



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

**“MAPA DE SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS EN EL
ÁREA MILAGRO - CHOVO Y SUS APLICACIONES EN
LA DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE
CAPTACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA.”**

**Tópico de Graduación
Previa la obtención del título de:**

INGENIERO GEÓLOGO

Presentada por:

**ALBERTO LORENZO BENITES CÁRDENAS
DANNY MICHAEL CASTELLANOS GUERRA**

**GUAYAQUIL – ECUADOR
2002**

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL y a la FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA, por haberme dado el privilegio de pertenecer a tan preciada Institución, y enriquecerme con todos los conocimientos aquí adquiridos.

Al Ingeniero Jorge Calle García, por haber sido el director de Tópicos y brindarnos desinteresadamente esa ayuda necesaria para completar nuestros estudios, a los profesores que colaboraron con sus conocimientos en el desarrollo del presente Tópico de Graduación, Dr. Paúl Carrión, Ing. Enrique Luna e Ing. Francisco Torres y en general a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron para la culminación de este ciclo.

A los compañeros de clase Washington Sevilla, Ernesto Barragán y en especial a Danny Castellanos, con quien comparto la autoría del presente trabajo.

Dedicatoria

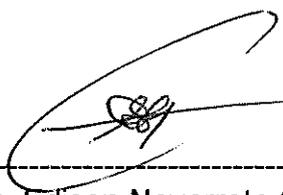
A las personas que siempre me brindaron su confianza por sobre todas las cosas, y supieron creer en mi, con todo el amor del mundo para mis progenitores, mis **Señores Padres: RODOLFO Y MARILYN.**

Al amigo que siempre supo encaminarme hacia lo bueno y mejor, y que con su ejemplo me ayudó a alcanzar la meta donde estoy ahora, mi hermano **PAULINO RODOLFO.**

A quienes se convirtieron en una razón muy fuerte para continuar en este camino; mi hermano **DIEGO**, mi hija **DARLITA**, y mi esposa **YADIRA.**

A mis **ABUELOS, TÍOS, DEMÁS FAMILIARES** y **AMIGOS** que sé que sienten este triunfo como suyo, gracias.

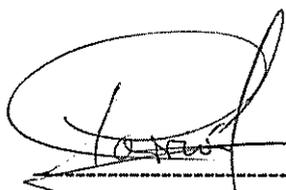
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Edison Navarrete C.
DECANO DE LA FICT
PRESIDENTE



Ing. Jorge Calle G.
DIRECTOR DEL TÓPICO.



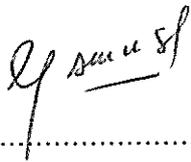
Dr. Paúl Carrión M.
VOCAL



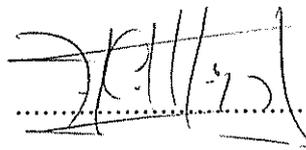
Ing. Francisco Torres.
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, corresponden exclusivamente a su autor; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".



Alberto Benites Cárdenas



Danny Castellanos Guerra

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	I
ÍNDICE GENERAL.....	II
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES.....	3
1.1. Trabajos Previos.....	3
1.2. Ubicación y Extensión.....	6
1.3. Ubicación Geológica.....	7
1.4. Meteorología.....	8
CAPÍTULO 2	
2. GEOLOGÍA.....	10

2.1. Medio Fluvial.....	10
2.1.1. Las Estructuras.....	11
2.1.2. Los Abanicos Aluviales.....	13
2.1.3. Morfología de los Abanicos Aluviales.....	15
2.2. Geología Regional.....	18
2.2.1. Estructura General.....	18
2.2.2. Litología.....	20
2.3. Geología Local.....	22
2.4. Geomorfología.....	23
2.5. Hidrogeología General.....	23
2.5.1. Breve Historia de la Hidrogeología.....	25
2.5.2. El Ciclo Hidrológico.....	28
2.5.3. La Ecuación Básica de la Hidrogeología.....	30
2.5.4. Movimiento del Agua Subterránea.....	33
2.5.5. Los Acuíferos de la Zona de Estudio.....	37
2.5.6. Recarga de las Aguas Subterráneas.....	42

CAPÍTULO 3

3. ELABORACIÓN DEL MAPA DE SUPERFICIES

PIEZOMÉTRICAS.....	46
3.1. Obtención de los Mapas Piezométricos.....	46
3.2. Inventario de Recursos Hídricos.....	46

3.2.1. Inventario de Pozos.....	46
3.2.2. Medida de los Niveles Piezométricos.....	49
3.3. Tabla de Datos.....	51
3.4. Traslado de los Niveles Piezométricos.....	53

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	54
4.1. Movimiento de Aguas Subterráneas.....	54
4.2. Zonas de Alimentación y Drenaje Regionales.....	60
4.3. Determinación de las Zonas Ideales para la Perforación de Pozos.....	63

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1. Conclusiones.....	68
5.2. Recomendaciones.....	70

APENDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

CEDEGE	Comisión de Estudio para el Desarrollo de la Cuenca del Guayas
INERHI	Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos
LH, LPH	Laminaciones Planares Horizontales
LOH	Laminaciones Oblicuas Planares
LOA	Laminaciones Oblicuas Arqueadas o en Canales
N. E.	Nivel Estático
N. T.	Nivel Topográfico
N. P.	Nivel Piezométrico
ZIP	Zona Ideal de Perforación
m	Metro
m ²	Metro Cuadrado
Km	Kilómetro
km ²	Kilómetro Cuadrado
Km ³	Kilómetro Cúbico

SIMBOLOGÍA

T	Transmisividad
ϕ	Porosidad
K	Coefficiente de Permeabilidad de DARCY
I	Gradiente Hidráulico
Z	Cota de Altura
H	Nivel Piezométrico
h	Nivel Estático

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1.1 Estructuras en los conglomerados.....	13
Figura 2.1.2 Disposición de los abanicos aluviales en la desembocadura de las torrenteras en un valle grande.....	15
Figura 2.1.3 Otro tipo de abanico aluvial.....	17
Figura 2.1.4 Vista en perfil de un abanico aluvial.....	18
Figura 2.5.1 Acuíferos y pozos.....	26
Figura 2.5.2 Ciclo hidrológico.....	30
Figura 2.5.3 Flujo de agua subterránea.....	35
Figura 2.5.4 Principales tipos de porosidad.....	35
Figura 2.5.5 Ejemplo de una serie de rocas estratificadas con distintas propiedades hidrológicas.....	38
Figura 3.1 Determinación del nivel piezométrico.....	52
Figura 4.1.1 Eje de flujo.....	56
Figura 4.1.2 Dirección de flujo.....	57
Figura 4.1.3 Eje de drenaje.....	58
Figura 4.1.4 Manto cilíndrico.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Codificación de las facies y estructuras en depósitos fluviales.....	14
Tabla 2 Reservas Hídricas.....	32
Tabla 3 Propiedades hidrogeológicas de distintas rocas.....	36
Tabla 4 Datos de los pozos privados.....	53
Tabla 5 Datos de los pozos ECAPA-G.....	53
Tabla 6 Datos de los pozos EMAPA-M.....	53
Tabla 7 Datos de los pozos Ingenio Azucarero Valdez.....	54
Tabla 8 Variaciones de la curvatura y del espacio de las curvas de isopiezas en el sentido del flujo, relación con la medida o con las regiones próximas.....	67

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Mapa topográfico de la zona
Plano 2	Mapa de Ubicación de los pozos y ríos
Plano 3	Mapa de Superficies Piezométricas con líneas de flujo y eje de corriente
Plano 4	Mapa de Superficies Piezométricas con las zonas ideales y potenciales de perforación

RESUMEN

El presente trabajo expone la realización de un mapa de superficies piezométricas a partir de un inventario detallado de puntos de agua de la zona en estudio, la cual corresponde al área Milagro - Chovo, que forma parte de la Cuenca Baja del Guayas.

La razón fundamental de la realización del mapa de superficies piezométricas, es precisamente establecer una idea de como el subsuelo permite el movimiento de los fluidos, en este caso el agua subterránea, y así determinar zonas de convergencia que son las ideales para la captación del agua subterránea a través de pozos.

Los procedimientos y los análisis a seguir están basados en los conceptos que brinda G. Castany en su obra "Prospección y Explotación de las Aguas Subterráneas"

Los datos del inventario fueron recolectados en el campo y completados con la ayuda de sus propietarios como son: ECAPA-G; EMAPA-M; INGENIO AZUCARERO VALDEZ y Personas Particulares que de grata manera contribuyeron con la información de los pozos.

INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas representan una riqueza natural, a menudo vital, que se ha emplazado a lo largo del Tiempo Geológico, difícil de incrementar o incluso muchas veces de renovar.

El conocimiento de los recursos de las aguas subterráneas, la evaluación de sus reservas, su explotación racional y su conservación son de vital importancia para la valorización del desarrollo en los campos agrícola, económico e industrial de una región determinada.

Existen una diversidad de procesos y procedimientos para conocer y evaluar los recursos antes mencionados, entre los cuales destacan las prospecciones y exploraciones, basadas en la Geología aplicada a la Hidrología y la Geofísica, por medio de las cuales se determinarán las zonas como ideales para captación o no, y de serlas su posterior evaluación para conocer si son potencialmente explotables o no.

El presente trabajo " Mapa de Superficies Piezométricas en el Área Milagro - Chovo y sus Aplicaciones en la Determinación de las Zonas de Captación del Agua Subterránea ", precisamente se refiere a una de estas varias formas de conocer el comportamiento de las aguas subterráneas, y la influencia que

éstas tengan sobre el medio que las requiere, todo esto basado en el concepto de Mapa de Superficies Piezométricas que se describe a continuación.

Un Mapa de Superficies Piezométricas es un mapa de curvas, las mismas que así dibujadas van a representar las equipotenciales de la superficie piezométrica y no las del conjunto del manto, esto al no ser constante la presión sobre una misma capa vertical en la capa acuífera. Esta aproximación está justificada, comparada con los errores cometidos en el proceso de medición de la profundidad del agua en la obra y, en especial, en las de altitud. Las curvas descritas que dan origen al nombrado mapa, obtenido a partir de los datos de un inventario de puntos de agua, muestran conjuntamente con la topografía la morfología general de los acuíferos y generan una idea al Geólogo de cuales son los lugares propicios para realizar alguna obra de captación además de una visión muy significativa acerca del o de los acuíferos.

Este trabajo de investigación tiene como objetivos principales el conocer: El Movimiento de Aguas Subterráneas; Zonas de Alimentación y Drenaje Regional y la Determinación de las Zonas Ideales para Captación de Agua Subterránea.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES.

1.1. Trabajos Previos.

La zona de estudio forma parte de la Cuenca baja del Guayas, en la cual se han desarrollado una diversidad de trabajos de investigación respecto al comportamiento hidrogeológico de la misma. Dichos trabajos han sido para el presente una ayuda muy importante en cuanto al desarrollo de la zona en mención, instituciones como el INERHI, CEDEGE y demás autores han contribuido con su investigación. Cabe indicar que el INERHI dejó de funcionar y toda su información descansa en CEDEGE. Durante su funcionamiento el INERHI mantuvo su propio programa de control hidrogeológico con la medición de niveles estáticos de agua, de calidad química, de flujos de bases del río, y, con el análisis isotópico, este último conjuntamente con la *Organización Internacional para Energía Atómica de Viena (OIEA)*.

Entre los trabajos previos podemos citar:

- *"Reporte de los Estudios de Factibilidad de los Proyectos Milagro y Manuel J. Calle"*, Chas T. Main, 1968, este estudio recalcó que las aguas superficiales no alcanzarán para más proyectos de riego que los de Milagro con 70 km² y Manuel J. Calle con 150 km². Recomendó una investigación del potencial de las aguas subterráneas de la zona por medio de unas veinte perforaciones.

- *"Investigación de las oportunidades de Desarrollo Económico de la Cuenca del Río Guayas, Ecuador-Reconocimiento Hidrogeológico de la Cuenca Baja del Guayas"*, CEDEGE, febrero de 1970, este trabajo consistió en un reconocimiento hidrogeológico de la zona ubicada entre Quevedo y Guayaquil a lo largo de la cordillera occidental y los ríos Babahoyo, Daule y Guayas. Formuló la primera interpretación de la hidrogeología de la Cuenca baja del Río Guayas, produciendo una serie de mapas sintetizando los datos recogidos.

La amplitud de su zona de investigación, así como la escasez de medios técnicos con la que se dispuso, no permitieron detallar mucho sus resultados. Sin embargo se reconoció los principales rasgos y problemas de la hidrogeología de la zona, como la existencia de agua salada al este de Durán, la existencia de fenómenos artesianos en las cercanías de

Yaguachi y el hecho de que el acuífero tenía mejores cualidades hidráulicas cerca de las laderas de la cordillera. Además se preparo una lista, no exhaustiva, de los pozos de la zona.

