



INTRODUCCIÓN A LA HIDROGEOLOGÍA DEL ECUADOR

2da. Edición

AUTORES:

Napoleón Burbano O.
Simón Becerra P.
Efrén Pasquel S.

AGOSTO - 2015

INTRODUCCIÓN

A LA HIDROGEOLOGÍA

DEL ECUADOR

(SEGUNDA VERSIÓN)

AUTORES:

NAPOLEÓN BURBANO O.

SIMÓN BECERRA P.

EFRÉN PASQUEL S.

SEPTIEMBRE – 2014

Esta investigación fue realizada por el personal del Grupo de Aguas Subterráneas de la Unidad de Estudios e Investigaciones Hidrológicas de la Dirección de Gestión de Hidrología del Inamhi, conformado por Napoleón Burbano O. (coordinador), Simón Becerra P., Efrén Pasquel S. y Léster Pérez L.

© INAMHI, 2014
Iñaquito N36-14 y Corea
www.inamhi.gob.ec
Quito, Ecuador

ÍNDICE

Prólogo a la segunda versión

i

CAPÍTULO 1 CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDROGEOLOGÍA

1.1	Introducción	2
1.2.	Hidrogeología	2
1.2.1.	Definición de hidrogeología	2
1.2.2.	Relación de la hidrogeología con otras ciencias	2
1.2.3.	Historia de la hidrogeología	3
1.2.4.	Evolución de la hidrogeología	3
1.3.	Origen del agua subterránea	4
1.3.1.	Distribución del agua en el planeta	4
1.4.	Formaciones geológicas como estratos acuíferos	5
1.4.1.	Clasificación de las rocas	5
1.4.2.	Formaciones geológicas y modo de yacimientos de aguas subterráneas	7
1.4.3.	Tipos de capas acuíferas	8
1.5.	Parámetros hidrogeológicos fundamentales	9
1.6.	Métodos de exploración de las aguas subterráneas	10
1.6.1.	Conformación de las fichas de inventario	13
1.6.2.	Zonas de interés hidrogeológico	14

CAPÍTULO 2 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ECUADOR

2.1.	Introducción	16
2.2.	Cartografía hidrogeológica	17
2.3.	Caracterización hidrogeológica del Ecuador	19
2.3.1	Generalidades	19
2.4.	Mapa hidrogeológico del Ecuador	19
2.4.1.	Objetivo y carácter del mapa	20
2.4.2.	Contenido del mapa	20
2.5.	Unidades hidrogeológicas	23
2.5.1.	Unidades hidrogeológicas región Sierra	24
2.5.1.1.	Unidad de Tulcán	24
2.5.1.2.	Unidad de Ibarra	27
2.5.1.3.	Unidad de Quito - Machachi	30
2.5.1.4.	Unidad de Latacunga - Ambato	33
2.5.1.5.	Unidad de Chimborazo - Altar	36

2.5.1.6.	Unidad de Cañar – Cuenca - Girón	39
2.5.2.	Unidades hidrogeológicas región Costa	42
2.5.2.1.	Unidad de Cabo San Lorenzo	42
2.5.2.2.	Unidad de Esmeraldas	45
2.5.2.3.	Unidad de Chone - Calceta	48
2.5.2.4.	Unidad de Portoviejo	51
2.5.2.5.	Unidad de Guayas	54
2.5.2.6.	Unidad de Machala	57
2.5.2.7.	Unidad de Santa Elena	60
2.5.2.8.	Unidad de Cojimíes	63
2.5.2.9.	Unidad de La Concordia	66
2.6.	Acuíferos transfronterizos	69
2.6.1.	Sistema acuífero trasfronterizo Tulcán – Ipiates	71
2.6.2.	Sistema acuífero trasfronterizo Zarumilla	72
2.6.3.	Sistema acuífero trasfronterizo Puyango - Tumbes - Catamayo – Chira	73

