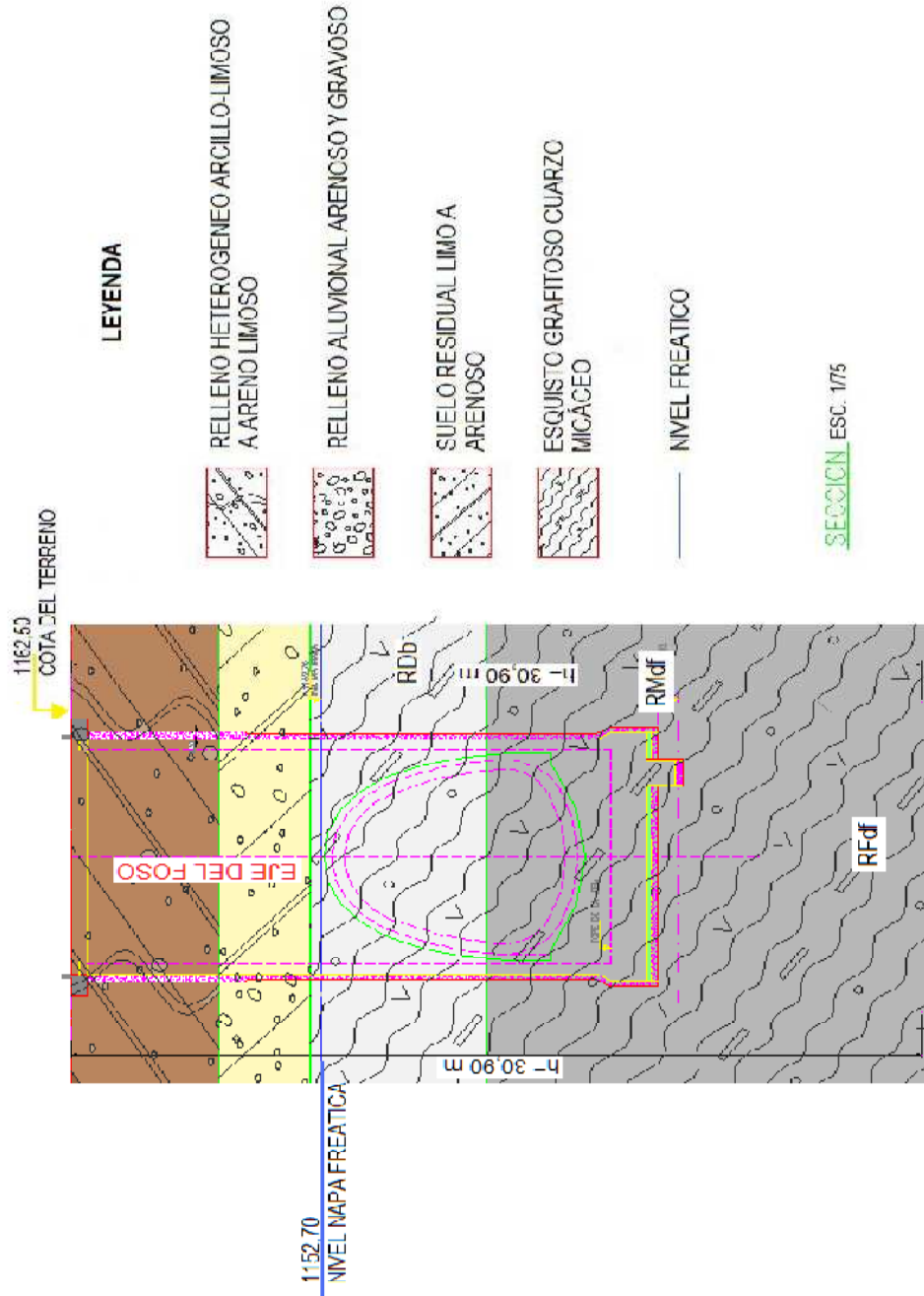


Figura 3.1. Perfil litologico del Foso Andrés Bello, Estación Guaicaipuro. Tomado y modificado del proyecto de extensión de la Línea 2 del Metro Los Teques, tramo San Antonio – El Tambor.

3.3.- FOSO LA MATICA

La figura 3.2 corresponde al perfil litológico del Foso La Matica. Del tope de terreno al fondo del foso, se describe la litología de la siguiente manera:

El perfil se inicia con una capa de relleno con alta influencia biótica y antrópica, compuesto por capas arcillo-limosas a arena arcillosas hasta los 4,0 m de profundidad; posteriormente se encuentra un suelo residual, compuesto por arcilla arenosa, de media a baja plasticidad, el cual se extiende hasta los 16,0 m de profundidad, es de color marrón, con consistencia variable, siendo muy blanda entre los 4,0 y 6,0 m, firme entre 6,0 y 7,0 m, muy firme de 7,0 a 12,0 m y dura de 12,0 a 16,0 m.

A partir de los 16,0 m y extendiéndose hasta los 23,0 m de profundidad, se encuentra roca descompuesta blanda (RDb), proveniente del esquisto grafitoso, con vetas de cuarzo bastante deleznable hacia el tope del intervalo y más consistente hacia la base, con el comportamiento geotecnico de un suelo arcillo arenoso, de media a baja plasticidad.

Infrayacente al anterior y hasta los 31,13 m de profundidad existe un espesor de roca meteorizada, dura y fracturada (RMdf) que aumenta progresivamente en sus propiedades geomecánicas a una roca fresca dura fracturada (RFdf).

En este caso se logró detectar el nivel freático a 8,80 m de profundidad de la superficie del terreno.

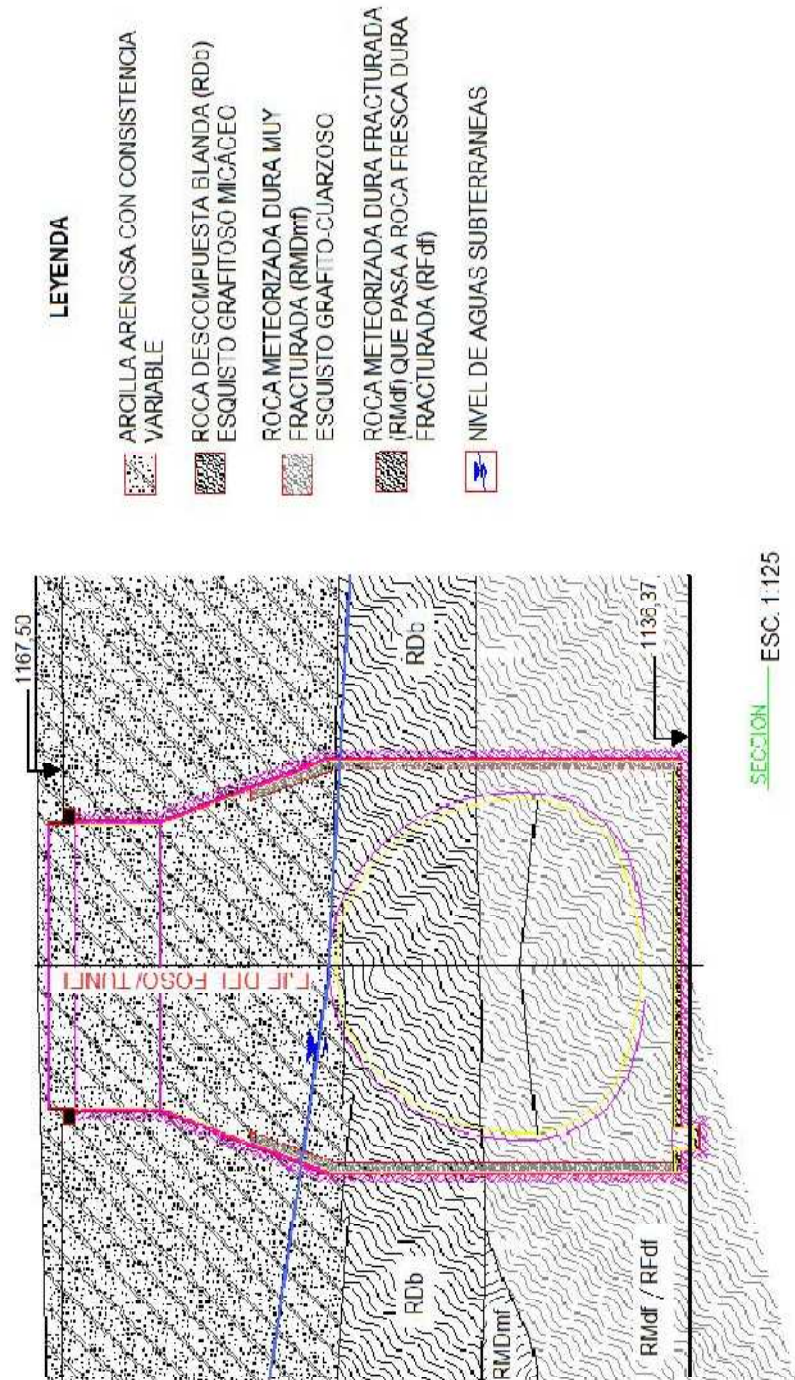


Figura 3.2. Perfil litológico del Foso la Matica. Tomado y modificado del proyecto de extensión de la Línea 2 del Metro Los Teques, tramo San Antonio – El Tambor.

3.4.- FOSO MACARENA SUR

En la figura 3.3 se muestra el perfil litológico del Foso macarena Sur. Superficialmente entre los 0 y 10,0 m de profundidad, se encuentra suelo residual de espesor variable constituido por una arena arcillosa, siendo la fracción arcillosa de baja plasticidad.

Infrayaciendo al anterior desde los 10,0 m hasta los 16,0 m de profundidad, se encuentra el perfil de roca, que se inicia con una roca descompuesta blanda fracturada (RDbf) que presenta un comportamiento de un suelo areno-arcilloso o arcillo-arenoso

Hasta los 20,0 m de profundidad y por debajo de la roca descompuesta, se encuentra un esquisto meteorizado a fresco, duro y muy fracturado. Luego hasta los 27,0 m se encuentra una roca descompuesta blanda, esquisto grafitoso.

Al final del foso, a los 32,0 m de profundidad, se encuentra una roca dura fresca fracturada, esquisto grafitoso con cuarzo. En este caso se logró detectar el nivel freático a 16,0 m de profundidad de la superficie del terreno.

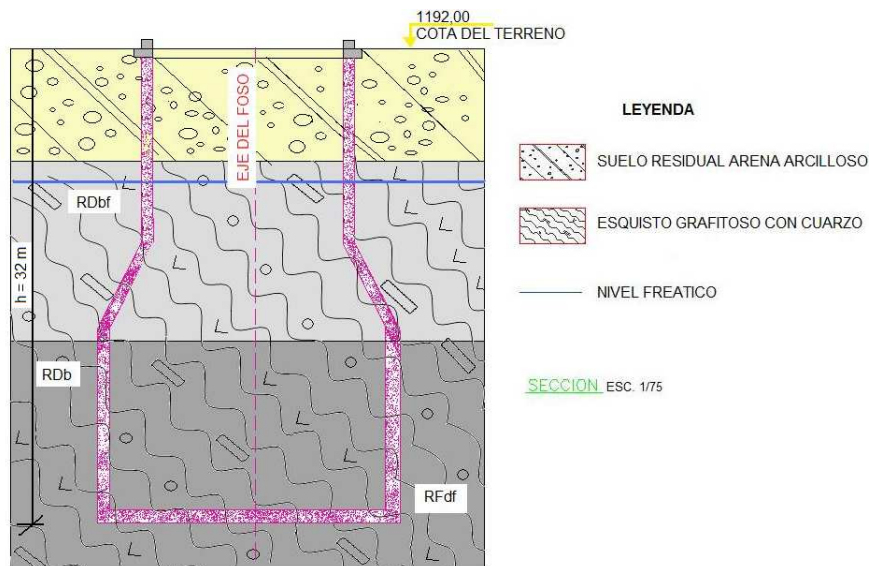


Figura 3.3. Perfil litológico del Foso la Macarena Sur. Tomado y modificado del proyecto de extensión de la Línea 2 del Metro Los Teques, tramo San Antonio – El Tambor.

3.5.- FOSO ACCESO 1 - ESTACIÓN MIRANDA

En la figura 3.4 se muestra el perfil litológico del foso de acceso 1, Estación Miranda. Comenzando la sección y hasta una profundidad de 9,0 m, se encuentra una Roca descompuesta blanda (RDb), con alta presencia de mica, grafito y algo de grava, color amarillento, la cual pasa a gris oscuro, muy friable cuando alcanza los 17,0 m de profundidad, presentando una composición micácea-grafitosa.

A partir de los 17,0 m y hasta llegar a los 27,0 m se observa la Roca meteorizada dura fracturada (RMdf) consistente en Esquisto grafitoso-cuarzoso con fragmentos de cuarzo; se observó el nivel freático a 8,80 m de profundidad de la superficie

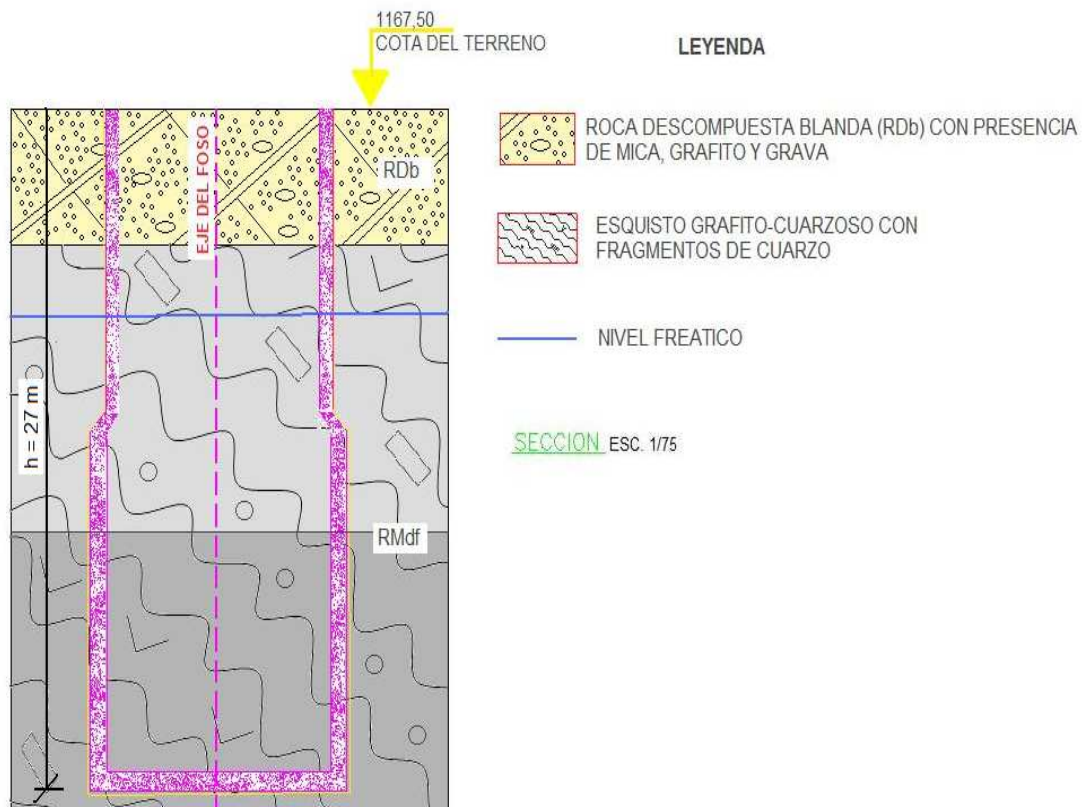


Figura 3.4 Perfil litológico del Foso de Acceso 1 Estación Independencia. Tomado y modificado del proyecto de extensión de la Línea 2 del Metro Los Teques, tramo San Antonio – El Tambor.

3.6.- PERFORACIONES Y PERFILES GEOTÉCNICOS

A continuación se muestra el croquis de ubicación de las perforaciones realizadas a lo largo de la zona de estudio (Figura 3.5 y Figura 3.8), el resumen de las características del subsuelo en cada perforación, basada en la descripción visual de las muestras obtenidas en cada sondeo exploratorio.

En la figura 3.6, figura 3.7, figura 3.9 y figura 3.10 se muestra el perfil generado a partir de las perforaciones realizadas, representando las diversas condiciones geomecánicas que se encontraron a lo largo del trazado en los sitios explorados.

Por otra parte, se realizaron petrografías a muestras de mano recolectadas en cada uno de los fosos, durante la excavación.

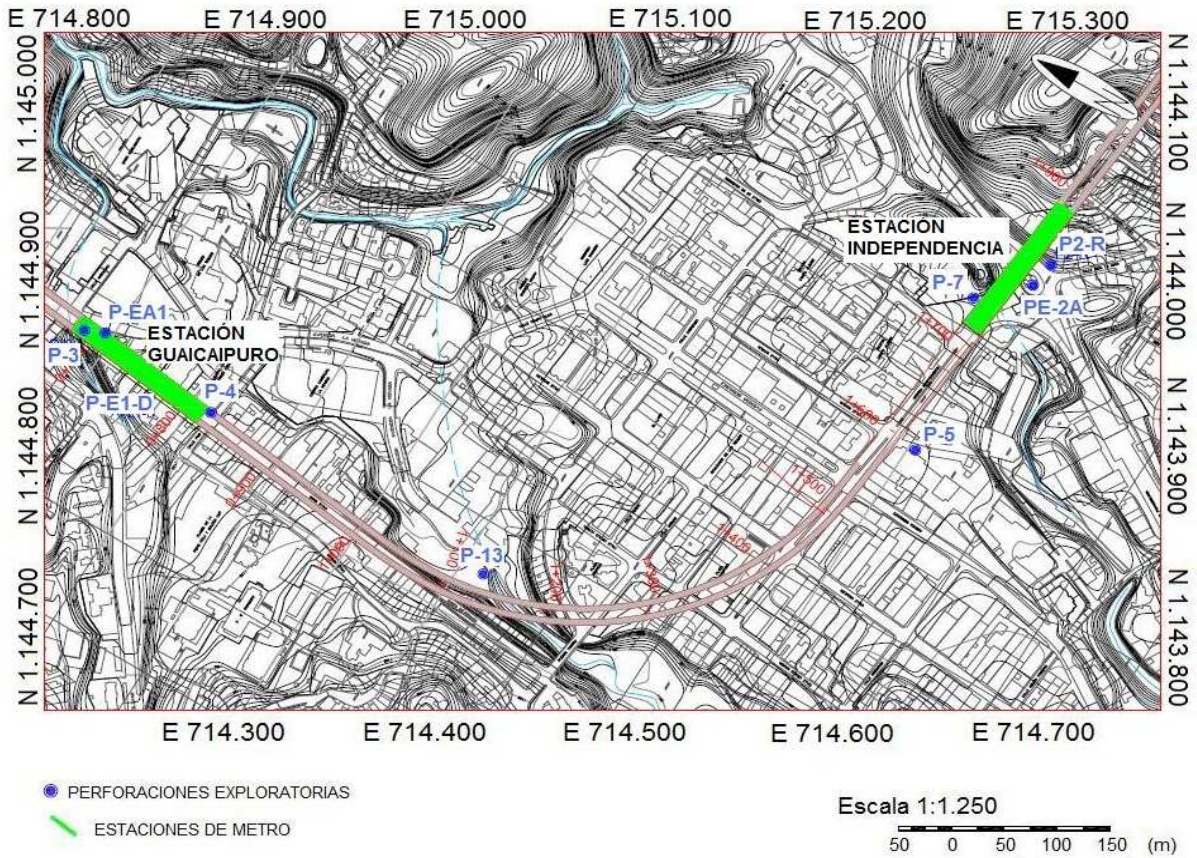


Figura 3.5.- Croquis de ubicación de las perforaciones y estaciones. Tomado y modificado del estudio geotécnico, proyecto de extensión de la Línea 2 del Metro Los Teques, tramo San Antonio – El Tambor, entre la Estación Guaicaipuro y la Estación Independencia

3.6.1.- PERFORACIÓN PE1-A

Se inicia con un de relleno limoso color pardo con tramos color ocre producto de la meteorización, medianamente resistente a la penetración, dúctil, húmedo, con fragmentos de cuarzo hasta de 1 cm, su espesor va desde 0 m hasta 3,55 m de profundidad. Luego se presenta un intervalo de limo, aparentemente derivado de un esquistos muscovítico, sericítico, micáceo, algo gravoso, de 1,45 m. de espesor. Por debajo entre 7,0 m y 8,0 m se observa una arcilla color marrón a ocre, muy plástica, de humedad media, poco resistente a la penetración, dúctil. De inmediato entre los 8,0 m y 9,0 m de profundidad, se encuentra una arcilla con características similares a la anterior, de color marrón a ocre, muy plástica y con humedad media. Infrayacente al anterior desde los 9,0 m hasta los 18,0 m, se halla la roca descompuesta blanda fracturada (RDbf) compuesta por un esquistos muscovítico cuarzo micáceo con tramos grafitosos, la roca presenta tramos con arena suelta y gravas. Finalizando entre los 18,0 m y 20,0 m de profundidad, se reporto roca meteorizada dura fracturada (RMdf) compuesta por un esquistos grafitoso calcáreo, con fragmentos de cuarzo.

3.6.2.- PERFORACIÓN P-3

Se inicia con un material de relleno entre 0 m. y 5,0 m. de profundidad, constituido por una arena arcillosa (SC), saturada, con fragmentos de esquistos y cuarzo, color marrón amarillento, de 1,0 m. de espesor. A continuación entre 1,0 m. y 5,0 m., se penetra un material más granular, constituido por una arena arcillosa gravosa (SC), muy poco resistente a la penetración y dúctil que está saturado. Infrayacente al anterior se halla una grava arcillosa, cuyo espesor es de 2,0 m., conformado por fragmentos de cuarzo, tamaño máximo 2 cm, muy húmeda a saturada, deformable con cierta facilidad con presión, dúctil. Luego de aprecia una arcilla arenosa, cuyo espesor es de 1,0 m., color pardo oscuro, baja plasticidad y trazas de materia orgánica. Continúa hasta los 22,0 m. una secuencia constituida por un esquistos grafitoso cuarzo calcáreo, color gris oscuro a negro, friable, muy poco resistente a la presión dúctil, descompuesta blanda fracturada (RDbf). Infrayacente y encontrada hasta los 32,0 m. se en-

cuentra la roca ligeramente meteorizada, dura, fracturada (RM_{df}), constituida por esquisto grafitoso, cuarzo calcáreo, de color gris oscuro con bandeamiento blanquecino. Culminando el sondeo entre los 32,0 m. y 40,0 m. de profundidad, se recuperaron fragmentos de esquisto grafitoso calcáreo, con fragmentos de cuarzo, con detritos de grafito en una matriz arenosa fina.

3.6.3.- PERFORACIÓN PE1-D

Se inicia con un relleno que se encuentra desde la superficie hasta los 3,0 m. de profundidad, constituido por una grava en matriz arcillosa, de color marrón, humedad media a alta, mal escogida, medianamente compacta, con fragmentos angulares de cuarzo de hasta 1,5 cm; hacia la base el contenido de grava disminuye sustancialmente. Por debajo del relleno encontramos un intervalo de limo arcilloso hacia el tope y arenoso hacia la base, con fragmentos de esquisto grafitoso descompuesto, moderadamente escogido, color marrón oscuro, humedad media, consistencia moderada, compacto, medianamente friable y plasticidad media a alta, el cual tiene un espesor de 2,0 m.. De seguidas se encuentra la roca descompuesta blanda (RD_b) constituida por esquisto grafito-sericítico, la cual se extiende hasta los 10,0 m de profundidad y presenta un comportamiento que se asimila al de un suelo arcilloso, color gris claro y que se oscurece a mayor profundidad, con baja humedad, plasticidad media, muy friable. En ocasiones se presenta vetas de cuarzo muy fracturadas que forman capas muy finas de fragmentos de cuarzo de hasta 1 cm. Igualmente se aprecian planos de foliación perpendiculares a la perforación. Finalizando entre los 10,0 m. y 37,0 m., se reportó la roca fresca dura fracturada (RF_{df}) constituida por un esquisto grafito-calcáreo cuarzoso, color gris claro. Al comienzo de este espesor se encuentra moderadamente meteorizado, de color gris oscuro, y humedad media a alta. Con el aumento de la profundidad la roca se hace más fresca y competente desde el punto de vista geomecánico.

3.6.4.- PERFORACIÓN P-4

Presenta superficialmente una arena limosa (SM), de baja plasticidad, color marrón amarillento, de 2,0 m. de espesor, que suprayace a una capa de arena poco limosa, muy densa, con grava compuesta por fragmentos angulares de esquistos y cuarzo, friable, de 1,0 m. de espesor. Luego entre 3,0 m. y 7,0 m. de profundidad, se halla una arena limosa con porcentaje apreciable de grava, de origen residual, color marrón claro, friable, densa y muy húmeda a saturada. Desde los 7,0 m. y hasta llegar a los 21,0 m, se reportó roca descompuesta blanda fracturada (RD_Bf), con comportamiento mecánico de suelo areno-arcilloso fino (SC), color gris claro a gris oscuro y tonalidades negras, compacidad relativa media a muy densa, con la profundidad se va acentuando el color gris oscuro, y el contenido de grafito. Infrayacente a la anterior y hasta finalizar el sondeo a los 40,0 m. de profundidad, se reportó roca meteorizada dura fracturada (RM_Df) color gris oscuro a negro; compuesta por esquistos grafitosos cuarzo calcáreo que hacia el fondo del intervalo se va haciendo más competente, menos meteorizada, más resistente y menos fracturada.

3.6.5.- PERFORACIÓN P-13

El subsuelo en esta perforación comienza con un suelo residual, limo arenoso, talcoso, con presencia de raicillas, y fragmentos subangulares de cuarzo y trozos de esquistos descompuestos de color marrón de 2,0 m. de espesor. Infrayacente a este intervalo se halla una arena fina limosa, algo gravosa, con fragmentos subangulares de cuarzo, de color pardo amarillento, de 1,0 m. de espesor. Luego entre 3,0 m. y 6,0 m. se encuentra una roca descompuesta blanda fracturada (RD_Bf), compuesta por un esquistos muscovítico, talcoso, sericítico, color marrón; posee comportamiento de un suelo limo-arenoso algo gravoso. Infrayacente se encuentra una roca descompuesta blanda fracturada (RDBf), constituida por un esquistos grafito-cuarzoso, de color gris oscuro a negro, de 3,0 m. de espesor. Finalizando el sondeo, hasta los 31,0 m. de profundidad, se encuentra roca meteorizada dura fracturada (RMDf), color gris oscuro a negro, compuesta por esquistos grafitosos cuarzo calcáreo, con foliación variando entre 60° a 70° y 0° a 25° respecto al eje vertical.

3.6.6.- PERFORACIÓN P-5

La perforación P-5 se caracteriza por encontrar inicialmente una capa vegetal, de 1,0 m. de espesor, la cual está compuesta por un limo arcilloso, color pardo oscuro con raíces, pa-

ra luego pasar a un material de relleno sericítico de 1,0 m. de espesor y posteriormente a una arena limo-arcillosa, poco plástico y de baja cohesividad, de 1,0 m. de espesor. Infrayacente se halla un suelo limo-arenoso, de 11,0 m. de espesor, ligeramente arcilloso, posiblemente de origen residual, de mediana a baja plasticidad, poco cohesivo, con granos de cuarzo con oxidación localizada, color marrón amarillento claro, y oscuro a ocre hacia la base por oxidación asociada a la circulación de agua en el subsuelo. Igualmente hacia la base de esta capa el suelo tiene aspecto de roca esquistosa, arenosa, color gris oscuro, descompuesta, sericítica, poco consistente, muy húmeda y friccionante. En general este material es muy poco resistente a la penetración. Luego entre 14,0 m. y 20,0 m. se reportó roca descompuesta blanda fracturada (RDbf), constituida por un esquisto grafitoso cuarzoso, color gris oscuro a negro, de muy baja resistencia al corte, muy húmedo, muy poco resistente a la penetración, dúctil, micáceo hacia la base y en estado de saturación. Finalizando hasta llegar a los 40,0 m. de profundidad, fue reportada roca fresca dura fracturada (RFdf) compuesta por esquisto grafitoso calcáreo, con vetas de cuarzo de color gris oscuro a negro.

3.6.7.- PERFORACIÓN P-7

El subsuelo en este sitio de perforación se inicia con un relleno de 3,0 m. de espesor, constituido por un limo arenoso poco plástico de color naranja con tramos grises, casi suelto, muy poco resistente a la presión. Luego entre 3,0 y 12,0 m. de profundidad, se encuentra un suelo limo arenoso, posiblemente de origen residual, color amarillento claro y tramos color ocre producto de la oxidación, la cual se asocia a circulación intermitente de agua, friccionante, poco húmedo, muy poco resistente a penetración, dúctil, hacia el fondo de la capa se aprecia un material muy arcilloso bastante húmedo y cohesivo de resistencia media a la penetración, dúctil. Posteriormente entre 12,0 m. y 20,0 m. se reportó roca descompuesta blanda fracturada (RDbf), constituida por un esquisto grafitoso con una banda arcillosa poco plástica, color gris oscuro a negro, con trozos de cuarzo y terrones con aspecto brechoide, muy baja resistencia al corte, friable, poco resistente a la penetración. Infrayacente se reporta roca meteorizada dura fracturada (RMdf), compuesta por esquisto grafitoso calcáreo con vetas de cuarzo de color gris oscuro a negro, el cual tiene un espesor de 15,0 m. Finalmente y para terminar en 40,0 m., se halla roca fresca dura fracturada (RFdf), compuesta por esquisto grafitoso.