- En septiembre de 1972 una misión del programa cooperativo FAO/BIRD celebró una misión de preparación para el otorgamiento de un crédito agrícola. En este trabajo se destacó que los recursos de agua subterránea estaban en el orden de 150 - 200 m³/s para la cuenca del río Guayas, basándose en los caudales de estiaje de los ríos, así como en los valores de evaporación desde la capa freática cerca de la superficie.

- En septiembre de 1975 INHERI finalizó un estudio de hidrogeología de la zona Naranjal - Río Siete la cual está ubicada al sur del área de estudio. Realizó 19 sondeos mecánicos, pruebas de bombeo y análisis físico - químicos de las aguas encontradas. Esto es el primer estudio, al nivel de exploración que se realizó en las cercanías de la Cuenca baja del río Chimbo y, por lo tanto, definió por primera vez los grandes rasgos de la hidráulica subterránea de esta parte del litoral ecuatoriano. Reconoció la presencia de tres acuíferos entre la sierra y el mar y dio estimaciones de valores de almacenamiento total como el volumen que podría ser utilizado de posible recarga de estos acuíferos.

Se estableció un primer cálculo de costo de la utilización del agua subterránea a fines de riego en esta parte de la costa ecuatoriana. Propuso un programa de inversiones para perforaciones de alto caudal y el aprovechamiento de los recursos de agua subterránea.

- *"Proyecto de Utilización de Aguas Subterráneas para el Desarrollo de Yaguachi, Banco de Arena, Milagro, Provincia del Guayas"*, Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos, octubre de 1977, es el primero en dar cuenta de las características estratigráficas de la zona clasificándolas de complejas y casi deltáicas.

- *"Informe Hidrogeológico de la Cuenca Baja del Guayas"*, M. Mifflin, aquí Mifflin hace hincapié en que se debe programar una campaña hidrogeológica efectiva con el objeto de establecer el modelo acuífero y enfatiza la no conveniencia de perforar hacia el oeste de Milagro, en especial a grandes profundidades, para evitar una posible contaminación – intrusión - de agua salobre.

1.2. Ubicación y Extensión.

La zona estudiada se localiza en el litoral ecuatoriano abarcando la parte Centro Oriental de la Provincia del Guayas, en la cual está

incluida la ciudad de Milagro y está comprendida entre las siguientes coordenadas:

De Sur a Norte: 9760000 - 9770000.

De Oeste a Este: 650000 - 661000.

El área comprendida corresponde a una superficie de aproximadamente 110 km², y su altura varía entre ocho y veinte metros.

1.3. Ubicación Geológica.

La región costera del Ecuador geográficamente corresponde a toda el área al Oeste de la Cordillera Occidental de los Andes.

Geológicamente el área de estudio pertenece a una Llanura Aluvial que forma parte de la zona distal de una serie de abanicos aluviales coalescentes de material cuaternario a los que se les ha designado como el cono de deyección del río Chimbo.

La zona en mención esta ubicada en el región Central Sur de la Cuenca Hidrográfica del Guayas, a unos 50 km al Nor-Este de Guayaquil en la ciudad de Milagro y forma parte de la plataforma Babahoyo la cual se caracteriza por tener una cobertura delgada de depósitos del Cenozoico y que está atravesada por una serie de fallas

ocultas como son: Milagro-Guaranda, Puna-Pallatanga y Jambeli-Naranjal

1.4. Meteorología

La zona de estudio es caracterizada por tener una climatología bastante regular, lo que significa que los factores meteorológicos como temperatura, humedad relativa, horas de sol, etc. poseen relativamente poca variabilidad tanto en el aspecto como en el tiempo, de acuerdo a los registros disponibles.

Las temperaturas máximas media anual y mínima media anual en Milagro son de 34,4° C y 16,2° C respectivamente. El promedio mensual de humedad relativa en Milagro varía entre 75% y 87%, teniendo como meses de mayor humedad relativa enero y julio.

El promedio anual de la precipitación para Milagro es de 1.361 mm, a excepción de los años 1982, 1983, 1997, y 1998 donde hubo una precipitación de 688, 3.202, 2.240 y 5.170 mm respectivamente, en el caso de 1982 y 1997 se refiere a los meses de octubre a diciembre; y teniendo valores que superan los 2000 mm entre Marcelino Maridueña y Bucay. Entre enero y mayo llueve cerca de 95% del total anual y las tormentas tienen una duración relativamente larga de 3 a 9 horas.

La evaporación mensual del tanque de la estación Milagro varía entre 91 y 128 mm. Los meses con mayor evaporación son marzo, abril y diciembre. La evaporación anual total es de 1.346 mm.

CAPÍTULO 2

2. GEOLOGÍA

2.1. Medio Fluviátil.

Los ríos nacen en las partes altas de las zonas montañosas. A medida que bajan hasta las zonas planas, los ríos aumentan en importancia y cambian de morfología. En las zonas altas de las montañas son torrenteras de forma casi rectilínea encañonadas entre los flancos de los valles, transportando y depositando material grueso: bloques grandes, guijarros y arenas gruesas.

Generalmente, no se encuentran testigos de torrenteras en las series antiguas ya que las zonas montañosas con fuerte relieve desaparecen por erosión. Sólo se conservan en las series antiguas los sedimentos fluviales que se depositan en las cuencas sedimentarias, es decir los de ríos más distales que pueden ser atrapados en cuencas sedimentarias. Los sedimentos fluviales que más frecuentemente se encuentran en las series antiguas pertenecen ya sea a ríos entrenzados o a ríos en meandros. Principales facies y estructuras sedimentarias en el ambiente fluviátil.

Según Rene Marocco, en el curso "*Caracterización de los Ambientes Sedimentarios en las Series Sedimentarias Antiguas*", en el ambiente fluvial las partículas transportadas y depositadas son guijarros, clastos líticos o minerales y arcillas. En otras palabras, en las cuencas fluviales se acumulan sedimentos detríticos de diferente granulometría en función de varios parámetros: energía del agua, naturaleza litológica de las zonas de aportes sedimentarios, posición de la cuenca, etc.. Las estructuras sedimentarias, que sean de erosión o de acumulación, son las originadas por la energía del agua.

2.1.1. Las Estructuras

Las estructuras que se forman en el ambiente fluvial son muy numerosas; las mismas que se originan en cualquier medio sedimentario en el cual las partículas están arrastradas y depositadas por corrientes de agua. Estas estructuras dependen mucho del caudal de las aguas y del tamaño de las partículas transportadas.

Cuando las partículas transportadas son de gran tamaño, como por ejemplo los conglomerados, la estructura más frecuente

representada es la *imbricación*. Se debe al hecho de que los cantos que se desplazan en el fondo del río alcanzan una posición de equilibrio estable (Fig. 2.1.1). Por esta razón, en un conglomerado, siempre se observan clastos que no presentan la misma imbricación que la mayoría: son clastos que no habían alcanzado su posición de equilibrio estable. También se notan en los conglomerados estructuras *laminadas planares horizontales (LH)*, *oblicuas planares (LOH)*, *arqueadas o en canales (LOA)*.

En las arenas, las estructuras son laminaciones ya sea planares o arqueadas. Dentro de las *laminaciones planares* existen las *horizontales (LPH)* de alta energía (laminaciones relativamente toscas) y de baja energía (muy finas). Las *laminaciones oblicuas arqueadas (LOA)* son de tamaño muy variable en función de la energía del agua, de la cantidad de material transportado, del grano de la arena; generalmente las *LOA* de gran tamaño caracterizan corrientes más fuertes que las *LOA* de tamaño reducido. Las *laminaciones oblicuas planares (LOP)* se forman por progradación de cuerpos sedimentarios; las *LOP* pueden ser de pequeña o gran escala. En forma general la alta energía de corrientes acuosas dan *LPH* muy toscas; bajando la

energía se forma *LOA*, después *LOP* y por fin, las corrientes menos energéticas sólo pueden fabricar *LPH* muy finas en sedimentos finos.

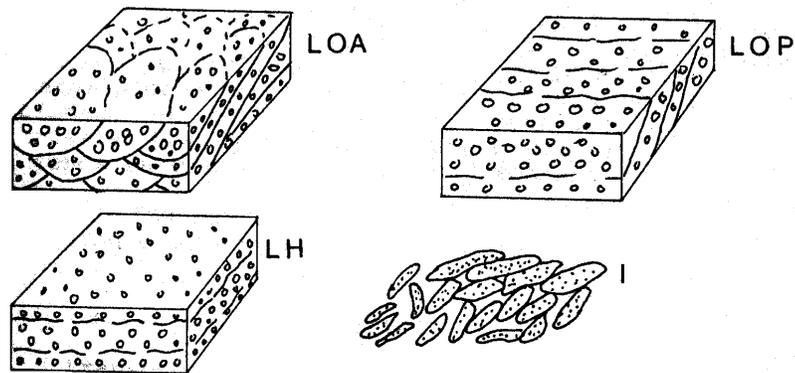


Fig. 2.1.1.- Estructuras en los conglomerados (R. Marocco).

Miall en 1978, estableció una codificación de todas las facies y estructuras que se pueden encontrar en los depósitos fluviales. (Tabla 1).

2.1.2. Los Abanicos Aluviales

Cuando un curso de agua encuentra un desnivel topográfico su carga sólida se deposita bruscamente al pie del desnivel, fabricando así un abanico aluvial. Los grandes abanicos aluviales, los que están conservados en las series sedimentarias antiguas, se forman generalmente en los sitios

Facies Code	Lithofacies	Sedimentary structures	Interpretation
Gms	massive, matrix supported gravel	none	derbis flow deposits
Gm	massive or crudely bedded gravel	horizontal bedding, imbrication	longitudinal bars, lag deposits, sieve deposits
Gt	gravel, stratified	trough crossbeds	minor channel fills
Gp	gravel, stratified	planar crossbeds	linguoid bars or deltaic growths from older bar remnants
St	sand, medium to v. Coarse may be pebbly	solitary (theta) or grouped (pi) trough crossbeds	dunes (lower flow regime)
Sp	sand, medium to v. Coarse may be pebbly	solitary (alpha) or grouped (omikron) planar beds	linguoid, transverse bars, sand waves (lower flow regime)
Sr	sand, very fine to coarse	ripple marks of all types	ripples (lower flow regime)
Sh	sand, very fine to very coarse	horizontal lamination, parting or streaming lineation	planar bed flow (l. And u. flow regimen)
Sl	sand, fine	low angle (< 10°) crossbeds	scour fills, crevasse splays, antidunes
Se	erosional scours with intraclasts	crude crossbedding	scour fills
Ss	sand, fine to coarse, may be pebbly	broad, shallow scours including eta cross-stratification	scour fills
Sse, She, Spe	sand	analogous to Ss, Sh, Sp	eolian deposits
Fl	sand, silt, mud	fine lamination, very small ripples	overbank or waning flood deposits
Fsc	silt, mud	laminated to massive	backswamp deposits
Fcf	mud	massive, with freshwater molluscs	backswamp pond deposits
Fm	mud, silt	massive, desiccation cracks	overbank or drape deposits
Fr	silt, mud	rootlets	seatearth
C	coal, carbonaceous mud	plants, mud films	swamp deposits
P	carbonate	pedogenic features	soil

Tabla 1.- Litofacies y estructuras sedimentarias de depósitos fluviales (Miall, 1978),

donde las torrenteras desembocan en los grandes valles o en los piedemontes cordilleranos (Fig. 2.1.2), por esta razón, los abanicos aluviales son los cuerpos sedimentarios fluviales más proximales que el geólogo encuentra en las series antiguas.

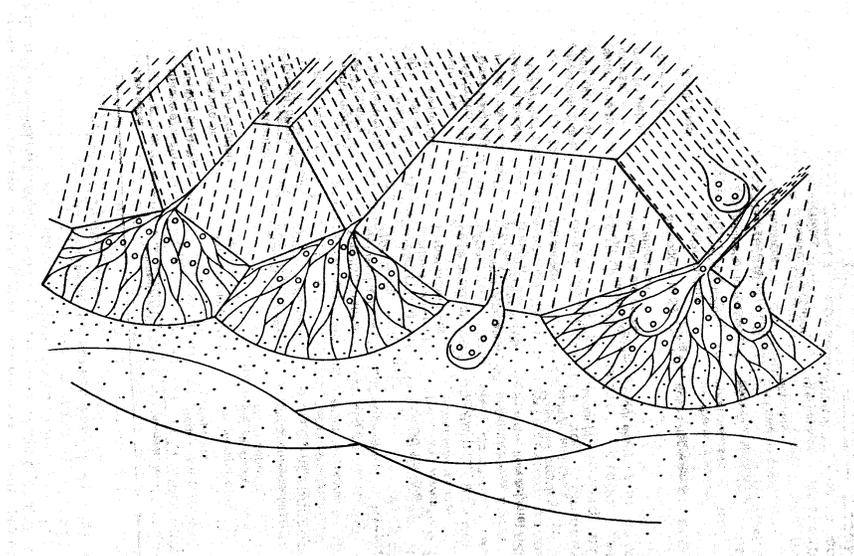


Fig. 2.1.2.- Disposición de los abanicos aluviales en la desembocadura de torrenteras en un valle grande (Rust 1980).