CAPÍTULO 3

SÍNTESIS DE LOS ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS REALIZADOS POR EL INAMHI

3.1.	Caracterización hidrogeológica de la cuenca del río Guayas	76
3.2.	Hidrogeología cantón Tulcán	79
3.3.	Caracterización hidrogeológica de la Isla Puná	81
3.4.	Caracterización hidrogeológica cuencas de los ríos Portoviejo – Chone y Jipijapa	82
3.5.	Hidrogeología del sector Tres Cerritos	85
3.6.	Caracterización hidrogeológica de la cuenca del Río Mira	86
3.7.	Hidrogeología de los sectores Pujilí – La Victoria	89
3.8.	Hidrogeología acuífero de Cantagallo	90
3.9.	Hidrogeología acuíferos Progreso – Santa Elena	93
3.10.	Hidrogeología Machala – Zarumilla	96
3.11.	Caracterización hidrogeologica de la cuenca alta del río Pastaza	102

CAPÍTULO 4

AGUAS TERMALES EN EL ECUADOR

4.1.	Aguas termominerales en el Ecuador	111
	Glosario técnico	119
	Literatura consultada	121

PRÓLOGO A LA SEGUNDA VERSIÓN

Este documento técnico, de carácter introductorio, presenta una síntesis de los resultados alcanzados por el Grupo de Estudios e Investigaciones Hidrogeológicas del Inamhi, así como los conceptos fundamentales, que nos permiten conocer y entender de mejor manera las aguas subterráneas y su estrecha vinculación con la geología imperante en cada sector.

Refleja cuanto se llegó a conocer sobre los acuíferos en el Ecuador, la información disponible y cuanto pertinente y oportuno es conocer esta problemática para conjugar la toma de decisiones y el diálogo entre los actores.

Los esfuerzos realizados ponen en evidencia la necesidad de profundizar más estos conocimientos y de articular mejor con la comunidad de investigadores, así como con los tomadores de decisión para generar información de calidad sobre el conocimiento integral de las aguas subterráneas en el Ecuador.

Es necesario seguir reuniendo material para actualizar, de manera permanente la base de datos; este es un desafío que queda pendiente.

CAPÍTULO I

CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDROGEOLOGÍA

1.1 INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas son un recurso substantivamente más abundante que las aguas superficiales, pero en general se las conoce menos y se las gestiona sin el adecuado conocimiento científico y técnico, degradándose o no utilizándose en definitiva el recurso.

En el Ecuador existen zonas en las que el agua subterránea es el único recurso accesible para abastecer poblaciones o para la irrigación de cultivos; constituye un recurso esencial para la seguridad alimentaria, a la vez que es vital para el funcionamiento de los ecosistemas. No obstante, los bienes y servicios que los acuíferos prestan en el desarrollo socio económico no se destacaron hasta el presente, salvo casos muy especiales en que se constituyen en el único recurso de agua accesible.

“Los esfuerzos por su conocimiento científico, las formas de uso y el desarrollo de instrumentos adecuados para su gestión sostenible, no se desarrollaron como se hizo en el caso de las aguas superficiales, cuyos paradigmas de gestión se aplican en muchos casos erróneamente a la gestión de las aguas subterráneas”.

Las carencias generalizadas de conocimientos, capacidades e instrumentos de gestión llevaron a usos irracionales, pérdidas del recurso y a su contaminación, generando situaciones cuya reversión implican procesos excesivamente costosos. El problema se agudiza cuando se trata de zonas con más elevados índices de pobreza y con limitaciones socioeconómicas, en las cuales, salvo excepciones, el conocimiento es prácticamente inexistente.

De esto se deriva la necesidad de desarrollar un amplio programa de investigación, que permita no solo la mejora de los conocimientos de los acuíferos actualmente en explotación, sino además, implementar estrategias para la evaluación de las reservas y el conocimiento de los mecanismos de recarga de los principales sistemas acuíferos del país, desarrollar políticas y programas para la gestión integral de los acuíferos, basados principalmente en una explotación racional, sostenible y sustentable del agua subterránea.

