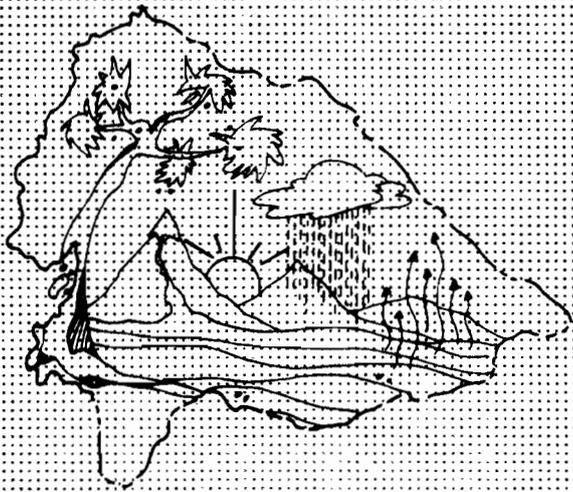




MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA
PROGRAMA NACIONAL DE REGIONALIZACION AGRARIA
PRONAREG — ECUADOR



Contribución a la carta hidrogeológica de
AMERICA DEL SUR.

Organización de las Naciones Unidas para la
Educación, la ciencia y la cultura (UNESCO)

Programa Hidrológico Internacional (PHI)

MAPA HIDROGEOLOGICO DEL ECUADOR

MEMORIA TECNICA

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

ORSTOM - Francia



A C L A R A C I O N

Por razones de índole económico, el mapa adjunto a la presente Memoria se presenta a escala 1:2'000.000. El mapa original elaborado a escala 1:1'000.000, puede consultarse en la oficinas del Departamento de Hidrología, Programa Nacional de Regionalización Agraria, Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Para facilitar su interpretación, que resultaría difícil por la superposición de tramas en algunas regiones, debido a la menor escala de presentación, se modificó la leyenda inicial presentada en la página 16 de la Memoria, relativa a la capacidad específica de las formaciones; se suprimió la clase "sin información", válida para las zonas fuera de los límites territoriales, quedando sin trama (en vez de la trama rojo-anaranjado horizontal), la clase calificada como "muy baja" en el país.

+++++

MINISTERIO DE AGRICULTURA
Y GANADERIA
PROGRAMA NACIONAL DE
REGIONALIZACION AGRARIA
E C U A D O R

OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

F R A N C I A

MAPA HIDROGEOLOGICO DEL ECUADOR

ESCALA 1 : 1'000 000

++

MEMORIA TECNICA

Diciembre, 1982

Realizado por :

Ing. Roberto Cruz Astudillo - Jefe del Departamento de Hidrología
de PRONAREG
Ing. Iván Leiva Santillán - Hidrogeólogo de PRONAREG
Dr. Pierre Pourrut - Asistente Técnico de ORSTOM de Francia

Revisado por :

Comisión Técnica del Comité de Coordinación para los Estudios de la Carta
Hidrogeológica del Ecuador, integrada por :

Ing. Salvador Maldonado - INERHI
Ing. Marco Narváez - INERHI
Ing. Ivo Moreno - IEOS
Ing. Ramiro Iglesias - CLIRSEN
Ing. Rafael Alulema - EMAP-QUITO
Ing. Fabián Burbano - PRONAREG

PRESENTACION

En el Ecuador existen áreas donde el recurso hídrico subterráneo es la única fuente de aprovisionamiento para satisfacer las necesidades vitales de una considerable población rural. Sin embargo, la explotación de este valioso recurso no ha alcanzado un nivel importante, concentrándose su aprovechamiento a localidades, en la gran mayoría de los casos, muy reducidas, y a proyectos relativamente pequeños.

De esta manera los estudios e investigaciones de las aguas subterráneas se han referido únicamente a la consecución de estos proyectos específicos considerando muy poco al recurso como un elemento fundamental del ciclo hidrológico, que como parte constitutiva de éste se encuentra interrelacionado con las precipitaciones, escurrimientos superficiales, entre otros.

PRONAREG y otras entidades han visto la necesidad de impulsar las investigaciones en este campo, conformando el Comité de Estudios Hidrogeológicos del Ecuador, cuyo primer resultado es el presente informe, logrado con el aporte de la asesoría de ORSTOM y de entidades nacionales y regionales de las cuales merecen especial mención INERHI e INAMHI.

Esperamos que esta publicación alcance su objetivo : despertar el interés nacional hacia la profundización en el conocimiento de este recurso y su correcta explotación y conservación.

Ing. Jaime TORRES G.
DIRECTOR EJECUTIVO DE PRONAREG.

SUMARIO

- I. INTRODUCCION
- II. DESARROLLO DEL PROCESO METODOLOGICO
 - II.1. Base topográfica
 - II.2. Datos geográficos
 - II.3. Hidrometeorología
 - II.3.1. Isoyetas medias anuales
 - II.3.2. Estaciones hidrométricas representativas
 - II.3.3. Red hidrográfica
 - II.3.4. Manantiales
 - II.4. Obras de ingeniería
 - II.5. Geología
 - II.6. Hidrogeología
 - II.6.1. Determinación y localización de los acuíferos
 - II.6.2. Evaluación de la productividad de las zonas acuíferas.
 - II.6.3. Delimitación de las provincias hidrogeológicas
- III. LEYENDA Y SIMBOLOGIA
- IV . CONDICIONES GENERALES DE YACIMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS Y SU DISTRIBUCION EN EL ECUADOR
 - IV.1. Los manantiales
 - IV.1.1. Manantiales por diferencia de permeabilidad
 - IV.1.2. Manantiales en coladas volcánicas
 - IV.1.3. Manantiales en zonas tectonizadas
 - IV.1.4. Manantiales en zonas kársticas
 - IV.1.5. Manantiales de depósitos aluviales, coluviales, glaciales o mixtos.
 - IV.1.6. Manantiales termominerales

IV.2 Los acuíferos

IV.2.1. Faja costanera centro septentrional

- Acuíferos en depósitos aluviales
- Acuíferos en formaciones sedimentarias

IV.2.2. Depresión del Guayas y faja costanera Sur

IV.2.3. Conjunto andino

IV.2.4. Región amazónica

V. CONCLUSIONES.

I. INTRODUCCION

La participación del ECUADOR en la elaboración del "Mapa hidrogeológico de América del Sur a escala 1:2'500 000", bajo el patrocinio del Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), ha determinado la urgente necesidad de revisar el mapa hidrogeológico preliminar del Ecuador. En efecto, éste había sido realizado en los años 1977-1978 y publicado por el Instituto Geográfico Militar (IGM) en el marco de un informe titulado "Elementos básicos para la planificación de los recursos hídricos en el Ecuador" - 1979, como parte de los estudios programados en el Convenio MAG-ORSTOM, entre el Programa Nacional de Regionalización Agraria (PRONAREG) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Centro de Investigación Científica y Técnica de Ultramar (ORSTOM) de Francia.