3.6.8.- PERFORACIÓN PE2-A

Se inicia con un suelo residual limo arcilloso, talcoso con presencia de raicillas, con fragmentos de cuarzo subangular, friable de 1,0 m. de espesor. Luego se presenta la roca descompuesta blanda fracturada (RDbf) de 8,0 m. de espesor, compuesta por un esquisto muscovítico, cuarzo micáceo con tramos muy grafitosos, de color amarillo a ocre producto de la circulación de agua. Posteriormente entre 9,0 m. y 13,0 m. de profundidad, se presenta roca meteorizada dura fracturada (RMdf) compuesta por un esquisto grafitoso calcáreo muscovítico micáceo con vetas de cuarzo. Infrayacente entre 13,0 m. y 24,0 m., se encuentra roca descompuesta blanda fracturada (RDbf) compuesta por un esquisto grafitoso cuarzo micáceo calcítico de color gris a negro con tramos de color ocre y fragmentos de micas y muscovita. Finalizando se halla roca meteorizada dura fracturada (RMdf) compuesta por un esquisto grafitoso calcáreo con fragmentos de cuarzo, el mismo con un espesor de 11,0 m..

3.6.9.- PERFORACIÓN P2R

El perfil del subsuelo en esta perforación comprende una roca descompuesta blanda (RDb) del esquisto, con un espesor de 22,0 m., muy meteorizado, de color marrón claro, con comportamiento mecánico de un suelo arcillo arenoso de media a baja plasticidad con fragmentos tamaño grava, constituidos por cuarzo y esquisto de color gris. Hacia la base del espesor la roca se hace más compacta y presenta textura más fina. Infrayacente y hasta el final de la perforación en 40,0 m. de profundidad, se encontró el tope de la roca meteorizada dura fracturada (RMdf) de esquisto grafito-cuarzoso, de color negro, con textura fibrosa no orientada, friable hacia el tope, se observan vetas de cuarzo diseminadas. La meteorización de la roca disminuye cuantiosamente en los últimos metros del sondeo.

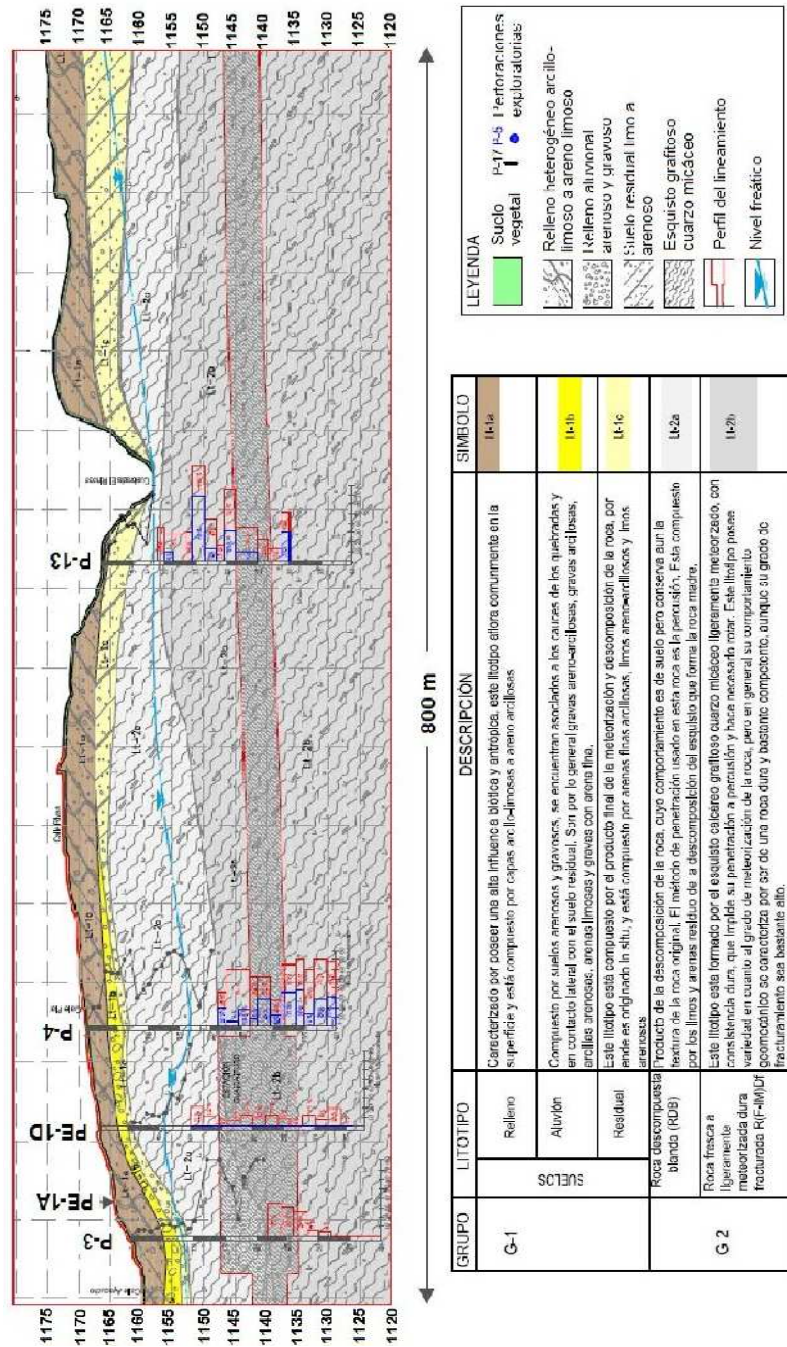


Figura 3.6.- Perfil Geotécnico 1, entre la Estación Guaicaipuro y la Estación Independencia. Tomado y modificado del estudio geotécnico, proyecto de extensión de la Línea 2 del Metro Los Teques, tramo San Antonio – El Tambor.

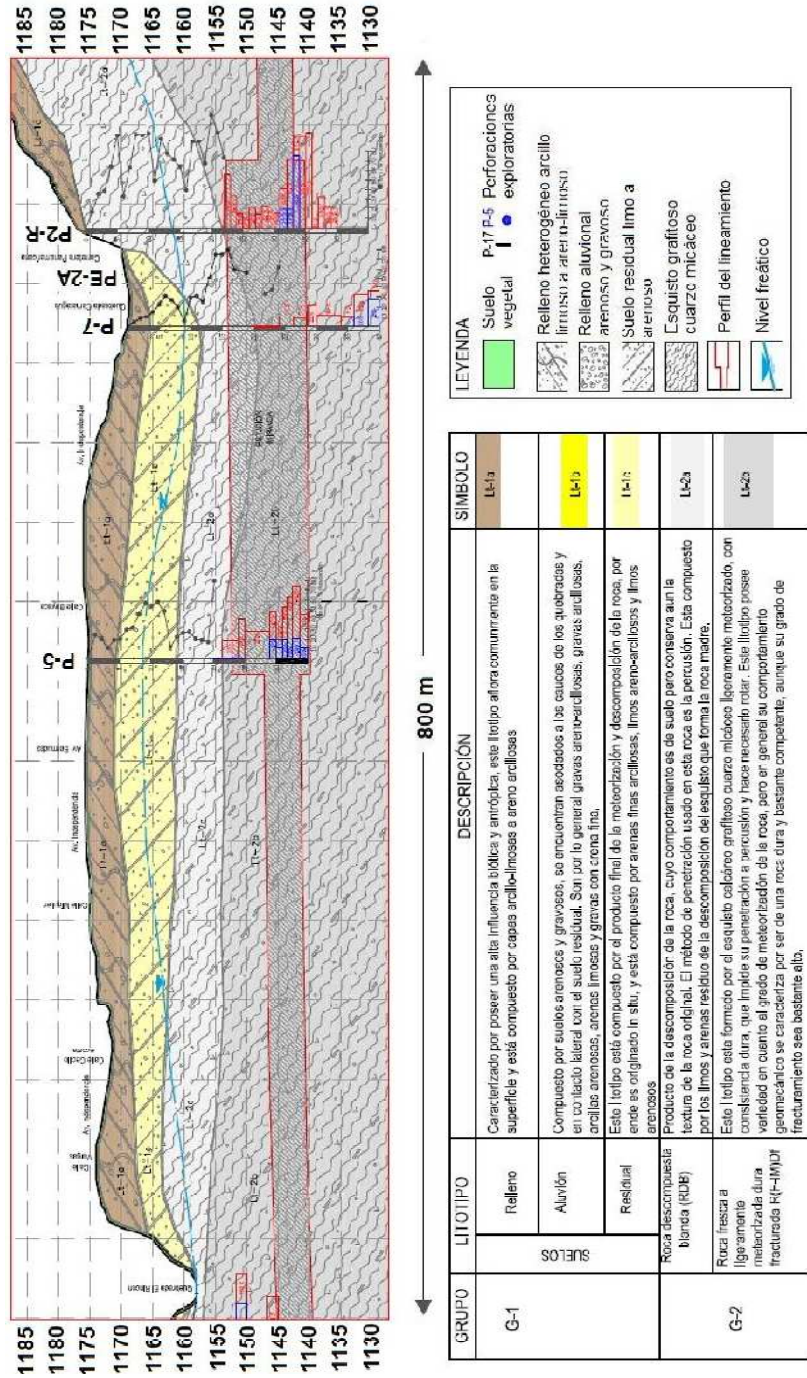


Figura 3.7.- Perfil Geotécnico 2, entre la Estación Guaicaipuro y la Estación Independencia. Tomado y modificado del estudio geotécnico, proyecto de extensión de la Línea 2 del Metro Los Teques, tramo San Antonio – El Tambor.

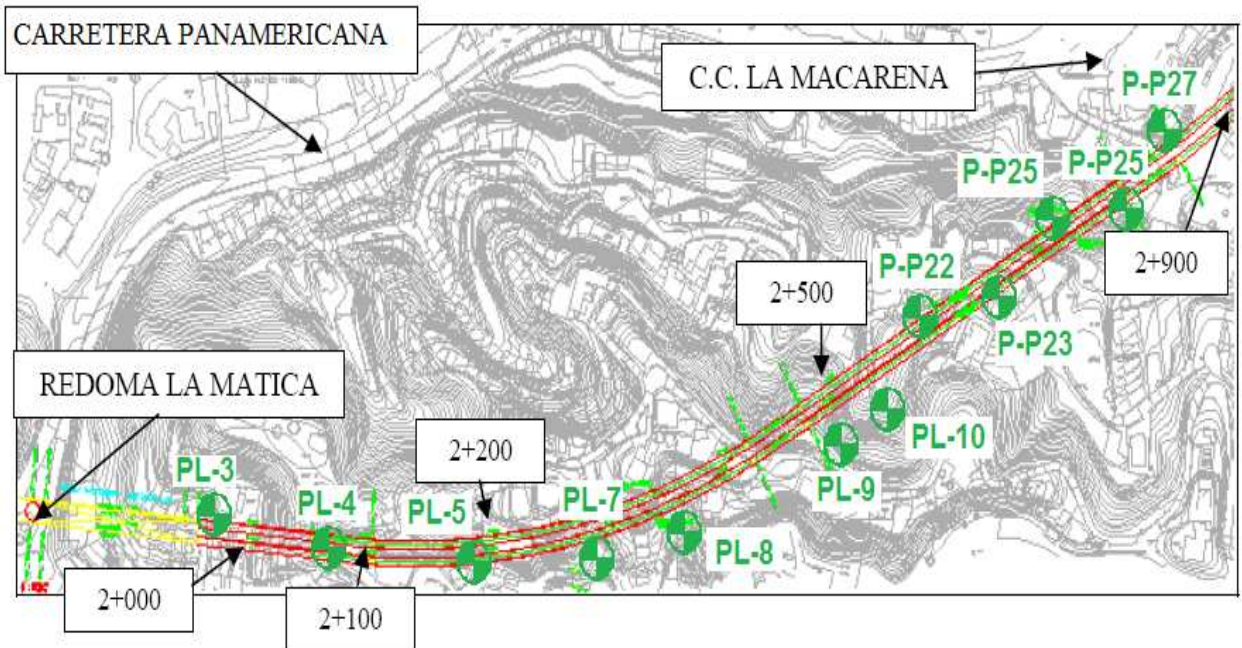


Figura 3.8.- Croquis de ubicación de las perforaciones y estaciones. Tomado y modificado del estudio geotécnico, proyecto de extensión de la Línea 2 del Metro Los Teques, tramo San Antonio – El Tambor, entre la Estación Independencia y el Foso Macarena Sur.

Desde el punto de vista geológico, las características estratigráficas mantienen cierta uniformidad a lo largo de este tramo, encontrándose suelo bien sea de origen antrópico (relleno) o de origen residual, en los metros más superficiales; debajo de este horizonte se encontró la roca descompuesta blanda, producto de la intensa meteorización del esquistos calcítico grafitoso, conteniendo materiales como sericita, y cuarzo principalmente; esta roca ostenta el mayor espesor desde PL-3 hasta P-22; seguidamente yace la roca meteorizada blanda (esta última sólo en el caso de PL-9) y la roca ligeramente meteorizada dura, compuesta por un esquistos calcítico, grafitoso, cuarzo, moscovítico, la cual presenta una textura de grano grueso y vetas de cuarzo y/o calcita de espesor variable; la roca ligeramente meteorizada dura tiene el mayor espesor entre P-25 y P-27.

Es conveniente describir los resultados de las dos secuencias de perforaciones por separado.

3.6.10.- PL-3 A PL-10

Las perforaciones denominadas PL-3, PL-4, PL-5 y PL-7 contienen espesores de suelo que varían entre 2 y 6 metros, el cual mantiene una textura de arcilla limosa, de baja plasticidad y consistencia variable entre media y rígida, pasando a una arena limosa con algo de grava en PL7 y luego a un relleno de naturaleza limo arenoso de plasticidad media a alta y consistencia media a firme en PL-9.

En los metros subyacentes a este suelo, así como desde el primer metro en el caso de PL-8 y PL10, se encontró roca descompuesta blanda fracturada (RDbf), la cual tiene un comportamiento de arcillosa a limosa, con fragmentos de cuarzo tamaño grava, estos últimos son más frecuentes entre PL-7 y PL- 10. Su espesor es variable entre 30 hasta 56 metros para PL-7 y PL-8 (las de mayor longitud).

Luego continúa la capa de roca ligeramente meteorizada dura fracturada, con un espesor variable entre 20 y 30 metros para PL-3, PL-7, PL-8 y para PL-10. En el caso de PL-9, la roca encontrada fue de tipo meteorizada blanda fracturada.

Entre PL-3 y PL-7 la roca presenta textura esquistosa, con un tamaño de grano mínimo de 0,01 mm y un máximo de 0,2 mm. Se observan sobrecrecimientos leves de calcita en PL-3 y bordes de cuarzo recrecidos por precipitación de sílice en PL-5.

3.6.11.- PL-22 A P-27

La perforación P-22 presenta un material con características de relleno a lo largo del primer metro, compuesto por un limo de baja plasticidad y consistencia firme, mientras que P-25 y P-26 contienen suelo residual en los primeros metros, respectivamente.

Este suelo se comporta como limo arenoso a arena limosa de consistencia muy firme a dura, con intervalo arcilloso en P-25. Bajo estos materiales se encontró roca descompuesta blanda, la cual aflora desde el primer metro en el caso de las perforaciones P-23 y P-27; dicha roca presenta un espesor máximo de 32 metros para P-22, y uno mínimo de 5 metros para P-26, con un promedio de 16 metros de espesor. El comportamiento de esta roca se asemeja al de un limo arenoso de baja plasticidad y consistencia muy firme a dura entre las perforaciones P-23 y P-25; en P-22 presenta este comportamiento los 2 primeros metros y luego pasa a una arena limosa, mientras que en P-26 presenta la misma granulometría; en la perforación P-27 la roca descompuesta presenta un comportamiento menos uniforme, pasando de arcilla limosa a arena limosa de y luego se comporta como arena hasta el contacto con la roca dura.

Para esta secuencia de perforaciones, la roca meteorizada dura fracturada se encontró, en promedio, a los 15 metros de profundidad, a excepción de P-22, donde la roca dura se encontró después de los 33 metros.

Entre P-26 y P-27 también la textura es esquistosa, con un promedio de tamaño de grano de 0,4 y 0,3 mm respectivamente. Cabe destacar que la roca predominante está representada por un esquistos fundamentalmente calcítico-grafitoso (70% aproximadamente), siendo la excepción las perforaciones P-26 y P-27, en las cuales el esquistos no presenta calcita en su composición mineralógica.

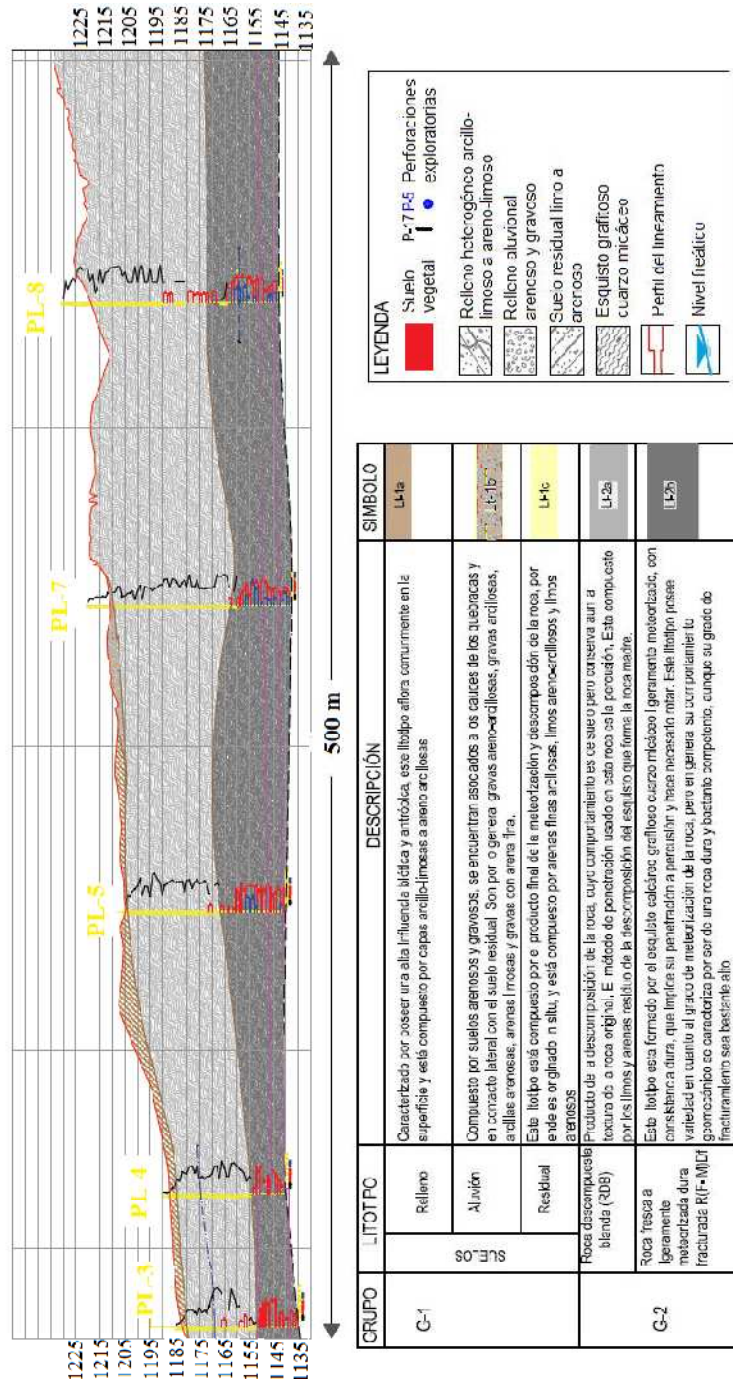


Figura 3.9.- Perfil Geotécnico 1, entre la Estación Independencia y el Foso Macarena Sur. Tomado y modificado del estudio geotécnico, proyecto de extensión de la Línea 2 del Metro Los Teques, tramo San Antonio – El Tambor.

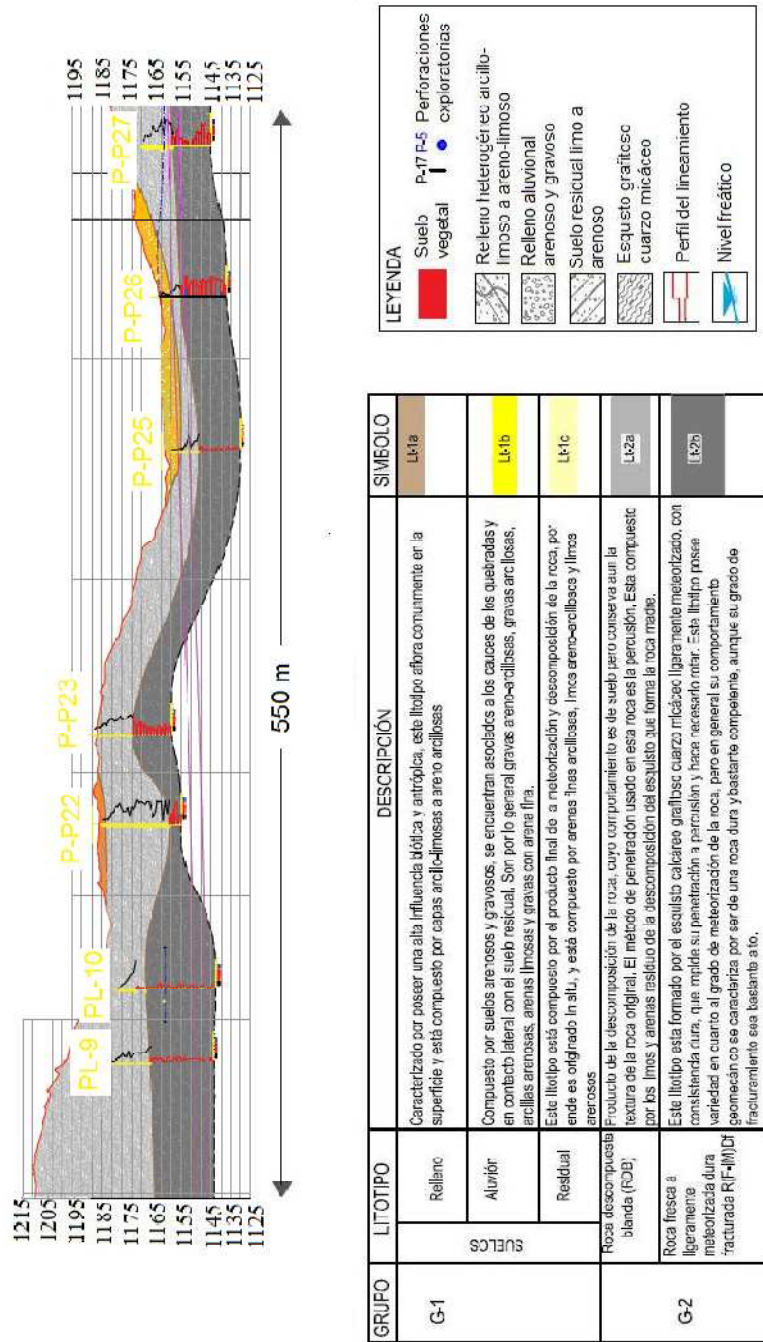


Figura 3.10.- Perfil Geotécnico 2, entre la Estación Independencia y el Foso Macarena Sur. Tomado y modificado del estudio geotécnico, proyecto de Extensión de la Línea 2 del Metro Los Teques, tramo San Antonio – El Tambor .

CAPITULO IV

4.- HIDROGEOLOGÍA

4.1.- GENERALIDADES

Una provincia hidrogeológica puede ser definida como una región con características similares, en cuanto a las condiciones de ocurrencia de las aguas subterráneas. Entre los factores que contribuyen en la definición de una provincia hidrogeológica, se destacan la conformación geológica y las características fisiográficas según (DURAN y LOBO, 2004). De acuerdo a la clasificación hidrogeológica de Venezuela, tomada de MEJIAS y GUERRERO, 2000, la región de los Teques se encuentra dentro de la *Provincia Andina*, específicamente en la *Subprovincia Sistema Orogénico Central* (figura 4.1 y cuadro 4.1).

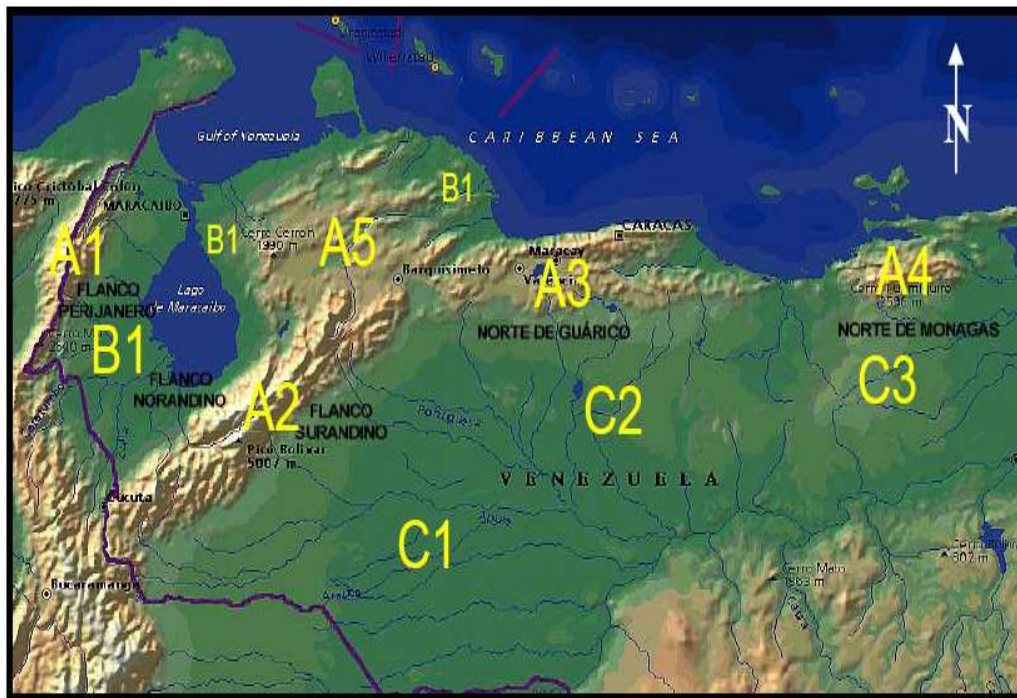


Figura 4.1.- Provincias hidrogeológicas de Venezuela.

Tomado de: MEJÍAS y GUERRERO (2000)

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

Cuadro 4.1 Provincias hidrogeológicas de Venezuela. Tomado de MEJIAS y GUERRERO (2000)

4.2- EL AGUA Y LA GEOLOGÍA

Según GONZALEZ DE VALLEJO (2002) los acuíferos deben ser entendidos como formaciones geológicas subterráneas porosas y permeables, susceptibles de almacenar y transmitir agua. Así, cabe indicar que existe en la naturaleza una amplia gama de formaciones con capacidades muy diversas para almacenar y transmitir agua; desde el punto de vista hidrogeológico, estas formaciones suelen dividirse en cuatro grupos principales:

- ✓ **Acuíferos:** intervalos capaces de almacenar y transmitir el agua (gravas, arenas y materiales calizos, entre otros); son formaciones con **capacidad de drenaje alta** en las que se pueden construir pozos con el fin de satisfacer las necesidades humanas de abastecimiento, agricultura, industria y ganadería, entre otros.
- ✓ **Acuitardos:** intervalos capaces de almacenar el agua en cantidades muy importantes, pero la transmiten con dificultad. Se suelen denominar con frecuencia formaciones semipermeables (limos, arenas limosas y arenas arcillosas), y su **capacidad de drenaje es media a baja**. No son de interés para la obtención de caudales que puedan servir para satisfacer alguna necesidad hídrica,

pero en la naturaleza juegan un papel muy importante como elementos transmisores del agua en recargas verticales a través de grandes superficies.

- ✓ **Acuicludos:** intervalos que son capaces de almacenar el agua en grandes cantidades, pero no tienen la posibilidad de transmitirla y la drenan con mucha dificultad. El agua se encuentra encerrada en los poros de la formación y no puede ser liberada (arcillas y limos arcillosos). En hidrogeología clásica, se asumen como impermeables, pero en ingeniería geológica este concepto se hace menos preciso, pues sus drenajes muy limitados pueden llegar a representar problemas en determinadas obras.
- ✓ **Acuifugos:** formaciones incapaces de almacenar y de transmitir el agua; están representados por las rocas compactas, como granitos y gneises, y a veces incluso calizas muy compactas sin carstificar; se muestran como impermeables salvo que existan fracturas que pueden permitir flujos.