1.2 HIDROGEOLOGÍA

1.2.1 Definición de hidrogeología

En 1802, el francés Lemarck utilizó el vocablo hidrogeología para definir al conjunto de fenómenos erosivos producidos por el agua (erosión, transporte y sedimentación). En 1880, el inglés Lucas empleó el término hidrogeología para referirse al estudio geológico en la investigación de aguas subterráneas; sin embargo, esta definición no fue aceptada por los científicos de la época.

En 1939, Meizner propone a la Asociación Internacional de Hidrología el término geohidrología para definir a la parte de la hidrología que trata de las aguas subterráneas.

El concepto universalmente aceptado, es el que citan E. Custodio y M.R. Llamas, en el libro “Hidrología Subterránea”, Ediciones Omega S.A., Barcelona 1983, pg. 249 : “La hidrogeología es la rama de la hidrología que trata del agua subterránea, su yacimiento y movimientos, su enriquecimiento y empobrecimiento; de las propiedades de las rocas que controlan sus movimientos y almacenamiento, así como de los métodos de su investigación, utilización y conservación”.

1.2.2 Relación de la hidrogeología con otras ciencias

La hidrogeología es una ciencia interdisciplinaria, que para su cabal comprensión, es necesario aplicar conceptos, leyes y principios de otras disciplinas, especialmente de las denominadas ciencias naturales.

Con la geología tiene una estrecha vinculación. El conocimiento de las formaciones geológicas, de las estructuras y de la tectónica permiten conocer el modo de yacimiento de las aguas subterráneas.

La hidroquímica constituye una ciencia auxiliar en el estudio de aguas subterráneas; ayuda a definir la relación agua-suelo y especificar la calidad y grado de contaminación del agua.

La mecánica de fluidos es una disciplina absolutamente imprescindible para tener una correcta visión del funcionamiento de los embalses subterráneos, sobre la base del conocimiento de los principios que rigen a los flujos en medios porosos.

La climatología es una ciencia básica, de la que el hidrogeólogo debe tener amplios conocimientos que le permitan determinar cuantitativamente los parámetros del ciclo hidrológico.

1.2.3 Historia de la hidrogeología

Cuando el hombre dejó la vida nómada para hacerse sedentario, surge una nueva sociedad dedicada a la agricultura y ganadería, consecuentemente, esto trae consigo la necesidad de disponer de una fuente de abastecimiento de agua. El hombre empieza a buscar soluciones a este naciente problema y como resultado de sus investigaciones, florece el arte de construir pozos y galerías de captación de este vital elemento. La Biblia hace referencia a los pozos de agua que abastecían a los pueblos.

A pesar de la poca información sobre la utilización del agua subterránea por las civilizaciones antiguas, se conoce que hace más de dos mil años se construyeron largas galerías de infiltración, que drenaban las aguas de los conos aluviales de deyección y de las rocas sedimentarias blandas.

Estas galerías de infiltración se denominaban Kanats y fueron muy difundidas en los pueblos del Oriente Medio : Irán, Egipto, Afganistán, en donde se las utilizaba para la irrigación y con fines domésticos.

En nuestro país se tiene conocimiento sobre las técnicas de los Quitus, quienes para solucionar los estragos de la sequía construyeron pozos de poca profundidad (cubos) y galerías de infiltración (socavones). Gran parte de estas obras fueron destruidas por terremotos y por los indígenas a la llegada de los españoles.

De lo expuesto anteriormente, podemos concluir que la hidrogeología es una ciencia casi tan antigua como el hombre, que se desarrolló paralelamente al avance de la tecnología y a los requerimientos de la humanidad.

1.2.4 Evolución de la hidrogeología

Los griegos fueron los primeros en elucubrar sobre el origen de las aguas subterráneas, sustentados en leyes filosóficas carentes de la base científica; sin embargo, gracias al prestigio en otras ramas del saber, sus errados conceptos fueron aceptados por mucho tiempo.