Desde la fecha, se ha recogido numerosa e importante información, principalmente en los campos de la geología y el conocimiento de las condiciones hidrogeológicas, aplicándola a la leyenda propuesta por el Mapa Hidrogeológico de América del Sur, permitiendo de esta manera la presentación de una carta hidrogeológica del Ecuador, totalmente actualizada, a escala 1:1'000 000.

II. DESARROLLO DEL PROCESO METODOLOGICO

Como se ha dicho anteriormente y a diferencia del mapa preliminar, la nueva carta presentada se apoya fundamentalmente en la leyenda establecida en CARACAS (19-22 de julio de 1977) y LIMA (23-26 de Octubre de 1979), sustancialmente modificada durante la "II Reunión de Coordinadores Subregionales para la elaboración del Mapa Hidrogeológico de - América del Sur" (Quito, 21-24 de julio de 1981), como consecuencia de importantes aportes por parte de diferentes países entre los cuales debe destacarse a VENEZUELA, ECUADOR y principalmente BRASIL, país que ha lo grado realizar un mapa definitivo.

Después de un examen detallado de la leyenda propuesta, se ha reunido toda la información básica necesaria, con el fin de procesarla según las diferentes pautas descritas a continuación.

II.1. Bases topográficas

Se ha utilizado el mapa base elaborado por el I.G.M.

II.2. Datos geográficos

La representación de los principales datos geográficos, detallados en el capítulo III de la presente memoria, se hizo con ayuda de varios mapas físicos y topográficos a escalas diferentes, realizados por el I.G.M.

II.3. Hidrometeorología

II.3.1. Isoyetas medias anuales, período 1964-1978

Basándose en la información producida por el Instituto

Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), se ha trazado las isoyetas para el período considerado, después de haber verificado detenidamente la validez de las series observadas y llenado estadísticamente los registros incompletos (correlaciones entre estaciones, entre otros).

Con el fin de no sobrecargar el mapa, el intervalo entre isoyetas es de 250 mm en las zonas con escasa lluvia y llega hasta 1000 mm en las regiones con fuerte precipitación. Con este mismo propósito, esta información, conjuntamente con los datos hidrológicos, se presenta en anexo.

II.3.2. Estaciones hidrométricas representativas

Como en el caso anterior, los datos presentados resultan de la información básica proporcionada por el INAMHI, homogeneizada para un período igual al de las lluvias y cuidadosamente verificada.

Han sido escogidas siete estaciones con regímenes característicos de la Sierra, de la Costa y mixto, sin que se pueda representar un régimen típicamente amazónico.

II.3.3. Red hidrográfica, zonas de inundación, límites de cuencas hidrográficas

Los cursos de agua, lagos y divisorias de agua han sido definidos mediante los mapas físicos y topográficos del I.G.M., con ayuda de imágenes satelitarias. Las regiones sujetas a periódicas inundaciones han sido delimitadas por el Departamento de Geomorfología del Programa Nacional de Regionalización Agraria (PRONAREG).

II.3.4. Manantiales

Un amplio inventario de las vertientes ha sido llevado a cabo, por parte del PRONAREG, el mismo que es periódicamente actualizado mediante la información recogida en el campo y también proporcionada por diferentes organismos : Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INERHI), Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS), Instituto Nacional Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), principalmente.

Debido a la pequeña escala del mapa, sólo se ubican las principales vertientes y fuentes termales, debiendo recalcar que el propósito más importante del inventario era el de conseguir algunos índices acerca del potencial hidrogeológico de las formaciones geológicas. De las trece vertientes o grupos de manantiales escogidos, seis son termales y representan un interés particular para su aprovechamiento turístico o medicinal.

II.4 Obras de ingeniería

Las principales presas han sido ubicadas por medio de la información obtenida de INECEL, Centro de Rehabilitación de Manabí (C.R.M.) y Programa Regional para el Desarrollo de la Región Sur del Ecuador - (PREDESUR).

En cuanto a los pozos, se ha efectuado un amplio inventario, conjuntamente con el de los manantiales. Las fuentes de información fueron múltiples ya que proceden de todos los Institutos Nacionales vinculados con el sector hídrico, de los Organismos Regionales de Desarrollo y de un inventario en el campo. De encontrar pozos completos que atravesasen la totalidad de una formación acuífera, habría sido posible señalar los realmente representativos de la misma. Por no haberlos encon

trado sólo se sitúan pozos individuales, cuidadosamente seleccionados para caracterizar, en la mejor forma posible, los grandes conjuntos acuíferos en cuanto a su nivel estático, caudal específico y residuo seco (muchas veces ausente).

Los 31 pozos escogidos representan a las formaciones siguientes : aluviales recientes (20), aluvio-coluviales (1), rellenos volcánicos cuaternarios (5), terrazas antiguas (2), formaciones marinas plio-cuaternarias (2) y terciario (1).

Como en el caso de los manantiales, cabe destacar la importancia de un inventario exhaustivo de los pozos a nivel nacional, ya que están íntimamente relacionados con el aspecto hidrogeológico. En efecto, intervienen directamente en la comprobación de la calidad acuífera de las diferentes formaciones geológicas perforadas (presencia o ausencia de aguas subterráneas) y en la cuantificación de la productividad de los acuíferos, según los caudales específicos encontrados.

II.5. Geología

El Ecuador dispone de un mapa geológico a escala 1:1'000 000 elaborado en 1969 por el Servicio Nacional de Geología y Minería (S.N.G.M.), con la asistencia técnica del Gobierno francés (Instituto Francés del Petróleo IFP) además de numerosas cartas geológicas a escalas diferentes, generalmente a 1:100 000, realizadas por la Dirección General de Geología y Minas (D.G.G.M.). Esta información permite delimitar sin problema las grandes formaciones señaladas con los símbolos correspondientes a seis eras y períodos geológicos, además de mencionar a los metamórficos e intrusivos. Para la definición de las fallas y grandes accidentes regionales, las imágenes del satélite LANDSAT han constituido un notable aporte.