Los acuíferos, pueden ser catalogados de acuerdo a la presión hidrostática del agua encerrada en ellos. Tomando en cuenta esa premisa los acuíferos pueden ser:

Acuíferos libres: también llamados no confinados o freáticos, los cuales son aquellos en los que existe una superficie libre del agua encerrada en ellos, que está en contacto directo con el aire y por lo tanto, a la presión atmosférica. Esa superficie libre tiene una profundidad que oscila libremente de acuerdo al ciclo climático, es decir, de acuerdo a las lluvias y a la recarga asociada a éstas.

El método de Neuman es la metodología más comúnmente utilizada para determinar los parámetros hidrogeológicos de un acuífero libre anisotrópico con respuesta retardada al bombeo desde datos de descensos en una prueba de bombeo. A partir de este análisis se puede obtener la transmisibilidad, la conductividad hidráulica horizontal y vertical, el coeficiente de almacenamiento elástico y el almacenamiento específico.

Un pozo que bombea desde un acuífero libre extrae agua mediante dos mecanismos:

- disminución de presión libera agua por almacenamiento elástico y,
- drenaje gravitacional desde los sedimentos que conforman el medio poroso.

Para comprender el proceso de liberación de agua desde un acuífero no confinado o libre se debe separar en tres fases o etapas:

- En la primera etapa existe una disminución de presión, con lo cual el sistema acuífero se comporta como un sistema confinado en el cual la liberación de agua se produce por almacenamiento elástico. En esta etapa el flujo hacia el pozo es horizontal y su comportamiento, en términos de depresión a través del tiempo, puede ser descrito por la solución de Theis.

- En la segunda etapa el nivel freático disminuye (comienza a descender), con lo cual el agua se libera por drenaje gravitacional. En este caso la tasa de descenso del nivel freático va a estar definida por la relación entre las conductividades vertical y horizontal.

- Finalmente, en la tercera etapa se tiene nuevamente un flujo horizontal, con lo cual la relación depresión-tiempo obedece una curva tipo Theis pero con el coeficiente de almacenamiento S igual a la capacidad específica, S_y .

La respuesta de acuíferos libres a una prueba de bombeo es considerablemente diferente a la respuesta de acuíferos confinados. Una de las suposiciones de Theis en la derivación de la ecuación de pozo en un acuífero confinado es que el agua es sacada desde el almacenamiento instantáneamente, con una disminución en la carga hidráulica. Aunque esta suposición, para fines prácticos, puede ser considerada “bastante cierta” para la mayoría de los acuíferos confinados, no es aceptable para la mayoría de los acuíferos libres debido a un retraso en la liberación de agua desde el almacenamiento. Este retraso es causado por drenaje gravitacional tardío del medio poroso dentro del cono de depresión y sobre la superficie de la carga hidráulica, especialmente al comienzo del bombeo. Como resultado, el coeficiente de almacenamiento

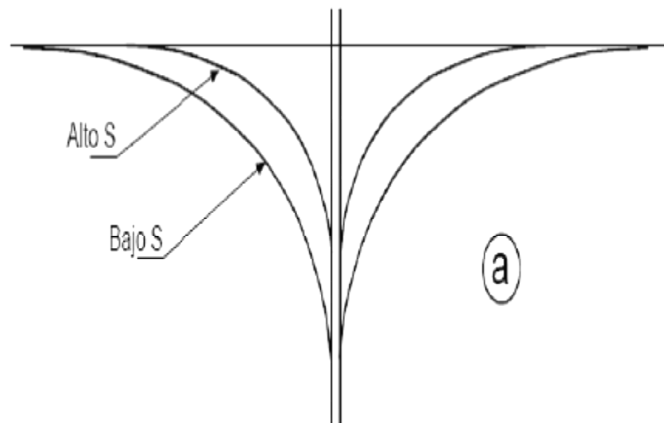
determinado desde los primeros datos de descenso usando la expresión de Theis será subestimada.

Un valor más real del coeficiente de almacenamiento es obtenido desde datos de descenso tardíos cuando el cono de depresión se propaga a una tasa más baja y el drenaje por gravedad llega a un equilibrio con otras influencias del bombeo.

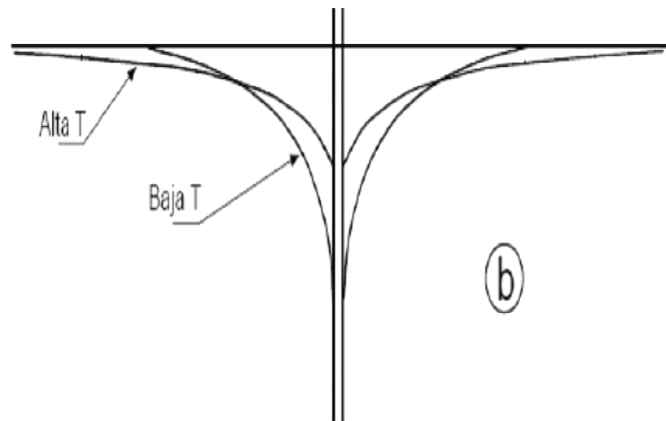
Acuífero confinado: en estos casos el agua está sometida a una presión, superior a la atmosférica y ocupa totalmente los poros de la formación. Por ello durante la perforación de los pozos en acuíferos de este tipo, al atravesar el techo del mismo, se observa un ascenso rápido del nivel del agua, hasta estabilizarse a una cierta altura.

Formas del cono según las características del acuífero.

- a) Si el acuífero tiene un mayor coeficiente de almacenamiento (S) o porosidad eficaz (me), los descensos serían menores, ya que el acuífero proporciona más agua, y por lo tanto el tamaño de cono sería menor.



b) Por otra parte, manteniéndose igual el S, si el acuífero tiene una menor transmisividad (T), la pendiente necesaria será mayor.



4.3 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Para realizar el estudio de un acuífero es indispensable conocer las características hidráulicas que controlan su capacidad de almacenamiento y de transmisión del agua a través del mismo. Los principales parámetros a tomados en cuenta fueron:

- Balance hídrico
- Superficie piezométrica
- Coeficiente de almacenamiento.
- Porosidad
- Transmisibilidad
- Permeabilidad
- Cálculo de reservas

La determinación de estas características hidráulicas, hace posible una mejor comprensión del funcionamiento del sistema hidrogeológico específico al caso que

nos ocupa y ayuda a evaluar los recursos disponibles en función del posible desarrollo de éstos. Algunos de dichos parámetros son calculados, a partir de pruebas de bombeo a caudal constante, utilizando el método de THEIS (1935) modificado por Jacob.

4.3.1.- BALANCE HÍDRICO

Con el balance hídrico se establece en base a la información suministrada por las estaciones climatológicas ubicadas en la zona de interés, permitiendo conocer los meses en donde el agua, a través de la precipitación la recarga del acuífero por efectos de la infiltración vertical, según CASTANY (1969).

4.3.2.- SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA

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

4.3.3.- COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

El coeficiente de almacenamiento (S) de un acuífero se define como el volumen de agua que el acuífero libera o absorbe por unidad de superficie por cambio unitario de presión en la componente normal a esa superficie.

El coeficiente de almacenamiento se calcula a partir del gráfico semilogarítmico de Tiempo vs Abatimiento, que se emplea para determinar también el coeficiente de Transmisibilidad, usando la intercepción de la línea recta para cero abatimiento t_0 , siendo S:

$$S = 2,25 * \frac{T * t_0}{r^2} \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

Donde t_0 es la intercepción de la línea recta con el eje de cero abatimiento y r es la distancia desde el centro del pozo de bombeo hasta donde se mide el abatimiento, en metros.

El coeficiente de almacenamiento es un término adimensional y varía entre:

Acuíferos Libres	0,3 a 0,001 ($3 \cdot 10^{-1}$ a 10^{-2})
Acuíferos semi-confinados	10^{-3} a 10^{-4}
Acuíferos Confinados	10^{-4} a 10^{-5}

La capacidad de almacenamiento de un acuífero se expresa mediante el coeficiente S , el cual se define como el volumen de agua que el acuífero libera o absorbe por unidad de superficie por cambio unitario de presión en la componente normal a esa superficie, así que S es el Volumen de agua liberado o añadido a un acuífero por unidad de superficie del acuífero y por unidad de variación de carga hidráulica.

4.3.4.- POROSIDAD

Se puede definir como el volumen de espacios vacíos por unidad de volumen que posee una roca o suelo. Se abrevia con la letra ϕ y es una magnitud adimensional que se expresa como porcentaje.

La porosidad puede ser total o efectiva. La porosidad total se refiere al volumen total de espacios vacíos (poros) por unidad de volumen de la roca o suelo, los cuales pueden estar saturados tanto de agua móvil (gravitacional) como de agua inmóvil (adherida), mientras que la porosidad eficaz, también denominada porosidad cinemática, se refiere al volumen de espacios porosos saturados por agua móvil (gravitacional) por unidad de volumen de la roca o suelo.

$$\phi = \frac{\text{Volumen de poros saturados con agua móvil}}{\text{Volumen de la roca o suelo}} * 100 \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

La porosidad efectiva está íntimamente relacionada con la conductividad hidráulica (permeabilidad) y es la magnitud que se utiliza en el cálculo de las reservas del acuífero, ya que representa el volumen de agua extraíble del acuífero.

Varios autores han establecido valores de porosidad total y efectiva para diversos materiales, con fines prácticos y en función de las experiencias obtenidas en sus investigaciones. La tabla 4.1, muestra los valores de porosidades totales y efectivas de diversos materiales rocosos.

Tipo	Material Descripción	Porosidad Total (%)			Porosidad Eficaz (%)		
		Media	Máx.	Mín	Media	Máx.	Mín
Rocas Masi- vas	Granito	0,3	4	0,2	< 0,2	0,5	0,0
	Caliza	8	15	0,5	< 0,5	1	0,0
	Dolomia	5	10	2	< 0,5	1	0,0
	Areniscas	15	25	3	10	20	0,0
Rocas Metamórficas		0,5	5	0,2	< 0,5	2	0,0
	Piroclastos y Tobas	30	50	10	< 5	20	0,0
Rocas Volcánicas	Escorias	25	80	10	20	50	1
	Pumitas	85	90	50	< 5	20	0,0
	Basaltos Densos, Fonolitas	2	5	0,1	< 1	2	0,1
	Basaltos Vacuolares	12	30	5	5	10	1
	Aluviones	25	40	20	20	35	5
	Dunas	35	40	30	25	30	10
Rocas Sedi- mentarias Sueltas	Gravas	30	40	25	20	35	10
	Loess	45	55	40	< 5	10	0,1
	Arenas	35	45	20	25	35	10
	Depósitos Glaciares	5	35	15	15	30	5
	Limos	40	50	35	10	20	2
	Arcillas sin Compactar	45	60	40	2	10	0,0
	Suelos Superiores	50	60	30	10	20	1

Tabla 4.1.- Porosidades Totales y Efectivas de diversos materiales según JOHNSON (1967), DAVIS (1969), SCHOELLER (1962) y WARD (1967). Tomado de: MEJÍAS & GUERRERO (2000)

4.3.5.- TRANSMISIBILIDAD

La transmisibilidad puede definirse como el volumen de agua que se escurre por una sección del acuífero de 1 metro de ancho por todo su espesor bajo una pendiente hidráulica unitaria. Este concepto es equivalente a decir que la transmisibilidad es igual al producto del coeficiente de la permeabilidad (K) por el espesor del acuífero (H). La transmisibilidad puede considerarse como una medida de la capacidad que tiene un acuífero de producir agua. Se abrevia con la letra T y se expresa en m²/día.m.

$$T = K * m \text{ (Ecuación 4.3)}$$

Donde:

T: es la transmisibilidad del acuífero

K: es el valor de la permeabilidad de los materiales del acuífero

m: es el espesor de la roca permeable del acuífero.

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

Los valores de la transmisibilidad encontrados en el campo varían ampliamente entre menos de 12,4 y más de 12.400 m³ d/m. Las formaciones con transmisibilidades menores que 12,4 son usualmente tan improductivas que solamente son útiles para la construcción de pozos de uso doméstico. Transmisibilidades superiores a 124 son consideradas valiosas para cualquier pozo industrial, municipal o de irrigación.

Existen varios métodos para determinar la transmisibilidad de un acuífero, como lo son la prueba de bombeo de acuífero y prueba de recuperación del nivel freá-

tico, en este caso se empleó el Método de Recuperación de Theis (Kruseman y De Ridder, 1975).

El Método de Recuperación de Theis consiste en graficar en una hoja semilogarítmica las mediciones obtenidas en la prueba de los niveles de agua recuperados o abatimientos residuales en el eje Y, contra los valores de los tiempos recalculados a los cuales se realizaron dichas mediciones en el eje X. A partir de estos valores ploteados, se obtiene una recta promedio de los mismos. Posteriormente se obtiene un valor ΔS para un ciclo logarítmico, el cual se sustituye dentro de la ecuación:

$$T = \left(\frac{0,183 * Q}{\Delta S} \right) * 886 \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

...donde

$$\Delta_s = S_2 - S_1 \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Donde T es la transmisibilidad (m^2/s), Q es el caudal (l/s), s es el abatimiento residual (m) y Δ_s es la diferencia de abatimiento residual en un ciclo logarítmico (m). Obteniendo así el valor de transmisibilidad, se puede obtener el valor de la conductividad hidráulica del acuífero en ese punto, utilizando la ecuación 4.3.

A los resultados de cada prueba de bombeo se le aplicó el método de Theis modificado por Jacob y se construyeron los gráficos semilogarítmicos de tiempo/abatimiento.

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

4.3.6.- PERMEABILIDAD

La permeabilidad puede definirse como la capacidad de un medio (roca o suelo) de permitir el paso de fluidos, tanto líquidos como gases y se abrevia con la letra “K”.

Cuando nos referimos a medios porosos saturados de agua, se habla de permeabilidad como conductividad hidráulica, que se expresa en m/seg. La conductividad hidráulica es un coeficiente de proporcionalidad que describe la velocidad a la cual el agua se mueve a través del medio permeable.

GONZALEZ DE VALLEJO (2002) define la permeabilidad como el parámetro que permite evaluar la capacidad de transmitir agua de una formación en función de la textura de la misma, sin relacionarla con su estructura o forma geométrica. Dentro de este concepto pueden definirse otros dos:

- La permeabilidad ligada tanto a las características texturales del medio físico como del fluido que transmite, denominada permeabilidad efectiva o conductividad hidráulica, representada por el coeficiente de permeabilidad, k .
- La denominada permeabilidad intrínseca, K , que es solo dependiente de las características internas del medio permeable.

La permeabilidad efectiva k se define como el caudal que es capaz de atravesar una sección unitaria del acuífero, normal al flujo, bajo un gradiente piezométrico unitario. Depende, en consecuencia, tanto de las características del medio físico (acuífero), como de las del fluido que lo atraviesa (agua).

Por razones de su definición (caudal por unidad de superficie), las dimensiones de la permeabilidad efectiva puede establecerse:

$$k = \frac{Q*(Inr_1 - Inr_2)}{\pi*(h_1^2 - h_2^2)} \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

Donde r_1 y r_2 son las distancias entre el pozo de abatimiento y los pozos de observación; h_1 y h_2 corresponden a la profundidad de abatimiento en los pozos de observación.

Al igual que con la porosidad, varios autores han establecido valores de conductividad hidráulica para diversos materiales, en función de las experiencias obtenidas en sus investigaciones, tabla 4.2, muestra una clasificación de los materiales rocosos en base a su conductividad hidráulica.

Permeabilidad (m/día)	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-2}	1	10^1	10^2	10^3
Calificación	Impermeable		Poco Permeable		Algo Permeable		Permeable		Muy Permeable	
Calificación del Acuífero	Acuicludo		Acuitardo		Acuífero Pobre		Acuífero Regular a Bueno		Acuífero Excelente	
Tipo de Materiales	Arcilla Comp. Pizarra granito		Limo Arenoso Limo Arcilla Limosa		Arena Fina Arena Limosa Caliza Frac.		Arena Limpia Grava y Arena Arena Fina		Grava Limpia	

Tabla 4.2.- Clasificación de Terrenos de acuerdo a su Conductividad Hidráulica. Tomado de: MEJÍAS & GUERRERO (2000)

4.3.7- CÁLCULO DE RESERVAS

Las reservas de aguas subterráneas representan el volumen de agua almacenada en los sistemas acuíferos (CASTANY, 1969), estando relacionadas directamente con el espesor saturado de agua y la porosidad eficaz. El espesor saturado de agua corresponde a la suma de los espesores de las capas permeables (arenas y gravas) que se encuentran por debajo del nivel piezométrico.

Por su parte la porosidad se define como el volumen de espacios porosos por unidad de volumen que posee una roca o suelo. La porosidad puede ser total o efecti-

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

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

4.3.7.1 Cálculo del Volumen de Agua

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

$$\text{Volumen Reserva de Agua} = \text{Volumen de Espesor Saturada} * \Phi \text{ efectiva (Fórmula 4.7)}$$

4.4.- PRUEBAS DE BOMBEO

La prueba de bombeo es el método mediante el cual se pueden calcular los parámetros anteriormente señalados y consiste en bombear agua del acuífero a través de un pozo, durante un cierto tiempo (t) y a un cierto caudal constante (Q). En el pozo de bombeo y en algunos pozos de observación situados en las cercanías del pozo bombeado, se mide el efecto que el bombeo produce sobre el nivel del agua. Sustituyendo en una fórmula apropiada los valores de los descensos del nivel de agua en los piezómetros, las distancias de estos al pozo bombeado y las descargas del bombeo, se obtienen las características hidráulicas del acuífero.

Las pruebas de bombeo pueden ser de dos tipos principales: pruebas de acuíferos y pruebas de pozos. Las pruebas de acuíferos tienen el objetivo principal de determinar los parámetros hidrogeológicos del acuífero, tales como transmisibilidad, conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento, etc. Las pruebas de pozos

tienen como objetivo principal proporcionar información sobre el rendimiento y el nivel del agua en el pozo.

Las pruebas de acuíferos pueden ser de descarga y de recuperación. En las pruebas de descarga se miden las disminuciones (abatimientos) de los niveles de agua cada cierto tiempo, producidos por efectos de bombeo. En las pruebas de recuperación se miden los aumentos (recuperaciones) de los niveles del agua cada cierto tiempo, luego de haber bombeado el acuífero por un tiempo determinado.

4.5.- METODOLOGÍA DE PROCEDIMIENTOS BÁSICOS PARA LA EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE BOMBEO

Pozos de bombeo: Los pozos deben ser perforados con diámetro de por lo menos 40 cm., por proceso rotativo de circulación normal y o percusión, con revestimiento integral, sin reutilización o sea la perforación deberá utilizar agua limpia.

En cualquier tipo de perforación debe ser garantizado que los materiales excavados como el agua utilizada, sean removidos y no causen inconvenientes en las áreas de perforaciones de los mismos. Después de alcanzada la profundidad de perforación proyectada, deberá ser ejecutada la limpieza del pozo mediante la circulación de agua limpia, para eliminar el máximo de partículas de suelo fino en suspensión en el agua de perforación.

Durante la extracción de todos los materiales provenientes de la perforación, la circulación de agua en el hueco deberá ser mantenida, bien como en toda la fase siguiente que es la instalación del pozo. La ubicación de los pozos de bombeo estará indicada en el respectivo plano de prueba de bombeo (figuras 4.2, 4.3 y 4.4).

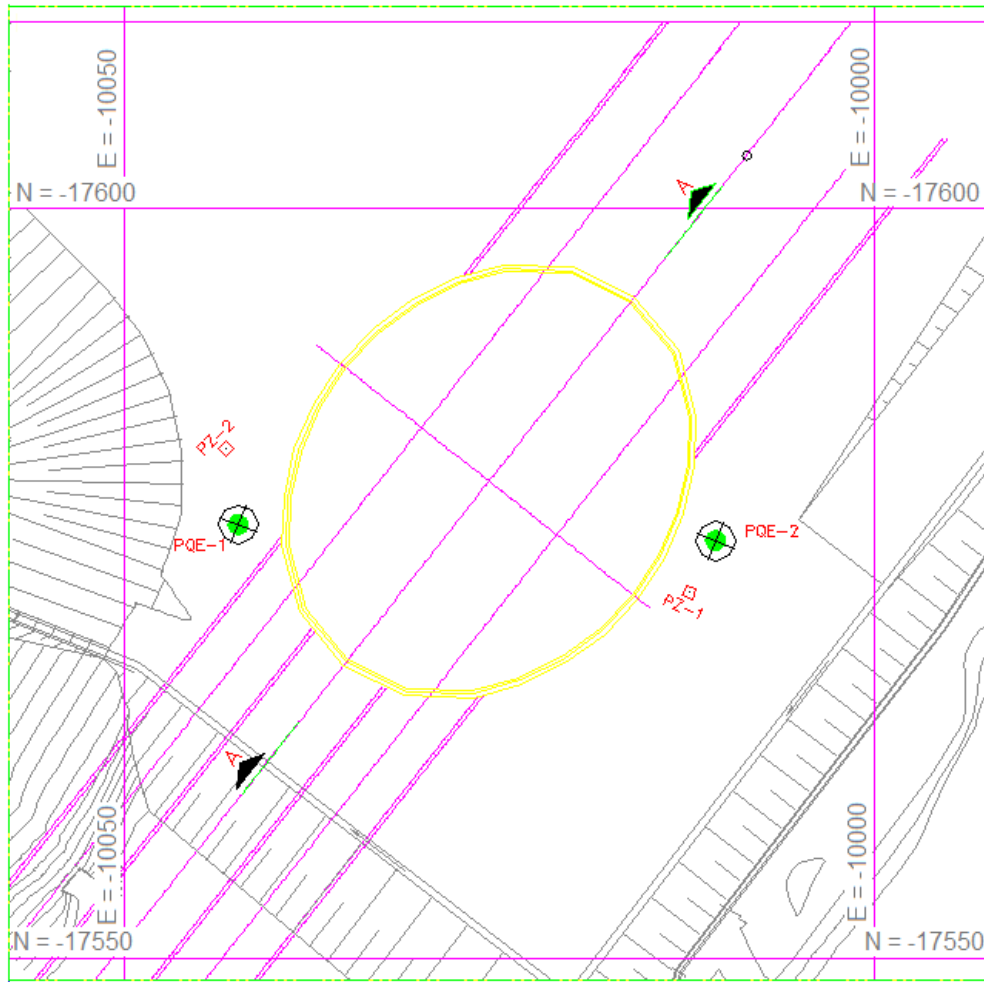
Piezómetros: La ejecución de los piezómetros deberá ser precedida de investigaciones del suelo, con las perforaciones de taladros de por lo menos 40,0 m de profundidad de modo que evite los inconvenientes de eventuales interferencias subterráneas.

Las lecturas de los niveles piezométricos serán realizadas con una frecuencia compatible para poder hacer la interpretación de la prueba. La ubicación y las cotas de instalación de los piezómetros están indicadas en plano de prueba de bombeo (figuras 4.2, 4.3 y 4.4).

Marcos superficiales y tasómetros: Los marcos superficiales son elementos que tienen la finalidad de medir los asentamientos superficiales que se podrían generar debido al achique del nivel freático.

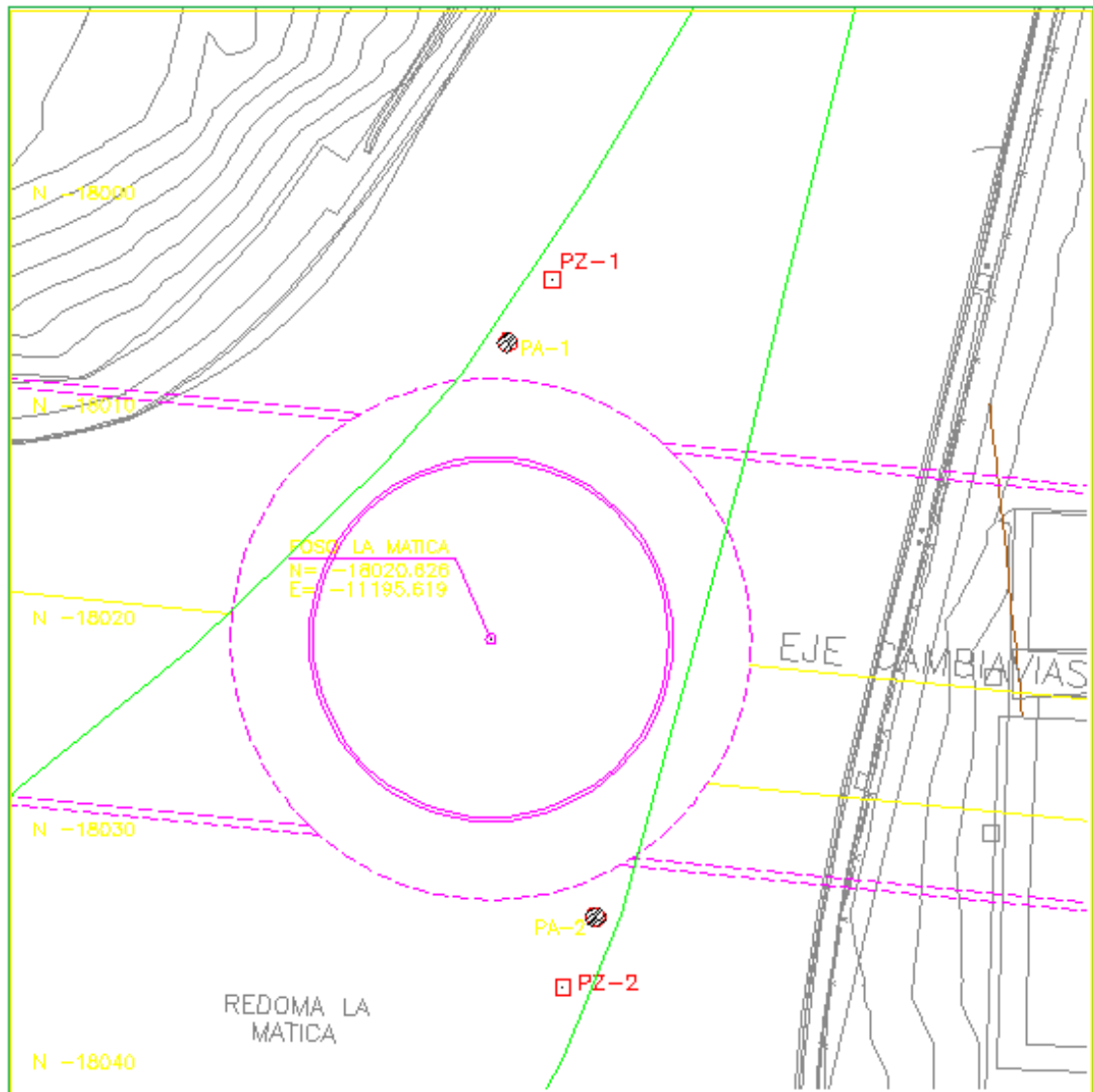
. Los tasómetros son instrumentos instalados a profundidades pre-definidos para medir los asentamientos a lo largo de la superficie adyacente.

Son instalados en varios niveles para verificar los asentamientos verticales que podrán ocurrir a lo largo de la profundidad.



PLANTA DE UBICACION ESC. 1:200

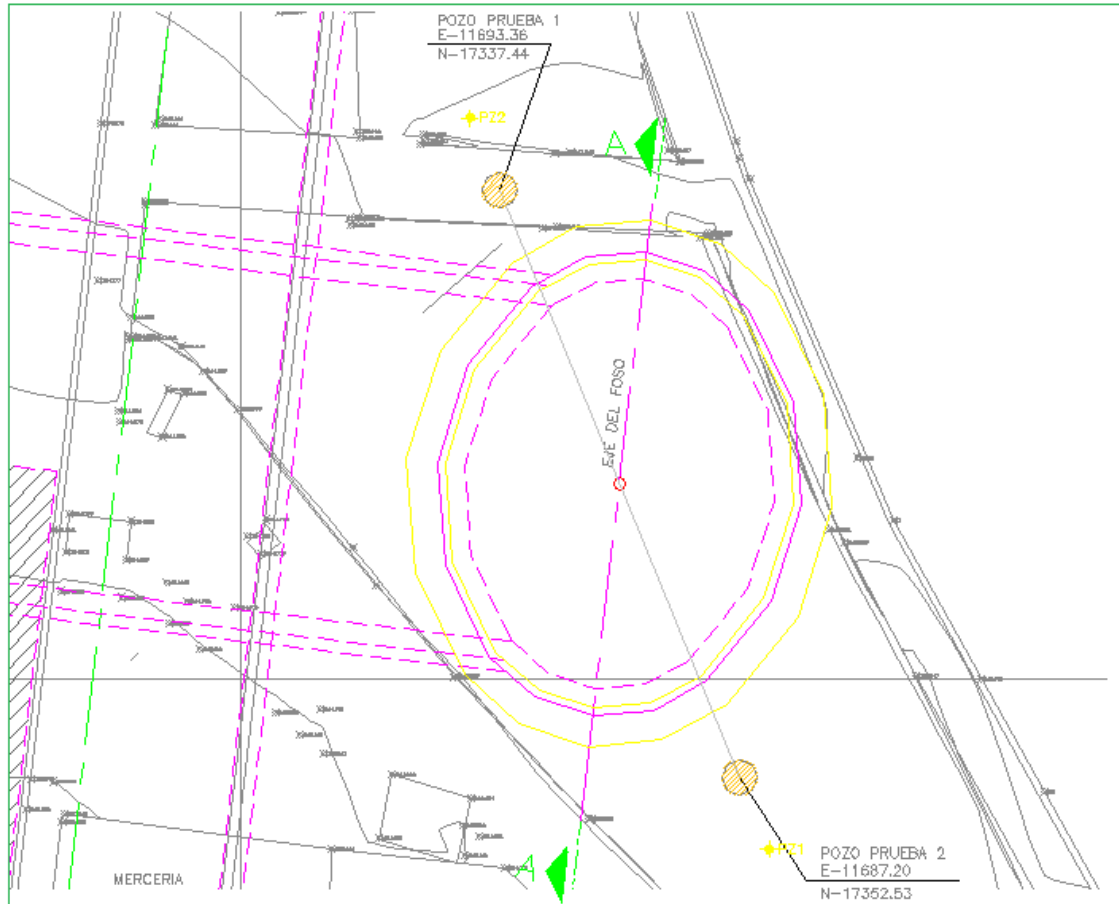
Figura 4.2. Ubicación de los pozos de bombeo y piezómetros en el Foso Macarena Sur. Tomado y modificado del estudio geotécnico, proyecto de Extensión de la Línea 2 del Metro Los Teques.