Aristóteles, discípulo de Platón, consideraba a la Tierra como una gran esponja y que el agua procedía de la condensación del aire, que llenaba los espacios vacíos.

En Roma, Viturbio explicó el afloramiento del agua subterránea como infiltración de la lluvia; sus conceptos no fueron tomados en cuenta por los científicos de la época.

En el siglo XII, los criterios anteriores no sufrieron modificación; sin embargo, se perfeccionan las técnicas de perforación de pozos, especialmente en Francia, Inglaterra y Holanda.

En el siglo XVII se inicia la experimentación para definir la relación existente entre la precipitación y el caudal de las fuentes, dándose inicio a la evaluación del balance hídrico e introduciendo el concepto de infiltración.

En el siglo XVIII, a pesar del avance de las ciencias físicas, no se tenía claro el concepto de hidrogeología y la relación de las aguas superficiales con las subterráneas. El astrónomo Kepler suponía que la Tierra se asemejaba a un gigantesco animal que digería el agua del mar y como resultado de un complejo metabolismo, producía el agua dulce que salía a la superficie en forma de manantiales.

El desarrollo de la hidrogeología a lo largo de los últimos 150 años, es notable. Los geólogos fueron los primeros en estudiar la relación entre la geología y el agua del suelo; con el apoyo de los hidrólogos, se aplicó los conceptos de las leyes de la física para deducir el flujo del agua en medios porosos.

Los sucesivos avances en el campo de la hidrología, de la mecánica de fluidos y su aplicación a la hidrogeología, permitió el desarrollo de nuevas técnicas y la utilización de modelos analógicos o matemáticos, como herramientas importantes para conocer el comportamiento de los acuíferos.

1.3 ORIGEN DEL AGUA SUBTERRÁNEA

La mayoría del agua subterránea se origina como agua meteórica, que se precipita en forma de lluvia o nieve. Si no se pierde por la evaporación, transpiración de las plantas o escorrentía, el agua se infiltra en el terreno (Gráfico N° 1).



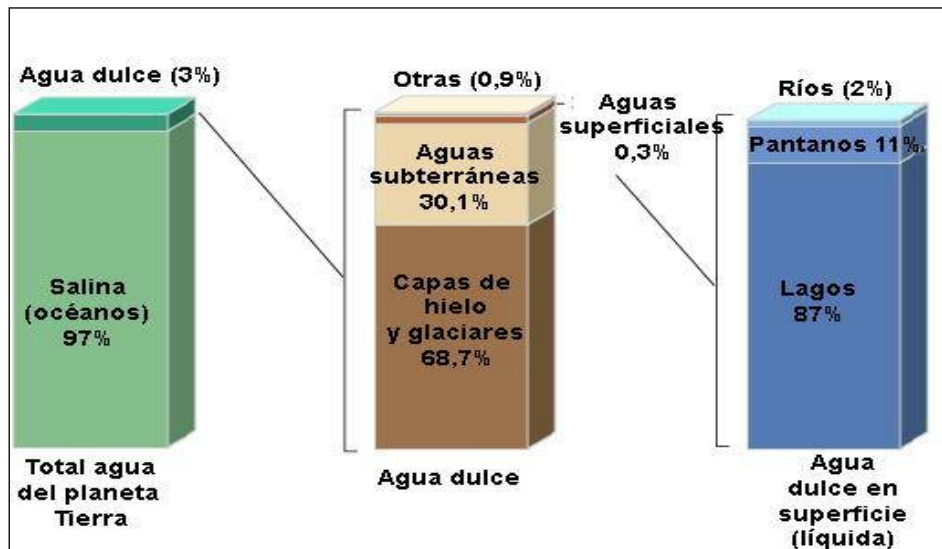
Gráfico N° 1

1.3.1 Distribución del agua en el planeta

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en todos los continentes, con un volumen mucho más importante que la masa de agua retenida en lagos o ríos y aunque menor al de los mayores glaciares, las masas más extensas pueden alcanzar millones de km^2 , (como el acuífero Guaraní, $1.200.00 \text{ km}^2$).