II.6 Hidrogeología

Naturalmente, la representación de la realidad hidrogeológica constituye la parte más importante de los trabajos de interpretación y mapeamiento. En efecto, requiere de tres etapas principales :

- determinación y localización de los acuíferos
- evaluación del potencial de los mismos
- delimitación de las grandes provincias hidrogeológicas

II.6.1. Determinación y localización de los acuíferos

Consiste primero en un traspaso de las características litológicas de las formaciones geológicas hacia la posibilidad teórica de poder contener aguas subterráneas. Es un criterio únicamente cualitativo : se plantean diferentes hipótesis, tales como las siguientes : los sedimentos aluviales deben conformar una capa acuífera y, por el contrario, las rocas ígneas, macizas y no fracturadas, no contienen aguas subterráneas.

En una etapa posterior, el mapa así elaborado se compara con el de puntos de agua, resultado del inventario de pozos y manantiales, - lo que permite confirmar la veracidad o la falsedad de las hipótesis formuladas.

En forma general, la litología y el grado de fracturación de las rocas que componen las formaciones geológicas, permiten clasificarlas en tres grupos y once subgrupos de ocurrencia de aguas subterráneas - (Cuadro n° 1 del Capítulo III), todos representados en el mapa del Ecuador.

II.6.2. Evaluación de la productividad de las zonas acuíferas anteriormente localizadas.

La estimación se realiza mediante la interpretación de los caudales específicos de los pozos perforados en diferentes zonas. A pesar de la intervención de otros factores (diámetro de perforación, tipo de desarrollo del pozo, etc ...) se considera, en primera aproximación, que la capacidad del acuífero es cercana al promedio de los caudales específicos de los pozos representativos (completos)*. En el presente caso, como se dispone solamente de pozos incompletos**, que no atraviesan la totalidad de la formación acuífera, se debe también suponer que la zona no investigada del acuífero tiene las mismas características hidráulicas que la parte perforada.

Por otra parte, cuando no existen pruebas de bombeo en los pozos de algunas formaciones, se considera cada caso particular. Es así que, por comparación con un acuífero vecino de litología semejante y de capacidad específica conocida, a veces es posible extrapolar los resultados del uno al otro.

Las cuatro clases de capacidad específica escogidas se detallan en el Cuadro n° 2 del Capítulo III, siendo todas representadas en el Ecuador.

II.6.3. Delimitación de las provincias hidrogeológicas

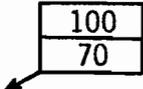
A través del examen de la topografía, de las condiciones de recarga y de las características generales de los diferentes acuíferos, se ha determinado que en el Ecuador están presentes tres grandes provincias hidrogeológicas :

* Con penetración total del acuífero

**Con penetración parcial del acuífero.

- provincia andina, vertiente del Pacífico
- provincia andina, vertiente del Atlántico
- provincia amazónica, delimitada arbitrariamente por la curva de nivel de 1200 m, al Este de la Cordillera Real.

III. LEYENDA Y SIMBOLOGIA

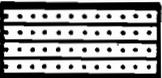
E L E M E N T O	SIMBOLO	COLOR
III.1. <u>Datos geográficos</u>		
. Capital		Gris
. Ciudades o localidades seleccionadas		Gris
. Límites internacionales		Gris
. Cota de elevaciones importantes en metros	° 1735	Gris
Referencias geográficas importantes tanto terrestres (sierras, picos, etc), como marítimas (bahías, lagunas, etc.)		
III.2. <u>Hidrometeorología</u>		
. Isoyetas medias anuales para el período 1964-1978, en mm	 mapa anexo	Azul
. Estación hidrométrica representativa con caudal medio anual (m ³ /s) y superficie de la cuenca de drenaje (1000 Km ²)	 mapa anexo	Azul
. Límite de las grandes cuencas hidrográficas		Azul

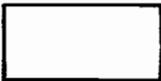
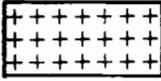
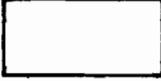
E L E M E N T O	SIMBOLO	COLOR
. Curso de agua perenne		Azul
. Curso de agua intermitente		Azul
. Zona pantanosa o sujeta a inundación		Azul
. Manantial, fuente, vertiente o grupo		Azul
. Manantial, fuente, vertiente o grupo termal		Azul
<p>NOTA : En el exterior del símbolo de manantial se indican los siguientes elementos :</p> <p><u>Fuente termal</u></p> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;">  <div style="text-align: center;"> $\frac{1 ; 2}{3}$ </div> <div style="margin-left: 20px;"> <ol style="list-style-type: none"> 1. temperatura en ° C 2. caudal en l/s 3. salinidad en mg/l. </div> </div>		
<p>III.3. <u>Obras de ingeniería</u></p>		
. Presa existente o en construcción		Rojo
. Pozo individual no surgente		Rojo
. Pozo individual surgente		Rojo
<p>NOTA : En el exterior del símbolo de pozo se indican los siguientes</p>		

ELEMENTO	SIMBOLO	COLOR
elementos :		
<u>Pozo individual</u>		
2 ; 3 1  ————— 4 ; 5	1. unidad o sistema hidrogeológico captado 2. profundidad del pozo (m) 3. nivel estático (m) 4. caudal específico (m ³ /h/m) 5. residuo seco (mg/l)	
III.4. <u>Geología</u>		
. Contacto normal	—————	Negro
. Contacto inferido	- - - - -	Negro
. Falla regional	—————	Negro
. Falla regional inferida	- - - - -	Negro
. Períodos y eras geológicas		
Cuaternario	Q	Negro
Terciario	T	Negro
Cretáceo	K	Negro
Triásico	TR	Negro
Jurásico	J	Negro
Devónico	D	Negro
Metamórficos	<i>M</i>	Negro
Intrusivos	G	Negro

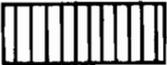
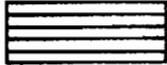
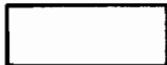
5. HIDROGEOLOGIA