PLANTA DE UBICACION

ESC. 1:200

Figura 4.3. Ubicación de los pozos de bombeo y piezómetros en el Foso la Matica, Estación Independencia. Tomado y modificado del estudio geotécnico, proyecto de extensión de la Línea 2 del Metro Los Teques.



PLANTA ESC: 1/100

Figura 4.4. Ubicación de los pozos de bombeo y piezómetros en el Foso Andrés Bello, Estación Guai-caipuro. Tomado y modificado del estudio geotécnico, proyecto de extensión de la Línea 2 Metro Los Teques.

4.6.- METODOLOGÍA DE LAS PRUEBAS

Después de la instalación de los piezómetros, éstos deberán ser probados para verificar su correcto funcionamiento, haciendo las pruebas de recuperación del nivel freático. La prueba de bombeo solamente se podrá empezar cuando el nivel freático esté estabilizado en la posición inicial.

Antes del inicio de la prueba, se recomienda la medición inicial de todos los instrumentos instalados, la lectura del nivel freático dentro del pozo de bombeo, como en los pozos de observación, permitirán obtener la data inicial para la prueba.

Cuando se enciende la bomba y comienza la prueba, se realizan las mediciones de la depresión del nivel de agua, tanto en el pozo bombeado como en los pozos de observación. En el momento donde se estabiliza el nivel freático, se procede a apagar la bomba y comienzan a tomarse las mediciones de la recuperación del pozo bombeado, tanto en los pozos de observación como en el pozo bombeado (prueba de recuperación del nivel de agua).

Las medidas del nivel de agua dentro del pozo de bombeo y en los pozos de observación, serán hechas con intervalos de tiempo que varían en forma logarítmica, las mediciones se harán a los 5 minutos, 10 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 8 horas, 12 horas, 24 horas, 36 horas, 48 horas y 60 horas después del encendido de la bomba.

Para la prueba de recuperación los intervalos son los mismos anteriores, siempre y cuando el nivel no se haya estabilizado antes.

La prueba de bombeo principal deberá ser hecha instalándose la bomba en la profundidad prevista en el proyecto. El primer electrodo deberá ser instalado a 0,25 m. arriba de la bomba y el segundo electrodo 1,0 m por encima de la bomba, o de acuerdo con el comportamiento del achique.

- **Prueba de achique:**

La prueba consiste en la realización del bombeo conforme lo indicado a continuación:

Encender la bomba dotada de registro para control del caudal a producir y del hidrómetro, para medir el caudal extraído del pozo, con lecturas del caudal a lo largo del tiempo con intervalos de tiempo de 5 minutos, 10 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 8 horas, 12 horas, 24 horas, etc., hasta la estabilización del nivel de los piezómetros.

- **Medidas del caudal**

Las medidas de los caudales deberán ser realizadas a través de instalación de un hidrómetro en el tubo de salida del agua. Las medidas serán hechas a lo largo del tiempo conforme intervalos de tiempo del ítem anterior.

- **Medidas de nivel de agua**

Para cada prueba deberán hacerse mediciones de nivel de agua en el pozo y en todos los piezómetros con intervalos de tiempo de 5 minutos, 10 minutos, 15 minutos, 30 minutos, 1 hora, 2 horas, 4 horas, 8 horas, 12 horas, 24 horas, con bombeo ininterrumpido, hasta la estabilización del nivel dinámico.

Con los datos de las pruebas, deberán ser hechos gráficos de variación de los caudales y de los niveles piezométricos de cada piezómetro.

Después de cada prueba de bombeo, el sistema será apagado hasta que el nivel freático recupere su condición inicial.

Si fuera necesario, la prueba deberá ser repetida con la misma secuencia para la adquisición de los datos para determinar correctamente la permeabilidad del terreno y evaluar el sistema de achique propuesto en proyecto.

- **Permeabilidad del terreno**

La determinación de la permeabilidad del medio será calculada solamente después de que los niveles piezométricos se estabilicen.

Los datos recolectados después de interpretados, deberán resultar en el valor de la permeabilidad para re-evaluar la distribución de los pozos de achique para la ejecución de la obra programada.

4.7.- PROGRAMA AQUIFER TEST

AquiferTest es un programa para elaborar el análisis, reporte de pruebas de bombeo y pruebas de permeabilidad, además de poder calcular todas las propiedades hidráulicas del acuífero. Para realizar estos análisis se toman en cuenta características que permiten identificar automáticamente el método de análisis óptimo:

- Tipo de Acuífero (confinado, libre, semiconfinado)
- Extensión del Acuífero (infinito, frontera de recarga, y frontera de barrera al flujo)
- Isotropía (isotrópico, anisotrópico)
- Descarga (variable, constante)
- Penetración del Pozo (totalmente, parcialmente)
- Tipos de datos (recuperación, abatimiento)

Los métodos de análisis disponibles que se utilizan en el Aquifer Test son:

- ✓ Confinado: Theis, Cooper Jacob.
- ✓ Libre: Neuman, Boulton.
- ✓ Semiconfinado: Hantush-Jacob (Walton), Hantush con Almacenamiento en el Acuitardo.
- ✓ Flujo en Medio Fracturado: Warren Root, Mönch.
- ✓ Almacenamiento en el pozo: Papadopulos – Cooper.
- ✓ Recuperación: Recuperación de Agarwal, Recuperación de Theis.

- ✓ Pruebas de Permeabilidad: Hvorslev, Bouwer-Rice, Cooper-Bredehoeft-Papadopulos, Butler.
- ✓ Abatimiento escalonado para pérdidas en el pozo: Hantush-Bierschenk.

Aplicaciones profesionales:

- ✓ Análisis de pruebas de bombeo o pruebas de permeabilidad (slug test), interpretación de datos para estimación de la conductividad hidráulica, almacenamiento y transmisividad de un acuífero
- ✓ Evaluación y comparación de datos de pruebas de bombeo utilizando múltiples métodos de solución para una estimación más precisa de las propiedades del acuífero.
- ✓ Predicción del nivel de abatimiento del agua en ubicaciones futuras de pozos.
- ✓ Generación de contornos del abatimiento por bombeo de pozos y de interferencia entre los pozos.
- ✓ Preparación de reportes profesionales de pruebas de bombeo y pruebas de permeabilidad durante la construcción de pozos de agua.

4.8.- CONSERVACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA

Con la finalidad de procurar una buena gestión de conservación y mantenimiento de la calidad de los cuerpos de agua, el Ejecutivo Nacional, mediante Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales y la Comisión Nacional de Normas Técnicas, Sub- Comisión de Aguas decreta las ***Normas para el control de la calidad de los cuerpos de agua.***

Tratando de esta manera de mantener una situación de equilibrio entre los usos y las descargas, reconociendo la existencia de cuerpos de aguas receptoras sensibles, debido a su susceptibilidad a la degradación por descargas de actividades humanas o una frágil situación biológica o ecológica, a través de establecimiento del sistema de gestión de la calidad del agua nacional.

Los artículos más importantes, se presentan a continuación, mientras que el decreto completo se encuentra como anexo 2 al final del trabajo (Ver Anexo 2).

ARTÍCULO 3°.- A los fines de la gestión de conservación y mantenimiento de la calidad de los cuerpos de agua, el Ejecutivo Nacional deberá mantener una situación de equilibrio entre los usos y las descargas, reconociendo la existencia de cuerpos de aguas receptoras sensibles, debido a su susceptibilidad a la degradación por descargas de actividades humanas o una frágil situación biológica o ecológica; a través de establecimiento del sistema de gestión de la calidad del agua nacional.

ARTÍCULO 4°.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, para definir la gestión de conservación, clasificará los cuerpos de agua o sectores de éstos a nivel nacional, a través de la aplicación de índices de calidad de agua (ICA), como un mecanismo de evaluación de las condiciones actuales de los cuerpos de aguas, de forma clara, precisa y concisa. Para ello deberá establecerse un sistema de manejo de información.

ARTÍCULO 5°.- El ICA permitirá obtener la calidad de cuerpos de agua receptor en función del uso actual y evaluará su variación a los usos definidos sobre ella por el Ejecutivo Nacional.

ARTÍCULO 6°.- En aquellos casos donde el ICA cumpla con la calidad establecida, el control del vertido de efluentes líquidos será para mantener el nivel de calidad existente. En aquellos casos donde el ICA no cumpla con la calidad establecida, el control del vertido de efluentes líquidos tendrá como meta la restricción de las descargas para alcanzar el equilibrio.

ARTÍCULO 7°.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, hará uso del ICA anualmente como herramienta de gestión y seguimiento, identificando así las prioridades nacionales y determinando la efectividad de las estrategias y acciones implantadas para el mejoramiento de los cuerpos de agua. Esta clasificación o resultados de la aplicación de los ICA, podrá ser publicado mediante resoluciones ministeriales anualmente.

La gestión de los vertidos de efluentes líquidos estará basada en la promoción de la aplicación de tecnologías y técnicas disponibles, tendientes a la reducción en la generación de efluentes, el reuso de aguas de producción y el reciclaje.

Basado en los criterios de calidad de agua y especificaciones técnicas de los sistemas productivos, podrán acondicionarse las descargas de forma tal que sean aprovechables.

CAPITULO V

5.- RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS

5.1.-RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de bombeo y de recuperación realizadas en cada uno de los fosos ubicados en la zona de estudio, en base a los cuales se realizaron los calculos de los coeficientes de transmisibilidad (T) y permeabilidad (k).

5.1.1.- FOSO MACARENA SUR

En el foso la Macarena Sur, para la prueba de bombeo fueron construidos dos pozos, uno con 48 m profundidad (pozo PQE-1) y otro con 48,40 m (pozo PQE-2). Para el monitoreo durante las pruebas se utilizó el pozo PQE-1 haciendo las mediciones en los piezómetros PZ-1 y PZ-2.

		COTA DEL TERRENO	COORDENADAS	
			NORTE	ESTE
POZOS N°	PQE-1	1192,16	-10042,40	-17571,07
	PQE-2	1192,256	-10010,59	-17572,15
PIEZOMETROS N°	PZ-1	1192,248	-10012,34	-17575,56
	PZ-2	1192,201	-10043,20	-17566,02

Tabla 5.1. Coordenadas y cotas de terreno para los pozos y piezómetros utilizados en la prueba de bombeo, Foso la Macarena Sur.



Foto 5.1 Detalle del Foso la Macarena Sur, excavación Anillo 2. SALOMÓN, 2008.

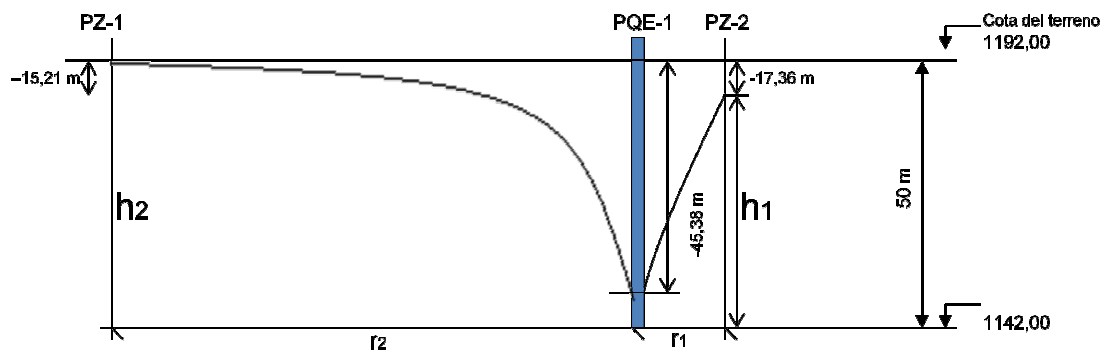


Figura 5.1. Sección transversal del pozo PQE-1, foso Macarena Sur. Comportamiento de la prueba de abatimiento. SALOMÓN, 2008.

- ✓ Distancia entre el pozo de bombeo PQE-1 y el piezómetro PZ-2= 5 m.
- ✓ Distancia entre el pozo de bombeo PQE-1 y el piezómetro PZ-1= 87 m.

Hora de medición	Tiempo transcurrido (min)	ABATIMIENTO (m)			COTA REFERENCIA (m)		
		PQE-1	PZ-2	PZ-1	PQE-1	PZ-2	PZ-1
10:45	0	-16,00	-15,92	-15,21	1175,533	1175,692	1176,42
10:50	5	-21,78	-16,02	-15,21	1169,753	1175,592	1176,42
10:55	10	-26,03	-16,02	-15,21	1165,503	1175,592	1176,42
11:00	15	-28,38	-16,07	-15,21	1163,153	1175,542	1176,42
11:15	30	-29,71	-16,15	-15,21	1161,823	1175,462	1176,42
11:45	60	-33,37	-16,27	-15,21	1161,823	1175,342	1176,42
12:45	120	-41,88	-16,54	-15,21	1161,823	1175,072	1176,42
02:45	240	-23,25	-16,47	-15,21	1161,823	1175,142	1176,42
06:45	480	-41,95	-16,53	-15,21	1161,823	1175,082	1176,42
10:45	720	-45,38	-16,77	-15,21	1161,823	1174,842	1176,42
10:45	1440	-45,46	-16,77	-15,21	1161,823	1174,842	1176,42
10:45	2160	-45,52	-17,02	-15,21	1161,823	1174,592	1176,42
10:45	2880	-45,38	-16,83	-15,21	1161,823	1174,782	1176,42
10:45	3600	-45,38	-16,83	-15,21	1161,823	1174,782	1176,42

Tabla 5.2 Abatimiento del pozo PQE-1 y piezómetros PZ-1 y PZ-2, Foso la Macarena Sur

TIEMPO TRANS. (min)	AFORO (litros/seg)
3	1,38
30	1,22
360	1,26
1080	1,06
1440	1,07
2160	1,018
3600	1,023

CAUDAL PROMEDIO 1,1473 (L/seg)

Tabla 5.3 Valores de aforo y caudal de PQE-1, Foso la Macarena Sur

Tiempo transcurrido. (min)	RECUPERACION (m)			COTA REFERENCIA(m)		
	PQE-1	PZ-2	PZ-1	PQE-1	PZ-2	PZ-1
0	-45,38	-16,83	-15,21	1146,153	1174,782	1176,42
5	-37,64	-16,8	-15,21	1153,893	1174,812	1176,42
10	-20,38	-16,79	-15,21	1171,153	1174,822	1176,42
15	-16,38	-16,68	-15,21	1175,153	1174,932	1176,42
30	-15,71	-16,35	-15,21	1175,823	1175,262	1176,42

Tabla 5.4 Valores de recuperación del pozo PQE-1 y piezómetros PZ-1 y PZ-2, Foso la Macarena Sur

- *Cálculos de los valores de transmisibilidad:*

$$T = \left(\frac{0,183 * Q}{\Delta S} \right) * 886$$

Donde:

T: Transmisibilidad; Q: Caudal = $1,1473 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$.

Δs : Variación de Abatimiento = 10,2 m

$$T = 17,938 * 10^{-3} \text{ m}^3 * \text{d/m}$$

- *Cálculos de los valores de permeabilidad:*

$$k = \frac{Q * (\ln r_1 - \ln r_2)}{\pi * (h_1^2 - h_2^2)}$$

Donde:

k: Permeabilidad; Q: Caudal = $1,1473 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$.

r_1 y r_2 : radios de la curva de abatimiento $\rightarrow r_1 = 87 \text{ m}$ y $r_2 = 5 \text{ m}$

h_1 y h_2 : profundidad del abatimiento $\rightarrow h_1 = 34,79 \text{ m}$ y $h_2 = 32,64 \text{ m}$

$k = 7,2 \cdot 10^{-6} \text{ m/seg}$

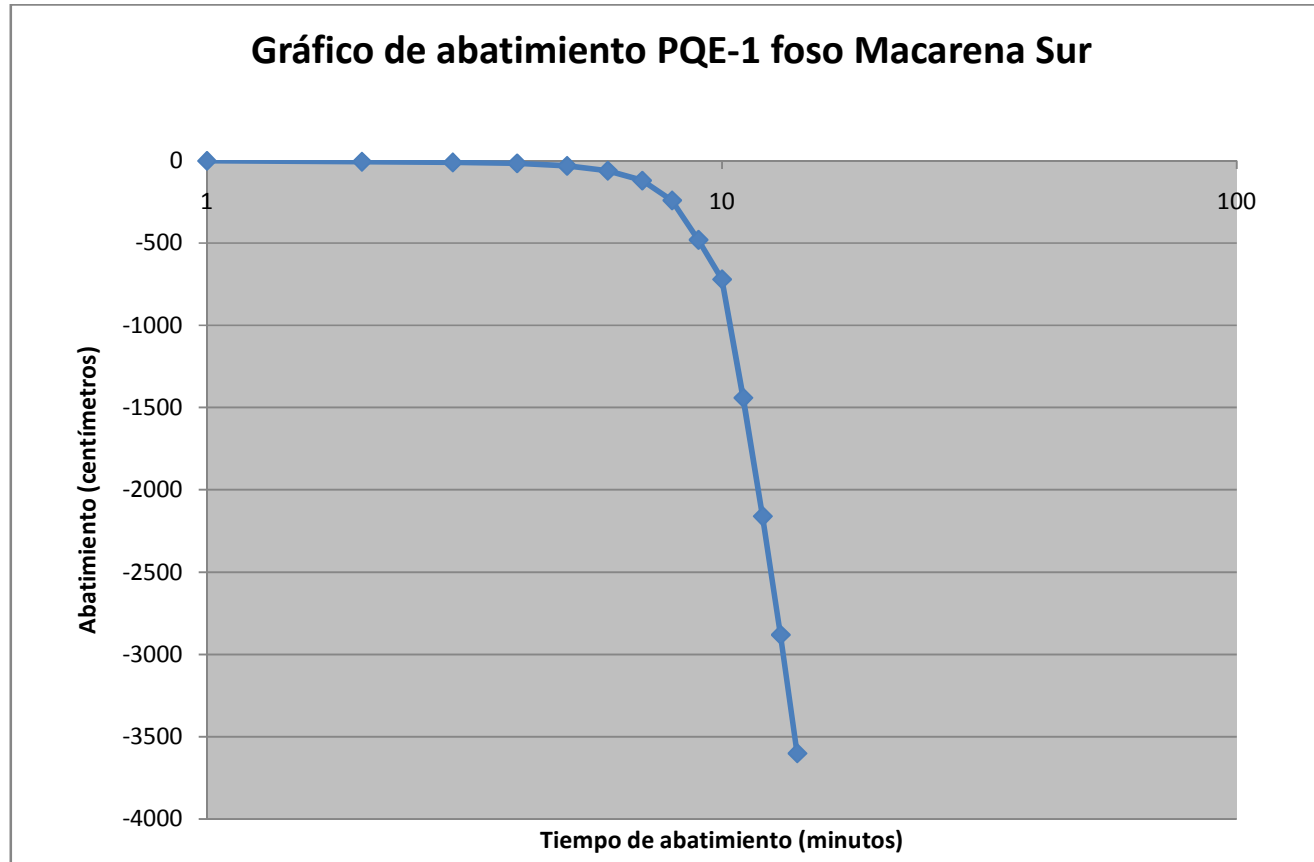


Figura 5.2.- Gráfico de abatimiento Foso Macarena Sur. SALOMÓN, 2008.

5.1.2.- FOSO LA MATICA (ESTACIÓN INDEPENDENCIA)

En este foso, para la prueba de bombeo fueron construidos dos pozos, cada uno de los cuales alcanzó 50 m. de profundidad (pozo PA-1 y PA-2). Para el monitoreo durante las pruebas se utilizaron los pozos PA-1 y PA-2, haciéndose las mediciones en los piezómetros PZ-1 y PZ-2.

POZOS N°		COTA DEL TERRENO	COORDENADAS	
			NORTE	ESTE
POZOS N°	PA-1	1167,568	-18007,095	-11194,183
	PA-2	1167,550	-18033,723	-11190,671
PIEZOMETROS N°	PZ-1	1167,649	-18004,176	-11192,113
	PZ-2	1167,510	-18037,707	-11191,806

Tabla 5.5 Coordenadas y cotas de terreno para los pozos y piezómetros utilizados en la prueba de bombeo, Foso la Matica, Estación Independencia.

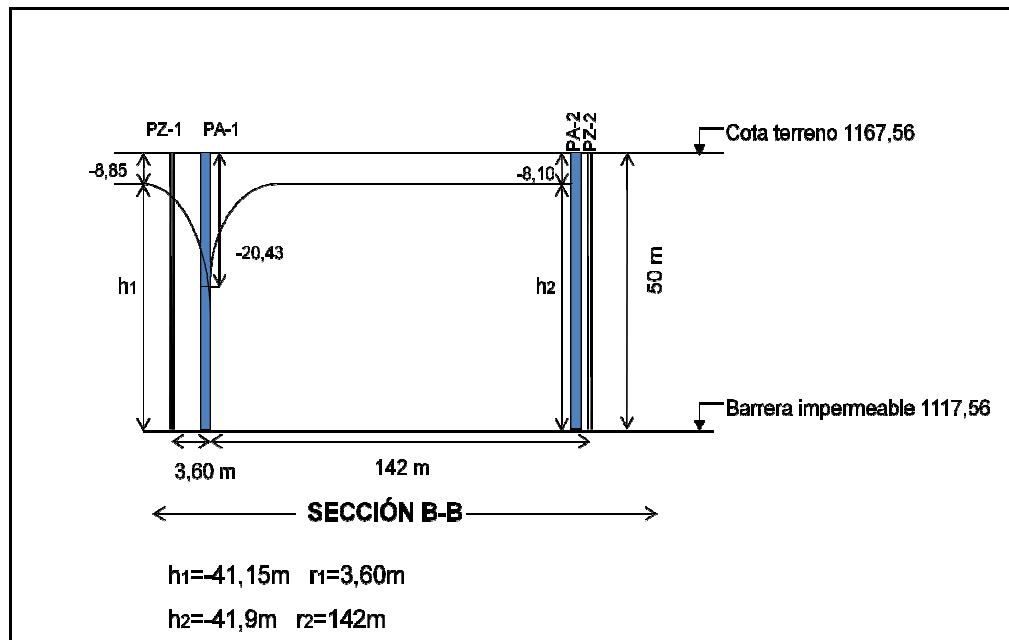


Figura 5.3. Sección transversal del pozo PA-1, foso La Matica. Comportamiento de la prueba de abatimiento. SALOMÓN, 2008.

- ✓ Distancia entre el pozo de bombeo PA-1 y el piezómetro PZ-2= 142,0 m.
- ✓ Distancia entre el pozo de bombeo PA-1 y el piezómetro PZ-1= 3,6 m.

Fecha de medición	Hora de medición	Tiempo Transcurrido. (min.)	ABATIMIENTO (m)				COTA REFERENCIAL			
			PA-1	PZ-1	PA-2	PZ-2	PA-1	PZ-1	PA-2	PZ-2
13/10/2008	8:10 a.m.	0	-8,83	-8,85	-8,10	-7,55	1158,74	1158,80	1159,450	1159,960
	8:15 a.m.	5	-12,93	-10,54	-8,10	-7,55	1154,64	1157,11	1159,450	1159,960
	8:20 a.m.	10	-13,32	-11,33	-8,10	-7,55	1154,25	1156,32	1159,450	1159,960
	8:25 a.m.	15	-14,73	-11,56	-8,23	-7,57	1152,84	1156,09	1159,320	1159,940
	8:40 a.m.	30	-14,73	-12,11	-8,16	-7,59	1152,84	1155,54	1159,390	1159,920
	9:10 a.m.	60	-14,43	-13,04	-8,26	-7,62	1153,14	1154,61	1159,290	1159,890
	10:10 a.m.	120	-14,63	-13,01	-8,20	-7,64	1152,94	1154,64	1159,350	1159,870
	12:10 p.m.	240	-14,53	-12,61	-8,21	-7,64	1153,04	1155,04	1159,340	1159,870
	4:10p.m.	480	-16,03	-13,41	-8,23	-7,64	1151,54	1154,24	1159,320	1159,870
	8:10 p.m.	720	-16,43	-14,31	-8,25	-7,67	1151,14	1153,34	1159,300	1159,840
14/10/2008	8:10 a.m.	1440	-17,93	-14,93	-8,28	-7,67	1149,64	1152,72	1159,270	1159,840
	8:10 p.m.	2160	-18,53	-14,71	-8,30	-7,69	1149,04	1152,94	1159,250	1159,820
15/10/2008	8:10 a.m.	2880	-19,93	-15,19	-8,33	-7,74	1147,64	1152,46	1159,220	1159,770
	8:10 p.m.	3600	-20,43	-15,39	-8,33	-7,74	1147,14	1152,26	1159,220	1159,770

Tabla 5.6 Abatimiento en los pozos PA-1y PA-2 y piezómetros PZ-1 y PZ-2, Foso la Matica, Estación Independencia.

Tiempo Transcurrido. (Min)	AFORO (litros/seg)
3	2,16
10	1,60
15	1,73
20	1,69
30	1,62
60	1,49
120	1,09
240	1,82
1440	0,85

CAUDAL PROMEDIO	1,561
(litros/seg)	

Tabla 5.7. Valores de aforo del Pozo PA-1, Foso la Matica, Estación Independencia.

Tiempo transcurrido (min)	RECUPERACIÓN (m)				RECUPERACION REAL(m)				COTA REFERENCIA(m)			
	PA-1	PZ-1	PA-2	PZ-2	PA-1	PZ-1	PA-2	PZ-2	PA-1	PZ-1	PA-2	PZ-2
0	-21,1	-16,18	-8,53	-8,25	-20,43	-15,39	-8,33	-7,74	1147,14	1152,26	1159,22	1159,77
5	-19,9	-15,2	-8,5	-8,21	-19,23	-14,41	-8,3	-7,7	1148,34	1153,24	1159,25	1159,81
10	-16,4	-13,98	-8,43	-8,17	-15,73	-13,19	-8,23	-7,66	1151,84	1154,46	1159,32	1159,85
15	-12,7	-11,8	-8,39	-8,13	-12,03	-11,01	-8,19	-7,62	1155,54	1156,64	1159,36	1159,89
30	-10,98	-10,55	-8,34	-8,1	-10,31	-9,76	-8,14	-7,59	1157,26	1157,89	1159,41	1159,92
60	-9,5	-9,64	-8,3	-8,06	-8,83	-9,64	-8,1	-7,55	1158,74	1158,01	1159,45	1159,96

Tabla 5.8. Valores de la recuperación del Pozo PA-1 Foso la Matica, Estación Independencia.

- *Cálculos de los valores de transmisibilidad:*

$$T = \left(\frac{0,183 \cdot Q}{\Delta S} \right) * 886$$

Donde:

T: Transmisibilidad; Q: Caudal = $1,561 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$.