Aproximadamente el 3% del agua total en la tierra es agua dulce, de ésta un 95% constituye aguas subterráneas; 3.5% corresponde a aguas superficiales y el 1.5% a la humedad acumulada en los suelos. De toda el agua dulce existente un 0.36% está disponible para su consumo [Leopold, 1974] (Gráfico N° 2).

Distribución del agua en el planeta



Fuente USGS

Gráfico N° 2

1.4 FORMACIONES GEOLÓGICAS COMO ESTRATOS ACUÍFEROS

El medio físico donde se realizan todos los fenómenos de la hidrología subterránea son ambientes netamente geológicos, por lo que el conocimiento científico en este ámbito, es fundamental para la adecuada comprensión de los problemas relacionados con el almacenamiento, circulación, exploración y explotación de los recursos hídricos subterráneos.

Por conveniencia, los geólogos describen todos los materiales de la Tierra como rocas. Las rocas pueden ser de tipo consolidado (unidas por compactación, cementación y otros procesos) tales como el granito, arenisca, caliza, basaltos o de tipo no consolidado (materiales sueltos) como el limo, arena y grava.

Las formaciones acuíferas pueden estar compuestas de rocas consolidadas y no consolidadas.

Los compuestos de rocas consolidadas deben ser altamente porosos y suficientemente permeables.

1.4.1 Clasificación de las rocas

Aceptando como criterio generalizado para la clasificación de las rocas el genético-mineralógico, las rocas se clasifican en tres categorías principales: ígneas, metamórficas y sedimentarias.

Rocas ígneas.- Son el resultado del enfriamiento, solidificación y cristalización del magma en profundidad o superficie, dando origen a las rocas plutónicas, filonianas y volcánicas, según el magma que les dio origen haya cristalizado en profundidad, en grietas o en superficie.

Las rocas plutónicas, tales como el granito, usualmente son de textura gruesa no porosa y no se consideran como capas acuíferas; sin embargo, en ocasiones, a causa de un tectonismo han sufrido fracturamiento o diaclasamiento, que les ha permitido adquirir una porosidad secundaria por donde circula el agua. En otras ocasiones, han sido los efectos de meteorización los que han permitido la disgregación de las partículas, localizándose acuíferos limitados en la parte superior de los intrusivos.

Las rocas volcánicas se forman en la superficie por enfriamiento relativamente rápido del magma y generalmente son de textura fina. El basalto es una roca tipo de esta clase; puede ser altamente poroso y permeable; las grietas producidas por efectos tectónicos o endógenos son un factor decisivo para la circulación del agua subterránea (Foto N° 1).



Foto N° 1

Los materiales de fragmentación, producto de la erupción de los volcanes, tales como ceniza, arenas, escoria y piroclastos en general, se constituyen como rocas almacén o acuíferos de importancia relativa.

Rocas metamórficas.- Son el resultado de profundas transformaciones de tipo físico y químico que experimentan las rocas preexistentes, originadas por cambios drásticos de presión y temperatura conocidos como procesos de metamorfismo.

Rocas características: la cuarcita, los gneis, esquistos y el mármol. Generalmente estas rocas forman capas acuíferas pobres, con agua obtenida solamente de las grietas y fracturas (Foto N° 2). El mármol puede constituir un buen acuífero cuando está fracturado y en proceso de disolución.



Foto N° 2

Rocas sedimentarias.- Constituyen el cinco por ciento de las rocas de la corteza terrestre. Son el producto de la erosión, causada por la desintegración mecánica o descomposición química de rocas preexistentes, su posterior depositación y compactación.

Los factores que determinan el tipo de roca son fundamentalmente la fuente de los sedimentos, el agente que los erosiona y transporta, así como el medio de deposición y forma de cementación.