Los abanicos aluviales se forman principalmente en ambientes climático árido a sub-árido, constituyendo cuerpos sedimentarios no muy extensos, de algunos kilómetros hasta algunas decenas de kilómetros de extensión longitudinal. En ambiente climático húmedo, los abanicos aluviales son mucho

menos frecuentes. Cuando existen, presentan una pendiente muy débil y una gran extensión.

2.1.3. Morfología de los Abanicos Aluviales

Visto en mapa (Fig. 2.1.3), un abanico aluvial muestra, desde la desembocadura de la torrentera que lo alimenta hacia las partes más distales, las siguientes divisiones:

- En la zona más próxima la desembocadura del río que alimenta en abanico, dicho río se divide en varios brazos que pueden migrar lateralmente en función de las crecidas sucesivas. En esta parte, que se llama el "abanico superior", la mayoría de los sedimentos que se acumulan son depósitos de canales con estructura típica.

- En la parte intermedia del abanico, los canales del abanico superior se unen para formar pocos canales pero de caudal importante. La mayoría de depósitos que se acumulan en el abanico intermedio son conglomerados no canalizados, con base planar.

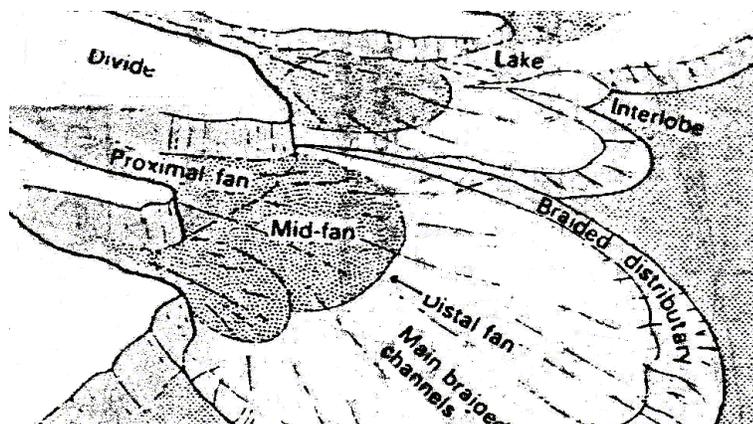


Fig. 2.1.3.- Otro tipo de abanico aluvial (Galloway & Hobday, 1983)

- En el abanico inferior de nuevo vuelven a aparecer varios canales, pero en mucha mayor cantidad que en el abanico superior. Son muy pequeños canales por los cuales transita y se deposita material arenoso mediano, y material fino o muy fino (limo). En el abanico inferior, la mayoría de los depósitos son arenas medianas a finas con estructuras LOA. La pendiente del abanico inferior es mucho menor que en las partes superiores; frecuentemente el abanico inferior corresponde a una zona pantanosa.

Visto en perfil (Fig. 2.1.4), la superficie del cono muestra un punto de inflexión (Punto I en Fig. 2.1.4). Aguas arriba del punto

Las aguas corren sobre el abanico tienden a erosionar; aguas abajo del punto I, las aguas tienden a depositar su carga sólida.

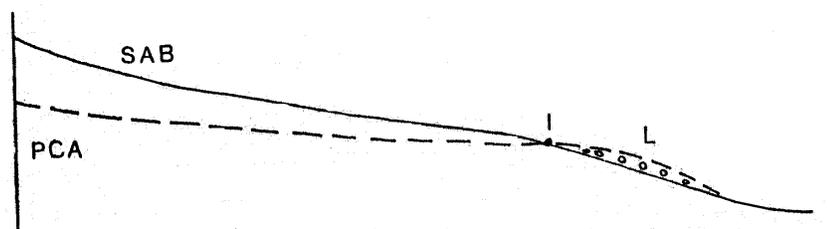


Fig. 2.1.4.- Vista en perfil de un abanico aluvial. SAB: Superficie del abanico; PCA: Perfil del canal; I: Punto de inflexión; L: Acumulación de lóbulos de sedimentos. (R. Marocco).

La naturaleza esencialmente conglomerática de los abanicos aluviales confiere a dichos abanicos una gran permeabilidad. Las aguas no tienen capacidad de correr sobre grandes distancias en la superficie del abanico. Como consecuencia de la infiltración muy rápida de las aguas, se tiene que la materia sólida transportada por el agua se deposita bruscamente formando cuerpos sedimentarios lenticulares y de extensión reducida. La permeabilidad de los conos aluviales explica el hecho que los numerosos canales del abanico superior en parte desaparecen en el abanico intermedio y reaparecen en la parte inferior. Las aguas del abanico superior se infiltran, circulan en el subsuelo y reaparecen en la parte inferior en forma de manantiales que dan origen a la red hídrica muy densa y diminuta de las zonas pantanosas del abanico inferior.

2.2. Geología Regional.

El Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidraulicos INERHI, en el *"Proyecto de Utilización de Aguas Subterráneas para el Desarrollo de Yaguachi, Banco de Arena, Milagro, Provincia del Guayas"* de octubre de 1977, describe a la Geología de la Cuenca Baja del Guayas de la siguiente manera:

2.2.1. Estructura General.

La casi totalidad del dominio costero situado al Oeste de los Andes presenta la estructura de una plataforma cuyo sustrato rígido cubierto por la formación Piñón, ha sido erosionado al final del Cretáceo superior y fragmentados por accidentes verticales contemporáneos de los movimientos andinos, los cuales alcanzaron su paroxismo durante el Mioceno superior.

Los principales rasgos estructurales de la zona costera tienen una orientación Norte 30°, la cual parece ser la más antigua y ha influido sobre las condiciones de sedimentación hasta el Mioceno inferior.

Dicha plataforma estaba sumergida en su casi totalidad al finalizar el Cretáceo. En el Terciario fue progresivamente transgredida por el mar esencialmente gracias a la fragmentación del sustrato.

Durante el Paleoceno - Eoceno inferior un accidente mayor de dirección N 30° levantó la parte de la plataforma situada al Este de la línea Babahoyo - Guayaquil.

Esta región permaneció hasta el Mioceno. Durante el cual se produjo un hundimiento de sus partes Sur y Central permitiendo una transgresión progresiva del mar seguida por el establecimiento de una fosa de pie de monte muy subsidente cuya actividad estuvo prolongada durante el Plioceno y el Pleistoceno.

Sin embargo fue alcanzada progresivamente desde el Sur por las transgresiones del Oligoceno y Mioceno. La región situada a la latitud Norte del cerro Masvale permaneció alta casi hasta la época actual y parece haber sido parcialmente transgredida solo durante el Plioceno y Cuaternario. Esta zona fue sometida a un importante aporte detrítico de carácter fluviodeltáico desde

el Mioceno como consecuencia de los movimientos andinos principales hasta la época actual. Este aporte de material constituye el embalse principal de las aguas subterráneas de la zona.

En la parte superior Este, predominan los sedimentos torrenciales del río Chimbo, los cuales se extienden en un amplio cono de deyección.

2.2.2. Litología.

Las rocas ante-terciarias que bordean la cuenca baja de los ríos Chimbo, Chanchán y Bulubulu pueden ser considerados impermeables; pertenecen a las formaciones calizas y arcillosas cerca de Guayaquil, volcánicas en la sierra y metamórficas en algunos afloramientos cerrando la cuenca hacia el Sur.

El depósito mismo está constituido de gravas, bancos de arena, arcilla, material que fue arrastrado de la parte alta de las cuencas en la Sierra Andina Occidental.

Debido al brusco cambio de gradiente del cauce de los ríos al salir de la sierra se produce un depósito gradual de los sedimentos desde los más gruesos cerca de la montaña hasta, los más finos a lo largo de los ríos Babahoyo y Guayas. Una estratigrafía de estos depósitos se revela muy compleja ya que los sedimentos se depositaron también en un medio fluvial como de estuario o tal vez laguna, lo cual les dio un carácter casi deltáico.

El material de estos depósitos se originan en la Cordillera Occidental, la cual consta de una preponderancia de rocas volcánicas de tipo andesitas o diabasas a preponderancia de feldespatos calco-sódicos y minerales ferromagnesianos. Por eso, en el arena de la zona no se encuentra mucho cuarzo y hasta tiene a menudo color oscuro.

La granulometría del material varía desde el tamaño del bloque hasta arcilla, pero debido al modo de transporte los sedimentos se encuentran en bancos que presentan una relativa homogeneidad. Además, estos bancos se extienden barras laterales de poca extensión, según una dirección general Este-Oeste cuando lleguen al sistema fluvial de los ríos Babahoyo y

Guayas y dejen el sistema propio del cono de deyección del río Chimbo.

2.3. Geología Local.

La geología local corresponde, como ya se menciona en el Primer Capítulo a una llanura aluvial compuesta de material Cuaternario.

Los sedimentos Cuaternarios marinos y de estuario están dispersos en el Golfo de Guayaquil y se presentan también en el Norte de la costa ecuatoriana. Las partes Central y Sur de la Cuenca Interior del Guayas están cubiertas por depósitos de sedimentos aluviales de piedemonte y fluviales que posiblemente sobreyacen a los del Cuaternario inicial, los cuales han sido derivados a partir de la erosión y de la actividad volcánica ocurrida en la región interandina la misma que estuvo dirigida hacia al Este.

Algunos depósitos de sedimentos aluviales Cuaternarios localizados en los niveles más bajos de la Cuenca del Guayas, se han convertido en arenas más finas, más delgadas e intergranuladas, con un predominio de capas arcillosas, teniendo que las capas acuíferas son menos permeables y más delgadas con un gradiente hidráulico que se torna más regular.

2.4. Geomorfología.

La geomorfología del lugar se caracteriza por tener un relieve muy moderado que se extiende gradualmente hasta las estribaciones de la Cordillera Occidental de Los Andes. Se supone que el aporte de agua proveniente de las partes altas fluye a través de sus redén naturales constituidas por materiales recientes de acumulación en los cauces.

En la Cuenca baja del Guayas, los niveles topográficos van desde los 5 m.s.n.m. hasta los 20 m.s.n.m., es decir una topografía prácticamente plana. En conclusión la zona estudiada, corresponde a una morfología denominada llanura aluvial.

2.5. Hidrogeología General.

El agua en la tierra aparece en muchas formas distintas: el agua salada de los océanos, el agua dulce de los lagos y ríos, el vapor de agua de la atmósfera, el agua de la lluvia y de la nieve, el agua de los glaciares y el agua que se encuentra por debajo del superficie de la tierra.

Todo el agua por debajo del superficie por ejemplo el vapor del agua, la humedad del suelo, el agua subterránea, el agua de las cuevas etc. forman el "agua del subsuelo". La parte de la geología que investiga el

agua del subsuelo en especial el agua subterránea, los movimientos de la misma y las propiedades hidrológicas del subsuelo es la hidrogeología.

El agua subterránea se mueve como el agua superficial pero más lento. La velocidad y los movimientos dependen de la porosidad y permeabilidad del sustrato, la roca o el suelo. Estudios de la explotación del recurso natural agua son cada día más importantes porque aunque el agua es un recurso natural renovable, la sobreexplotación del agua y su contaminación con sustancias nocivas son problemas graves en todo el mundo, sobre todo en una región desértica.

Para asegurar la disponibilidad de agua de buena calidad, para satisfacer las necesidades de los consumidores como son el campo agrícola, la industria, la minería y cada individuo, la hidrogeología tiene que encontrar métodos de explotación del agua subterránea para solucionar problemas cuantitativos tanto como problemas cualitativos.

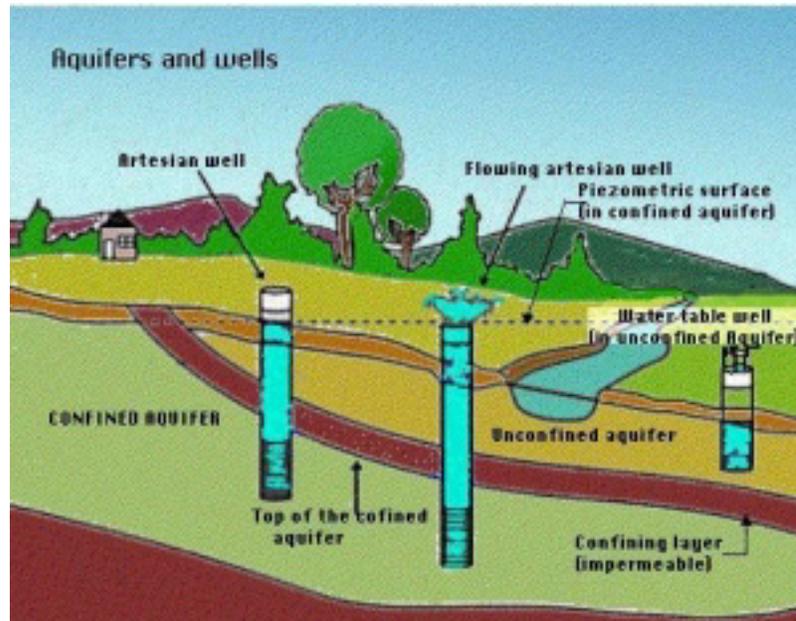


Fig. 2.5.1.- Acuíferos y Pozos.