Δs : Variación de Abatimiento = 1,38m

$$T=0,183 \text{ m}^3 \cdot \text{d}/\text{m}$$

- *Cálculos de los valores de permeabilidad:*

$$k = \frac{Q \cdot (\ln r_1 - \ln r_2)}{\pi \cdot (h_1^2 - h_2^2)}$$

Donde:

k: Permeabilidad; Q: Caudal = $1,561 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$.

r_1 y r_2 : radios de la curva de abatimiento $\rightarrow r_1 = 142 \text{ m}$ y $r_2 = 3,60 \text{ m}$

h_1 y h_2 : profundidad del abatimiento $\rightarrow h_1 = 41,9 \text{ m}$ y $h_2 = 41,15 \text{ m}$

$$k= 2.93.10^{-5} \text{ m}/\text{seg}$$

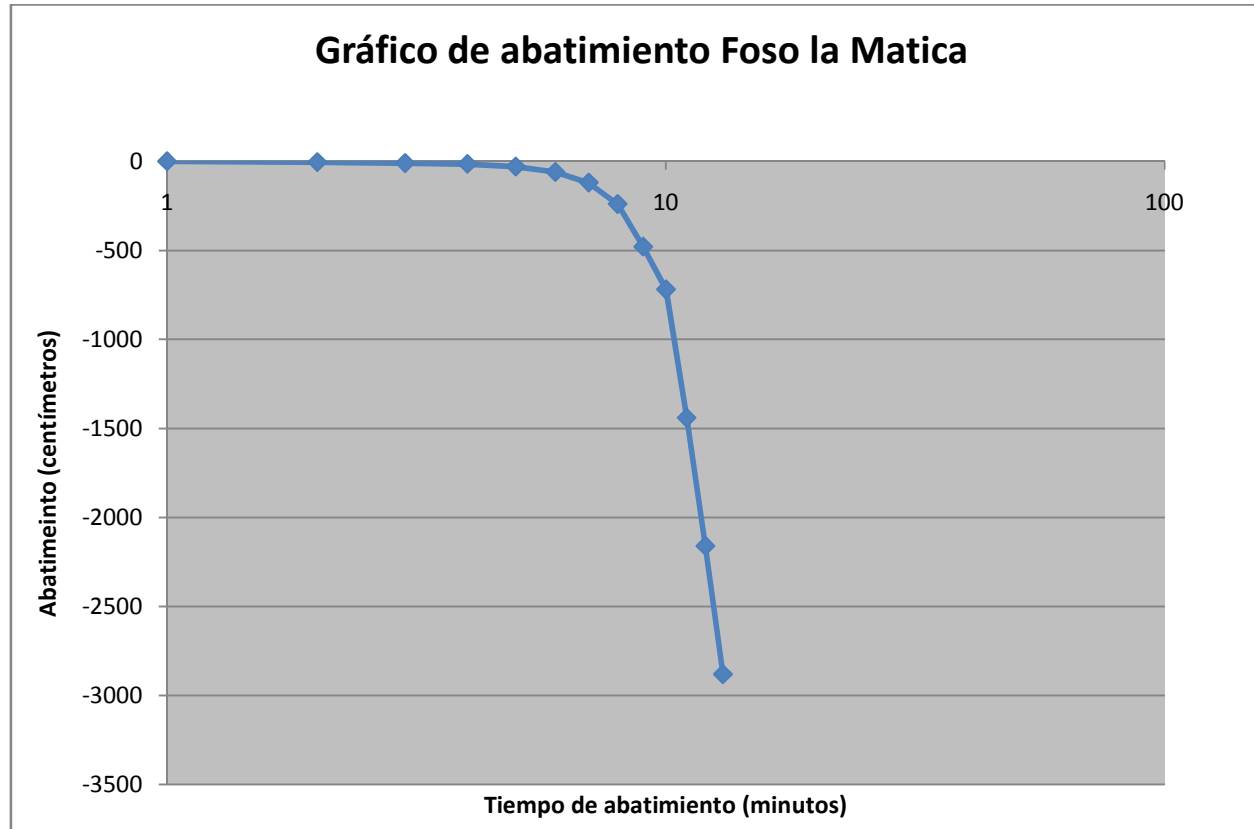


Figura 5.4 Gráfico de abatimiento Foso la Matica. SALOMÓN, 2008.

5.1.3.- FOSO ANDRÉS BELLO (ESTACIÓN GUAICAIPURO)

Para la prueba de bombeo en el foso Andrés Bello fueron construidos dos pozos, ambos con 30m de profundidad (PA-1 y PA-2). Para el monitoreo durante las pruebas se utilizó el pozo PA-1 y PA-2, haciendo las mediciones en los piezómetros PZ-1 y PZ-2.

		COTA DEL TERRENO	COORDENADAS	
			NORTE	ESTE
POZOS N°	PA-1	1162,50	-17337,44	-11693,36
	PA-2	1162,50	-17352,53	-11687,20
PIEZOMETROS N°	PZ-1	1162,50	-17354,380	-11686,440
	PZ-2	1162,50	-17335,587	-11694,118

Tabla 5.9 Coordenadas y cotas de terreno para los pozos y piezómetros utilizados en la prueba de bombeo, Foso Andrés Bello, Estación Guaicaipuro.

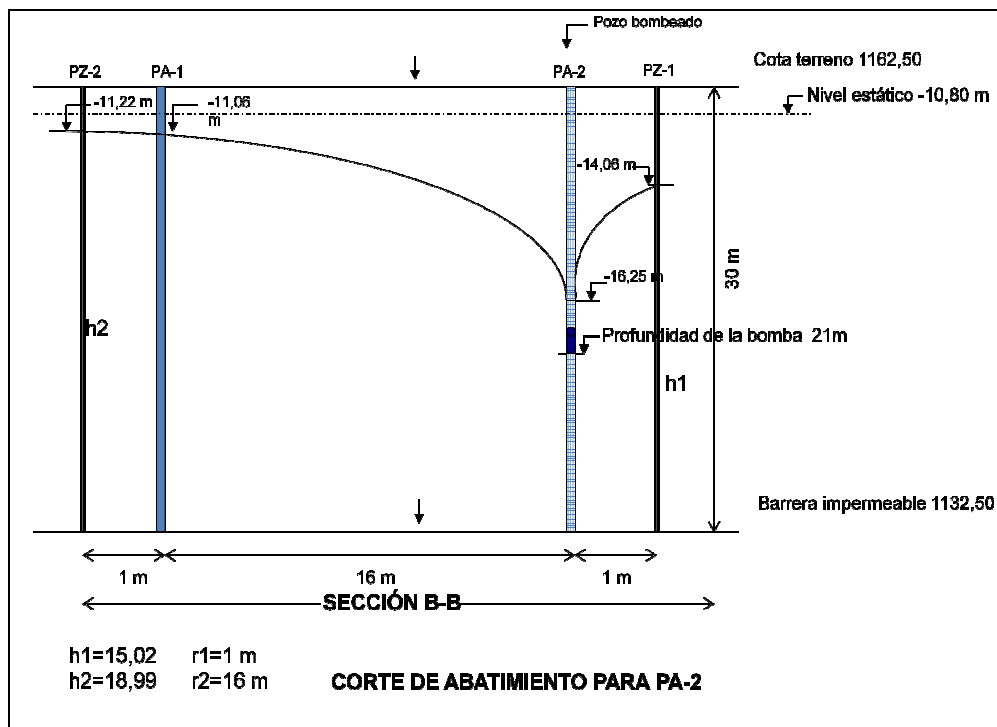


Figura 5.5. Sección transversal del pozo PA-2, foso Guaicaipuro. Comportamiento de la prueba de abatimiento. SALOMÓN, 2008.

- ✓ Distancia entre el pozo de bombeo PA-2 y el piezómetro PZ-1= 1,0 m.
- ✓ Distancia entre el pozo de bombeo PA-2 y el piezómetro PZ-2= 17,0 m.

Fecha de medición	Hora de medición	Tiempo transcurrido. (min)	ABATIMIENTO PA-2 (m)			
			PA-2	PZ-1	PA-1	PZ-2
30/10/2008	10:00 a.m.	0	-10,82	-10,96	-10,48	-10,5
	11:15 a.m.	75	-14,2	-13,1	10,5	-10,54
	03:05 p.m.	305	-15,06	-13,76	-10,63	-10,59
	4:45 p.m.	365	-15,34	-13,89	-10,69	-10,7
31/10/2008	11.50 a.m.	1550	-15,6	-14,98	-11,01	-11,02

Tabla 5.10. Abatimiento en los pozos y piezómetros, prueba de bombeo PA-2. Foso Andrés Bello (Estación Guaicaipuro)

TIEMPO TRANS. (min)	PRUEBA DE RECUPERACION PA-2 (m)			
	PA-2	PZ-1	PA-1	PZ-2
0	-15,6	-14,98	-11,01	-11,02
5	-12,26	-12,28	-10,7	-10,56
10	-11,86	-11,61	-10,68	-10,54
15	-11,56	-10,11	-10,68	-10,54
30	-11,21	-9,59	-10,67	-10,53
60	-10,76	-8,88	-10,6	-10,46

Tabla 5.11. Recuperación en los pozos y piezómetros, prueba de bombeo PA-2. Foso Andrés Bello (Estación Guaicaipuro)

ES IMPORTANTE DESTACAR QUE EL CAUDAL EN ESTA PRUEBA ESTUVO
REGULADO A **0,5 l/s**



Foto 5.2 Detalle del Foso Andrés Bello (Estación Guaicaipuro) Comienzo de su excavación, Anillo 2. SALOMÓN, 2008.

- **Cálculos de los valores de transmisibilidad:**

$$T = \left(\frac{0,183 * Q}{\Delta s} \right) * 886$$

Donde:

T: Transmisibilidad; Q: Caudal = 0,5 m³/seg.

Δs : Variación de Abatimiento = 0,95 m

$$T = 8,53 * 10^{-2} \text{ m}^3 * \text{d/m}$$

- *Cálculos de los valores de permeabilidad:*

$$k = \frac{Q \cdot (\ln r_1 - \ln r_2)}{\pi \cdot (h_1^2 - h_2^2)}$$

Donde:

k: Permeabilidad; Q: Caudal = 0,5 m³/seg.

r₁ y r₂: radios de la curva de abatimiento → r₁ = 16 m y r₂ = 1 m

h₁ y h₂: profundidad del abatimiento → h₁ = 18,99 m y h₂ = 15,02 m

$$k = 3,268 \cdot 10^{-6} \text{ m/seg}$$

Es importante destacar que el gráfico de abatimiento de PZ-1 del Foso Andrés Bello de la Estación Guaicaipuro, tiene una tendencia muy diferente a los gráficos observados en los fosos anteriores, probablemente debido a que las condiciones del subsuelo varían en el lugar de asentamiento de dicho foso.

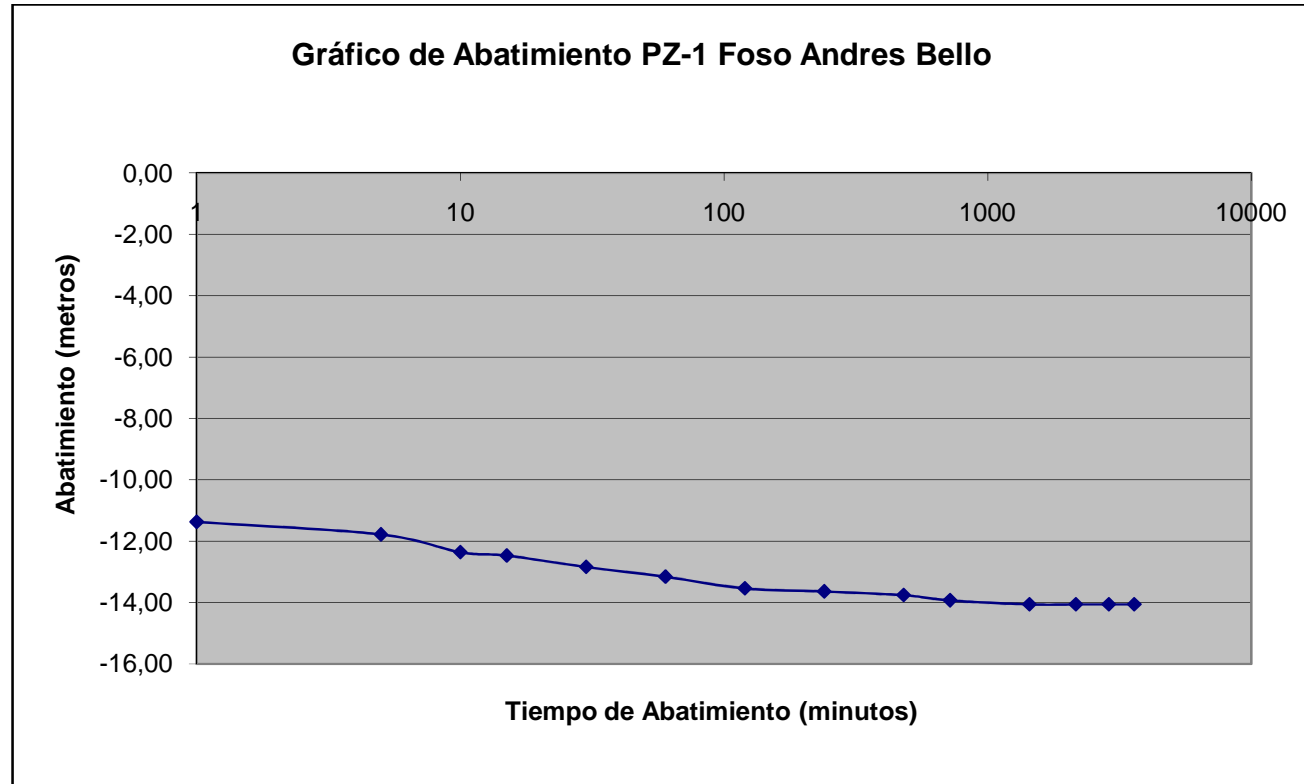


Figura 5.6 Grafico de abatimiento Estación Andrés Bello. SALOMÓN, 2008.

5.2.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.2.1.- FOSO MACARENA SUR

La permeabilidad del terreno donde está ubicada el foso será adoptada de acuerdo con los resultados de las pruebas de bombeo, el valor de

$$K = 7,2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

Para el dimensionamiento del número de pozos necesarios para el abatimiento hasta la profundidad de 33, 0 m, considerando el nivel freático a la profundidad de 16,00 m, de acuerdo con el programa DC-Dewatering, se obtuvo el número de pozos necesarios y la profundidad correspondiente.

Alternativa 1 - $K = 7,2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$:

- Situación del agua subterránea = Acuífero libre.
- 10 Pozos con profundidad de 50,0 metros, 1 pozo con profundidad 48,0 m y 1 pozo con profundidad de 48.4 m, totalizando 12 pozos.
- Caudal máximo calculado = 46,635 m³/h
- Caudal máximo de cada pozo = 4,4 m³/h

De acuerdo con los cálculos hechos, serán necesarios 10 pozos con profundidad de 50,0 m y 2 con profundidades de 48,0 m y 48,4 m, con total de 564,4 m de perforación.

Como ya se construyeron 2 pozos con 48,0 m de profundidad, se recomienda ejecutar 10 pozos mas, distribuidos de forma adecuada, alrededor de la excavación del foso, con 50,0 m de profundidad para abatir el nivel freático y permitir la excavación en condiciones más favorables.

Para la propuesta de distribución de los pozos a construir, se tuvo en cuenta la posible interferencia entre cada uno de los conos de abatimiento, ya que la unión de los mismos, traería como consecuencia un abatimiento más rápido del nivel freático, que beneficiaría el proceso de excavación.

Después de instalado todo el sistema de abatimiento, los pozos deberán ser encendidos y monitoreados con los piezómetros para verificar la eficiencia del sistema.

Ubicación de los pozos

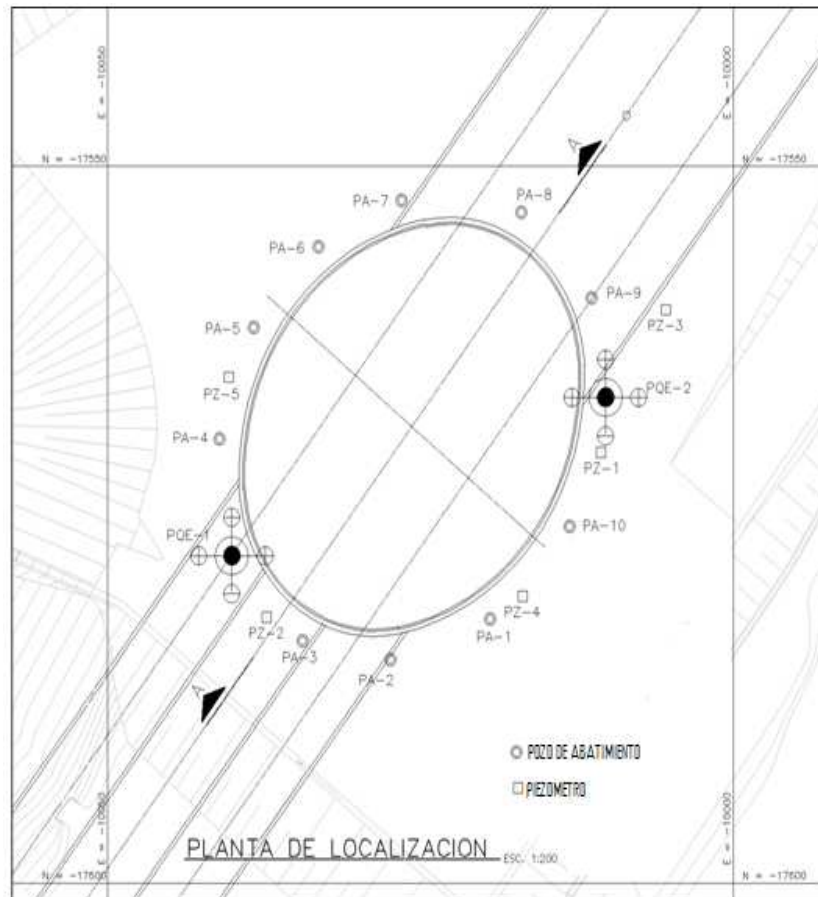


Figura. 5.7. Ubicación de los pozos de abatimiento y piezómetros propuestos, Foso la Macarena Sur. Tomado y modificado del estudio geotécnico, proyecto de extensión de la Línea 2 del Metro Los Teques.

5.2.1.- FOSO LA MATICA

La permeabilidad del terreno donde está ubicada el foso será adoptada de acuerdo con los resultados de las pruebas de bombeo, el valor de

$$K = 2,93 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$$

Para el dimensionamiento del número de pozos necesarios para el abatimiento hasta la profundidad de 32,0 m, considerando el nivel freático a la profundidad de 8,80 m, de acuerdo con el programa DC-Dewatering, se obtuvo el número de pozos necesarios y la profundidad correspondiente.

Alternativa 1 - $K = 2,93 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$:

- Situación del agua subterránea = Acuífero libre.
- 8 Pozos con profundidad de 44,4 metros, 2 pozos con profundidad 50,0 m y totalizando 10 pozos.
- Caudal máximo calculado = $133,582 \text{ m}^3/\text{h}$
- Caudal máximo de cada pozo = $13,78 \text{ m}^3/\text{h}$

De acuerdo con los cálculos hechos, serán necesarios 8 pozos con profundidad de 44,4 m y 2 con profundidades de 50,0 m con total de 455,2 m de perforación.

Como ya se construyeron 2 pozos con 50,0 m de profundidad, se recomienda construir mas 8 pozos distribuidos de forma adecuada alrededor de la excavación del foso, con 44,4 m de profundidad para ejecutar el abatimiento del nivel freático y permitir la excavación en condiciones más favorables.

Para la propuesta de distribución de los pozos a construir, se tuvo en cuenta la posible interferencia entre cada uno de los conos de abatimiento, ya que la unión de los mismos, traería como consecuencia un abatimiento más rapido del nivel freático, que beneficiaría el proceso de excavación.

Después de instalado todo el sistema de abatimiento, los pozos deberán ser activados y monitoreados con los piezómetros para verificar la eficiencia del sistema.

Ubicación de los pozos



Figura. 5.8. Ubicación de los pozos de abatimiento y piezómetros propuestos, Foso la Matica. Tomado y modificado del estudio geotécnico, proyecto de extensión de la Línea 2 del Metro Los Teques.

5.2.3.- FOSO ANDRÉS BELLO (ESTACIÓN GUAICAIPURO)

La permeabilidad del terreno donde está ubicada el foso será adoptada de acuerdo con los resultados de las pruebas de bombeo, el valor de

$$K = 3,27 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$

Para el dimensionamiento del número de pozos necesarios para el abatimiento hasta la profundidad de 22,0 m, considerando el nivel freático a la profundidad de 10,80 m, de acuerdo con el programa DC-Dewatering, se obtuvo el número de pozos necesarios y la profundidad correspondiente.

Alternativa 1 - $K = 3,27 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$:

- Situación del agua subterránea = Acuífero libre.
- 8 Pozos con profundidad de 30,9 metros y 2 pozos con profundidad de 30,0m
- Caudal máximo calculado = $8,255 \text{ m}^3/\text{h}$
- Caudal máximo de cada pozo = $0,851 \text{ m}^3/\text{h}$

De acuerdo con los cálculos hechos, serán necesarios 8 pozos con profundidad de 30,9 m y 2 con 30,0 m de profundidad, con total de 307,2 m de perforación.

Como ya se construyeron 2 pozos con 30,0 m de profundidad, se recomienda ejecutar mas 8 pozos distribuidos de forma adecuada y con 30,9 m de profundidad para atender el abatimiento del nivel freático y permitir la excavación en condiciones más favorables y de acuerdo con la prueba de bombeo.

Para la propuesta de distribución de los pozos a construir, se tuvo en cuenta la posible interferencia entre cada uno de los conos de abatimiento, ya que la unión de

los mismos, traería como consecuencia un abatimiento más rápido del nivel freático, que beneficiaría el proceso de excavación.

Después de instalado todo el sistema de abatimiento, los pozos deberán ser activados y monitoreados con los piezómetros para verificar la eficiencia del sistema.

Ubicación de los pozos

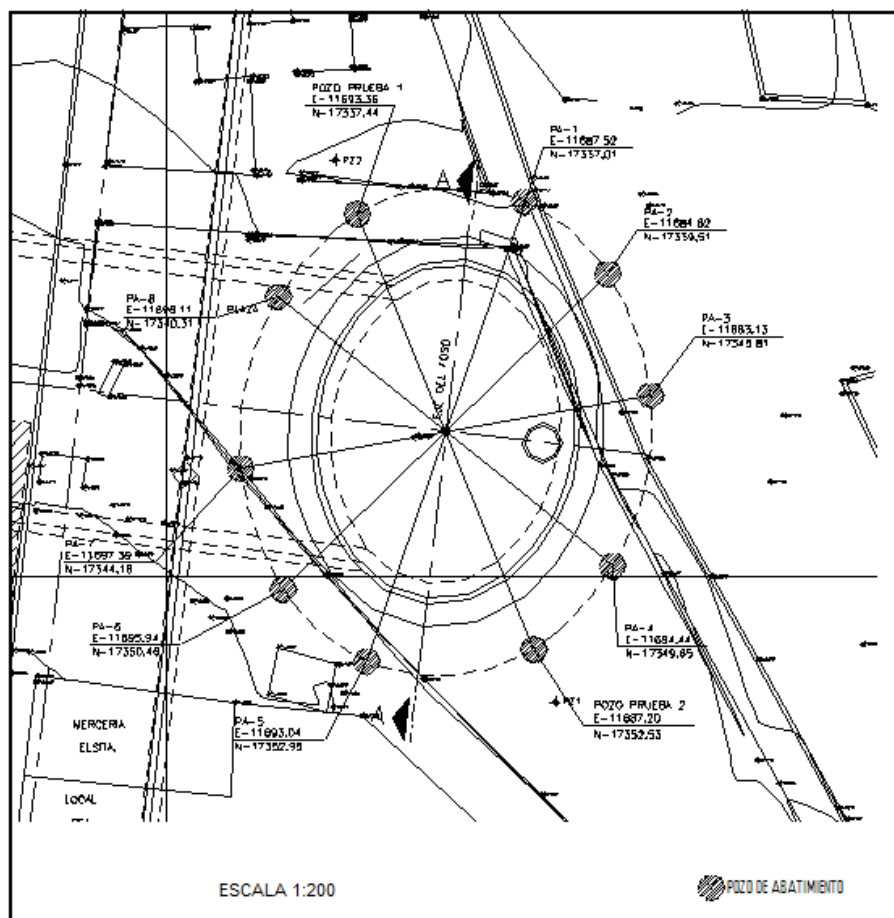


Figura. 5.9. Ubicación de los pozos de abatimiento y piezómetros propuestos, Foso Andrés Bello (Estación Guaicaipuro). Tomado y modificado del estudio geotécnico, proyecto de extensión de la Línea 2 del Metro Los Teques.

CAPITULO VI

6.- CONCLUSIONES .

A lo largo del alineamiento, los sectores estudiados presentan una litología compuesta principalmente por suelos y el macizo rocoso. Con respecto a los suelos, se puede observar que son de origen residual, con espesores varían desde 4 m. hasta 16 m. de profundidad (el mayor espesor encontrado), el mismo se ubica en uno de los fosos con menor cota del trazado. El material encontrado está constituido en su mayoría por arcilla limo arenosas (CL-ML), arena limosa (SM) y arenas arcillosas (SC) y su disposición geométrica no obedece a ningún patrón determinado.

Con respecto al macizo rocoso, el mismo está compuesto en su totalidad por rocas metamórficas, las cuales se pueden encontrar como roca descompuesta blanda (RDb), roca descompuesta blanda fracturada (RDbf), roca meteorizada dura fracturada (RMdf) hasta roca fresca dura fracturada (RFdf) a mayores profundidades, las mismas pertenecen a la formación Las Mercedes y están constituidas por esquistos grafitosos cuarzosos, con presencia de muscovita, micas, sericita, talco y en ocasiones también calcáreo, con una foliación media a incipiente y vetas de cuarzo.

Se pudo observar que el nivel freático a lo largo del trazado, varía desde 8,80 m. de profundidad, en el Foso la Matica (Estación Independencia) a 1158,7 m.s.n.m., pasando por 10,80 m. de profundidad, en el Foso Andrés Bello (Estación Guaicaipuro) a 1151,70 m.s.n.m, hasta los 16,0 m. de profundidad en el Foso Macarena Sur a 1176,0 m.s.n.m, variación ésta que obedece principalmente a la configuración topográfica de la zona, es decir, donde la cota del terreno sea mayor, el nivel freático estará a mayor profundidad, mientras que en los lugares con menor cota el nivel freático estará más cerca de la superficie del terreno.

La tendencia de las líneas de flujo en la región, tomando en cuenta los valores encontrados en los diferentes fosos durante el estudio realizado, indica que las mismas se mueven desde los lugares con mayor altura sobre el nivel de mar, en el Foso la Macarena Sur (1192,0 m.s.n.m.), pasando por el Foso La Matica y el Foso de Acceso

1 de la Estación Miranda (1167,50 m.s.n.m. en ambos casos) concluyendo en el Foso Andrés Bello (1162,50 m.s.n.m).

Los valores de Transmisibilidad (T) calculados a partir de los datos obtenidos durante las pruebas de bombeo, fluctuaron entre 0,183 m²/seg. en el Foso la Matica; $8,53 \cdot 10^{-2}$ m²/seg. en el Foso Andrés Bello y $17,938 \cdot 10^{-3}$ m²/seg. en el Foso Macarena Sur.

Entre tanto los valores de la permeabilidad (k) calculados a partir de los datos obtenidos durante las pruebas de bombeo, variaron de la siguiente forma en el Foso Macarena Sur el valor fue de $7,2 \cdot 10^{-6}$ m/seg., en el Foso la Matica el valor obtenido fue $2,93 \cdot 10^{-5}$ m/seg. y por último el Foso Andrés Bello cuyo valor fue $3,27 \cdot 10^{-6}$ m/seg.

Tomando en cuenta las pruebas de bombeo en cada uno de los fosos y procesando los datos anteriormente mencionados, se pudo determinar que el tipo de acuífero presente a lo largo del trazado corresponde a un acuífero libre.

RECOMENDACIONES

De acuerdo con los cálculos realizados y tomando en cuenta los valores de permeabilidad y transmisibilidad, para el Foso la Macarena Sur ($k = 7,2 \cdot 10^{-6}$ m/s y $T = 17,938 \cdot 10^{-3}$ m²/seg), serán necesarios 10 pozos con profundidad de 50,0 m y 2 con profundidades de 48 m y 48,4 m, para realizar el abatimiento durante la construcción. En la actualidad existen 2 pozos con 48,0 m de profundidad, es por ello que la recomendación es ejecutar 10 pozos más, distribuidos de forma adecuada alrededor de la excavación del foso, con 50,0 m de profundidad para producir el abatimiento del nivel freático y permitir la excavación en condiciones más favorables.

Para el Foso la Matica (Estación Independencia) el valor de la permeabilidad $k = 2,93 \cdot 10^{-5}$ m/s y la transmisibilidad $T = 0,183$ m²/seg. lo que indica, de acuerdo con los cálculos que serán necesarios 8 pozos con profundidad de 44,4 m y 2 con profundidades de 50 m con total de 455,2 m de perforación. Actualmente ya existen 2 pozos con 50,0 m de profundidad, por lo que se recomienda construir 8 pozos más distribuidos de forma adecuada, alrededor de la excavación del foso, con 44,4 m de profundidad para ejecutar el abatimiento del nivel freático y permitir la excavación en condiciones más favorables.