CUADRO N° 1 : Ocurrencia de aguas subterráneas

G R U P O S	S U B - G R U P O S				PRINCIPALES FORMACIONES INTERESADAS
TIPO DE PERMEABILIDAD	IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA	SIMBOLOGIA	LITOLOGIA GENERAL	LITOLOGIA ESPECIFICA	SIMBOLOGIA
A- Rocas porosas con <u>im</u> portancia hidrogeo- lógica grande a res- tringida Color azul	generalmente grande		Sedimentos detríticos y piroclásticos poco o no consolidados	Depósitos aluviales, coluviales, fluvio-glaciales y de piedemonte, terrazas, tobas volcánicas redepositadas.	∇ - f1 - g - c - QA - Hc - ∇ - Qm - Qp - PLBZ
	grande		sedimentos detríticos consolidados	conglomerados, areniscas, brechas, en posible asociación con calizas	t -PR- Ho - Np- Me- MA Tr - ch/US - Ti/CZ
	de media a res- tringida		sedimentos indiferencia- dos	conglomerados, areniscas y brechas en asociación con lutitas y arcillas. Tobs volcánicas en asociación con coladas de lavas	PT- PL _C - PI- PEA- Mp- Mb- OM _Z - TCH- Ar- Pz- Lh
	generalmente restringida		sedimentos indiferencia- dos	asociaciones: sedimentos heterogéneos con lentes y capas de arenisca. Tobs volcánicas predominantes, en asociación con coladas de lava	QC- EO _{SM} - Mv-Ky- Ks- TG- EA- Pl _B - MP _a - KZ- ch _a - VR- P _{tg} -Pr- Pl _{A1} - Pl _i - Pl _p
B- Rocas fracturadas con importancia hidrogeológica media a restringida Color verde	de media a restringida		rocas volcánicas e in- trusivos	rocas volcánicas básicas muy fracturadas, a veces en asociación con intrusivos y tobas	Pv- VTu- Pa- Pc- Pl _S - OM _S
	de media a restringida		rocas detríticas y/o carbonatadas	areniscas, conglomerados y cuarcitas fracturadas con o sin asociación con calizas	K _C - T _g - T ₁
	de media a restringida		rocas carbonatadas	calizas fracturadas y/o Kársticas	ES _E - Sa- Ki- Ma-Np me- dio

G R U P O S	S U B - G R U P O S				FORMACIONES EN EL ECUADOR
TIPO DE PERMEABILIDAD	IMPORTANCIA HIDROGEOLOGICA	SIMBOLOGIA	LITOLOGIA GENERAL	LITOLOGIA ESPECIFICA	SIMBOLOGIA
C- Rocas porosas o fracturadas con importancia hidrogeológica muy restringida Color anaranjado	Restringida		Rocas metamórficas	cuarcitas, gneises, micaesquistos, etc ... poco fracturados	Pb
	muy restringida		rocas detríticas consolidadas o no	arcillas, lutitas y limolitas predominantes	OMTS- OMVI- OMDB- EPB- MPI0- cha- Ar- Cu- MPI D
	muy restringida		rocas metamórficas	cuarcitas, gneises, etc . muy poco o no fracturados	L- V- VT- VZ- VS- Lp- LZ- Ga
	muy restringida		rocas volcánicas e intrusivos	lavas, granitos, dioritas, etc..., muy poco o no fracturados	G- d- Gd- Kp- KMA- KCE

CUADRO N° 2 : Productividad del acuífero

E L E M E N T O	SIMBOLO	COLOR
- Muy elevada (capacidad específica superior a $4 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$)		Anaranjado
- Elevada a media (capacidad específica entre 4 y $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$).		Anaranjado
- Media a baja (capacidad específica entre 1 y $0,13 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$).		Anaranjado
- Muy baja (capacidad específica inferior a $0,13 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$)		Anaranjado
- Sin información		

IV. CONDICIONES GENERALES DE YACIMIENTO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS Y SU DISTRIBUCION EN EL ECUADOR

En forma general, los dos principales factores que rigen la conformación y luego la explotación de las aguas subterráneas, son :

- el clima, como parámetro que condiciona la alimentación y renovación del capital hídrico contenido en el subsuelo ;
- la permeabilidad de las rocas, que genera la infiltración del agua de origen climático y propicia su acumulación en las capas geológicas con permeabilidad primaria (micropermeabilidad debida a la propia porosidad de la roca) o su circulación en las formaciones con permeabilidad secundaria (junturas de estratificación, diaclasas, fisuras, zonas de fracturación o de trituración, etc ...).

Desde un punto de vista práctico, el aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo se realiza mediante la captación de las vertientes y la construcción de pozos, los mismos que pueden atravesar un acuífero generalizado o recortar una red de drenes de circulación.

Sin pretender establecer un inventario exhaustivo, lo expuesto a continuación intenta describir y localizar algunas fuentes explotables.

IV.1. Los manantiales

Los manantiales pertenecen a seis tipos principales ;

1. Manantiales por diferencia de permeabilidad : Resultan de la superposición de una capa acuífera encima de un estrato impermeable, areniscas sobre lutitas, por ejemplo. Cuando esta clase de formación está cortada por un accidente geográfico, tal como una que-

brada, y cuando el buzamiento es favorable, da lugar a manantiales de caudales variables. Es el tipo más clásico y generalizado, encontrándose en la totalidad del país : conglomerado de la formación Riobamba sobre tobas piroclásticas, formación "Mesa" sobre arcillas rojas terciarias, etc ...

2. Manantiales en coladas volcánicas : Las coladas volcánicas, fisuradas por enfriamiento brusco, o fuertemente fracturadas por movimientos tectónicos, originan buenas reservas de agua. Cuando han sido sepultadas pueden transformarse en un dren desde las partes altas y conformar un privilegiado camino de flujo. Estos manantiales pueden ser muy caudalosos, como es el caso del grupo de vertientes de GUAPULO que tiene un caudal mayor a 50 l/s y sirve para el abastecimiento de QUITO. No son numerosos y se localizan exclusivamente en la mitad Norte del callejón interandino, al pie de los principales volcanes.
3. Manantiales en zonas tectonizadas : Los diferentes movimientos orogénicos dieron lugar a fallas y fracturas, creando zonas de permeabilidad secundaria en rocas macizas. De escurrimiento irregular, ya que está sometido a las variaciones de la recarga, este tipo de manantial se observa en las estribaciones exteriores de las dos cordilleras y en los cerros COLONCHE. Las formaciones afectadas son la Macuchi, Piñón, Cayo y las series metamórficas principalmente. Deben señalarse algunas vertientes litorales en la costa de Manabí, en particular las ubicadas entre PUERTO CAYO y MACHALLILLA.
4. Manantiales en zonas Kársticas : En las formaciones calcáreas, las fisuras y juntas se van ensanchando con la penetración del agua. En ciertos lugares la circulación del agua, cargada de anhídrido

carbónico, provoca una fuerte disolución hasta conformar complejas redes de grietas y cuevas, por las cuales pueden escurrirse verdaderos ríos subterráneos. En Ecuador este tipo de manantial se observa en las calizas kársticas de la formación Napo, en la región Amazónica, en particular en las zonas de ARCHIDONA y FATIMA donde varias "fuentes surgentes" alcanzan caudales del orden de 100 l/s en aguas bajas.