2.5.1. Breve Historia de la Hidrogeología

Desde tiempos antiguos el hombre usó el agua subterránea para sus necesidades. En la egipcia de los faraones y las culturas del Medio Oriente y también en la antigua China desarrollaron los conocimientos para perforar pozos profundos y regar zonas extensas con agua subterránea.

Luego, el hombre trató de buscar explicaciones sobre el origen del agua subterránea. Las primeras teorías estaban basadas más en la filosofía que en investigaciones científicas.

Los antiguos filósofos griegos y romanos como Platon, Aristoteles, Thales, Plinius creían en la idea de que el agua subterránea corría por cavernas y caminos subterráneos desde el océano hacia la tierra porque la cantidad de las precipitaciones no alcanzaba para alimentar las reservas del agua subterránea.

Johannes Kepler en la edad medieval sostuvo que: " La tierra digiera el agua salada del océano y que la excretaba en los ríos y manantiales en forma de agua dulce". Se mantuvo hasta llegar casi al renacimiento.

Con el comienzo de la época del renacimiento empezó el período de la observación e investigación científica de los procesos hidrológicos.

B. Palissy enseñó sin gran reconocimiento por parte de sus contemporáneos, que la infiltración de las precipitaciones alimenta las aguas subterráneas.

P. Perrault realizó mediciones de precipitaciones y estimaciones del flujo de ríos y reconoció que solo la sexta parte de las precipitaciones corre por los ríos.

E. Mariotte desarrolló la teoría de que la infiltración de las precipitaciones alimenta el agua subterránea.

E. Halley realizó mediciones de la evaporación y describió el ciclo hidrológico.

Con el progreso en el desarrollo de la ciencia de la Geología, también hubo el comienzo del desarrollo de la ciencia de la Hidrogeología: Los experimentos y trabajos del ingeniero francés Henry Darcy significan un paso fundamental en el desarrollo de la Hidrogeología. Darcy formuló las leyes matemáticas que gobiernan los movimientos del agua subterránea ("Ley de DARCY"), publicado por primera vez en un estudio sobre aguas potables en el año 1856.

Durante los siglos XIX y XX los nuevos conocimientos sobre las aguas subterráneas obtenidos por los estudios de científicos como J. Dupuit, P. Forchheimer, A. Thiem y L. Kozeny, entre muchos otros, llegaron a la formación de una nueva parte de la Geología, la Hidrogeología. Así desde fines del siglo XIX, la palabra "Hidrogeología" esta aceptada y usada en el sentido de investigaciones geológicas del agua subterránea.

2.5.2. El Ciclo Hidrológico

El ciclo hidrológico recibe su energía por conducto de los fenómenos solares y planetarios. Dicho ciclo, consiste en una continua circulación de humedad y de agua sobre nuestro planeta.

Los océanos son los inmensos depósitos de los cuales procede toda el agua del ciclo hidrológico y a los cuales retorna. Esta definición es naturalmente un tanto simplista, pues no todas las partículas de agua recorren el ciclo hidrológico de una manera completa; éste sería, por ejemplo, el caso de las partículas de agua que se evaporan sobre la superficie de la tierra a causa de la radiación solar y vuelven a la tierra en forma de lluvia, desde donde se evaporan de nuevo, y así indefinidamente, sin llegar nunca a alcanzar el océano. En el caso más completo del ciclo hidrológico del agua, ésta se evapora desde el océano, forma las nubes, las cuales son transportadas hacia los continentes donde se condensan y caen en forma de precipitaciones ya sea como lluvia, granizo o nieve, las cuales, a su vez, son conducidas por medio de los ríos hasta el océano.

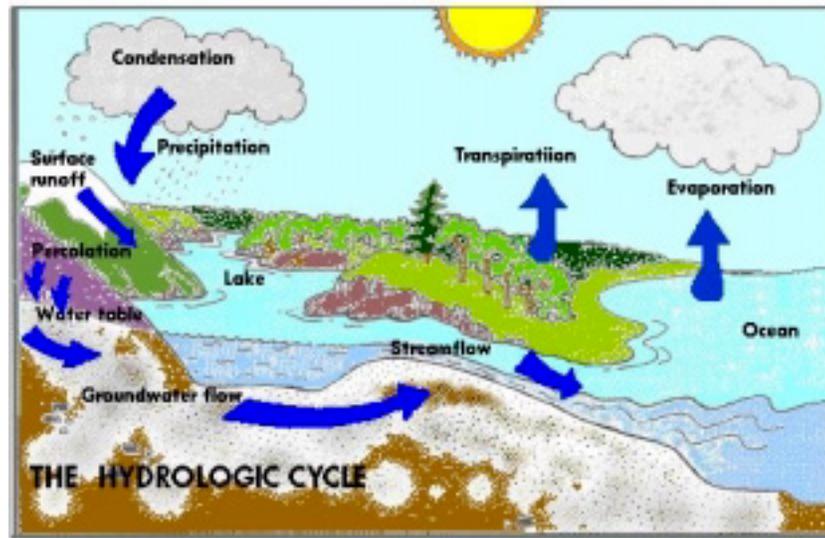


Fig. 2.5.2.- Ciclo hidrológico

Asimismo existe otra parte que se infiltra en el suelo. Gran parte del agua que penetra en el suelo, se detiene en la zona radical de las plantas y eventualmente es devuelta a la superficie por éstas. Sin embargo, la otra parte que percola por debajo de dicha zona radical y con ayuda de la fuerza de gravedad continúa su movimiento descendente hasta que llega al depósito subterráneo. Una vez incorporada al mismo, el agua que ha percolado se desplaza a través de los espacios existentes en los acuíferos (poros, fisuras, etc.) y puede reaparecer en la superficie o incluso llegar hasta los océanos a través de los flujos subterráneos.

Existe una pequeña aportación del agua al ciclo hidrológico que procede de los procesos magmáticos y metamórficos, que no ha sido tomada en cuenta en este esquema; pero existe también, en contraposición, una sustracción constante de agua al ciclo hidrológico que pasa a incorporarse a la estructura de los minerales y de los depósitos sedimentarios.

Desde el punto de vista geológico parece evidente que el volumen de agua de los océanos ha permanecido aproximadamente constante durante los últimos quinientos millones de años, de donde se deduce que la cantidad total de agua del ciclo hidrológico ha permanecido también prácticamente constante.

2.5.3. La Ecuación Básica de la Hidrología

G. Castany en su Texto *"Prospección y Explotación de las Aguas Subterráneas"*, describe la ecuación básica de la hidrología y hace una descripción con su respectivo análisis de las reservas y el balance global del agua.

$$\text{Precipitación (P)} = \text{Escorrentía (R)} + \text{Evotranspiración (E)} + \text{Infiltración (I)}$$

Los procesos de precipitación, escorrentía y evotranspiración e infiltración forman un equilibrio. Si no fuera así, la tierra sería hundida y prácticamente sin agua en la atmósfera en el caso de una precipitación mayor que la evotranspiración, o la tierra sería un desierto sin ríos y océanos en el caso de una evotranspiración mayor que la precipitación.

La evaluación de las reservas hídricas en la superficie del planeta es muy difícil. Las valoraciones difieren con los autores y a menudo en amplios límites, sobretodo para las aguas subterráneas. A continuación presentaremos la tabla 2 de Las Reservas Hídricas de la Superficie del Globo, según L. R. Nace.

Localización	Volumen (km ³)	Volumen (km ³)	Volumen (% del total)
Océanos		1.300'000.000	97.2
Glaciares y Casquetes polares		28'500.000	2.15
Agua Atmosférica		12.700	0.001
Agua Continental		8'290.000	0.65
Aguas Superficiales			
Lagos de agua dulce	123.000		0.009
Lagos salados y mares interiores	100.000		0.008
Cursos de agua	1.230		0.0001
Total	224.230		0.017
Aguas Subterráneas			
Agua próxima a la superficie	65.000		0.005

Agua hasta 800 m	4'000.000		0.314
Agua profunda	4'000.000		0.314
Total	8'065.000		0.633
Totales	8'289230	1.336'800.000	

Tabla 2.- Reservas Hídricas

Las aguas saladas, con los océanos y accesoriamente los lagos salados y mares interiores, representan el 97% de las reservas de agua.

Las aguas dulces representan aproximadamente 2.8% de las reservas totales. Pero los glaciares y los casquetes polares almacenan ya 2.15% de las reservas totales del Globo y 77%, o sea más de las tres cuartas partes, de las aguas dulces.

Excluyendo los glaciares, las aguas de los continentes representan aproximadamente 0.65%, menos de uno por ciento, del total de las reservas terrestres. Se notará la importancia relativa de las aguas subterráneas si se compara con las superficiales y sobre todo de los cursos de agua. Las aguas continentales afectan solamente 1/100.000 aproximadamente del volumen total del ciclo hidrológico. Este hecho explica la irregularidad de su caudal.

2.5.4. Movimientos del Agua Subterránea

Los movimientos del agua subterránea son posibles solamente cuando existen vacíos conectados entre sí en el suelo o la roca. Si no existen vacíos de cualquier tipo, o si los vacíos existentes están aislados como burbujas de gas en un basalto, por ejemplo, no se producen movimientos del agua.

Se puede definir dos grupos de vacíos:

1. Porosidad Intersticial

Los poros representan el único tipo de vacíos que poseen las rocas no-consolidadas tal como los suelos y sedimentos sueltos como arena, grava etc. Como poros se entiende los espacios libres entre las partículas del suelo o de rocas sedimentarias clásticas.

2. Porosidad Secundaria (Estructural)

Las grietas, fracturas y diaclasas son los tipos de vacíos principales e importantes en todas las rocas consolidadas como arenisca; rocas magmáticas o metamórficas como granito, andesita, pizarra etc. No obstante, rocas sedimentarias como por ejemplo conglomerados y areniscas, cuentan a veces con una

porosidad muy elevada. Algunas rocas volcánicas también pueden tener un espacio poroso.

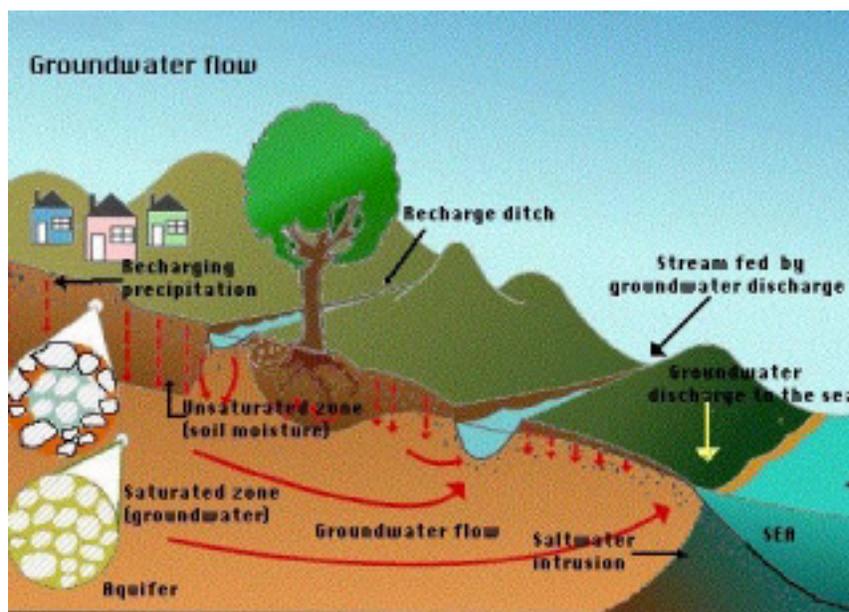


Fig. 2.5.3.- Flujo de Agua subterránea.

Los vacíos tipo "karst" son una forma especial de los vacíos de grietas en rocas solubles como caliza en los que se incluyen espacios muy grandes como las cuevas.



Fig. 2.5.4.- Principales tipos de porosidad.

La siguiente tabla muestra algunas propiedades hidrogeológicas básicas de diferentes rocas. Como "roca" se entiende rocas sólidas, consolidadas como caliza, arenisca, granito, etc. y rocas no-consolidadas como suelos y depósitos cuaternarios.