Para el Foso Andrés Bello (Estación Guaicaipuro) el valor de la permeabilidad $k = 3,27 \cdot 10^{-6}$ m/s y la transmisibilidad $T = 8,53 \cdot 10^{-2}$ m²/seg., lo que indica, de acuerdo con los cálculos que serán necesarios 8 pozos con profundidad de 30,9 m y 2 con 30,0 m de profundidad, con total de 307,2 m de perforación. En la actualidad ya han sido construidos 2 pozos con 30,0 m de profundidad, se recomienda ejecutar 8 pozos mas distribuidos de forma adecuada, alrededor de la excavación del foso, con 30,9 m de profundidad para atender el achique del nivel freático para permitir la excavación en condiciones más favorables y de acuerdo con la prueba de bombeo.

Es importante hacer énfasis en la realización de un monitoreo constante a los pozos de bombeo, ya que el abatimiento debe estar controlado para garantizar las condiciones óptimas dentro de la construcción; además es necesario el seguimiento periodico de la instrumentación de cada uno de los fosos y sus zonas circundantes, ya

que en caso de cualquier variación importante de las condiciones iniciales, pueden tomarse las previsiones y controlar el problema antes de que sea más grave.

La instrumentación debe ser utilizada, sobre todo en el control de asentamientos de las edificaciones más importantes que existen a lo largo del alineamiento del túnel y de las estaciones y fosos de acceso.

Sería conveniente realizar un análisis físico-químico de las aguas subterráneas presentes, determinando de esta forma su calidad, ya que si las mismas son aptas para el consumo humano, podrían ser utilizadas para muchas de las actividades que se realizan día a día en la excavación de los fosos, como la limpieza de maquinarias, abastecimiento de los baños, entre otros, aprovechando así este recurso tan importante.

Se recomienda también, establecer un plan de manejo de las aguas subterráneas, tomando en cuenta el Decreto 1508, en el cual no se afecten los acuíferos de forma definitiva y los mismos puedan ser explotados de forma controlada, así en caso de ser necesario, suministrarles este importante recurso a comunidades aledañas a los fosos de excavación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **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.
- **BECK, C.**, (1985). La chaîne caraibe au merideien de Caracas: Geologie, tectone-se, place dans l'évolution geodynamique Mesozoique-Cenozoique des Caraibes Meridionales. L'Universite des Sciences et Techniques de Lille, Tesis de doctorado de estado, 462 p.
- **BECK, C.**, (1986). Geologie de la chaire Caraibe su meridien de Caracas (Venezuela). Soc. Geol. de Nord, Villeneuve s'Ascq, Francia, Public. no. 14, 462 p.
- **BELL, J.**, (1968). Geología del Área de Camatagua, estado Aragua, Venezuela. Boletín de Geología, Caracas, 9(18): 291-440.
- **BELLIZZIA, A.**, (1967). Rocas ultramáficas en el sistema montañoso del Caribe y yacimientos minerales asociados. Boletín de Geología, Caracas, 8(16): 159-168.
- **BELLIZZIA, A.**, (1972). Sistema Montañoso del Caribe, borde sur de la placa del Caribe, ¿es una cordillera alóctona?. Mem. VI Conf. Geol. Caribe, Margarita, p. 247-258.
- **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.

- **CIEN-COMISIÓN INTERFILIALES DE ESTRATIGRAFÍA Y NOMENCLATURA** (1997). Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela. **INTEVEP-PDVSA**, edición electrónica www.pdvsa.com/lexico. Versión en CD (1999).
- **DENGO, G.**, (1951). Geología de la región de Caracas. Boletín de Geología y Minas, Caracas, 1(1):39-115.
- **DIAZ, E.**, (1994). Geología y geotecnia de las haciendas Santa Rosa y El Carmen, distrito Guaicaipuro, estado Miranda. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas, 147 p.
- **DIAZ, A.**, (2005). La otra cara de las rocas metamórficas en el área de Caracas. GEOS No. 38. Escuela de geología, minas y geofísica de la UCV, Caracas. 27 p.
- **DURAN, D. Y C. LOBO** (2004). Evaluación Hidrogeológica de las Reservas de Agua Subterránea del Acuífero de Los Llanos de Calabozo, estado Guárico, con el apoyo de Técnicas Nucleares. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad de Los Andes, Mérida, 197 p.
- **GONZÁLEZ DE JUANA C., J. ITURRALDE DE A. Y X. PICARD.** (1980). Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Caracas, Ed. Foninves, tomos I y II, 1021 p.
- **GONZALEZ DE VALLEJO, L.** (2002). Ingeniería Geológica. Madrid. Prentice Hall. 715 p.
- **GONZÁLEZ, L.** (1972). Geología de la Cordillera de la Costa, zona centro – occidental. Boletín de Geología, Caracas, Public. esp. 5(3): 1589-1616.

- **IASIELLO, E.** (1991). Geología y geotecnia preliminar de un área ubicada al norte de la ciudad de los Teques, estado Miranda. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas, 129 p.
- **JOHNSON, E.** (1975). El Agua Subterránea y los Pozos. Johnson División, U:O:P: Inc. Minnesota, 513 p.
- **MEJÍAS J. Y C. GUERRERO** (2000). Estudio de las Reservas de Agua Subterránea en la Ciudad de Barinas. Trabajo Final de Grado. Inédito, Universidad de Los Andes, Mérida.
- **MENÉNDEZ, A.** (1966). Tectónica de la parte central de las Montañas Occidentales del Caribe, Venezuela. Boletín de Geología, Caracas, 8(15): 116-139.
- **MINISTERIO DE MINAS E HIDROCARBUROS** (1972). Mapa Hidrogeológico de Venezuela, escala 1:500.000. Dirección de Geología. Departamento de Aguas Subterráneas. Caracas, Venezuela.
- **NAVARRO, E., M. OSTOS Y F. YORIS.** (1988). Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte norte – central de Venezuela durante el Jurásico Medio – Paleoceno. Acta Científica Venezolana, 39: 427-436.
- **NUÑEZ, K, VELÁSQUEZ, A, DIAZ, A. (Tutor Académico)** (2006). Estudio hidrogeológico del acuífero del Valle de Caracas en el tramo Las Adjuntas – El Paraiso del río Guaire. U.C.V. Caracas.

- **PIBURN M., D.**(1968). Metamorfismo y estructura del Grupo Villa de Cura, norte de Venezuela. Boletín Informativo. Sociedad Venezolana de Geología, Minería y Petróleo. Caracas. 10(19):263-296.
- **SANCIO, R.** (1965). Evaluación de la Recarga de los Acuíferos de una Cuenca para la Explotación Racional del Agua Subterránea. Boletín Informativo. Sociedad Venezolana de Geología, Minería y Petróleo. Caracas. 1(1):13-31.
- **SEIDERS, V.** (1965). Geología de Miranda Central, Venezuela. Boletín de Geología, (6): 289-416.
- **SINGER, A.** (1977) Tectónica reciente, morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el graben de Caracas; Seminario de Riesgo Geológico, Caracas; OEA-FUNVISIS-UCV.
- **SMITH, J.** (1952). Geología de la región de Los Teques – Cúa. Boletín de Geología, Caracas, 2(6): 333-406.
- **TALUKDAR, S. Y LOUREIRO, D.** (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.** (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.

CITAS BIBLIOGRÁFICAS DE MATERIAL CONSULTADO EN INTERNET:

- **PDVSA-INTEVEP, S.A.** (1999). **Código Geológico de Venezuela.** Disponible: <http://www.pdvsa.com/lexico/> [Consulta: 2010, Marzo 17].
- **INSTITUTO GEOGRÁFICO DE VENEZUELA SIMÓN BOLÍVAR.** Disponible: <http://www.igvsb.gov.ve/site2007> [Consulta: 2008, Julio 02].
- **COMPAÑÍA ANÓNIMA METRO LOS TEQUES.** Disponible: <http://www.metrolosteques.gob.ve/home/maprut.htm> [Consulta: 2008, Julio 02]

ANEXO 1
ANÁLISIS PETROGRÁFICOS

PETROGRAFIA M1

TEXTURA:	ESQUISTOSA
TAMAÑO PROMEDIO DE GRANOS: (mm)	0,01 - 0,18

MINERALOGÍA:

NOMBRE	%
1. CUARZO	38
2. CALCITA	33
3. GRAFITO	20
4. MOSCOVITA	7
5. PIRITA	2
TOTAL:	
(%)	100

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:	ESQUISTO CUARZO CALCÍTICO GRAFITOSO
----------------------------------	--

OBSERVACIONES: En la presente sección se presenta una textura esquistosa, hay también abundancia del Cuarzo. La foliación formada por el grafito y las micas se encuentran arriba, a la izquierda. La calcita se presenta de color rojo (teñida).

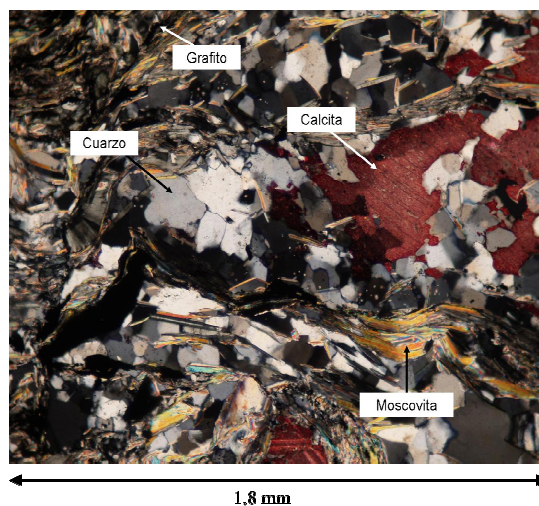


Foto 3.1.- Petrografía de la muestra M1.

PETROGRAFIA M2

TEXTURA:	ESQUISTOSA
TAMAÑO PROMEDIO DE GRANOS: (mm)	0,01 - 0,15

MINERALOGÍA:

NOMBRE	%
1. CALCITA	65
2. CUARZO	13
3. GRAFITO	11
4. MOSCOVITA	10
5. PIRITA	1
TOTAL:	
(%)	100

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:

ESQUISTO CALCÁREO
CUARZOSO GRAFITOSO
MOSCOVÍTICO

OBSERVACIONES: En la muestra se identifica el maclado polisintético de la calcita (color marrón). Las micas presentan colores de birrefringencia altos (azul, verde y naranja). Los bordes de la calcita presentan sobrecrecimientos leves.

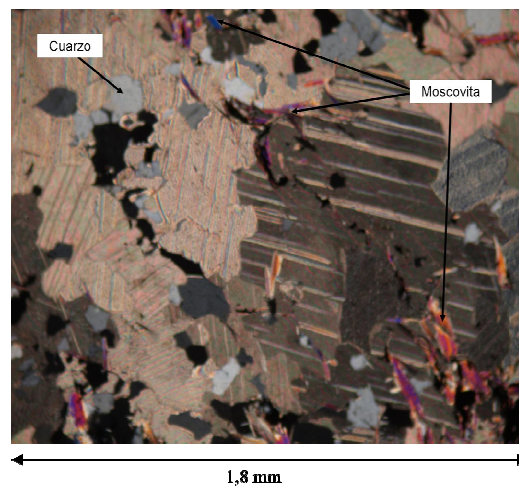


Foto 3.2.- Petrografía de la muestra M2

PETROGRAFIA M3

TEXTURA:	ESQUISTOSA
TAMAÑO PROMEDIO DE GRANOS: (mm)	0,02 - 0,2

MINERALOGÍA:

NOMBRE	%
1. CALCITA	75
2. GRAFITO	15
3. CUARZO	8
4. MOSCOVITA	2
TOTAL:	
(%)	100

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:	ESQUISTO CALCITICO GRAFITOSO
----------------------------------	---------------------------------

OBSERVACIONES: En esta sección la calcita no presenta el típico maclado polisintético. Se observan los bordes del cuarzo recrecidos por precipitación de sílice. El grafito se observa a lo largo de toda la sección.

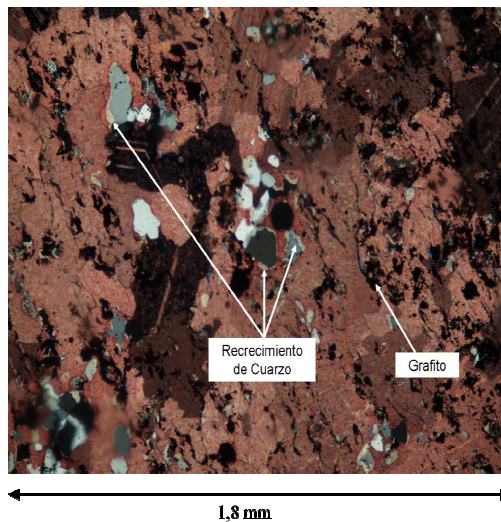


Foto 3.3.- Petrografía de la muestra M3.

PETROGRAFIA M4

TEXTURA:	ESQUISTOSA
TAMAÑO PROMEDIO DE GRANOS: (mm)	0,02 - 0,75

MINERALOGÍA:

NOMBRE	%
1. CALCITA	47
2. CUARZO	44
3. GRAFITO	5
4. MOSCOVITA	4
TOTAL:	
(%)	100

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:	ESQUISTO CALCITICO CUARZOSO
----------------------------------	--------------------------------

OBSERVACIONES: En esta muestra se presentan las micas con colores azules, morados y verdes. El grafito se observa en color negro. La textura es esquistosa.

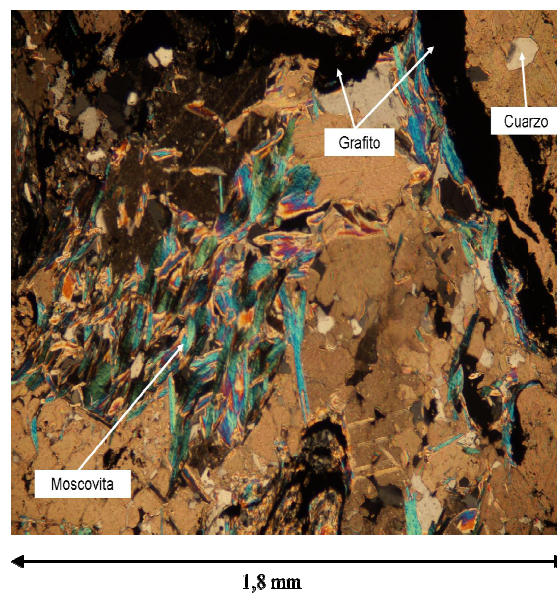


Foto 3.4.- petrografía de la muestra M4.

PETROGRAFIA M5

TEXTURA:	ESQUISTOSA
TAMAÑO PROMEDIO DE GRANOS: (mm)	0,01 - 0,33

MINERALOGÍA:

NOMBRE	%
1. CALCITA	67
2. GRAFITO	15
3. CUARZO	12
4. MOSCOVITA	5
5. PIRITA	1
TOTAL:	
(%)	100

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:	ESQUISTO CALCÍTICO GRAFITOSO CUARZOSO
----------------------------------	--

OBSERVACIONES: En esta muestra se presenta la calcita con maclado polisintético. Las micas se encuentran orientadas con el grafito hacia la parte superior.

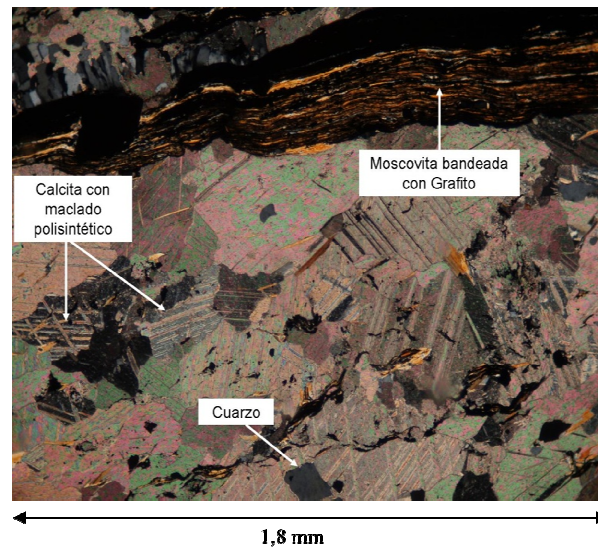


Foto 3.5.- Petrografía de la muestra M5.

PETROGRAFIA M6

TEXTURA:	ESQUISTOSA
TAMAÑO PROMEDIO DE GRANOS: (mm)	0,01 - 0,25

MINERALOGÍA:

NOMBRE	%
1. CALCITA	40
2. MOSCOVITA	35
3. CUARZO	20
4. HEMATITA	5
TOTAL:	
(%)	100

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:	ESQUISTO CALCITICO MOSCOVÍTICO CUARZO- SO
----------------------------------	---

OBSERVACIONES: En esta muestra se presenta una textura esquistosa, hay presencia de hematita, de color rojizo. Las micas presentan colores de birrefringencia altos (amarillos, azules, naranja). La calcita se observa alterada, al igual que algunas micas (color marrón).

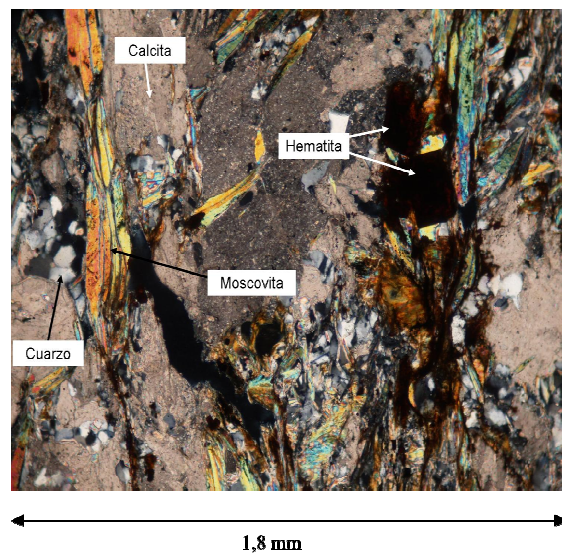


Foto 3.6.- Petrografía de la muestra M6.

PETROGRAFIA M7

TEXTURA:	ESQUISTOSA
TAMAÑO PROMEDIO DE GRANOS: (mm)	0,1

MINERALOGÍA:

NOMBRE	%
1. CALCITA	55
2. CUARZO	30
3. GRAFITO	12
4. MOSCOVITA (MICAS)	3
TOTAL:	
(%)	100

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:	ESQUISTO CALCITICO CUARZOSO GRAFITOSO
----------------------------------	--

OBSERVACIONES: En la sección predomina la calcita. El cuarzo se observa disperso a lo largo de la sección. No se observa alteración.

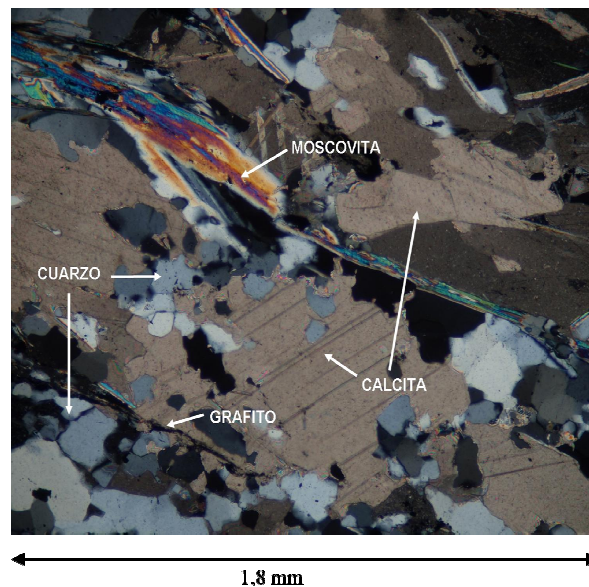


Foto 3.7.- Petrografía de la muestra M7.

PETROGRAFIA M8

TEXTURA:	ESQUISTOSA
TAMAÑO PROMEDIO DE GRANOS: (mm)	0,15

MINERALOGÍA:

NOMBRE	%
1. CALCITA	60
2. GRAFITO	18
3. CUARZO	15
4. MOSCOVITA (MICAS)	7
TOTAL:	
(%)	100

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:	ESQUISTO CALCITICO GRAFITOSO CUARZOSO
----------------------------------	--

OBSERVACIONES: La sección es predominantemente calcítica. Se observan precipitados de carbonato de calcio (CaCO_3) alrededor de algunos granos.

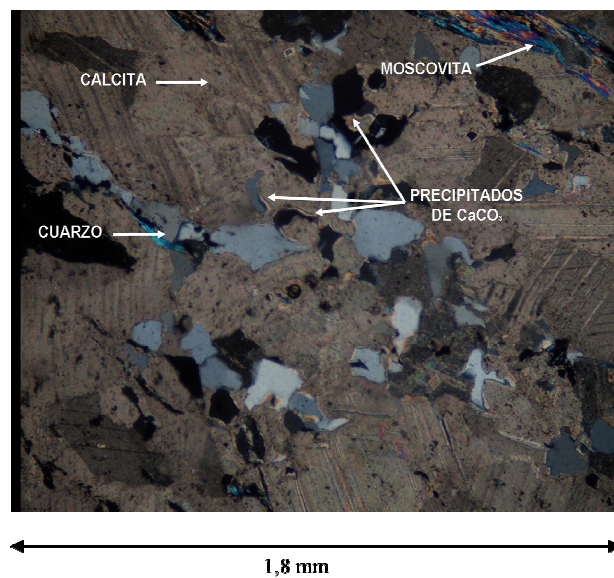


Foto 3.8.- Petrografía de la muestra M8.

PETROGRAFIA M9

TEXTURA:	ESQUISTOSA
TAMAÑO PROMEDIO DE GRANOS: (mm)	0,12

MINERALOGÍA:

NOMBRE	%
1. CUARZO	58
2. MOSCOVITA (MICAS)	25
3. GRAFITO	17
TOTAL: (%)	100

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA: ESQUISTO CUARZOSO MICACEO

OBSERVACIONES: En esta sección se presentan granos suturados. No se observan alteraciones.

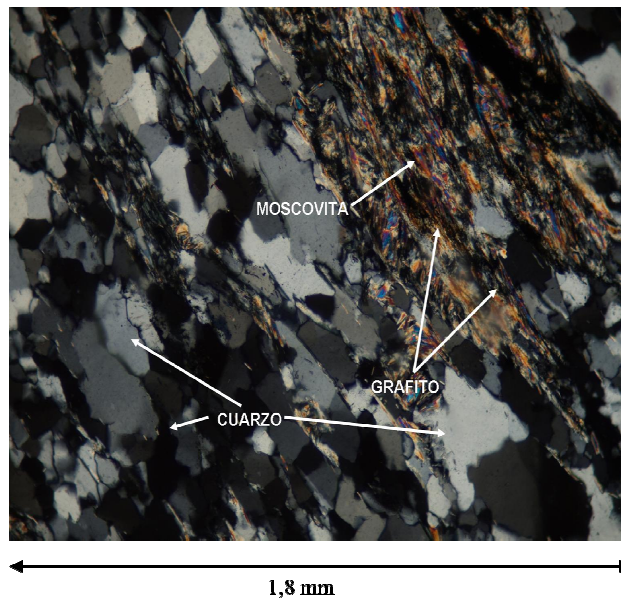


Foto 3.9.- Petrografía de la muestra M9.

PETROGRAFIA M10

TEXTURA:	ESQUISTOSA
TAMAÑO PROMEDIO DE GRANOS: (mm)	0,25

MINERALOGÍA:

NOMBRE	%
1. CALCITA	66
2. MOSCOVITA (MICAS)	15
3. GRAFITO	12
4. CUARZO	7
TOTAL:	
(%)	100

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:	ESQUISTO CALCITICO MICACEO GRAFITOSO
----------------------------------	---

OBSERVACIONES: La calcita domina la sección fina. El cuarzo presenta micro fracturas en la mayoría de los granos, estos poseen tamaños mayores a 1,2mm. El CaCO_3 se presenta también como precipitado.

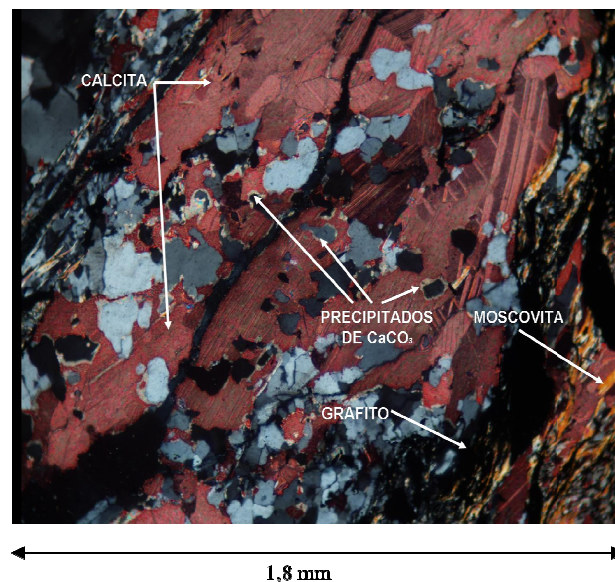


Foto 3.10.- Petrografía de la muestra M10.

PETROGRAFIA M11

TEXTURA:	ESQUISTOSA
TAMAÑO PROMEDIO DE GRANOS: (mm)	0,25

MINERALOGÍA:

NOMBRE	%
1. CALCITA	63
2. GRAFITO	20
3. MOSCOVITA (MICAS)	10
4. CUARZO	7
TOTAL:	
(%)	100

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:	ESQUISTO CALCITICO GRAFITOSO MICACEO
----------------------------------	---

OBSERVACIONES: En esta sección los granos de cuarzo son de gran tamaño y se presentan fracturados. Se observa rellenos de calcita, aunque bastante dispersos. El grafito se observa solo en un sector de la sección.

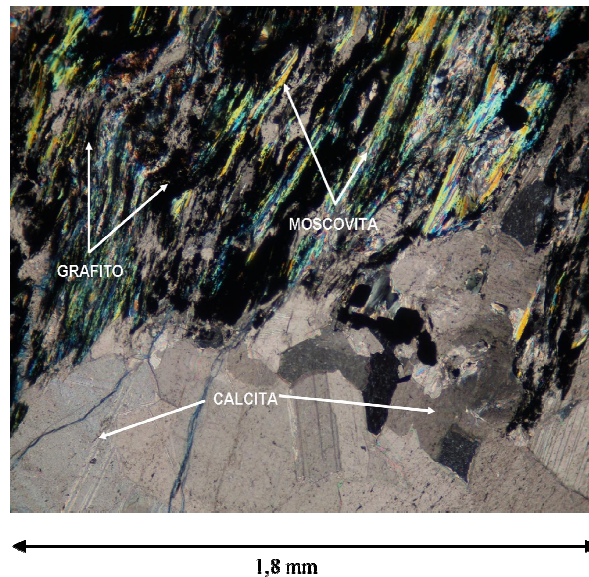


Foto 3.11.- Petrografía de la muestra M11.

PETROGRAFIA M12

TEXTURA:	ESQUISTOSA
TAMAÑO PROMEDIO DE GRANOS: (mm)	0,15

MINERALOGÍA:

NOMBRE	%
1. CUARZO	75
2. MOSCOVITA (MICAS)	13
3. GRAFITO	10
4. PIRITA	2
TOTAL:	
(%)	100

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:	ESQUISTO CUARZOSO MICACEO GRAFITOSO
----------------------------------	--

OBSERVACIONES: El cuarzo presenta dos (2) tamaños predominantes, uno muy fracturado (0,01mm) y otro menos fracturado (0,15 - 0,2mm). Las micas presentan colores de interferencia amarillos y azules.

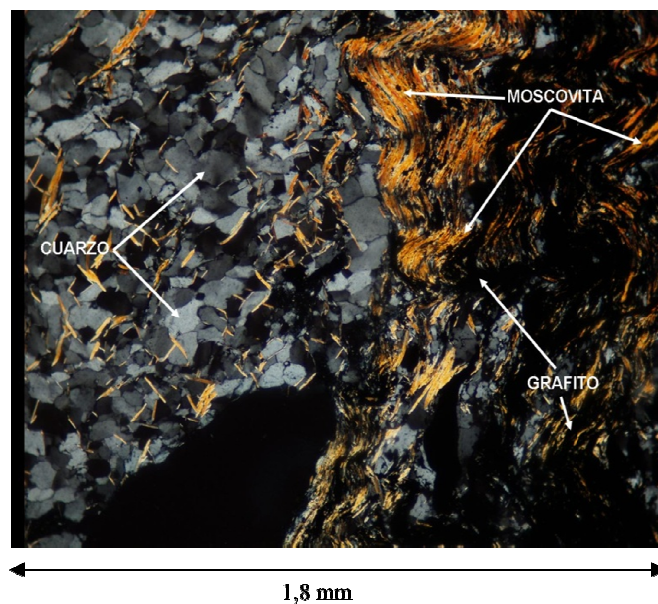


Foto 3.12.- Petrografía de la muestra M12.