5. Manantiales de depósitos aluviales, coluviales, glaciales o mixtos :

Se originan de acuíferos de extensión muy variable, localizándose los manantiales de origen aluvial en los cauces de los ríos y los demás en las laderas de colinas y cerros, generalmente en las rupturas de pendiente. También entran en esta clase de manantiales las descargas superficiales debidas a la sobresaturación de una capa acuífera rodeada de capas impermeables. Aunque poco caudalosos en la mayoría de los casos, son bastante numerosos y de muy buen provecho para el abastecimiento a pequeños poblados. Se reparten en toda la superficie de la república, siempre - que sea suficiente la recarga natural en la cuenca de alimentación.

6. Manantiales termominerales : Las aguas termominerales son caracterizadas por una temperatura superior a la temperatura del medio ambiente y por una salinidad y mineralización generalmente elevadas. Pueden ser de origen magmático o volcánico, pero provienen generalmente de aguas de superficie infiltradas, que disuelven sales minerales, se calientan por el gradiente geotérmico y suben rápidamente a la superficie por fisuras o fracturas abiertas. Entre las principales se pueden citar :

SAN VICENTE, Península de Santa Elena : 39°C y 11.200 mg/l de salinidad total.

BAÑOS DE TUNGURAHUA : 47°C y 10.350 mg/l.

BAÑOS DE CUENCA : 42°C y 2.750 mg/l.

CHACHIMBIRO DE IMBABURA : 60°C y 4.500 mg/l.

IV.2. Los acuíferos

Dado el carácter eminentemente diversificado de la geología del país y debido a una recarga natural extremadamente variable, ya que la pluviometría anual varía entre 100 y más de 6 000 mm, las reservas en aguas subterráneas son sumamente heterogéneas.

A pesar de que el país se ha dividido en las tres grandes provincias hidrogeológicas citadas en el capítulo II.6.3., de acuerdo a las recomendaciones unánimemente adoptadas para la elaboración del mapa del continente sudamericano, parece más conveniente una división en cuatro bloques cuyos límites y características se describen a continuación, de Oeste a Este.

IV.2.1. Faja costanera centro-septentrional

Con un ancho aproximado de 80 Km, abarca la parte Norte y Oeste de la provincia de Esmeraldas, la provincia de Manabí y el Suroeste de la provincia del Guayas. Los acuíferos, de extensión media, se localizan en los aluviales y en las formaciones sedimentarias marinas y continentales de origen detrítico, conglomerados y areniscas en la gran mayoría de los casos.

- Acuíferos en depósitos aluviales

La importancia del acuífero está directamente condicionada por su extensión y por los caudales de los ríos que funcionan como frentes de recarga. Pueden citarse como particularmente interesantes : las planicies aluviales de los ríos Esmeraldas, Teaone, Súa, Atacames y Muisne, en la provincia de Esmeraldas.

En la provincia de Manabí, el problema es más complejo ya que los depósitos aluviales han sido muchas veces contaminados por material yesífero, gene-

ralmente procedente de la formación Tosagua, lo que contribuye a conformar acuíferos freáticos de calidad muy irregular, con aguas salobres o saladas ; tal es el caso de los ríos Briceño, Portoviejo, Manta, Salado, Sancán y Jipijapa. Sin embargo, existen varios acuíferos explotables como los de los ríos Coaque, Jama, Chico y Chone, aunque éste último de baja productividad por tener aluviones limo-arcillosos. Por otra parte, - deben destacarse las zonas aluviales ubicadas a lo largo de los ríos que nacen de los cerros de COLONCHE, en particular desde el río Ayampe hasta el río Valdivia. Estos aluviales, a pesar de ubicarse en zonas de baja pluviometría, tienen una buena alimentación a partir de las alturas de COLONCHE, constituidas por la formación Cayo, que se encuentra muy fracturada, con inclinación favorable hacia el Oeste y con lluvias relativamente abundantes. A pesar de un ligero peligro de contaminación salina, una explotación racional de estos acuíferos podría ser muy útil para una población que carece de agua. De igual forma, la vertiente oriental de los cerros de COLONCHE da lugar a acuíferos aprovechables, aunque de reducida extensión : ríos de Gómez y Paján, por ejemplo.

En la Península de SANTA ELENA, las posibilidades para una explotación de los aluviales son casi nulas ya que se puede considerar que la recarga es mínima. Sin embargo, el agua contenida en las paleoquebradas sepultadas por los tablazos marinos podría proporcionar un aporte apreciable en una región tan seca. Sería muy conveniente emprender una investigación mediante campañas geofísicas exhaustivas, siendo de particular interés las zonas al Norte de PLAYAS y Noroeste de CHANDUY.

- Acuíferos en formaciones sedimentarias -

Por falta de exploración, el recurso hídrico subterráneo de la parte que corresponde a la provincia de Esmeraldas es mal conocido. Debido a la excepcional pluviosidad de la región Noroeste, se puede suponer que la formación Borbón, en esta zona, conforma un acuífero de extensión

notable, ya que está compuesta en gran parte de conglomerados y areniscas.

Hacia el Oeste, pueden descartarse las formaciones Viche y Onzole por estar constituidas en su mayoría de material arcilloso. Por el contrario, las formaciones Borbón y Angostura, principalmente la segunda, podrían contener reservas apreciables.

Más hacia el Sur, estas dos últimas formaciones revisten un particular interés en la provincia de Manabí, que sufre de una crónica escasez de agua y donde la mínima posibilidad debe aprovecharse, siendo tal el caso de la facies de areniscas de la formación Borbón, a pesar de su capacidad reducida. De igual manera, la prospección debería orientarse hacia una posible explotación de la formación Angostura cuya conformación de arenisca y areniscas calcáreas, además de un notable fracturamiento, presenta las mejores condiciones : franja al Este de JIPIJAPA, afloramiento del río Briceño, zona de PAJAN, para citar algunos sitios. Sin embargo, debe recalcarse que su permeabilidad es relativamente baja, lo que requiere de perforaciones profundas para obtener un caudal notable. Por otra parte, descansa sobre la formación Tosagua cuyo miembro Zapotal contiene un acuífero de agua salada debido a la presencia de yeso, lo que constituye un serio peligro de contaminación.

Otra perspectiva interesante la suministra el conjunto Canoa-Tablazo (difícil de diferenciar litológicamente, pudiendo ser la formación Canoa superior un episodio más temprano de la transgresión pleistocena?), en la región ubicada al Oeste de las líneas MANTA-MONTECRISTI-PUERTO CAYO, aún más cuando está cubierto por un relleno aluvio-coluvial, como en el caso de la zona meridional del cerro MONTECRISTI y de las áreas de CANTAGALLO-MANANTIALES. La explotación de estos acuíferos debe manejarse con cuidado para evitar invasiones salinas procedentes de las formaciones Tosagua o San Mateo, las que deben definitivamente descartarse para cualquier extracción de agua dulce.