Tipo de roca	Tipos de Vacíos	Porosidad	Permeabilidad	Caudal Máximo [l/min]
Grava	poros	elevada	Elevada	3.800
Arena	poros	elevada	Elevada	1.000
Arcilla	poros	elevada	muy baja	< 4
Arenisca poco cementada	poros y fisuras	variable, generalmente elevada	Generalmente elevada	hasta 800
Caliza	poros, fisuras y cavernas	muy variable	Variable, generalmente elevada	1.700 frecuente; hasta 1'000.000
Roca Piroclastica poco cementada	poros	elevada	Variable, generalmente elevada	hasta 2.400
Basalto	poros, fisuras y cavernas	variable	Variable	entre 1.700 y 3.800 frecuente
Riolita	poros y fisuras	variable, generalmente baja	Variable, generalmente baja	entre 4 y 100 frecuente
Granito no alterado	fisuras	muy baja (casi nulo)	muy baja	4 - 40 frecuente
Gneis	fisuras	muy baja (casi nulo)	muy baja	< 40

Tabla 3.-Propiedades hidrogeológicas de distintas rocas

En función de la presencia y naturaleza de vacíos, algunas rocas permiten un flujo del agua y otras no.

Stanley N. Davis y Roger J. M. Wiest, en su trabajo "*Hidrogeología*", definen a las rocas de acuerdo a la propiedad de permitir el flujo de agua así: Las que permiten un flujo del agua son llamadas "*acuífero*", mientras que rocas que no lo permiten son llamadas "*acuífugo*", también existen las palabras "acuicludo" o "acuitardo" para rocas que permiten solamente un flujo muy limitado. Hay que tomar en cuenta, que un acuífugo no necesariamente es una roca "impermeable".

Habitualmente una arcilla es considerada como un acuífugo, aunque no es una roca absolutamente impermeable. También a través de la arcilla puede producirse un flujo de agua subterránea pero un flujo extremadamente lento. En cambio, una formación de sal de roca puede ser considerada como totalmente impermeable.

Sobre todo en formaciones sedimentarias muchas veces se observa que hay alternancias de varios estratos "permeables"

e "impermeables", o sea, una alternación de diferentes acuíferos y acuífugos. Cada uno de los acuíferos puede ser permanentemente o temporalmente lleno o parcialmente lleno con agua subterránea.

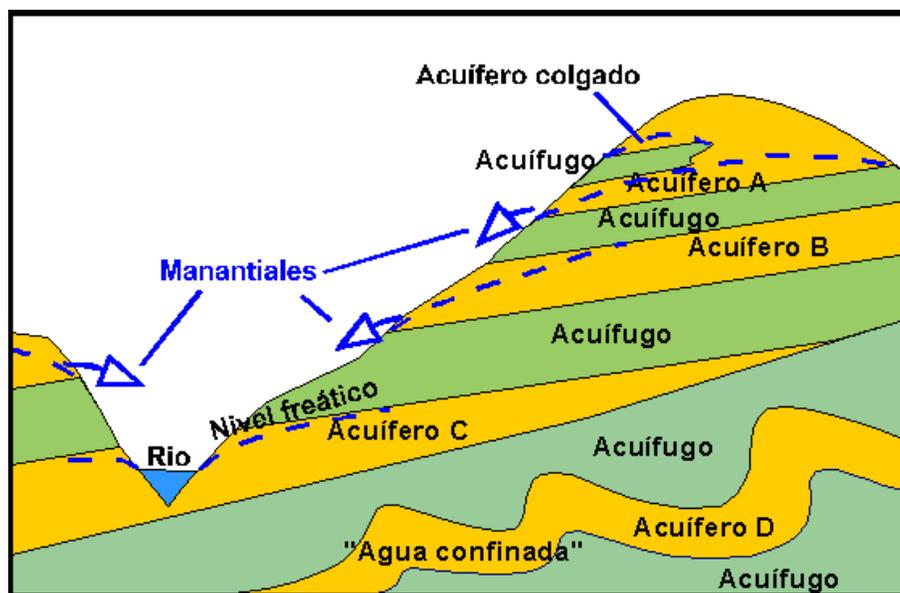


Fig. 2.5.5.- Ejemplo de una serie de rocas estratificadas con distintas propiedades hidrológicas, es decir, una secuencia de varios acuíferos y acuífugos. (Davis & Wiest).

2.5.5. Los Acuíferos en la Zona de Estudio.

En el "Proyecto de Utilización de Aguas Subterráneas para el Desarrollo de Yaguachi, Banco de Arena, Milagro, Provincia del Guayas" de octubre de 1977, del Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos INERHI, se describe que los acuíferos están constituidos por todos los sedimentos no consolidados

que se acumularon, probablemente desde el Plioceno, en la cuenca baja de los ríos Chimbo, Chanchán y Bulubulu.

A estos se añadieron los aportes detríticos de los ríos de poca longitud, los cuales nacen en las laderas contiguas de la Cordillera Occidental de los Andes. Por su modo de transporte y de depositación, la estratigrafía de estos sedimentos difícilmente puede ser descrita. A lo único que se puede llegar es a una definición espacial de capas de sedimentos permeables y de los impermeables.

En la zona existen capas gruesas de sedimentos relacionados con los conos de deyección de los ríos Chimbo y Chanchán, con dos direcciones bien marcadas, una que sigue un eje Bucay - Naranjito y otra Bucay - Manuel J. Calle.

Un eje de sedimentos gruesos se encuentra también en la parte Norte de la cuenca, a la altura de la vertiente del río Las Balsas y que se extiende hasta casi Babahoyo.

Estas capas yacen sobre una espesa capa impermeable, la misma que reposa sobre las rocas consideradas como el

sustrato impermeable. Los espesores totales determinados por geofísica se suman a 200 m en la parte Este de la cuenca aunque sobrepasan los 400 m en algunas otras partes comprendidas entre la llanura aluvial y las laderas de la Cordillera. Es preciso añadir que entre los sedimentos gruesos deben existir capas de sedimentos más finos que no presentan las mismas cualidades hidráulicas. Por lo tanto y para la interpretación de los resultados geofísicos, se supone la presencia de hasta 100 m de espesor sobre las capas antes mencionadas.

Hacia el Oeste, en la franja vertical del área de estudio y hasta los ríos Babahoyo y Guayas, la sucesión de capas permeables e impermeables se complica bastante.

El sustrato impermeable sube hasta la superficie y no se puede determinar con exactitud si la espesa capa impermeable profunda encontrada al Este todavía existe. Se asume que sí, basándose en los resultados de la única perforación que pudiera haber llegado hasta el lecho, perforación realizada por el INERHI en el Colegio Técnico Milagro. La geofísica también

mostró que existen canales de sedimentos más gruesos que pueden ser relacionados con cauces antiguos de la zona.

Tentativamente basándose en la interpretación geofísica se pudo representar una serie de perfiles de la parte central de la cuenca estudiada. Se pudo ver que efectivamente el sustrato sube hacia la superficie al Oeste de la cuenca; testimonios son los afloramientos de varias formaciones asimiladas al sustrato desde Durán hasta Babahoyo. También se cierra la cuenca hacia al Sur - Oeste según una línea Durán - Cerro Masvale.

Dentro de la cuenca se revelan los siguientes elementos importantes desde abajo hacia la superficie:

El sustrato, llegando a profundidades superiores a 500 m en la parte Central - Este.

Una potente capa considerada impermeable que tentativamente se atribuye al Mioceno - Plioceno.

Una capa, considerada permeable ubicada según el sitio entre 150 m y 350 m de profundidad, se la llamó zona inferior de acuíferos.

Otra consistente capa impermeable que separa la zona de acuíferos superiores y el antes mencionado acuífero inferior.

Cabe añadir que el acuífero inferior ha sido posiblemente captado solamente por un pozo hasta ahora. Además es posible que debido al modo de entubamiento y enrejillado de este pozo, parte del agua captada en la capa profunda se vierte en las capas superiores debido a posibles diferencias de presiones y por eso no se puede medir un valor consistente de la presión hidráulica existente en dicha capa.

En resumen, una determinación del espesor de las capas acuíferas parece casi imposible, pero si se pudo evaluar la superficie mínima de la cual existen estas capas. Dichas capas parecen existir bajo toda la zona comprendida entre el pie de la cordillera y una línea ficticia sinuosa que vaya desde el río Babahoyo en la vecindad de Samborondon hasta el cerro Masvale, pasando entre Yaguachi y Milagro, así como el

Kilómetro 26 de la carretera Durán - Bucay. Esta línea definida por las intersecciones geofísicas como el límite Oeste donde puede desaparecer la capa acuífera profunda. Se concluye que bajo casi 3.500 km² existen varias capas acuíferas de espesor variable, posiblemente, de vez en cuando, en comunicación hidráulica.

2.5.6. Recarga de Aguas Subterráneas.

El recurso renovable de las aguas subterráneas que se puede aprovechar en la cuenca está limitado por la cantidad de recarga a la que hay lugar en el acuífero, la cual, a su vez depende de la capacidad de infiltración de los suelos superficiales. Sin embargo, la recarga que en efecto ocurre, también está limitada por el balance hídrico vigente de la cuenca, la cantidad de precipitación en exceso de la evotranspiración y del escurrimiento de las aguas pluviales de los ríos, y el nivel freático. Durante la estación lluviosa. Por casi todo el área el nivel freático está cerca al nivel del terreno y la recarga es rechazada en forma de escurrimiento retardado, en los lechos de los ríos. Por tanto, la recarga potencial es mucho mayor que la existente.

Existen varias posibles técnicas para la estimación de la recarga y todas ellas envuelven algún grado de aproximación. Las técnicas usadas abajo son rudimentarias, pero el uso de métodos más exactos, que incluyen técnicas tales como análisis de flujo base de los ríos, del balance de la humedad del suelo y del balance de la cuenca, no fue posible debido a las dimensiones y características de este estudio.

Al momento la recarga está limitada a la parte superior del abanico aluvial. De acuerdo a los registros de INHERI, la frontera de esta área es la línea que indica el nivel de agua o nivel piezométrico en el acuífero cuando está a la misma cota o por encima de la cota del suelo. Hacia el Este y Sur de esta área, se presentan reboces artesianos en los pozos entubados de poca profundidad, tal como ocurre en El Triunfo y Zulema, y hay importantes descargas de aguas subterráneas en los lechos de los ríos.

La descarga se puede estimar de distintas maneras:

- a. *Infiltración.*- El área de recarga es de unos 315 km² y el promedio de precipitación es de 1.400 mm. La capacidad de infiltración de los suelos gruesos es alta y tal vez llega a un

20%, de manera que la recarga se estima en 330.000 m³ /día.

b. Fluctuación Anual del Nivel Freático.- El nivel freático cae durante la estación seca por la descarga de las aguas subterráneas desde el acuífero y sube durante la estación lluviosa por la recarga. La fluctuación anual entre la estación seca (noviembre) y la estación pluviosa (enero) ha sido medida por el INHERI. De hecho, esta no es necesariamente la fluctuación máxima, la cual podría ser mayor entre noviembre y abril.

Se supone que una fluctuación de menos de 2 m es un efecto piezométrico en el acuífero confinado. Una fluctuación de 2 o más metros es considerada como un efecto de la variación del nivel freático del acuífero no confinado, como resultado de la recarga directa. El área del acuífero no confinado se extiende mucho más lejos hacia el Oeste, tan distante como Marcelino Maridueña.

c. Caudal del Acuífero.- El flujo que pasa a través del acuífero desde la parte superior del abanico aluvial es una indicación

de la presente recarga y se lo puede calcular con la Ley de DARCY:

$$Q = T \cdot I \cdot W$$

En donde:

Q = caudal en m³/día

T = transmisividad del acuífero en m²/día

I = gradiente hidráulico del nivel del agua

W = ancho del acuífero en el corte por medir, en metros.

La recarga se puede incrementar, aumentando el depósito de las aguas subterráneas por medio de un mayor bombeo, para que se reduzca el nivel de agua al fin de la estación seca, y de este modo agrandar el potencial de descarga durante la estación pluviosa. El objetivo de todo aquello será el nuevo balance hidrodinámico en el acuífero, lo cual reducirá la descarga no controlada, en forma de evotranspiración y flujos en los lechos del río.

CAPÍTULO 3

3. ELABORACIÓN DEL MAPA DE SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS.

En el presente capítulo se discutirá acerca de la construcción del mapa de superficies piezométricas, nos basaremos en los conceptos dados por G. Castany en su trabajo "*Prospección y Exploración de Aguas Subterráneas*".

3.1. Obtención de los Mapas Piezométricos.

La obtención de los Mapas Piezométricos se basa en la medición de los niveles piezométricos, su posterior traslado e interpretación sobre los mapas Topográficos. Las curvas dibujadas van a representar las equipotenciales de la superficie piezométrica.

3.2. Inventario de Recursos Hídricos.

Consiste en localizar los diversos puntos de agua que nos servirán como datos que necesitaremos para la elaboración de nuestro mapa.

3.2.1. Inventario de Pozos.

Para tener un mejor conocimiento de la situación actual, tanto de las condiciones de los acuíferos, así como del aprovechamiento de las aguas subterráneas, la información básica más importante son los datos obtenidos durante el inventario de pozos.