PETROGRAFIA M13

TEXTURA:	ESQUISTOSA
TAMAÑO PROMEDIO DE GRANOS: (mm)	0,1

MINERALOGÍA:

NOMBRE	%
1. CALCITA	51
2. MOSCOVITA (MICAS)	22
3. GRAFITO	18
4. CUARZO	8
5. PIRITA	1
TOTAL: (%)	100

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:	ESQUISTO CALCITICO MICACEO GRAFITOSO
----------------------------------	---

OBSERVACIONES: En la muestra se aprecia poco cuarzo a lo largo de la seccion. Las micas presentan colores de interferencia altos (amarillos-verdes).

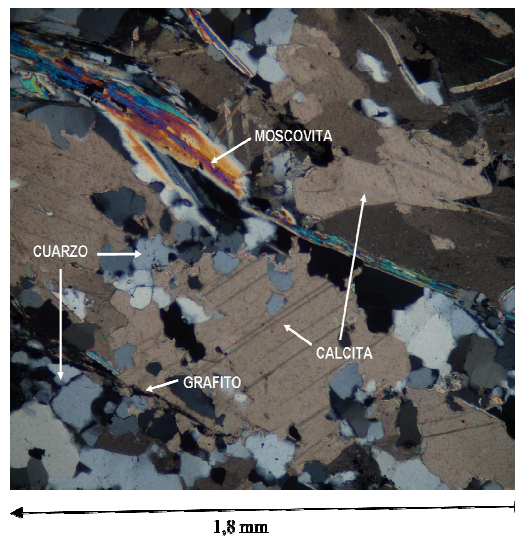


Foto 3.13.- Petrografía de la muestra M13.

PETROGRAFIA M14

TEXTURA:	ESQUISTOSA
TAMAÑO PROMEDIO DE GRANOS: (mm)	0,08

MINERALOGÍA:

NOMBRE	%
1. CUARZO	60
2. GRAFITO	30
4. MOSCOVITA (MICAS)	10
TOTAL:	
(%)	100

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:	ESQUISTO CUARZOSO GRAFITOSO MICACEO
----------------------------------	--

OBSERVACIONES: Muestra medianamente alterada. Se observan precipitaciones de oxido de hierro (Hematita). La sección se observa fracturada. Algunos granos de cuarzo, se presentan suturados.

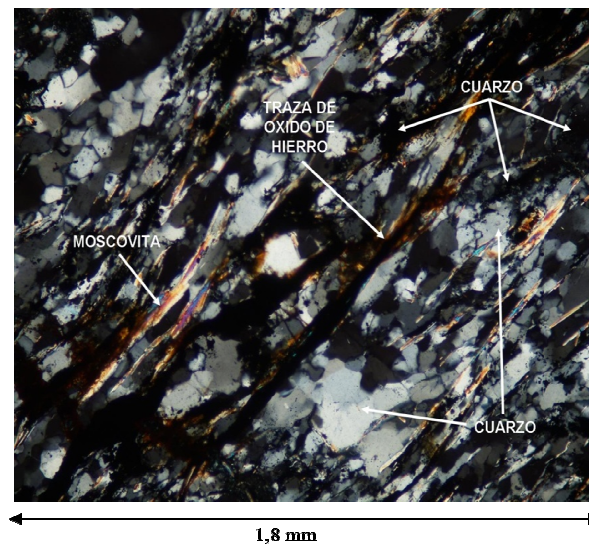


Foto 3.14.- Petrografía de la muestra M14.

PETROGRAFIA M15

TEXTURA:	ESQUISTOSA
TAMAÑO PROMEDIO DE GRANOS: (mm)	0,2

MINERALOGÍA:

NOMBRE	%
1. CUARZO	53
2. MOSCOVITA (MICAS)	37
3. GRAFITO	7
4. PIRITA	2
5. HEMATITA (OXIDO DE Fe)	1
TOTAL:	
(%)	100

CLASIFICACIÓN DE LA ROCA:	ESQUISTO CUARZOSO MICACEO
----------------------------------	------------------------------

OBSERVACIONES: La sección presenta vetas de cuarzo en forma transversal. Se observan granos de pirita dispersos, así como alteración de algunas micas en forma de hematita. Se encuentran dos (2) tamaños predominantes, uno de 0,01mm con granos muy fracturados y el otro de 0,2mm con granos completos sin fracturas. Sección medianamente alterada.

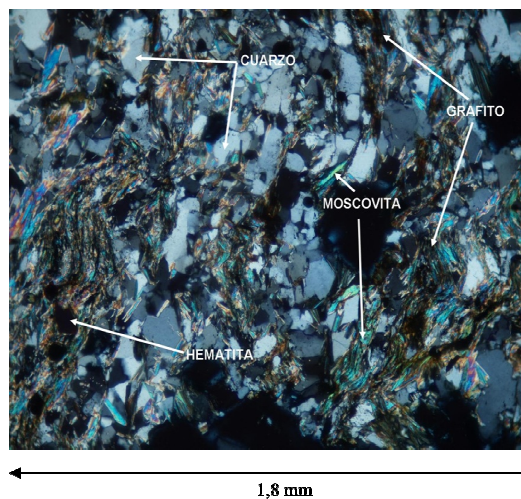


Foto 3.15.- Petrografía de la muestra M15.

ANEXO 2
DECRETO 1508

Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales

Comisión Nacional de Normas Técnicas

Sub- Comisión de Aguas

Revisión Decreto 883 Versión después de Consulta Pública 15.02.05

HUGO CHÁVEZ FRÍAS

PRESIDENTE DE LA REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

CONSIDERANDO

DECRETA

Las siguientes:

NORMAS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS CUERPOS DE AGUA

CAPITULO I

Disposiciones Generales

ARTÍCULO 1°.- El presente Decreto tiene por objeto establecer las normas orientadas a conservar y mejorar la calidad de los cuerpos de agua mediante el control de los vertidos de efluentes líquidos.

ARTICULO 2°.- Las acciones de conservación y mejoramiento estarán dirigidas principalmente a la reducción o prevención de la generación de efluentes, mejoramiento de la calidad del efluente, uso de tecnologías de producción más limpia, el establecimiento de límites máximos de elementos contaminantes en los vertidos, así como prácticas de reciclaje y reuso.

ARTÍCULO 3°.- A los fines de este Decreto se entiende por:

Acuífero lenticular: Acuífero de desarrollo local y completamente aislado o cerrado por todos lados con una roca impermeable.

Acuífero no aprovechable: Acuífero cuya calidad no permite su aprovechamiento para consumo humano o actividades agropecuarias de una manera económicamente viable.

Acuífero de un yacimiento de petróleo: Parte de una misma formación geológica que contiene hidrocarburos, saturada con agua. En el caso de acumulación de petróleo, el acuífero puede encontrarse por encima o por debajo de las acumulaciones de petróleo, dependiendo de la densidad del mismo.

Aguas residuales: Aguas utilizadas provenientes de una comunidad, industria, granja, hospitales, buques u otro establecimiento.

Bioacumulación: Proceso a través del cual una sustancia química, es incorporada por un organismo vivo en sus tejidos, vía difusión, inhalación o ingestión; aumentando gradualmente su concentración dentro de dicho organismo, por ser su tasa de incorporación mayor que la tasa de eliminación.

Calidad de un cuerpo de agua: Características físicas, químicas y biológicas de las aguas naturales que determinan su composición y utilidad al hombre y demás seres vivos.

Carga mástica: Cantidad total, en términos de masa, de contaminante descargado por unidad de tiempo.

Caudal de diseño de control: Caudal específico seleccionado en un curso de agua para servir de base al diseño de control de la contaminación del mismo.

Contaminación de las aguas: Acción o efecto de introducir sustancias, compuestos o formas de energía capaces de modificar las condiciones de un cuerpo de agua superficial o subterráneo de manera que se altere su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

Descarga continua: Vertimiento de efluentes líquidos sin interrupción de flujo.

Descarga eventual: Vertimiento de efluentes provenientes de procesos continuos, discontinuos o puntuales, que ocurre en periodos superiores a tres meses entre descargas o en localidades diferentes en el caso de actividades móviles. De forma esporádica, entendiéndose este por un periodo superior a tres meses entre las descargas. De igual forma se aplica a las actividades itinerantes que descargan de forma puntual en diferentes localizaciones.

Descarga subacuática: Descarga de aguas residuales, crudas o tratadas, desde la costa hasta un punto final de vertido en el fondo de un sector costero marino, fluvial o lacustre, mediante una tubería o conducto.

Elemento tóxico: Agente o material capaz de producir una respuesta adversa (efecto) en un sistema biológico, ocasionando alteraciones, serios daños en su estructura, funcionamiento o la muerte.

Efecto tóxico agudo: Efecto que ocurre rápidamente, como resultado de exposiciones de relativa corta duración (generalmente menores de 96 horas), a un elemento tóxico, sustancia o mezcla de sustancias. El efecto más común medido en organismos acuáticos es la letalidad.

Efecto tóxico crónico: Efecto que ocurre como consecuencia de exposiciones sucesivas o constantes a un elemento tóxico, sustancia o mezcla de sustancias, durante períodos de tiempo relativamente largos. Los efectos más comunes registrados son fisiológicos, bioquímicos, histológicos y de comportamiento.

Índice de calidad de Agua (ICA): Unidad de medida de la calidad del agua que asocia un número de parámetros según una ecuación de agregación definida. Generalmente se expresa como un porcentaje de la calidad deseada, basada en ponderación de importancia, en donde valores cercanos a 100 reflejan una condición excelente.

Línea de costa marina: La franja comprendida entre la línea de separación agua-tierra durante la ocurrencia de marea alta y la línea de profundidad de tres metros, medida durante el período de marea baja.

Población equivalente (PE): Forma de expresar la carga de un contaminante generado por una actividad productiva en términos de personas que serían capaces de producir el mismo efecto. Las conversiones de carga orgánica a PE se basarán en una contribución de 54 g de DBO_{5,20}/persona/día, las de carga microbiana en 200x10⁹ organismos coliformes/persona/día y la carga de sólidos suspendidos en 90 g/persona/día.

Toxicidad: Capacidad o potencialidad de una sustancia para producir efectos adversos o nocivos a los organismos vivos.

Vertido de efluente líquido: Descarga de aguas residuales que se realiza directa o indirectamente a los cuerpos de agua mediante canales, desagües o drenajes de agua, descarga directa sobre el suelo o inyección en el subsuelo, descarga a la red de cloacas, descarga al medio marino-costero y descargas subacuáticas.

Yacimiento de petróleo: Formación geológica porosa y permeable, denominada roca recipiente que, cubierta por una roca impermeable denominada "techo", contenga petróleo o gas, o ambas cosas y esté deformada u obstruida en forma tal que el petróleo y el gas queden atrapados.

Zona de mezcla térmica: Área donde se mezcla una descarga de temperatura diferente a la del cuerpo de agua receptor, generándose un proceso de difusión térmica, hasta alcanzar la temperatura promedio del cuerpo receptor. Su dimensión está determinada por las características de cada descarga y del cuerpo receptor en particular.

CAPITULO II

De la Calidad de las Aguas

SECCIÓN I

De gestión de conservación de las aguas

ARTICULO 4°.- A los fines de la gestión de la conservación y control de la calidad de los cuerpos de agua, el Ejecutivo Nacional, por órgano del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, los clasificará con el fin de controlar, mantener y mejorar la calidad del agua, de tal manera de no comprometer los usos actuales y potenciales y establecerá las reglas específicas a las que se sujetará su manejo en cada caso.

ARTÍCULO 5°.- A los fines de estas normas el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales clasificará los cuerpos de agua o sectores de estos atendiendo a sus usos actuales y potenciales, para lo cual deberá establecer un sistema de manejo de información, pudiendo utilizar como herramienta de gestión y seguimiento los Índices de Calidad del Agua – ICA.

ARTÍCULO 6°.- La clasificación de los cuerpos de agua o sectores de éstos, se utilizará sólo a efectos de la gestión de la calidad de las aguas, para garantizar sus usos

mediante el control de los vertidos de efluentes líquidos. Esta clasificación atenderá a una condición de la calidad de los cuerpos de agua o sectores de éstos, reconociendo que la mejor calidad es aquella que permite la mayor cantidad de usos ambientales y sociales, los cuales se ven restringidos a medida que la calidad disminuye.

ARTICULO 7°.- La clasificación de cada cuerpo de agua o sectores de éstos se realizará mediante Decreto, atendiendo a un orden de prioridades que determinará el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Los cuerpos de agua que no hayan sido clasificados se registrarán por las disposiciones generales establecidas en este Decreto.

ARTICULO 8°.- El Ejecutivo Nacional, por órgano del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, podrá diseñar planes maestros de control y manejo de la calidad de las aguas, específicos para cada cuenca hidrográfica en el territorio nacional, a los fines de mejorar o preservar la calidad de un determinado cuerpo de agua o de parte de éstos.

Los planes se formularán atendiendo a los siguientes criterios:

- a) Relaciones causa - efecto entre fuentes contaminantes y problemas de calidad de aguas.
- b) Alternativas para el control de los efluentes existentes y futuros.
- c) Condiciones en que se permitirán los vertidos de efluentes, presentes y futuros, incluyendo los límites de carga másica permisible para cada fuente contaminante.
- d) Normas complementarias que se estimen necesarias para el control y manejo de la calidad de las aguas.

SECCIÓN II

De los criterios de calidad para el uso del agua

ARTICULO 9°.- A los fines de orientar el uso o reuso del agua y para clasificar los cuerpos de agua, se establecen los criterios de calidad.

ARTICULO 10°.- Los usos asociados con la clasificación del agua establecidos en el artículo 5° son:

TIPO DE AGUA USOS ASOCIADOS

EXCELENTE O CLASE 1

Fuente de abastecimiento previo acondicionamiento para uso doméstico, protección de las comunidades hidrobiológicas, recreación de contacto total, riego de hortalizas y legumbres consumidas en crudo y frutas sin remoción de piel, riego de cultivos arbóreos, cereales y de forraje, cría natural o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana; abrevadero de animales; armonía paisajística; comercio y navegación; industrial.

MUY BUENA O CLASE 2

Fuente de abastecimiento previo acondicionamiento para uso doméstico, protección de las comunidades hidrobiológicas, recreación de contacto total, riego de hortalizas y legumbres consumidas en crudo y frutas sin remoción de piel, riego de cultivos arbóreos, cereales y de forraje, cría natural o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana; abrevadero de animales; armonía paisajística; comercio y navegación; industrial.

BUENA O CLASE 3

Fuente de abastecimiento previo acondicionamiento para uso doméstico, recreación de segundo contacto, riego de cultivos arbóreos, cereales y de forraje, cría natural o intensiva (acuicultura) de especies destinadas a la alimentación humana; abrevadero de animales; armonía paisajística; comercio y navegación; industrial.

ACEPTABLE O CLASE 4

Armonía paisajística; comercio y navegación; industrial. **Las Aguas salobres cuya salinidad está entre 0.5 ‰ y 30 ‰ y las aguas saladas de salinidades iguales o superiores a 30 ‰ podrán ser excelentes, muy buenas, buenas o aceptables, de acuerdo a los criterios establecidos en esta normativa, sin considerar los parámetros relativos a salinidad ni los usos destinados a riego.**

ARTICULO 11.- Algunos de los parámetros físicos, químicos y biológicos, que definen los criterios para cada uso se presentan a continuación:

1. Aguas de calidad excelente o clase 1. Son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Aluminio	0,2 mg/l
Arsénico total	0,01 mg/l
Bario total	0,7 mg/l
Berilio	0,004 mg/l
Boro	0,3 mg/l
Cadmio total	0,003 mg/l
Calcio	200 mg/l
Cianuro total	0,07 mg/l
Cloruros	300 mg/l
Cobre total	0,2 mg/l
Cromo total	0,05 mg/l
Detergentes	1 mg/l
Fenoles	0,003 mg/l
Fluoruros	<1,5 mg/l
<i>Hidrocarburos</i>	<i>Ausentes</i>
Hierro	1 mg/l
Magnesio	70 mg/l
Manganeso	0,1 mg/l
Mercurio total	0,001 mg/l
Molibdeno	0,01 mg/l
Níquel	0,02 mg/l
Nitritos + Nitratos (N)	10,0 mg/l
Oxígeno Disuelto	> 5 mg/l
pH	6,5 -8,5
Plata total	0,05 mg/l
Plomo total	0,01 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Sodio	140 mg/l
Sólidos disueltos totales	1300 mg/l
Sulfatos	340 mg/l
Vanadio	0,1 mg/l
Zinc	5,0 mg/l

Parámetro	Límite o rango máximo
Compuestos orgánicos	
Biocidas Organoclorados	0,02 mg/l
Biocidas Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/l
Aspectos biológicos	
Coliformes totales (*)	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 1000 organismos /100ml
Coliformes fecales	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 75 organismos /100ml
Enterococos	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 25 organismos /100ml
Radiactividad	
Actividad α	0,1 Bq/l
Actividad β	1,0 Bq/l

(*) En función del método de análisis los coliformes se podrán expresar indistintamente como Número Más Probable (NMP) o Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

(**) Aplica sólo a aguas salobres o saladas.

2. Aguas de calidad muy buena o clase 2. Son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Limite o rango máximo
Aluminio	0,2 mg/l
Arsénico total	0,05 mg/l
Bario total	0,7 mg/l
Bicarbonatos	370 mg/l
Boro	0,3 mg/l
Cadmio total	0,003 mg/l
Calcio	200 mg/l
Carbonatos	5 mg/l

Parámetro	Limite o rango máximo
Cianuro total	0,07 mg/l
Cloruros	250 mg/l
Cobre total	0,2 mg/l
Conductividad específica	2000 (µS/cm)
Cromo total	0,05 mg/l
Detergentes	1,0 mg/l
Fenoles	0,003 mg/l
Fluoruros	< 1,5 mg/l
<i>Hidrocarburos</i>	<i>Ausentes/</i>
Hierro total	1,0 mg/l
Litio	2,5 mg/l
Magnesio	70 mg/l
Manganeso total	0,2 mg/l
Mercurio total	0,001 mg/l
Molibdeno	0,01 mg/l
Níquel	0,02 mg/l
Nitratos+Nitritos	10 mg/l
Oxígeno disuelto	> 5 mg/l
pH	6,5 – 8,5
Plata	0,05 mg/l
Plomo	0,01 mg/l
Sodio	140 mg/l
Sólidos totales disueltos	1300 mg/l
Selenio	0,02 mg/l
Sulfatos	340 mg/l
Vanadio	0,1 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Potasio	20 mg/l
Coliformes totales (*)	Media geométrica mensual de al menos 5 muestras menor a 1000/100ml
Coliformes fecales (*)	Media geométrica mensual de al menos 5 muestras menor a 100/100 ml
Enterococos fecales	Media geométrica mensual de al menos 5 muestras menor a 35/100ml

(*) En función del método de análisis los coliformes se podrán expresar indistintamente como Número Más Probable (NMP) o Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

(**) Aplica sólo a aguas salobres y salinas.

3. Aguas de calidad buena o clase 3. Son aquellas cuyas características corresponden con los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Aluminio	1,0 mg/l
Arsénico total	0,05 mg/l
Bario total	1,0 mg/l
Bicarbonatos	370 mg/l
Boro	1,0 mg/l
Cadmio total	0,005 mg/l
Calcio	200 mg/l
Carbonatos	5 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cloruros	250 mg/l
Cobre total	0,2 mg/l
Cromo total	0,05 mg/l
Detergentes	1,0 mg/l
Fluoruros	< 1,5 mg/l
Hierro total	5,0 mg/l
Hidrocarburos	Sin película visible
Litio	2,5 mg/l
Magnesio	70 mg/l
Manganeso total	0,2 mg/l
Mercurio total	0,001 mg/l
Molibdeno	0,01 mg/l
Níquel	0,2 mg/l
Oxígeno disuelto	>5 mg/l o al 60% del valor de saturación
pH	6,5 – 8,5
Plata	0,05 mg/l
Plomo	0,05 mg/l
Sólidos totales disueltos	1300 mg/l
Selenio	0,02 mg/l
Sulfatos	340 mg/l
Vanadio	0,1 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Potasio	20 mg/l
Coliformes totales (*)	Media geométrica mensual de al menos 5 muestras

Parámetro	Límite o rango máximo
	menor a 1000/100ml
Coliformes fecales (*)	Media geométrica mensual de al menos 5 muestras menor a 100/100 ml

(*) En función del método de análisis los coliformes se podrán expresar indistintamente como Número Más Probable (NMP) o Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

Aguas de calidad aceptable o clase 4. Son aquellas cuyas características correspondan a los límites y rangos siguientes:

Parámetro	Límite o rango máximo
Aluminio	1,5 mg/l
Arsénico total	0,05 mg/l
Bario total	1,0 mg/l
Boro	5,0 mg/l
Cadmio total	0,01 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cobre total	2 mg/l
Cromo total	0,5 mg/l
Detergentes	1 mg/l
Fenoles	0,3 mg/l
Fluoruros	<1,5 mg/l
Hierro	5 mg/l
Hidrocarburos	Sin película visible
Mercurio total	0,001 mg/l
Oxígeno Disuelto	> 2 mg/l
pH	3,8 -10,5
Plata total	0,05 mg/l
Plomo total	0,05 mg/l
Selenio	0,01 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Compuestos orgánicos	
Biocidas Organoclorados	0,2 mg/l
Biocidas Organofosforados y Carbamatos	0,1 mg/l
Aspectos biológicos	
Coliformes totales (*)	Media geométrica de al menos 5 muestras mensuales menor a 20000 organismos /100ml
Radiactividad	
Actividad α	0,1 Bq/l
Actividad β	1,0 Bq/l

(*) En función del método de análisis los coliformes se podrán expresar indistinta ente como Número Más Probable (NMP) o Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

}

CAPITULO III

Del control de los vertidos de efluentes líquidos

SECCION I

De las actividades sujetas a control

ARTICULO 12.- Las actividades que se someterán a la aplicación de este Decreto, de acuerdo a la “Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas de las Naciones Unidas”, son las siguientes:

División	Agrupación	Grupo	Título
11	111	1110	Producción agropecuaria.
21	210	2100	Explotación de Minas de Carbón
22	220	2200	Producción de Petróleo Crudo y Gas Natural.
23	230	2301	Extracción de mineral de hierro
		2302	Extracción de minerales no ferrosos
29	290	2901	Extracción de piedra, arcilla y arena.
		2902	Extracción de minerales para fabricación de abonos y elaboración de productos químicos.
		2903	Explotación de minas de sal
		2909	Extracción de minerales
31	311	3110	Fabricación de productos alimenticios, excepto bebidas.
		3111	Matanza de ganado y preparación y conservación de carne.
		3112	Fabricación de productos lácteos
		3113	Envasado y conservación de frutas y legumbres.
		3114	Elaboración de conservas de pescado, crustáceos y otros productos marinos.
		3115	Fabricación de aceites y grasas, vegetales y animales.
		3118	Fábrica y refinería de azúcar.
		3121	Elaboración de productos alimenticios diversos.

		3122	Elaboración de alimentos preparados para animales.
	313	3131	Destilación, rectificación y mezcla de bebidas espirituosas.
		3132	Industrias vinícolas
		3133	Fabricación de cerveza, bebidas malteadas y maltas.
		3134	Industrias de bebidas no alcohólicas y agua gaseosas.
	314	3140	Industria del tabaco.
32	321	3211	Hilado, tejido y acabado de textiles.
	323	3231	Curtidurías y talleres de acabado
		3232	Industria de la preparación y teñido de pieles.
34	341	3411	Fabricación de pulpa de madera, papel y cartón.
		3419	Fabricación de artículos de pulpa, papel y cartón.
35	351	3511	Fabricación de sustancias químicas industriales básicas, excepto abonos.
		3512	Fabricación de abonos y plaguicidas.
		3513	Fabricación de resinas sintéticas, materias plásticas y fibras artificiales, excepto el vidrio.
	352	3521	Fabricación de pinturas, barnices y lacas.
		3522	Fabricación de productos farmacéuticos y medicamentos.
		3523	Fabricación de jabones y preparación de productos de limpieza, perfumes, cosméticos y otros productos de tocador.
		3529	Fabricación de productos químicos no especificados.
	353	3530	Refinación de petróleo.
	354	3540	Fabricación de productos diversos derivados del petróleo y del carbón.
	355	3559	Fabricación de productos de caucho no especificados.
		3560	Fabricación de productos plásticos no especificados.
36	362	3620	Fabricación de vidrio y productos del vidrio.
	369	3692	Fabricación de cemento, cal y yeso.
37	371	3710	Industrias básicas de hierro y acero.

	372	3720	Industrias básicas de metales no ferrosos.
38	381	3819	Fabricación de productos metálicos estructurales no especificados, exceptuando maquinaria y equipo.
	384	3841	Construcciones navales y reparaciones de naves.
		3843	Fabricación de vehículos automóviles.
41	410	4101	Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.
42	420	4200	Obras hidráulicas y suministro de agua.
63	632	6320	Hoteles.
71	711	7115	Transporte por oleoductos o gasoductos.
	712	7123	Servicios relacionados con el transporte por agua.
	719	7192	Depósito y almacenamiento de hidrocarburos y sus derivados.
92	920	9200	Eliminación de desperdicios y aguas residuales, saneamiento y actividades similares
94	949	9490	Servicios de diversión y esparcimiento.
	952	9520	Establecimientos de lavandería, teñido y prelavado.
95	959	9592	Laboratorios fotográficos, incluida la fotografía comercial.

Adaptado de CIIU, Serie M, N° 4, Rev. 2, 1969

Quedan además sujetas al cumplimiento de las disposiciones contenidas en este decreto, aquellas actividades que aparecen enunciadas en la parte III referente a la clasificación detallada propuesta en la “Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas de las Naciones Unidas (CIIU), Serie M, N° 4, Rev. 2, 1969”, prevista en este artículo.

ARTICULO 13.- Quedan también sujetas a las disposiciones contenidas en este Decreto, las actividades que generen efluentes líquidos no incluidas en la lista del artículo anterior, que se señalan a continuación:

a) Actividades cuyos vertidos contengan alguno de los elementos tóxicos o nocivos indicados en el Grupo I del artículo 11.

b) Actividades cuyos vertidos de efluentes superen una Población Equivalente (PE) de 1000 personas en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_{5,20}), sólidos suspendidos o carga microbiana.

c) Actividades cuyos vertidos de efluentes estén afectando desde el punto de vista sanitario áreas recreacionales o de captación de agua para el consumo humano, animal o para riego. Esta condición deberá ser demostrada mediante informe técnico con las respectivas caracterizaciones del efluente líquido y del cuerpo de agua; realizados por especialistas en la materia y laboratorios registrados en el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales.

ARTICULO 14.- Serán objeto de un control especial las actividades contenidas en los artículos 12 y 13 del presente Decreto, cuyos efluentes se encuentren por debajo de una población equivalente de 1000 PE en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_{5,20}), sólidos suspendidos o carga microbiana, que no afecten desde el punto de vista sanitario áreas recreacionales o de captación de agua para el consumo humano, animal o riego. Esta condición deberá ser demostrada mediante informe técnico, con las respectivas caracterizaciones del efluente y del cuerpo de agua, realizadas por especialistas en la materia y laboratorios registrados en el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales.

SECCION II

De la clasificación de los constituyentes en los efluentes líquidos

ARTICULO 15.- Los constituyentes de los efluentes líquidos se agrupan en dos categorías:

I.- GRUPO I: Sustancias para las cuales existe evidencia teórica o práctica de su efecto tóxico, agudo o crónico, de persistencia o de bioacumulación:

1. Compuestos organohalogenados tóxicos y sustancias que puedan dar origen a compuestos de este tipo en el medio acuático.
2. Sustancias cancerígenas.

3. Hidrocarburos.
4. Metaloides, metales y sus compuestos de la siguiente lista: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Cadmio, Cobalto, Cobre, Cromo, Estaño, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Talio, Telurio, Titanio, Uranio, Vanadio y Zinc.
5. Biocidas y sus derivados (Organofosforados, Organoclorados y Carbamatos).
6. Compuestos organosilícicos tóxicos o persistentes.
7. Cianuros, fenoles y fluoruros.
8. Sustancias radiactivas
9. Sustancias sintéticas persistentes que puedan flotar, permanecer suspendidas o sedimentar perjudicando cualquier uso de las aguas.

II.- GRUPO II: Sustancias o parámetros que, aun cuando no se conozca su efecto tóxico, agudo o crónico, generan condiciones en el cuerpo receptor que afectan la biota o perjudican cualquier uso potencial de sus aguas:

1. Materia orgánica carbonácea expresada en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_{5,20}) y Demanda Química de Oxígeno (DQO)
2. Compuestos inorgánicos del fósforo y fósforo elemental
3. Compuestos orgánicos no tóxicos del fósforo
4. Compuestos orgánicos e inorgánicos del nitrógeno
5. Cloruros
6. Sulfatos
7. Detergentes
8. Dispersantes
9. Sólidos suspendidos totales que no contengan elementos tóxicos
10. Color
11. Temperatura
12. pH

13. Organismos coliformes

14. Aceites y grasas

ARTICULO 16.- Los límites de descarga del primer grupo de constituyentes, señalados en el Artículo 15, deberán cumplirse, sin excepción, para todas las descargas a cuerpos de agua, medio marino-costero y subacuático, redes de cloacas y para disposición directa sobre el suelo. Asimismo, deberán cumplirse para la infiltración en el subsuelo, salvo en los casos expresamente previstos en estas Normas. El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales determinará los límites para sustancias que no los tengan fijados, en función de los estudios que presente el administrado.