Finalmente, como ya se ha dicho, la Península de SANTA ELENA, en su parte occidental, no presenta condiciones climáticas y geológicas propicias para la conformación de acuíferos, a excepción de algunas zonas privilegiadas de la formación Tablazo, en su facies conchífera y en las paleoquebradas sepultadas, con algún riesgo de encontrar aguas un poco salobres. En su parte oriental, más lluviosa, existen posibilidades de explotación local en los conglomerados del grupo Azúcar, así como en las areniscas y areniscas calcáreas de la formación Angostura.

IV.2.2. Depresión del Guayas y faja costanera Sur

Esta región está aproximadamente delimitada, al Norte por la línea equinoccial, al Oeste por una línea que une QUININDE-PEDRO CARBO-CHONGON-HUAQUILLAS, al Sur por la frontera con el Perú y al Este por la curva de nivel de 600 metros de la cordillera occidental.

Su principal característica está constituida por la amplitud de las formaciones recientes : a excepción de pocos rasgos muy localizados, toda la superficie está cubierta por depósitos poco o no consolidados cuya edad mayor puede atribuirse al fin del plioceno (Fm. Balzar). Por lo tanto las condiciones geológicas son bastante propicias, además de tener una recarga natural notable procedente no solamente de las lluvias sino también, en la cuenca baja del Guayas, de la infiltración resultante de amplias superficies periódicamente inundadas durante el invierno, desempeñando los ríos un papel importante.

A lo largo de toda la falda de la cordillera occidental existen abanicos aluvio-coluviales, así como potentes depósitos de piedemonte, que contienen acuíferos generalizados, aunque con capacidades específicas localmente bajas, particularmente en la mitad septentrional.

Al Sur de MANUEL J. CALLE, en las provincias del Azuay y El Oro, estos depósitos constituyen una estimable fuente de aprovechamiento, no solamente con miras al consumo humano sino también como aporte complementario para la irrigación, ya que pueden procurar rendimientos de importancia, a veces superiores a 20 l/s en pozos profundos y bien desarrollados. Entre otros, se puede citar al pozo de la Hcda. NUEVA DELICIA con 100 l/s y al de EL CAMBIO con 55 l/s. En la zonabaja, un cuidado especial debe darse a la ubicación de los pozos, tratando de evitar el cuaternario marino y las posibles invasiones salinas. Por otra parte, al Sur de MACHALA, en la región de SANTA ROSA y en el límite fronterizo (HUAQUILLAS y CHACRAS), afloramientos de edad terciaria pueden procurar aportes apreciables.

En sí misma, la depresión central del río Guayas y de sus afluentes conforma el acuífero más extenso y potente del Ecuador. Esta vasta zona alrededor de 12.000 Km² puede ser dividida en dos regiones naturales bien distintas, aproximadamente separadas por el paralelo 1°40'S. Al Sur de esta línea se extiende una zona plana constituida por depósitos aluviales en parte alimentados por inundaciones periódicas. Al Norte, relacionados con la formación Balzar, se encuentran terrazas y depósitos antiguos dando un relieve más ondulado. Estas dos regiones, aunque a veces heterogéneas, tomando en cuenta que los valores de capacidad específica son menores al Oeste de un eje QUEVEDO-YAGUACHI, tienen reservas subterráneas importantes. Altos valores de producción han sido alcanzados en los sitios actualmente explotados : 5 pozos con más de 100 l/s en el Ingenio SAN CARLOS, 2 pozos con más de 50 l/s en los alrededores de BABAHOYO, varios pozos con 25 l/s en EL EMPALME, ISIDRO AYORA, BALZAR, VENTANAS y DAULE. Además es muy probable que exista un acuífero confinado a mayor profundidad, en el borde oriental de la depresión entre VENTANAS y MILAGRO.

IV.2.3. Conjunto andino

Por sus características topográficas y geológicas, el conjunto andino puede dividirse en dos grandes unidades separadas por el nudo Oeste-Este de Tiocajas, límite entre las provincias de Chimborazo y Cañar.

Al Norte, las dos cordilleras y el callejón interandino se encuentran bien individualizados a pesar de la presencia de algunos relieves transversales. En su totalidad, las formaciones de superficie resultan de fenómenos geológicos recientes. En efecto, después de la conformación de un substrato de lavas básicas (cordillera occidental) o de rocas metamórficas (cordillera real), la era terciaria se caracteriza por una fase de volcanismo que se manifestó por la emisión de coladas de lavas, esencialmente andesíticas. Pero este tipo de volcanismo cambió radicalmente en el transcurso del pleistoceno y cuaternario para dar lugar a un volcanismo principalmente explosivo con proyección de un importante material piroclástico : bombas, lapilli, polvos y cenizas volcánicas, entre las cuales la conocida cangahua reviste una particular importancia por su extensa expansión geográfica.

Al Sur del nudo de Tiocajas, las dos cordilleras y el corredor interandino no pueden individualizarse ya que se funden y conforman un conjunto de relieves y hoyas que va ensanchándose hacia el Sur. También la geología resulta más compleja. A excepción de la formación Tarqui, en la parte Norte, que constituye la última manifestación del volcanismo pleistoceno-cuaternario, las demás formaciones volcánicas pertenecen al terciario, tal como la formación Sicalpa. Además, varias transgresiones y regresiones marinas originaron, en la región Suroeste, formaciones de tipo sedimentario-marino, sedimentario-continental o complejos volcano-sedimentarios.

Por lo tanto, las condiciones de yacimiento de las aguas subterráneas son totalmente diferentes según se trate del Norte o del Sur del conjunto andino.

En la mitad Norte, la espesa capa de material piroclástico ha sido localmente modificada por tres importantes glaciaciones así como por la posible continuación del proceso de hundimiento del callejón, lo que provocó varios episodios de erosión intensa, materializados por el transporte y depósito de sedimentos fluvio-lacustres en las depresiones. En comparación con el material piroclástico proyectado por las erupciones y depositado en forma eólica, generalmente impermeable, estos sedimentos son en gran parte permeables y conforman acuíferos, tal vez heterogéneos, pero de suma importancia hidrogeológica, tal como en el caso de QUITO donde el relleno de la cubeta está actualmente explotado en aproximadamente 1500 l/s, de los cuales 600 l/s sirven para el abastecimiento a la red de agua potable. Todas las hoyas que presentan condiciones semejantes - podrían explotarse en forma más decidida : alrededores de TULCAN, zona de CAYAMBE-TABACUNDO, región de IBARRA, depresión de GUAYLLABAMBA, valle de LOS CHILLOS, hoyas de LATACUNGA, AMBATO y RIOBAMBA-CHAMBO.