De acuerdo con el modo de formación de los sedimentos, las rocas sedimentarias se clasifican en :

De origen mecánico.- Formadas por depósitos de fragmentos de rocas preexistentes, bien sean eruptivas, metamórficas o incluso de otras rocas sedimentarias.

De origen químico.- Producidas por precipitación y cristalización de sustancias disueltas en el agua.

De origen orgánico.- Constituidas por acumulación de restos orgánicos, sean animales o vegetales.

Los constituyentes químicos de las rocas originales y el medio ambiente, son los factores que deciden sobre la cementación de las rocas no consolidadas para transformarlas en consolidadas.

Este factor influye en la capacidad de contener agua. Los sedimentos arcillosos son de grano fino y constituyen estratos acuíferos pobres, mientras que los sedimentos derivados de rocas cristalinas (granito, piroclastos), generalmente forman buenos acuíferos (Fotos N° 3 y 4).



Fotos N° 3 y 4

1.4.2 Formaciones geológicas y modo de yacimientos de las aguas subterráneas

El estudio hidrogeológico sería incompleto si una vez conocida la geología de una región no se analizan las propiedades de las rocas existentes, para determinar la capacidad que cada una de éstas tenga para permitir el paso del agua por sus intersticios.

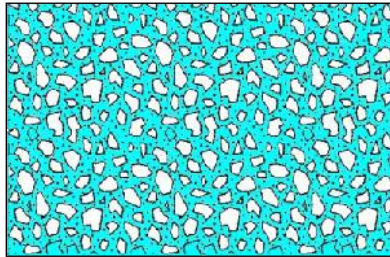
Las formaciones de las rocas presentan siempre en conjunto intersticios o huecos primarios o secundarios de diversos orígenes, no siempre intercomunicados, que les dan propiedades porosas (Gráfico N° 3).

Existe una gran diferencia entre la porosidad de una roca y otra, inclusive en la misma clase de roca, dependiendo de su génesis y las fuerzas que actuaron sobre la misma. Entre la porosidad de un manto o lente de grava suelta de tamaño más o menos uniforme y la de una masa de roca compacta hay una diferencia enorme: en la primera es muy grande, en la segunda puede ser tan pequeña que no tenga interés desde el punto de vista hidrogeológico.

Entre estos dos valores extremos de la porosidad consta una gama enorme de niveles intermedios que dependen de la clase, origen y edad de las rocas, así como de la naturaleza de sus intersticios.

El agua encerrada en una formación geológica puede estar ocupando los poros o vacíos intergranulares, las fracturas, grietas o diaclasas.

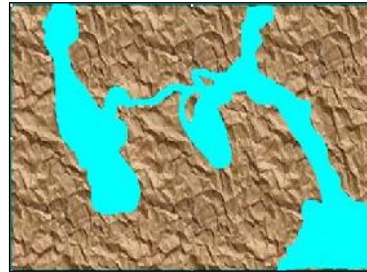
Tipos de porosidad en las rocas



Porosidad intergranular



Porosidad por fisuración



Porosidad por disolución

Gráfico N° 3

La facilidad o dificultad que las rocas presentan a la circulación de las aguas subterráneas permiten que las formaciones geológicas sean clasificadas de acuerdo con la siguiente definición:

Acuífero.- Son las formaciones geológicas que contienen y almacenan agua, que la transfieren a pozos en cantidades suficientemente grandes como para ser económicamente explotables, gracias a los espacios vacíos que existen en el interior (porosidad) y la interacción de los mismos (permeabilidad).

Acuicludeo.- Constituido por rocas que solo almacenan agua, sin permeabilidad, o por ser ésta mínima no son capaces de transmitir agua o lo hacen de forma insignificante.

Acuitardo.- Formas geológicas que concentran agua y la transmiten lentamente, por lo que no son aptos para el emplazamiento de captaciones, pero pueden alimentar a acuíferos que se hallan subyaciendo a estas capas.