ARTICULO 17.- Los límites de descarga del segundo grupo de constituyentes, señalados en el Artículo 15, podrán ajustarse a las características actuales del receptor, sujetas a las restricciones que imponga la capacidad de asimilación de éste, aplicando como criterio general que las descargas no alteren la calidad del mismo. En los casos de cuerpos de agua sujetos a una clasificación la calidad de las aguas estará definida por los parámetros que correspondan según el uso a que hayan sido destinadas. El control de estos parámetros se efectuará con base en límites de cargas másicas, en kg/d o en kg de constituyente/unidades de producción (expresadas en la unidad que aplique a cada caso particular).

SECCION III

De las descargas a cuerpos de agua

ARTICULO 18.- A los efectos de este Decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de los efluentes líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, a ríos, estuarios, lagos y embalses; siempre y cuando el cuerpo de agua objeto de la descarga no haya sido clasificado ni posea una reglamentación específica sobre vertidos líquidos.

Parámetros	Límite o rango de cumplimiento
Aceites y grasas	20 mg/l
Aluminio	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cloruros (ríos, lagos y embalses)	500 mg/l
Cloruros (en estuarios)	2000 mg/l
Cobre total	2,0 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Coliformes totales	1000 organismos /100ml
Cromo total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l
Fenoles y sus derivados	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total	10,0 mg/l (5,0 mg/l)**
Hierro total	10 mg/l
Hidrocarburos	20 mg/l
Manganeso total	2,0 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Níquel	2,0 mg/l
Nitrógeno total	40 mg/l (20 mg/l)**
Nitritos + nitratos (expresado como nitrógeno)	10 mg/l
pH	6 – 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sólidos sedimentables	1,0 ml/l

Parámetros	Límite o rango de cumplimiento
Sulfatos (en ríos, lagos y embalses)	500 mg/l
Sulfatos (en estuarios)	1000 mg/l
Sulfuros	0,5 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Biocidas Organoclorados	0,05 mg/l
Biocidas Organofosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Radiactividad	
Actividad α	0,1 Bq/l.
Actividad β	1,0 Bq/l.

(*) En función del método de análisis los coliformes se podrán expresar indistintamente como Número Más Probable (NMP) o Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

** Los valores entre paréntesis corresponden a los límites de cumplimiento para vertidos de efluentes líquidos en ríos tributarios a embalses o directamente en éstos, que sean utilizados como fuente de abastecimiento para agua potable El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales definirá, previa justificación y conforme a la evaluación de la propuesta y del estudio técnico que presente el solicitante, la zona de mezcla térmica en la cual se podrá permitir la descarga de un efluente con temperatura diferente a la del cuerpo receptor. En ríos la variación de la temperatura media de la zona de mezcla, comparada con la temperatura aguas arriba del vertido del efluente líquido, no superará los 3°C. En lagos y embalses la diferencia de temperatura del efluente líquido con respecto al cuerpo de agua receptor no superará los 3°C.

ARTICULO 19.- El Ejecutivo Nacional, mediante Decreto, podrá establecer límites diferentes para los vertidos de efluentes líquidos a determinados cuerpos de agua, en función de sus características específicas. Igualmente, podrá fijar el caudal de diseño de control para cada curso de agua receptor y condiciones especiales para determinadas épocas del año, conforme a la variación de las condiciones de caudal por cada período estacional, y límites de efluentes líquidos para determinados sectores industriales en los parámetros que les sean relevantes, sujetos a las restricciones adicionales que imponga la capacidad de asimilación del cuerpo de agua receptor.

ARTICULO 20.- Las descargas subacuáticas se harán a una profundidad y distancia tal que se logre una rápida dilución inicial y una satisfactoria difusión y asimilación por el medio receptor. El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales establecerá en la autorización correspondiente, las condiciones particulares para las descargas subacuáticas. A tales efectos, los interesados presentarán un estudio de impacto ambiental y socio cultural, que contemple lo siguiente, en los casos en que aplique:

1. Uso actual y potencial del cuerpo de agua receptor
2. Descripción de las características de la tubería y efluentes a descargar.
3. Estudios sobre la calidad físico-química y bacteriológica del agua en el área de influencia de la descarga.
4. Estudio batimétrico y de corrientes subacuáticas y superficiales en el sitio de la descarga.
5. Configuración y morfología de la línea de costa.
6. Características hidrográficas.
7. Geología de la zona.
8. Difusión horizontal y vertical estimada y posible estratificación del campo de aguas residuales.

Realmente se trata de estratificación del campo de aguas servidas? Nos causa un poco de ruido, debido a que la estratificación, debería ser del cuerpo de agua, ya sea causado por la entrada del agua residual (estratificación hidráulica), térmica o química.

SECCION IV

De las descargas al medio marino-costero

ARTICULO 21.- A los efectos de este Decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de los efluentes líquidos que sean o vayan a ser descargados, en forma directa o indirecta, al medio marino-costero; siempre y cuando el cuerpo de agua objeto de la descarga no haya sido clasificado y posea una reglamentación específica sobre vertido de efluentes líquidos.

Parámetros	Límite o rango de cumplimiento
Aceites y grasas	20 mg/l
Aluminio	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	2,0 mg/l
Coliformes totales	1000 organismos /100ml
Cromo Total	0,5 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno	350 mg/l
Parámetros	Límite o rango de cumplimiento
Detergentes	2,0 mg/l
Fenoles y sus derivados	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total	10,0 mg/l P
Hidrocarburos	20 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Níquel	2,0 mg/l
Nitrógeno total	40 mg/l N
pH	6 - 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos suspendidos	80 mg/l
Sólidos sedimentables	1,0 ml/l
Sulfuros	2,0 mg/l
Zinc	5,0 mg/l
Biocidas Organoclorados	0,05 mg/l
Biocidas Organofosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Radiactividad	
Actividad α	0,1 Bq/l.
Actividad β	1,0 Bq/l.

(*) En función del método de análisis los coliformes se podrán expresar indistintamente como Número Más Probable (NMP) o Unidades Formadoras de Colonias (UFC).

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales definirá, previa justificación y conforme a la evaluación de la propuesta y del estudio técnico que presente el solicitante, la zona de mezcla térmica en la cual se podrá permitir la descarga de un

efluente con temperatura diferente a la del cuerpo receptor. La variación de temperatura media en la zona de mezcla térmica, comparada con la temperatura media del medio marino - costero receptor, no debe ser mayor de 3°C.

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales podrá establecer una variación de temperatura distinta a la establecida en este artículo, ajustada a los niveles de termotolerancia de los organismos existentes en el ecosistema a ser afectado, de conformidad con los resultados de los estudios técnicos pertinentes.

ARTICULO 22.- Quienes realicen operaciones de explotación o exploración petrolera en la Plataforma Continental y la Zona Económica Exclusiva, dispondrán de los sistemas necesarios para evitar la descarga de hidrocarburos o la mezcla de ellos, al medio marino.

SECCION V

De la descargas a redes de cloacas

ARTÍCULO 23.- A los efectos de este Decreto se establecen los siguientes rangos y límites máximos de calidad de los efluentes líquidos que sean o vayan a ser descargados, a las redes de cloacas.

Parámetros	Límite o rango de cumplimiento
Aceites y grasas	70 mg/l
Aluminio	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cobre total	2,0 mg/l
Cloruros	750 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cromo total	0,5 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO _{5,20})	350 mg/l
Demanda Química de Oxígeno	900 mg/l
Detergentes	8,0 mg/l
Fenoles y sus derivados	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total	10,0 mg/l P
Hidrocarburos	20,0 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Niquel	2,0 mg/l
Nitrógeno total	40 mg/l
Nitritos + Nitratos	10 mg/l N
pH	6 - 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,05 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sólidos sedimentables	1,0 ml/l
Sólidos suspendidos	400 mg/l
Sulfatos	400 mg/l
Sulfuros	2,0 mg/l
Zinc	10,0 mg/l

Parámetros	Límite o rango de cumplimiento
Biocidas Organoclorados	0,05 mg/l
Biocidas Organofosforados y Carbamatos	0,25 mg/l
Radiactividad	
Actividad α	0,1 Bq/l.
Actividad β	1,0 Bq/l.

SECCION VI

De las descargas o infiltración en el subsuelo

ARTICULO 24.- Se prohíbe la descarga, infiltración o inyección en el suelo o en el subsuelo de efluentes líquidos, cuyo contenido de sustancias pertenecientes al Grupo I, especificadas en el artículo 15, superen los límites establecidos en el artículo 18 de este Decreto.

ARTICULO 25.- Se exceptúa de lo dispuesto en el artículo anterior a las actividades de inyección asociadas a la exploración y explotación de hidrocarburos en acuíferos no aprovechables y yacimientos de petróleo, en los siguientes casos:

A.- En acuíferos no aprovechables: se permitirá, previo análisis técnico, económico y ambiental de alternativas, cuando se trate de:

- Lodos de perforación en base a agua y aceite en etapas de exploración.
- Lodos de perforación en base a agua en etapas de desarrollo y explotación.
- Lodos de perforación en base a agua y aceite, aguas de formación y aguas efluentes de procesos de producción de crudos, en acuíferos lenticulares, previa determinación de su condición como tal, en etapas de desarrollo y producción.

La inyección se efectuará cumpliendo las siguientes condiciones:

A.1. La profundidad del intervalo receptor deberá ser mayor de 200 m por debajo de la base del acuífero aprovechable más profundo. La separación entre el acuífero aprovechable y no aprovechable debe contener como mínimo una capa impermeable con un espesor de por lo menos 30 metros o una capa semipermeable de por lo menos 200 m.

A.2. Acuíferos receptores con barreras impermeables supra e infrayacentes de espesor no menor de 2 m cada una, litológicamente constituidas con material arcilloso, lutítico o equivalente, que impidan el movimiento vertical del fluido inyectado.

A.3. Condiciones petrofísicas (permeabilidad, porosidad y cantidad de arcilla) y de espesor y desarrollo lateral de la capa de almacén que garanticen la inyección sin exceder la presión de fractura de las barreras impermeables ni limiten la capacidad de almacenamiento del volumen de lodo planificado para la inyección. A tales efectos, se deberá cumplir con las siguientes condiciones mínimas:

- a) Permeabilidad: mayor de 50 milidarcy.
- b) Cantidad de arcilla: menor de 15%.
- c) Porosidad: mayor de 12%.
- d) Espesor de la capa almacén: mayor a 3 metros.

A.4. La extensión lateral del intervalo receptor debe ser lo suficientemente amplia para minimizar las presiones de inyección y evitar avance del frente hacia áreas de descarga.

A.5. El fluido inyectado debe ser compatible con las aguas de formación y minerales presentes en el intervalo receptor, bajo condiciones naturales o a través de tratamiento para evitar taponamiento y desarrollo de presiones excesivas.

A.6. El movimiento lateral del fluido en el intervalo receptor debe ser suficientemente lento bajo condiciones naturales para evitar desplazamiento de efluentes fuera del área de inyección.

A.7. Sellos de cemento entre el revestimiento y la formación que eviten la migración del fluido inyectado hacia el acuífero aprovechable más profundo.

A tales efectos, se deberá cumplir con las siguientes especificaciones:

- a) Longitud mínima de 30 m para el sello supra yacente del intervalo receptor.
- b) Longitud mínima de 200 m para el sello de la base del acuífero aprovechable más profundo.

A.8. Se debe mantener la integridad mecánica del pozo inyector

B. En yacimientos de petróleo y acuíferos asociados: cuando se trate de aguas de formación, aguas residuales de procesos de producción de crudos, lodos de perfora-

ción, hidrocarburos o desechos de hidrocarburos. Las condiciones para la inyección se fijarán de acuerdo a las características de cada yacimiento.

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales podrá ordenar la perforación de pozos a nivel de acuíferos aprovechables, como medida de monitoreo y control para operaciones permanentes de inyección. Asimismo, podrá exigir el uso de técnicas como registros eléctricos, de flujo, de presión y de temperatura, pruebas de cementación y de cualquier otro mecanismo que permita el seguimiento y control del avance del fluido inyectado en el acuífero o yacimiento receptor.

ARTICULO 26.- Las actividades de descargas, infiltración o inyección en el suelo o subsuelo establecidas en este Capítulo quedan sujetas a la autorización previa del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. A tales efectos, los interesados presentarán ante el señalado Ministerio un estudio de impacto ambiental y socio cultural que contemple lo siguiente:

A.- Para las actividades de descargas, infiltración e inyección, que cumplan con las especificaciones del artículo 24:

- 1.- Identificación del solicitante y del sitio con coordenadas geográficas y UTM, en un mapa 1:25.000 de acuerdo al Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar
- 2.- Justificación de la solicitud.
- 3.- Balance hídrico o caracterización hidroclimática del área a afectar
- 4.- Estudios sobre requerimientos hídricos y de nutrientes de la vegetación presente en el área o posibles cultivos a desarrollarse.
- 5.- Estudios de suelos a ser afectados (permeabilidad, porosidad y capacidad de intercambio iónico).
- 6.- Mapa piezométrico indicando líneas y dirección del flujo de las aguas subterráneas

7.- Características de los efluentes a ser descargadas (cantidad y calidad físico-química y bacteriológica).

8.- Línea base de la caracterización físico-química de las aguas subterráneas del área a ser afectada.

B.- Para las actividades de inyección asociadas a la exploración y explotación de hidrocarburos, contemplados en el artículo 25:

1. Identificación del solicitante y del sitio con coordenadas geográficas y UTM, en un mapa 1:25.000 de acuerdo al Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar
2. Localización de la instalación para la cual se solicita el permiso.
3. Justificación de la solicitud.
4. Cantidad, calidad y variación que presenta el fluido a inyectar.
5. Características hidrogeológicas del intervalo receptor, tal como permeabilidad, cantidad de arcilla, porosidad, descripción litológica, nombre de la formación estratigráfica, espesor y extensión lateral de la capa almacén, registros de resistividad y gamma, potencial espontáneo, neutrónico y sísmico donde se refleje completamente la capa receptora /almacén.
6. Características del acuífero receptor, indicando localización, calidad de las aguas.
7. Características estructurales, confinamiento y riesgo sísmico.
8. Prueba de cementación del pozo y registros que avalen la calidad de la cementación.
9. Sistema de inyección del pozo: Capacidad de inyección, carga potenciométrica, presiones de inyección, frecuencia del proceso.
10. Programa de emergencia para ser aplicado al proceso, que incluya medidas de saneamiento.
11. Plan para cumplir con los requerimientos de monitoreo de los fluidos inyectados, presiones de inyección, tasa de inyección y volumen acumulado.
12. Presión de fractura de capas confinantes del intervalo receptor.

13. Plan de taponamiento y desincorporación.

SECCION VII

Del control de otras fuentes contaminantes

ARTICULO 27.- Se prohíbe:

1. El uso de sistemas de drenaje de aguas pluviales para la descarga de efluentes líquidos.
2. La descarga de desechos sólidos a los cuerpos de agua y a las redes de cloacas.
3. La dilución de efluentes con agua limpia para cumplir con los límites establecidos en el presente Decreto.
4. La descarga, en los cuerpos de agua, de aguas residuales provenientes de la limpieza de pozos sépticos y baños portátiles.
5. La descargar de efluentes considerados peligrosos, cuya disposición y tratamiento deberá realizarse bajo la normativa ambiental legal vigente aplicable.

Los establecimientos que estén utilizando los sistemas de drenaje de aguas pluviales deberán adecuarse a los requisitos señalados en la sección III de este Capítulo.

ARTICULO 28.- Las aguas residuales generadas en los rellenos sanitarios lixiviados- cumplirán con los rangos y límites establecidos en el artículo 12 de este Decreto.

ARTÍCULO 29.- Se prohíbe a todos los buques que naveguen en aguas jurisdiccionales, verter en éstas sustancias, materiales y desechos peligrosos; desechos sólidos no peligrosos, aguas residuales producidas a bordo y aguas de lastre que no cumplan con los límites establecidos en los artículos 18 y 20 de este Decreto.

ARTICULO 30.- Todo puerto deberá disponer de un sistema de recepción y tratamiento de las aguas residuales, que pueda ser utilizado por las embarcaciones que atraquen en él. Los puertos que a la fecha de publicación del presente Decreto no dispongan de estas instalaciones deberán someterse, en lo que le sea aplicable, al proceso de adecuación previsto en el Capítulo V.

CAPITULO IV

Del seguimiento y control

ARTÍCULO 31.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, a los fines a dar cumplimiento al seguimiento y control de las actividades productivas, contempladas en el artículo 12 y 13, llevará el Registro de Actividades Capaces de Degradar el Ambiente (RASDA).

ARTÍCULO 32.- Las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, que se propongan iniciar cualquiera de las actividades contempladas en los artículos 12 y 13, deberán inscribirse en el RASDA, del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, en la correspondiente Dirección Estatal Ambiental, antes del inicio de sus actividades. Así mismo, deberán inscribirse en este Registro las empresas en funcionamiento a la fecha de publicación de este Decreto, que no hayan cumplido con este trámite. El RASDA deberá ser actualizado cuando ocurran cambios en: Responsable legal, ubicación, materia prima y otros insumos, procesos operacionales, productos y desechos.

ARTICULO 33.- La inscripción en el RASDA a que se refiere el artículo 32, se efectuará llenando los datos que aparecen en la planilla y conforme al instructivo anexo a la misma, la cual estará a la disposición en las oficinas regionales del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Una vez consignada la planilla, debidamente llena y cumplidos los requisitos exigidos en el mencionado instructivo, se le otorgará al administrado la correspondiente constancia de inscripción, en la cual se hará mención expresa al procedimiento a seguir para determinar la frecuencia de presentación de las caracterizaciones de acuerdo a lo previsto en el Artículo 34 del presente Decreto.

ARTICULO 34.- Los responsables de las actividades inscritas en el RASDA, cuya descarga sea continua, deberán presentar ante el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales la caracterización de sus efluentes al menos una vez cada tres (3) meses. Para aquellas actividades cuya descarga sea eventual, la frecuencia de presentación de la caracterización será fijada por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos

sos Naturales, previa solicitud de la parte interesada, sustentada con un informe técnico realizado por especialistas en la materia y debidamente documentada.

ARTÍCULO 35.- Los parámetros a determinar en la caracterización a que se refiere el artículo 34 serán propuestos por el interesado según las características de la actividad a realizar y a partir de las listas de las secciones III, IV y V del Capítulo III del presente Decreto. Los parámetros propuestos estarán sujetos a la conformidad del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, el cual podrá modificarlos mediante acto motivado debidamente notificado al interesado. En caso que se produzcan cambios en los patrones de producción de una actividad particular, éstos deberán considerarse para la determinación de los parámetros a reportar en la caracterización.

ARTICULO 36: Se exceptúan del cumplimiento de lo dispuesto en el artículo anterior, las actividades que se encuentran en proceso de adecuación, conforme a lo señalado en el Capítulo V de estas Normas y las actividades contenidas en el Artículo 14, cuyos efluentes se encuentren por debajo de una población equivalente de 1.000 PE en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendedos o carga microbiana, que mediante informe técnico acompañado de la respectiva caracterización del efluente y del cuerpo de agua, realizado por especialista en la materia y laboratorio registrado en el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, demuestren que no afectan desde el punto de vista sanitario áreas recreacionales o de captación de aguas para el consumo humano, animal o riego.

ARTICULO 37.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, previa solicitud debidamente justificada de parte interesada, podrá extender la frecuencia para la presentación de la caracterización hasta una vez cada cuatro (4) meses, para aquellas actividades que hayan demostrado durante dos (2) años, a través de ocho (8) caracterizaciones consecutivas, que cumplen cabalmente con los límites de descarga.

ARTICULO 38.- Los responsables de las actividades inscritas, deberán mostrar la constancia de inscripción en el RASDA y de la caracterización o evaluación correspondiente, a los funcionarios de guardería ambiental y las autoridades ambientales que, por razones de vigilancia y control, así lo requieran.

ARTICULO 39.- La información suministrada para los fines del RASDA será de carácter confidencial en lo relativo a la licencia industrial de producción, pero no así los datos concernientes a la caracterización de los efluentes líquidos.

CAPITULO V

Del régimen de adecuación

ARTICULO 40.- Los responsables de las actividades comprendidas en el listado del artículo 12 y en el artículo 13, que para la fecha de publicación de este Decreto no hayan alcanzado los límites de descarga establecidos en los artículos 18, 21 y 23, o no tengan aprobados cronogramas de adecuación, deberán presentar ante las correspondientes Direcciones Estadales del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, dentro de los primeros cuatro (4) meses posteriores a la fecha de entrada en vigencia de estas normas, una propuesta de adecuación de los efluentes líquidos, la cual debe incluir lo siguiente:

- a) La descripción de la actividad, incluyendo la localización, insumos, tecnologías, procesos productivos, recursos humanos y servicios.
- b) La descripción de los equipos y procesos generadores de los efluentes.
- c) La caracterización cuantitativa y cualitativa de los efluentes generados, o en su defecto los cálculos teóricos sobre los mismos.
- d) La información disponible sobre las características, cualitativas y cuantitativas, del cuerpo de agua en el área de la descarga, de estar disponible.
- e) Los objetivos específicos, características, alcances y condiciones del proceso de adecuación.
- f) La descripción de las acciones de adecuación a la normativa ambiental en proceso de ejecución.
- g) Opciones tecnológicas o alternativas de técnicas disponibles tendientes a la reducción en la generación de efluentes, reuso y reciclaje.

- h) La propuesta sobre acciones a desarrollar, presentadas de un modo cronológico, con la indicación de sus fechas de ejecución y resultados esperados del proceso de adecuación.
- i) Los datos disponibles sobre la rentabilidad de la empresa o sector, que se estimen necesarios para la toma de decisiones sobre el proceso de adecuación.
- j) La propuesta de un plazo definido para el traslado o clausura de la actividad ante la imposibilidad técnica o financiera para la adecuación a la normativa ambiental, de ser el caso.

ARTICULO 41.- Quienes a la fecha de publicación de estas normas tengan aprobados cronogramas de adecuación de los vertidos de efluentes líquidos a las normas ambientales, continuarán el desarrollo del cronograma aprobado. Aquellos que por dificultades técnicas o financieras no hayan completado el proceso de adecuación, podrán solicitar ante el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales la revisión de las propuestas, con la justificación detallada de las circunstancias que lo motivan y la actualización de los recaudos exigidos en el artículo anterior.

ARTICULO 42.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales evaluará la propuesta de adecuación y, en caso de no considerarla adecuada, lo comunicará al interesado para que éste efectúe las correcciones correspondientes y proceda, dentro de los treinta (30) días consecutivos siguientes a la presentación de una propuesta definitiva de adecuación.

ARTICULO 43.- Presentada la propuesta definitiva de adecuación de los vertidos de efluentes líquidos, el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales realizará su evaluación y de ser procedente, autorizará la continuación temporal de la actividad y fijará las condiciones, limitaciones y restricciones bajo las cuales ésta se desarrollará, mientras dure el proceso de adecuación.

ARTICULO 44.- La propuesta de adecuación y la autorización correspondiente serán publicadas por cuenta del administrado en un diario de circulación regional en el área de influencia de la industria, a los efectos de informar a la ciudadanía y promover su participación en el seguimiento del proceso.

ARTICULO 45.- Cumplida la propuesta de adecuación, los interesados presentarán la caracterización de sus efluentes líquidos, conforme a lo establecido en el artículo 34 de estas normas.

ARTICULO 46.- El incumplimiento de los plazos señalados en los artículos 40 y 42, de las propuestas de adecuación de los efluentes líquidos y de las condiciones, limitaciones y restricciones para el desarrollo de actividades mientras dura el proceso de adecuación, por causas imputables al administrado, dará lugar al inicio del respectivo procedimiento administrativo y a la aplicación de las medidas de seguridad establecidas en la Ley Orgánica del Ambiente, sin perjuicio de la responsabilidad penal prevista en la Ley Penal del Ambiente.

CAPITULO VI

Disposiciones finales y transitorias

ARTICULO 47.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, a solicitud de la parte interesada, podrá otorgar constancias de cumplimiento de la normativa ambiental en materia de vertidos de efluentes líquidos, a aquellas actividades inscritas en el Registro de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente para las cuales se hayan presentado las caracterizaciones correspondientes, con resultados satisfactorios, y a quienes hayan cumplido con su proceso de adecuación.

ARTÍCULO 48.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales podrá autorizar por un período no mayor de un año, pruebas para la operación inicial de procesos o de equipos para el control del vertido de efluentes líquidos.

ARTICULO 49.- En casos de vertidos de efluentes líquidos imprevisibles en violación de estas Normas por situaciones de emergencia o de paradas de plantas no programadas, los responsables de la actividad lo notificarán al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales a la brevedad posible y activarán los planes de emergencia o contingencia a que haya lugar. Cuando se trate de paradas por mantenimiento planificadas, el interesado notificará al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Natura-

les con tres (03) meses de anticipación, a objeto de fijar las condiciones de operación y tomar las medidas que sean pertinentes.

ARTÍCULO 50.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales llevará un Registro de Laboratorios Ambientales cuyas instalaciones y funcionamiento estén debidamente adecuados para efectuar, con un máximo de garantías, la captación y análisis de las muestras de efluentes líquidos.

A los efectos de este Decreto, sólo estarán autorizados para realizar las caracterizaciones de los efluentes líquidos los laboratorios cuya inscripción en el Registro de Laboratorios Ambientales esté vigente a la fecha de realización de las respectivas caracterizaciones.

A los efectos del control de los Laboratorios Ambientales, el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales llevará el "Programa de Verificación de la Calidad Analítica de los Laboratorios Ambientales", cuyo costo será sufragado por dichos establecimientos.

Los Laboratorios Ambientales a que se refiere este artículo, llevarán a cabo todas las acciones de captación, preservación y análisis de las muestras mediante los procedimientos descritos en las Normas Venezolanas Covenin o, en su defecto, en el manual "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", publicado por la American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, en su más reciente edición, u otro método equivalente aprobado por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales.

ARTÍCULO 51.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales podrá ordenar la aplicación de las medidas de seguridad que sean necesarias para el control de aquellas actividades que por las características o peligrosidad de sus efluentes líquidos, así lo ameriten.

A los efectos señalados en este artículo, se dará prioridad en la apertura de los procedimientos a las empresas que no estén inscritas en el RASDA

ARTÍCULO 52.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales y los responsables de las actividades generadoras de efluentes líquidos podrán suscribir con-

venios para la formulación y ejecución de programas dirigidos a la internalización del costo ambiental derivado de los efectos generados en el área de influencia de sus descargas.

ARTÍCULO 53.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, a los fines de lograr la participación de la comunidad, propiciará la creación de Juntas Asesoras Regionales y Locales para el seguimiento de las acciones de control de la calidad de las aguas. Dichas Juntas estarán integradas por representantes designados por el Ministerio de Salud y Desarrollo Social, Ministerio de la Defensa, Ministerio de Infraestructura, los ejecutivos estatales, alcaldías, corporaciones regionales de desarrollo, empresas encargadas de los servicios de agua potable y saneamiento, universidades, comunidad organizada, asociaciones de industriales y comerciantes y sindicatos.

ARTÍCULO 54.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales practicará las visitas, inspecciones y comprobaciones que sean necesarias para verificar el adecuado cumplimiento de las disposiciones contenidas en estas normas.

ARTÍCULO 55.- Los costos de las inspecciones y comprobaciones realizados con motivo de solicitudes presentadas por los administrados, serán sufragados por éstos, mediante aportes a los Servicios Autónomos del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales.

ARTICULO 56.- La Comisión Nacional de Normas Ambientales, creada por decreto N° 2.014 de fecha 26 de septiembre de 2002, publicada en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela N° 37.563 de fecha 5 de noviembre 2002, mantendrá un proceso de revisión y evaluación de las disposiciones técnicas contenidas en estas Normas, a los efectos de su mayor conformidad con la realidad ambiental y socioeconómica del país y en atención a la dinámica científica y técnica.

ARTICULO 57.- El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales hará una amplia difusión de las presentes normas a través de las Asociaciones Gremiales, Cámaras de Industriales y Comerciantes, Asociaciones de Vecinos y demás Comunidades Organizadas interesadas en su cumplimiento, a fin de transmitir la importancia del control de los efluentes líquidos susceptibles de degradar el medio acuático como

una forma de preservar y mejorar la calidad de las aguas, para proteger la salud y bienestar de la población.

ARTICULO 58.- Se deroga el Decreto No. 883 de fecha 11 de Octubre de 1995, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.021 Extraordinario de fecha 18 de Diciembre de 1995.

ARTICULO 59.- El o la Ministro (a) del Ambiente y de los Recursos Naturales queda encargado (a) de la ejecución del presente Decreto.