En esta actividad es muy recomendable no intentar ahorrar dinero en la calidad de los datos obtenidos o en su elaboración. Casi siempre no será posible, ni conveniente, realizar el inventario de todos los pozos existentes, sino solamente de los más característicos. Dependiendo de los objetivos del estudio, como promedio se considera adecuada la densidad de un punto inventariado cada 4 cm^2 del mapa base del estudio a modo de primera aproximación. Esto equivale a un punto por Km^2 para los mapas a escala 1:50.000, y a un punto cada 16 Km^2 para los mapas a escala 1:200.000. El rendimiento del técnico encargado del inventario viene a ser de 60 a 120 puntos por mes, incluyendo el tiempo necesario para pasar los datos a limpio. En el caso de un estudio en detalle, donde se tiene que cuantificar con la mayor precisión posible el balance de las aguas subterráneas, será necesario inventariar el mayor

número posible de pozos, que permitan conocer los volúmenes de descarga artificial y natural de las aguas subterráneas.

Durante el inventario de pozos y manantiales, los datos que se recaban y las mediciones que se realizan en campo son las siguientes: nombre del propietario, situación geográfica (Provincia, Municipio, Cantón, etc.); ubicación exacta del punto, con sus correspondientes coordenadas y cota; uso del pozo; profundidad del nivel estático; profundidad del nivel dinámico; caudal de producción; tiempo de bombeo; características del pozo (profundidad, diámetro, profundidad de los filtros, columna litológica) y conductividad eléctrica del agua.

Mediante el procesamiento de esta información y la elaboración de mapas piezométricos, de producción y de conductividad eléctrica, inmediatamente se puede conocer las áreas de recarga y descarga de los acuíferos, las direcciones de flujo subterráneo, las zonas de explotación intensiva o sobre explotación, los volúmenes de extracción en una determinada área y la calidad de las aguas en cuanto a su mineralización. Esta información ya es un criterio técnico importante para

establecer políticas inmediatas de aprovechamiento de las aguas subterráneas.

3.2.2. Medida de los Niveles Piezométricos.

La medida de los niveles piezométricos, efectuada sobre el terreno, es la principal operación en los inventarios de recursos hídricos. Se mide la profundidad del agua en los pozos y sondeos, o el piezómetro en los pozos artesianos, a esto conoceremos como el nivel estático, para lo cual se utilizó un rollo de cable dos en uno, y un multímetro el cual está conectado al mismo.

El cable es desenrollado y se deja deslizar dentro del pozo, cuando alcanza el nivel del agua y se unen las dos puntas del cable, el circuito se cierra y la noticia llega hasta el multímetro, luego procedemos a medir esa distancia y así tenemos el nivel estático.

Conociendo la cota z del terreno natural se determina el nivel piezométrico H (Fig 3.1). Esta evaluación de la cota del plano del agua debe ser precisa. Su precisión depende del nivelado del suelo y de la profundidad del agua y, sobre todo, del estado

de equilibrio del manto en la obra, influencia de los bombeos en particular. En una fuente, el nivel piezométrico es igual a su altitud.

A menudo, la medición lleva consigo la ejecución de un nivelado preciso del terreno y un traslado de datos exacto, mediante levantamientos topográficos, de los puntos de agua estudiados.

Las medidas se deben efectuar no sólo en condiciones de equilibrio de la superficie piezométrica, sino también para el conjunto de la región cartográfica, durante un periodo determinado lo más corto posible, en el curso del cual no haya habido variación sensible. En caso contrario es necesario efectuar correcciones refiriendo todos los resultados a una cota de referencia de una obra en observación continua mediante registro limnográfico.

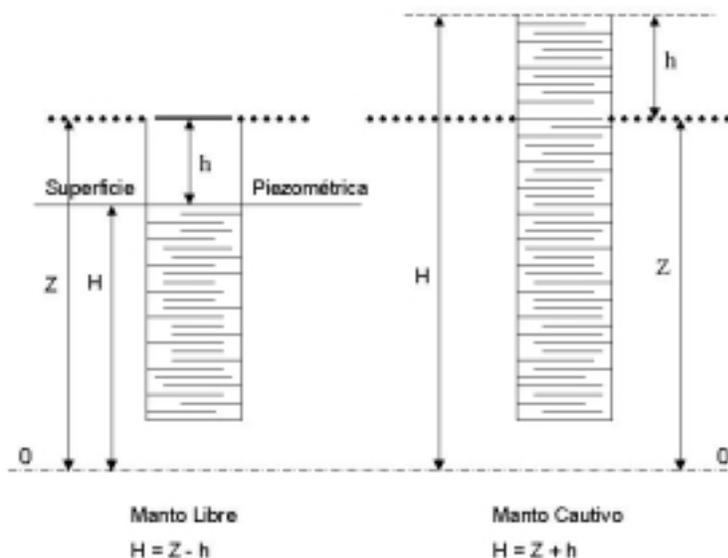


Fig. 3.1, Determinación del Nivel Piezométrico (G. Castany)

3.3. Tabla de Datos.

En el inventario de pozos efectuado se recopilieron los siguientes datos de 38 pozos, los mismos que forman parte de la información con la que se realizará el respectivo mapa de superficies piezométricas. La tabla siguiente muestra: el número de pozo, la nomenclatura a usar, nombre del propietario, sus coordenadas, Nivel Estático (N. E.), Nivel Topográfico (N. T.), Nivel Piezométrico (N. P.), todos estos tres niveles en unidades de metros.

N. Pozo		Coord. Este	Coord. Norte	N. E.	N. T.	N. P.
	PRIVADOS					
1	P1	658532	9763705	2.4	5.4	3
2	P2	658468	9763668	2.2	5.4	3.2
3	P3	655509	9765010	15	5.2	-9.8
4	P4	658888	9762933	8	5.3	-2.7
5	P5	659322	9762807	10	5.4	-4.6
6	P6	657837	9763865	3	4.9	1.9

Tabla 4.- Datos de los pozos privados

N. Pozo		Coord. Este	Coord. Norte	N. E.	N. T.	N. P.
	ECAPA-G					
7	EC1	657587	9764252	15	4.9	-10.1
8	EC2	653897	9764324	12	5.1	-6.9
9	EC3	653600	9764514	13	5.5	-7.5
10	EC4	652192	9763906	12	5.4	-6.6
11	EC5	651680	9763894	13	4.8	-8.2
12	EC6	651297	9764209	12	4.9	-7.1
13	EC7	651007	9764608	12	4.8	-7.2
14	EC8	650612	9764981	14	4.8	-9.2
15	EC9	650032	9765331	13	5.2	-7.8
16	EC10	660184	9762739	16	5.7	-10.3

Tabla 5.- Datos de los pozos ECAPA-G

N. Pozo		Coord. Este	Coord. Norte	N. E.	N. T.	N. P.
	EMAPA-M					
17	EM1	658999	9763144	15	5.4	-9.6
18	EM2	658661	9761097	10	6.8	-3.2
19	EM3	653071	9764324	15	5	-10
20	EM4	652613	9764096	10	5.1	-4.9
21	EM5	657287	9764794	15	5.2	-9.8
22	EM6	654931	9763832	15	4.9	-10.1
23	EM7	658273	9766657	12	7.2	-4.8

Tabla 6.- Datos de los pozos EMAPA-M

N. Pozo		Coord. Este	Coord. Norte	N. E.	N. T.	N. P.
	INGENIO AZUCARERO VALDEZ					
24	VA1	657200	9773800	7		-7
25	VA2	651550	9768550	8	5.5	-2.5
26	VA4	654935	9776175	8.5		
27	VA5	654535	9775450	7.2		
28	VA8	658425	9772700	8		
29	VA9	658760	9771765	8		
30	VA10	659540	9771340	8.3		
31	VA11	657200	9769170	7	8.1	1.1
32	VA14	651190	9766640	9.7	5.6	-4.1
33	VA16	649695	9764135	8	9.7	1.7
34	VA3	654300	9777425	8		
35	VA6	655490	9776990	7.5		
36	VA7	658615	9769435	9	9.3	0.3
37	VA15	649885	9764540	9	10.2	1.2
38	VA17	658315	9773835	7.5		

Tabla 7.- Datos de los pozos Ingenio Azucarero Valdez

3.2. Traslado de los Niveles Piezométricos.

Los puntos de agua y sus niveles piezométricos se trasladan sobre un mapa topográfico cuya escala está en función de los documentos existentes y del problema planteado. Debe darse prioridad a la precisión del nivelado. También sobre el mapa la fecha en la que se efectuaron las medidas. A menudo en los mapas a gran escala sólo interesa el estiaje, es decir el nivel mínimo anual o de estiaje medio (nivel mínimo de 5 a 10 años).

CAPITULO 4

4.- ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este nuevo capítulo serán esclarecidas las inquietudes respecto del mapa de superficies piezométricas, asimismo se dará a conocer de manera explícita los objetivos planteados al inicio del escrito. Al igual que en el episodio precedente para realizar el análisis e interpretación del presente mapa, nos basaremos en los conceptos dados por G. Castany en su trabajo "*Prospección y Exploración de Aguas Subterráneas*".

4.1 Movimiento de Aguas Subterráneas.

Las principales características y particularidades acerca del movimiento de aguas subterráneas se las obtiene a partir del análisis de las estructuras geológicas, morfología regional, litología junto con la interpretación del mapa piezométrico.

Las características antes mencionadas incluyen:

Eje de Flujo.- Se proyecta perpendicular a las curvas de isopieza y representa líneas de corriente que viajan por la recta de mayor pendiente trazada sobre las isopiezas. La pendiente de la superficie del agua subterránea, la cual controla el flujo de las aguas subterráneas, se muestra por medio de las curvas piezométricas trazadas (Fig. 4.1.1).

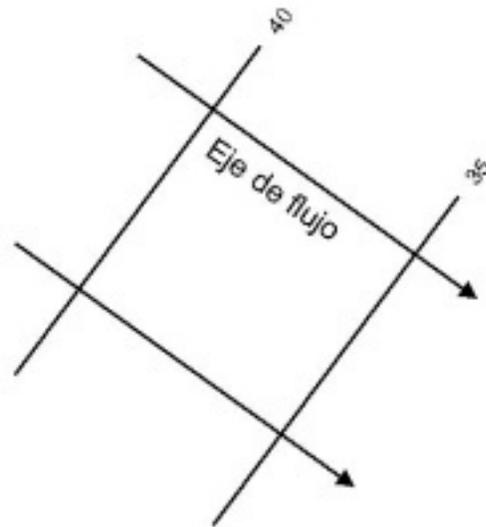


Fig. 4.1.1.- Eje de Flujo (G. Castany)

Dirección de Flujo.- Se la establece a partir de los niveles piezométricos y avanza en orden descendente, desde el nivel piezométrico de mayor valor hacia el nivel piezométrico de menor valor. (Fig. 4.1.2).

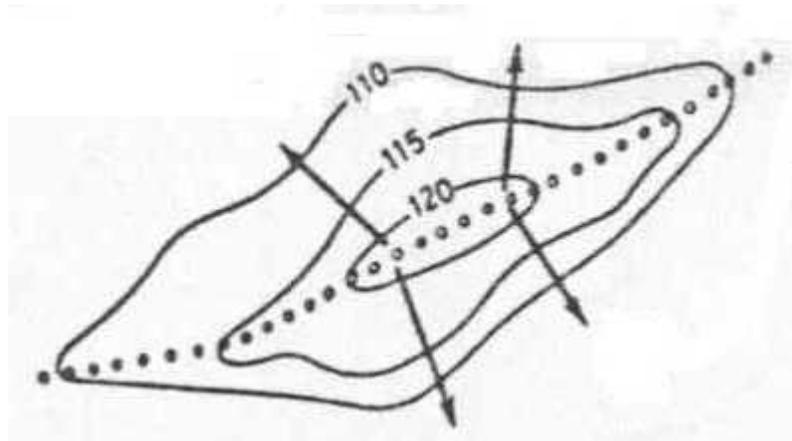


Fig. 4.1.2.- Dirección de Flujo (G. Castany).

Eje de Drenaje.- La convergencia varios ejes de flujo en un solo eje establece la formación de un eje de drenaje. Por medio de un signo convencional se incorpora al mapa piezométrico la presencia de ejes de drenaje. (Fig. 4.1.3).

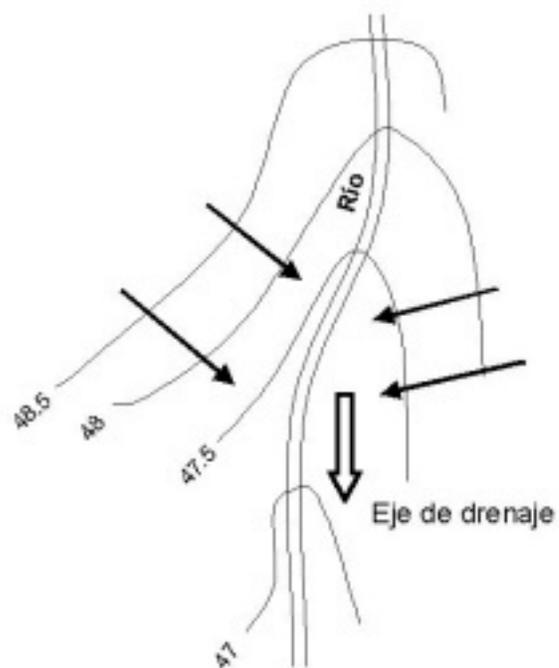


Fig. 4.1.3.- Eje de Drenaje (G. Castany).