Acuífugo.- Tienen rocas que no almacenan ni transmiten agua.

1.4.3 Tipos de capas acuíferas

La clasificación anterior responde a las características litológicas de las rocas; sin embargo, una categorización más importante es aquella que las agrupa de acuerdo con la presión hidrostática, a la que está sometida el agua que se halla en los intersticios o fracturas de la roca (Gráfico N° 4).

Las capas acuíferas pueden clasificarse como formaciones de capa freática y artesiana :

Acuífero freático.- Es un manto que está en contacto directo con el aire; el agua de estas capas está virtualmente sometida a la presión atmosférica y el manto superior de la zona de saturación se denomina capa freática.

Esta capa marca el nivel más alto al cual se encuentra el agua, en un pozo construido en un acuífero libre.

Acuífero artesiano.- El agua ocupa la totalidad de los poros o vacíos de las formaciones geológicas que la contienen, saturándola totalmente y se encuentra confinada bajo una capa superior relativamente impermeable, que le imprime una presión superior a la atmosférica; de ahí que, a estos acuíferos se los denomina también cautivos.

Tipos de capas acuíferas

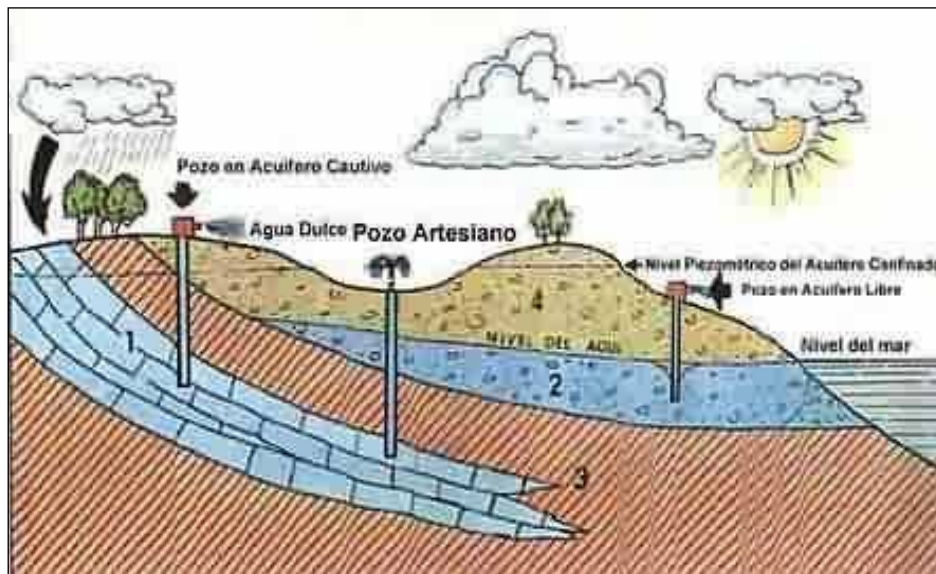


Gráfico N° 4

El nombre de artesiano debe su origen a Artois, provincia septentrional de Francia, donde se perforaron los primeros pozos profundos para extraer agua de acuíferos confinados. A diferencia de lo que ocurre en los acuíferos freáticos, el nivel del agua en los pozos artesianos se elevará a niveles situados por encima del manto superior del confinamiento; esto se debe a la presión creada por la capa confinante y es la característica distintiva de los dos tipos de acuíferos.

La superficie imaginaria, a la cual se elevará el agua en los pozos localizados en una capa acuífera artesiana, se llama superficie piezométrica.

1.5 PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS FUNDAMENTALES

Porosidad.- La porosidad de un terreno se define como la relación del volumen de vacíos al volumen total del terreno que los contiene. La porosidad depende de un gran número de factores: naturaleza físico-química del terreno, granulometría, cementación y fisuración.