Aunque con un contexto geológico más diversificado, la mitad Sur del conjunto andino presenta amplias zonas poco propicias para la explotación intensiva de aguas subterráneas. En efecto el complejo volcánico, a excepción de algunos mantos andesítico-riolíticos, tal como en la formación Saraguro, está principalmente constituido por tobas arcillosas poco permeables, lo cual limita su explotación solamente a zonas de acumulación, con mayor probabilidad de tener pozos productivos cuando interfieren formaciones aluviales : zonas de GUALACEO-PAUTE, Valle de SANTA ISABEL, depresiones de CATAMAYO-LA TOMA y MALACATOS-VILCABAMBA, para citar las principales.

Las dos formaciones geológicas que presentan condiciones realmente favorables, que muy poco o nada han sido explotadas, son la formación Río Playas y la parte superior del grupo Alamor. Al Oeste de CATACOCHA, en el cantón Paltas con muy escaso recurso hídrico, las areniscas y el conglomerado basal de la formación Río Playas deberían proporcionar un valioso aporte. Por otra parte, al Oeste del meridiano $80^{\circ}10'W$, el flysch de la formación Zapotillo podría constituirse en una apreciable fuente de agua, perforando en las espesas capas de grauvacas que se encuentran alternadas con lutitas negras estériles.

Debe notarse que, a excepción del río Puyango cuyo cauce bajo ofrece las mejores perspectivas, los sistemas fluviales no han desarrollado depósitos aluviales de real importancia, debido principalmente a un encañonamiento resultante de movimientos orogénicos recientes. Sin embargo, localmente, es posible encontrar acuíferos freáticos de extensión reducida que podrían explotarse mediante una red de pozos excavados: ríos Chota, Chambo, Jubones, Playas, Catamayo y Macará, para citar los principales.

Por otra parte, es indiscutible que las intrusiones graníticas, conjuntos metamórficos (series Zamora y Paute, grupos Tahuín y San Roque, - formación Zambí) y el complejo de lavas básicas de la formación Celica, no presentan en sí mismos un interés hidrogeológico. Sin embargo, como consecuencia de un relieve importante al que se suma una fuerte meteorización han desarrollado numerosas formaciones coluviales, de extensión reducida en la mayoría de los casos; a pesar de su débil producción, podrían suministrar un aporte apreciable a pequeños poblados y caseríos, - en las zonas que sufren de una aguda escasez de agua.

IV.2.4. Región Amazónica

Puede definirse como la región con una altura inferior a los 1200 m., ubicada al Este de la cordillera real.

Como consecuencia de la alta pluviosidad y de la gran disponibilidad en aguas superficiales, este inmenso territorio no siente una urgente y -real necesidad de explotar sus aguas subterráneas ; sin embargo, ésta no puede descartarse pues, siempre que el recurso hídrico profundo tiene la gran ventaja, en relación con las aguas superficiales, de necesitar de un tratamiento previo mínimo.

A grandes rasgos, todos los ríos han desarrollado aluviales de importancia, muy anchos en las zonas de débil pendiente donde ocurren frecuentes cambios de cauce. Existe una cierta heterogeneidad en cuanto a la calidad acuífera de los depósitos : en la parte central, entre los ríos Nashiño y Corrientes, los sedimentos son más arcillosos. Las condiciones más favorables para una explotación de los acuíferos freáticos se encuentran a lo largo del río Napo, parte alta del Tiputini, río Pastaza y sus afluentes, parte baja del Morona.

Otra fuente la proporciona la formación Mesa cuaternaria. Está formada por espesos sedimentos detríticos de origen metamórfico y volcánico, parcialmente de grano grueso o de tipo conglomerado torrencial, esparcidos en forma de abanico de piedemonte. Presenta diferentes niveles de terrazas escalonadas entre 150 m. y 300 m. de altitud, aproximadamente. En el Norte, al pie de los Andes, la formación Chambira Ushpa, más antigua (plioceno?) pero del mismo origen ya que está constituida por un esparcimien - to de sedimentos clásticos con algunas intercalaciones de arcillas, también presenta buenas condiciones.

Las formaciones terciarias comprenden una secuencia de sedimentos detríticos de tipo molasa, depositados en un ambiente continental o lacustre. Predominan las arcillas o lutitas rojas con intercalaciones de areniscas y conglomerados basales. En general no presentan un interés particular para la extracción de agua a excepción de la formación eocena Tiyuyacu-Cuzutca. Niveles de agua salobre han sido atravesados en la formación Curaray.