Gradiente Hidráulico (I).-Es una relación de proporción, cuyo valor adimensional, se determina sobre un eje de flujo en los mapas piezométricos mediante la fórmula.

$$I = (H_1 - H_2)/L$$

H_1 y H_2 representan los valores de los niveles piezométricos sobre las curvas de isopiezas y L , la distancia entre las curvas que se calcula según la escala del mapa (Fig. 4.1.4).

Permeabilidad.- El coeficiente de permeabilidad de *DARCY*, K , es el volumen de agua libre que percola durante la unidad de tiempo a través de la unidad de superficie de una sección total de la carga acuífera bajo un gradiente hidráulico igual a la unidad, a la temperatura de 20° C y se expresa en metros por segundo.

En condiciones hidrogeológicas naturales debemos considerar dos permeabilidades:

- La *permeabilidad vertical* que, considerada en la infiltración, caracteriza el flujo de las aguas subterráneas de arriba hacia abajo.
- La *permeabilidad horizontal* que es la que rige el flujo de las aguas subterráneas.

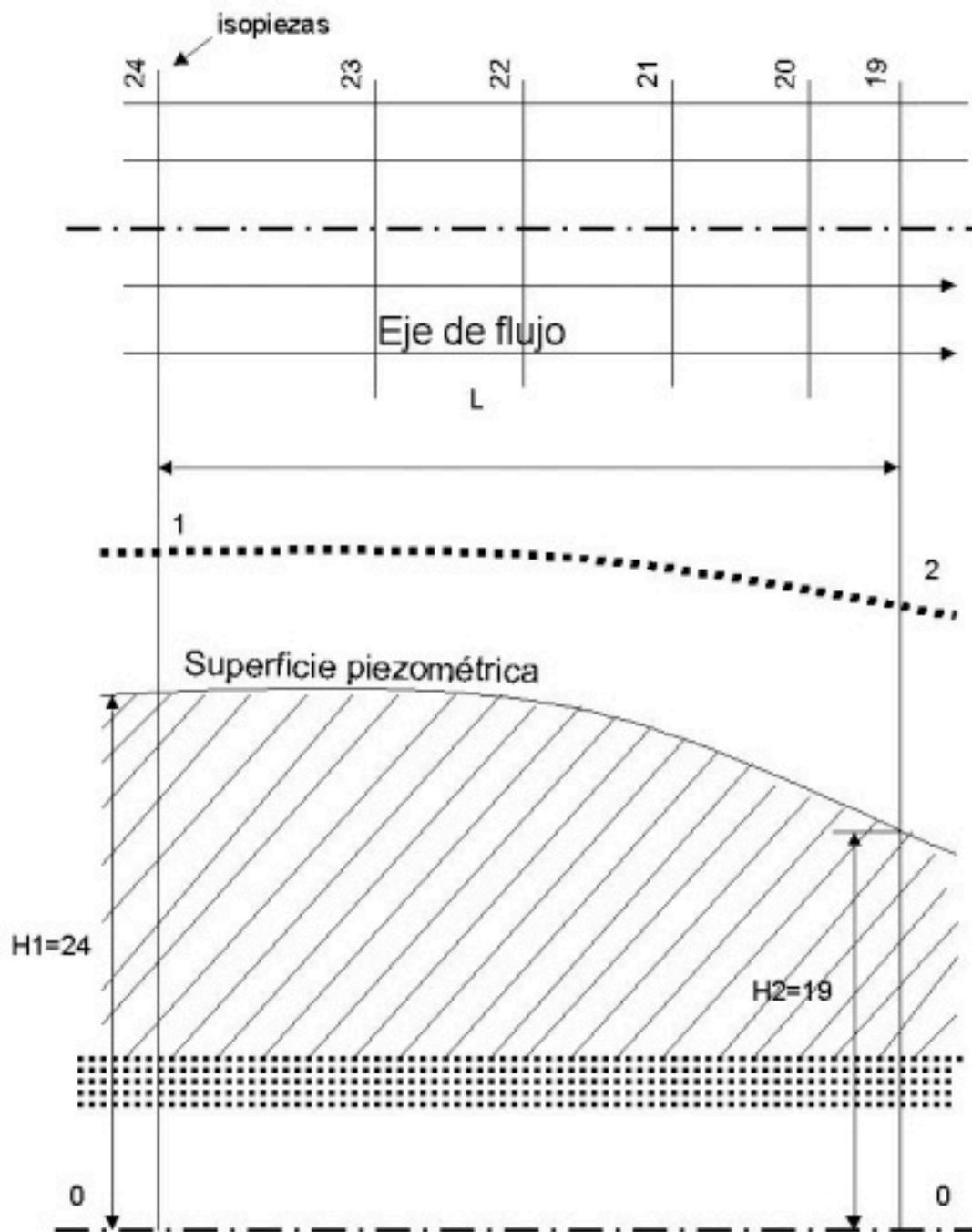


Fig. 4.1.4.- Manto cilíndrico y Perfil Parabólico (G. Castany).

Es de anotar que, no siendo isótopos los materiales, las dos permeabilidades son distintas, concepto importante estudiado en la alimentación de los acuíferos y de la cartografía de las aguas subterráneas.

Transmisibilidad (T).- Es igual al producto del coeficiente de la permeabilidad de DARCY K por la potencia H o e de la capa acuífera libre o cautiva en metros.

$$T = K \cdot H = K \cdot e$$

Se expresa en m^2/s y tiene las dimensiones de una superficie.

La permeabilidad y la transmisibilidad están ligadas a características físicas de las rocas almacén.

4.2 Zonas de Alimentación y Drenaje Regionales

El mapa piezométrico permite determinar las zonas de alimentación y drenaje distribuidos en la región de estudio a diferentes escalas.

El espaciado de las curvas de isopiezas varía según la dirección de flujo.

Esta variación es evidentemente función del gradiente hidráulico. Así pues el valor y las variaciones del espaciado caracterizan el gradiente hidráulico que es el factor más importante del flujo de las aguas subterráneas.

De esta forma en el mapa de superficies piezométricas, las zonas de alimentación se presentan como abombamientos de la superficie piezométrica o mantos divergentes, y por tanto de concavidad orientada hacia arriba y con débil espaciado.

Dentro del mapa de superficies piezométricas de la Ciudad de Milagro no se presentan regiones con las características típicas de zonas de alimentación.

A su vez las zonas de drenaje se mostrarán en el mapa en mención, como depresiones de la superficie piezométrica o mantos

convergentes, y el nivel de base de flujo subterráneo por la cota piezométrica mas baja

Dentro del mapa de superficies piezométricas de la Ciudad de Milagro existe un gran *Eje de Drenaje* que posee la misma dirección y sentido del Río Milagro.

Este *Eje de Drenaje* cambia de rumbo al Oeste en la Localidad de Chovo siguiendo ahora la dirección y sentido del Estero Chirijos.

El cambio de dirección se debe al incremento del nivel topográfico evidente en la parte Sur-Oeste de la zona de estudio provocando el redireccionamiento del drenaje hacia el Estero Chirijos.

Cabe recalcar que la zona Central Norte en estudio, presenta variaciones constantes del espaciado de las curvas de isopiezas. Estas variaciones son características de un perfil de flujo uniforme lo que implica la presencia de una capa acuífera homogénea de potencia constante.

Este comportamiento del manto acuífero en la zona Central Norte se debe a la presencia en superficie de grandes plantaciones de caña de azúcar pertenecientes al Ingenio Azucarero Valdez con aproximadamente 45 Km² de extensión.

El mantenimiento constante y prolongado de estos cultivos de caña mediante procesos de riego por aspersión, y la retención de humedad debido el extenso manto vegetal son las principales causas de este comportamiento.

4.3 Determinación de las zonas ideales para la perforación de pozos

La selección de las zonas ideales para la perforación de pozos o la determinación de la ubicación de un campo acuífero para el suministro de agua de alguna localidad o el riego de plantaciones y cultivos varios, se la realiza entre otros métodos, mediante el estudio de las curvas de isopiezas en un mapa de superficies piezométricas.

Mediante el análisis de las curvas de isopiezas (Tabla 4.3.1) se puede localizar en una región cartografiada las zonas en las que la permeabilidad horizontal (transmisibilidad) o el caudal unitario son relativamente más elevados, y por tanto determinar los sectores preferenciales para la ubicación de puntos de captación de agua previa a la perforación y construcción de pozos.

Las regiones en las que el gradiente hidráulico decrece, la permeabilidad o transmisibilidad crece, el caudal unitario crece, el espaciado de las curvas de isopiezas aumenta y el régimen de flujo no uniforme se perfila como una hipérbola, serán las regiones más favorables. Regiones de Tipo III en la Tabla 4.3.1.

Las regiones en las que el gradiente hidráulico aumenta, la permeabilidad o transmisibilidad decrece, el caudal unitario decrece, el espaciado de las curvas de isopiezas disminuye y el régimen de flujo no uniforme se perfila como una parábola se descartarán como regiones favorables. Regiones de Tipo II en la Tabla 4.3.1.

Si consideramos la transmisibilidad, manteniéndose constante el caudal unitario, sólo intervienen las variaciones de amplitud de la capa acuífera.

Teniendo en cuenta todas estas variables, se tiene que, las zonas más ricas en aguas subterráneas son los mantos radiales convergentes con espaciado creciente aguas abajo y por tanto con perfil hiperbólico.

Dentro del mapa piezométrico de la Ciudad de Milagro existen 3 zonas ideales para la perforación de pozos:

- La primera zona ideal de perforación y la más grande (Z.I.P. - 1) cubre una superficie aproximada de 7 Km².

La *Z.I.P. - 1*, yace bajo la zona Central de la ciudad de Milagro y se extiende desde el reservorio de agua de la planta industrial del Ingenio Azucarero Valdez en el Oeste, hasta la Ciudadela Abdalá Bucarám, en periferia de la ciudad, al Este.

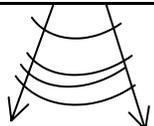
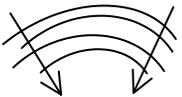
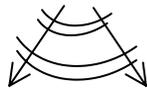
Espaciado	Concavidad orientada hacia	Tipo	Gradiente hidráulico	Permeabilidad o transmisividad		Esquema
Disminución	Aguas Convergente abajo	I	Aumenta	Decrece	Crece	
Perfil Parabólico	Aguas arriba Divergente	III	Aumenta	Decrece	Decrece	
Aumento	Aguas Convergente abajo	III	Decrece	Crece	Crece	
Perfil hiperbólico	Aguas arriba Divergente	IV	Decrece	Crece	Decrece	

Tabla 7.- Variaciones de la curvatura y del espaciado de las curvas de flujo con las regiones próximas. (G. Castany).

- La segunda (*Z.I.P.* - 2), ubicada en la periferia Oeste de la Ciudad de Milagro con una superficie aproximada de 0.09 Km², es la zona ideal de perforación de menor extensión.

- La tercera zona ideal de perforación (*Z.I.P.* - 3), cubre un área aproximada de 0.7 Km². Está ubicada en El Manantial, al Oeste de la zona de estudio.

CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

Al llegar a la parte final de presente trabajo se tiene que, se ha logrado alcanzar los resultados esperados, cumpliendo con los conceptos y normas aplicables para la realización del mapa de superficies piezométricas; con lo cual se llega a cubrir las expectativas propuestas al inicio, de tal forma que se puede concluir que:

- En el área de estudio no existen regiones que presenten las características típicas de las *zonas de alimentación*.
- La forma de distribución de las zonas de alimentación y la convergencia de las líneas de flujo de corriente en un único eje, convierten a la franja central del mapa de superficies piezométricas en un gran eje de drenaje de rumbo Este-Oeste.

- La zona de estudio posee un gran eje de drenaje con la misma dirección y sentido del Río Milagro, que cambia de rumbo al Oeste en la Localidad de Chovo siguiendo la dirección y sentido del Estero Chirijos. Este cambio se debe al incremento del nivel topográfico presente en la parte Sur-Oeste de la zona de estudio lo que provoca este nuevo direccionamiento.

- La presencia de este gran eje de drenaje central con un muy bajo gradiente hidráulico de 2.2×10^{-3} convierte a esta franja, de aproximadamente 22 Km^2 de extensión en una potencial zona ideal de perforación. Sin embargo la existencia de mantos radiales convergentes de espaciado creciente aguas abajo con perfil hiperbólico, transforma esta gran franja potencial en tres zonas ideales de perforación. Dichas zonas ideales abarcan un área total de 7.8 Km^2 de extensión.