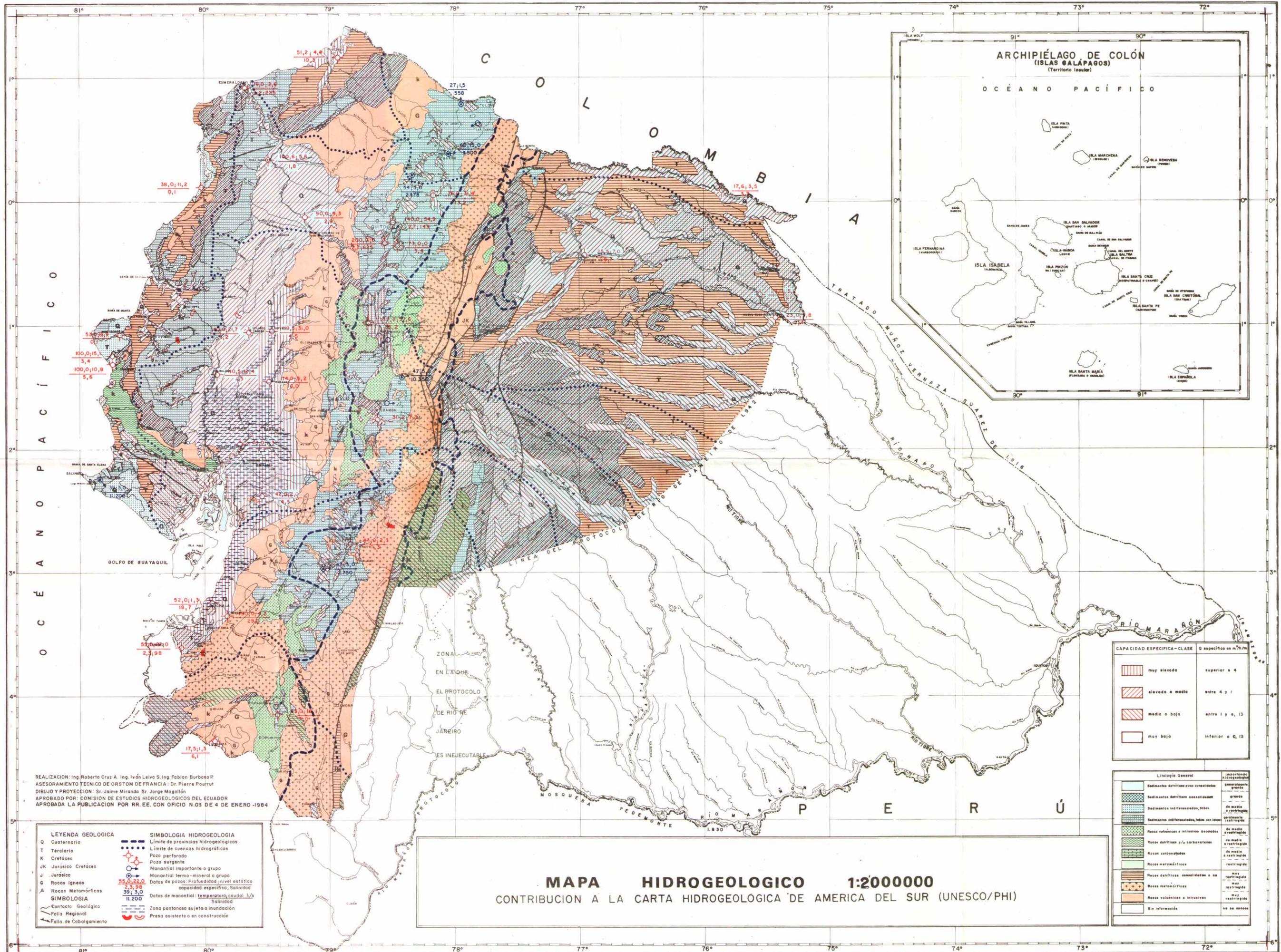
Debido a las perforaciones petroleras, las formaciones de la era secundaria son bastante conocidas. Diferentes capas acuíferas separadas por estratos de lutitas, existen en los conglomerados y areniscas de la formación Tena, así como en los niveles calcáreos de la formación Napo. La formación Hollín, famosa por constituir la principal roca almacén de hidrocarburos, está formada en su mayoría por areniscas blancas de grano grueso, muy porosas. Varias perforaciones demostraron que se encuentra saturada de agua dulce, lo que hace posible su explotación en los lugares donde aflora : Sur de la cordillera de CUTUCU y Domo del Napo. En cuanto a las formaciones jurásicas, la potente formación Santiago, constituida por calizas y areniscas calcáreas, debería contener un importante acuífero pero ha sido comprobado que la formación Chapiza sólo tenía aguas saladas.

V. CONCLUSIONES

En definitiva, como se puede notar en el mapa y como se ha descrito brevemente en el capítulo anterior, el recurso hídrico subterráneo está ampliamente representado en el Ecuador. Aunque con una productividad muy variable, su efectiva presencia en zonas de escasas disponibilidades podría ser una de las alternativas para responder a la demanda a nivel local.

El interés para utilizar este valioso aporte, que últimamente se ha manifestado en varias regiones del país, debería ser el primer paso hacia investigaciones generalizadas destinadas a ubicar y cuantificar - más detalladamente las cantidades aprovechables. En efecto, el conocimiento actual de las condiciones hidrogeológicas es todavía insatisfactorio y son absolutamente necesarias la implementación de una red nacional de pozos testigos así como la realización de una amplia campaña de perforaciones con pruebas de bombeo para definir las características hidráulicas y capacidad de los distintos acuíferos.

Esta es la única forma de llevar a cabo el aprovechamiento realmente racional de un recurso cuyo manejo puede ser sumamente delicado en el caso de reservas limitadas.



REALIZACION: Ing Roberto Cruz A. Ing Iván Leiva S. Ing Fabian Burbano P.
ASESORAMIENTO TECNICO DE ORSTOM DE FRANCIA: Dr. Pierre Pourrut
DIBUJO Y PROYECCION: Sr. Jaime Miranda Sr. Jorge Magallán
APROBADO POR: COMISION DE ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS DEL ECUADOR
APROBADA LA PUBLICACION POR RR. EE. CON OFICIO N.03 DE 4 DE ENERO -1984

LEYENDA GEOLOGICA		SIMBOLOGIA HIDROGEOLOGICA	
Q	Cuaternario	---	Límite de provincias hidrogeológicas
T	Terciario	○	Pozo perforado
K	Cretáceo	○	Pozo surgente
JK	Jurásico Cretáceo	○	Manantial importante o grupo
J	Jurásico	○	Manantial termo-mineral o grupo
G	Rocas Igneas	○	Datos de pozos: Profundidad; nivel estático
M	Rocas Metamórficas	○	capacidad específica; Salinidad
SIMBOLOGIA		○	Datos de manantial: temperatura; caudal; L/S
—	Contacto Geológico	○	Salinidad
—	Falla Regional	○	Zona pantanosa sujeta a inundación
—	Falla de Cobalgiamiento	○	Presas existentes o en construcción

CAPACIDAD ESPECIFICA-CLASE		Q específico en m ³ /m
[Hatched pattern]	muy elevada	superior a 4
[Diagonal lines]	elevada a media	entre 4 y 1
[Dotted pattern]	medio a bajo	entre 1 y 0,15
[White box]	muy bajo	inferior a 0,15

Litología General	Importancia Litológica
[Hatched pattern]	Sedimentos detríticos poco consolidados
[Diagonal lines]	Sedimentos detríticos consolidados
[Dotted pattern]	Sedimentos indiferenciados, limos
[Hatched pattern]	Sedimentos indiferenciados, limos con lodo
[Dotted pattern]	Rocas volcánicas e intrusivas asociadas
[Diagonal lines]	Rocas detríticas r/ carbonatadas
[Dotted pattern]	Rocas carbonatadas
[Hatched pattern]	Rocas metamórficas
[Diagonal lines]	Rocas detríticas consolidadas o no
[Dotted pattern]	Rocas metamórficas
[Hatched pattern]	Rocas volcánicas e intrusivas
[White box]	Sin información

MAPA HIDROGEOLOGICO 1:2000000
CONTRIBUCION A LA CARTA HIDROGEOLOGICA DE AMERICA DEL SUR (UNESCO/PHI)