5.2. Recomendaciones.

En la actualidad se habla del agua como un recurso indispensable para la subsistencia del hombre, incluso se la ha considerado más valiosa que el petróleo y el oro. Para este trabajo se realizó un inventario de pozos los cuales dieron la pauta para la obtención del objetivo principal, el mapa de superficies piezométricas, así se recomienda:

- La realización de inventarios frecuentes de recursos hídricos, complementándolos con una investigación más profunda acerca del agua en el subsuelo.
- En esos últimos tiempos el área en mención al igual que el litoral ha sufrido los embates de lo que se conoce como el fenómeno “El Niño”, de lo cual se puede recomendar como trabajo de investigación, “*Cálculo de las reservas actuales existentes*”.
- Al conseguir de alguna manera un sistema de captación de aguas subterráneas como por ejemplo un pozo, se recomienda no escatimar esfuerzos en realizar por lo menos un análisis químico

básico del agua que se tiene, en especial si es para consumo humano.

- Es preferible no perforar a profundidades someras en zonas donde los desagües de la ciudad están muy cerca, debido a que se podría encontrar con un agua algo o muy contaminada.

BIBLIOGRAFÍA

1. G. CASTANY, Prospección y Explotación de las aguas subterráneas, Ediciones Omega, S. A., Barcelona - España, 1975.
2. STANLEY N. DAVIS Y ROGER J. M. WIEST, Hidrogeología.
3. RENE MAROCCO, Caracterización de los Ambientes Sedimentarios en las Series Sedimentarias Antiguas, Volumen III (ORSTOM).
4. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, Seminario de Granada sobre Aguas Subterráneas, Proyecto del Guadalquivir España.
5. INSTITUTO ECUATORIANO DE RECURSOS HIDRÁULICOS (INERHI), Proyecto de Utilización de Aguas Subterráneas para el Desarrollo de Yaguachi, Banco de Arena, Milagro, Provincia del Guayas, octubre de 1977.

6. JORGE MATAMOROS, Curso de Hidrogeología Aplicada, Madrid - España, 1973.

7. CISNEROS ZOBEDA, Comportamiento Hidrogeológico del Cono de Deyección del Río Chimbo, (Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1989).

8. MANUEL VILLANUEVA MARTÍNEZ, ALFREDO IGLESIAS LÓPEZ, Pozos y Acuíferos, Técnicas de Evaluación Mediante Ensayos de Bombeo.

9. JOHNSON DIVISION, El Agua Subterránea y los Pozos, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería de Geología, Minas y Petróleo, Guayaquil - Ecuador, 1986.

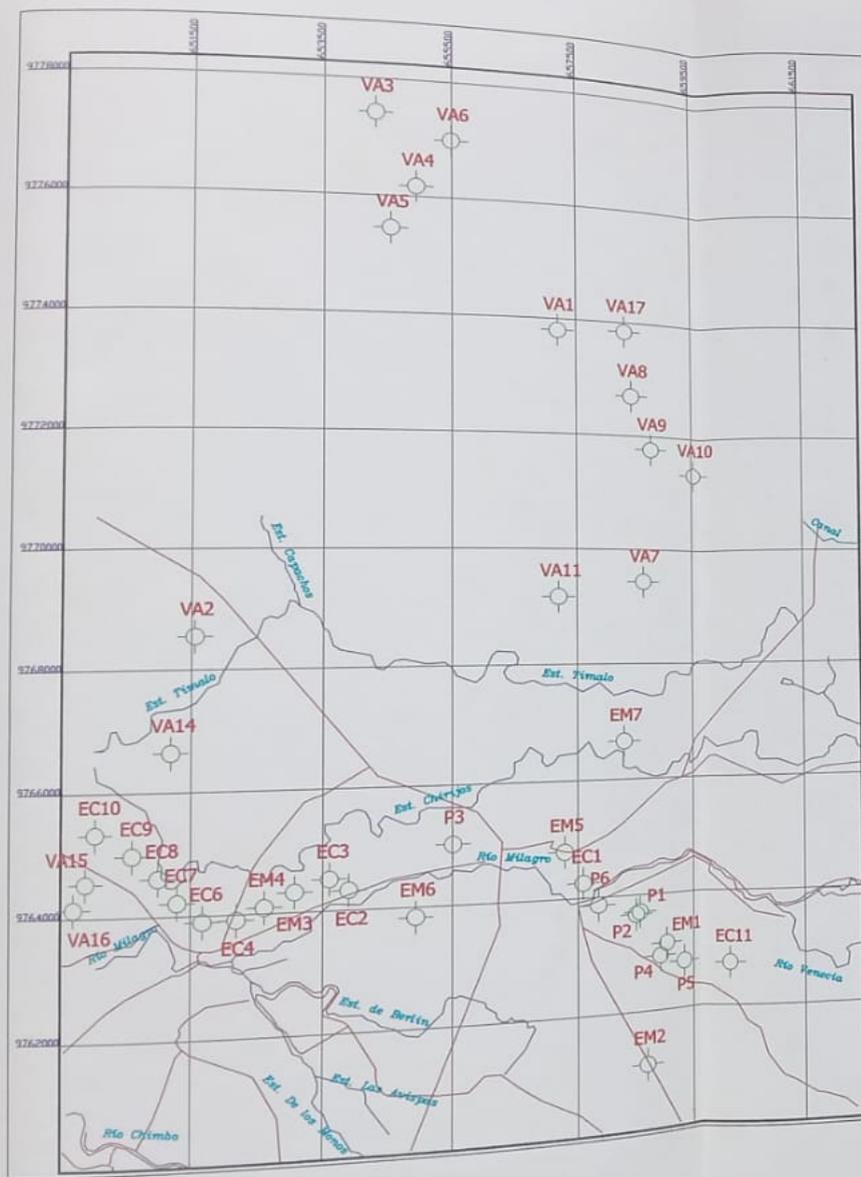
10. UNIVERSIDAD DE ATACAMA, Apuntes de Hidrogeología.
[Http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/hidrogeol/01000cont.htm](http://plata.uda.cl/minas/apuntes/Geologia/hidrogeol/01000cont.htm).



SIMBOLOGÍA	
	Curva Isopieza (intervalo de 1 m)
	Eje de Drenaje
	Eje Principal de Flujo
	Eje y Dirección de Flujo de las aguas subterráneas

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

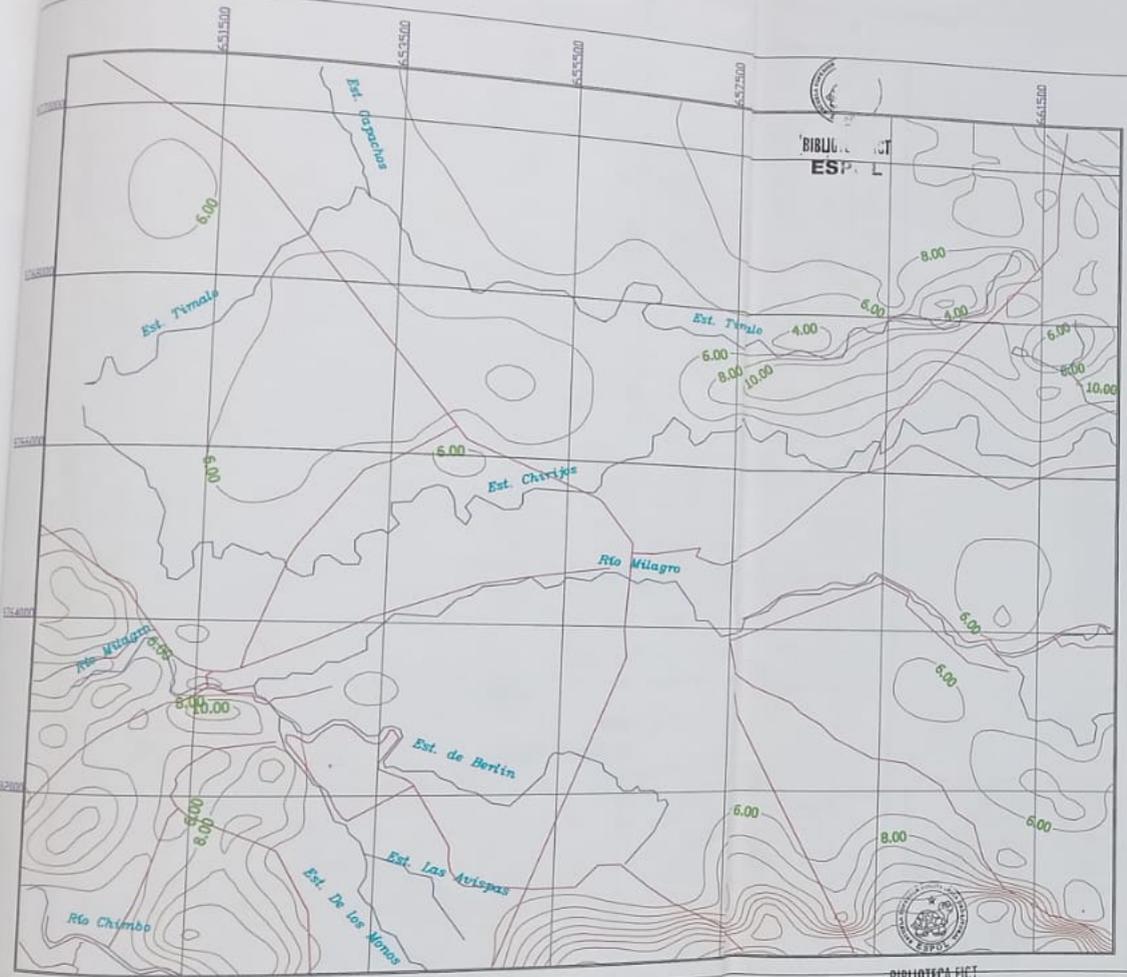
	TÍTULO MAPA DE SUPERFICIES PNEUMÁTICAS EN EL RÍO MILAGRO - CHIRIQUÍ Y SUS APLICACIONES EN LA DETERMINACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA		
	CONTENIDO MAPA DE SUPERFICIES PNEUMÁTICAS CON LAS ZONAS DE ALTA Y POTENCIALES DE PRODUCCIÓN		
DISEÑADO POR ALBERTO BENTLEY C. DANNY CASTELLANO C.	REVISADO POR ING. JIMÉ CALLE C. JORGEHINO GARCÍA	APROBADO POR ING. JIMÉ CALLE C. JORGEHINO GARCÍA	FECHA BASE DISEÑO ESCALA 1:50000 PLANO 3



SIMBOLOGÍA	
	Pozo
	Carretera
	Canal
	Ríos y Esteros
	Ingenio Azucarero Valdez
	E.M.A.P.A.-M.
	E.C.A.P.A.-G.
	Privados

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

		TÍTULO: MAPA DE SUPERFICIES PIEZOMÉTRICAS EN EL AREA MILAGRO - CHIVO Y SUS APLICACIONES EN LA DETERMINACION DEL AGUA SUBTERRANEA	
CONTENIDO: MAPA DE UBICACION DE LOS POZOS Y RIOS			
DISEÑADO POR: ALBERTO BEHITES C. DANNY CASTELLANO G.	ARTIFICADO POR: ING. JIMMY CALLE G. INGENIERO COLUBO	APLICADO POR: ING. JIMMY CALLE G. INGENIERO DE TIPO DE OBRAS	FECHA: MAYO 2002 ESCALA: 1:7000 Hoja: 2



BIBLIOTECA FICT
ESPOL



SIMBOLOGIA

	Curvas Topográficas (intervalos de 2 m)
	Carretera
	Canal
	Ríos y Esteros



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra



<p>TÍTULO MAPA DE SUPERFICIES FISIOGRÁFICAS EN EL ÁREA MELON - CUNIP Y SUS APLICACIONES EN LA DETERMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA</p>			
<p>TEMA MAPA TOPOGRÁFICO DEL ESTERIO MELON - CUNIP</p>			
<p>ELABORADO POR ALBERTO BUSTOS E. DANIEL CASTELLANOS E.</p>	<p>REVISADO POR ING. JUAN CARLOS INGENIERO CIVIL</p>	<p>APROBADO POR ING. JUAN CARLOS INGENIERO CIVIL</p>	<p>FECHA: MAYO 2004 ESCALA: 1:50000 FOLIO: 1</p>

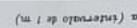
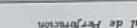
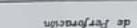
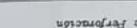
BIBLIOTECA FICT
ESPOL

ESPOL
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

MAPA DE SUPERFICIES PERFORANTES PARA UN MÓDULO T.
 DISEÑADO POR: [Español] [Inglés]
 ASISTENTE DE INVESTIGACIÓN: [Español] [Inglés]
 PROFESOR ASISTENTE: [Español] [Inglés]
 ASISTENTE DE INVESTIGACIÓN: [Español] [Inglés]

FECHA DE ELABORACIÓN: [Español] [Inglés]
 FECHA DE REVISIÓN: [Español] [Inglés]
 FECHA DE APROBACIÓN: [Español] [Inglés]

SIMBOLOGÍA

	Curva isopélica (intervalo de 1 m)
	Zona potencial de Perforación
	Zonas ideales de Perforación
	Zona Ideal de Perforación