La porosidad de un terreno puede variar entre márgenes muy amplios, de 80% a 90 % en depósitos recientes como aluviales, hasta menos del 1% en rocas compactas como intrusivos y rocas metamórficas.

La porosidad se la puede expresar con la siguiente ecuación :

$$p = V_v / V_t$$

p = porosidad

V_v = Volumen de vacíos

V_t = Volumen total

Porosidad eficaz.- La cantidad total de agua almacenada en un suelo permeable es el producto del volumen de suelos saturados por su porosidad. No obstante, si tratamos de drenar por gravedad este terreno permeable, se observa que el volumen de agua que se extrae es muy inferior al del total de agua almacenada en la formación.

La relación del volumen del agua drenable por gravedad de un terreno, al volumen total de éste, se llama porosidad eficaz.

En materiales intergranulares, la porosidad eficaz tendrá un valor muy próximo a la porosidad total.

Permeabilidad.- La capacidad de un terreno de permitir el paso de agua se llama coeficiente de permeabilidad y se lo define como el caudal de agua que se filtra, a través de una sección de área de terreno unidad, bajo la carga producida por un gradiente hidráulico unitario; tiene dimensiones de una velocidad.

Para tener una idea de los órdenes de magnitud de la misma se reproduce la tabla de *Terzaghi K. y Peck R. ,1980 (Tabla 1)*.

Tabla 1
Valores relativos de permeabilidad

Permeabilidad relativa	Valores de K (cm/seg)	Suelo típico
Muy permeable	$> 1 \cdot 10^{-1}$	Grava gruesa
Moderadamente permeable	$1 \cdot 10^{-1}$ a $1 \cdot 10^{-3}$	Arena ; arena fina
Poco permeable	$1 \cdot 10^{-3}$ a $1 \cdot 10^{-5}$	Arena limosa ; arena sucia
Muy poco permeable	$1 \cdot 10^{-5}$ a $1 \cdot 10^{-7}$	Limo y arenisca fina
Impermeable	$< 1 \cdot 10^{-7}$	Arcilla

Transmisibilidad.- El coeficiente de transmisibilidad o simplemente transmisividad fue introducido por Theis (1935) y lo define como el caudal que se filtra a través de una faja vertical de terreno, de ancho unidad y de altura igual a la del manto permeable saturado, bajo un gradiente hidráulico unidad; sus dimensiones son las de una velocidad por una longitud. Expresándose en consecuencia en m²/día o cm²/s.

Coeficiente de almacenamiento.- Volumen de agua liberado por una columna de base unidad y de altura todo el espesor del acuífero, cuando el nivel piezométrico desciende una unidad.

En acuíferos en condiciones libres, el coeficiente de almacenamiento S es igual a la porosidad eficaz.

Los valores del coeficiente de almacenamiento S son distintos y pueden variar de 0.05 a 0.30 en condiciones libres y caer en el campo de las diez milésimas o cien milésimas en condiciones artesianas (10^{-3} a 10^{-5}).

1.6 MÉTODOS DE EXPLORACIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Las técnicas de exploración y explotación de aguas subterráneas experimentaron un extraordinario progreso, gracias a los avances tecnológicos de las investigaciones petroleras, especialmente en la perforación de pozos y métodos de extracción con el empleo de bombas y turbinas.

Hasta hace poco tiempo, en la mayoría de los pozos, la extracción de agua se realizaba sin la participación de técnicos y generalmente en forma empírica, por lo que la descripción acerca de la explotación de agua subterránea no sería completa, sin hacer mención de la radiestesia o de los zahoríes.

En la actualidad se hace necesaria la intervención de técnicos especializados con bastos conocimientos de geología, porque la información geológica constituye una guía positiva para la ubicación de pozos, especialmente en regiones en las que los acuíferos son difíciles de localizar. La hidrogeología fundamenta su investigación en el estudio de las formaciones geológicas, que puedan proporcionar agua en cantidades suficientes para satisfacer las necesidades de la sociedad.

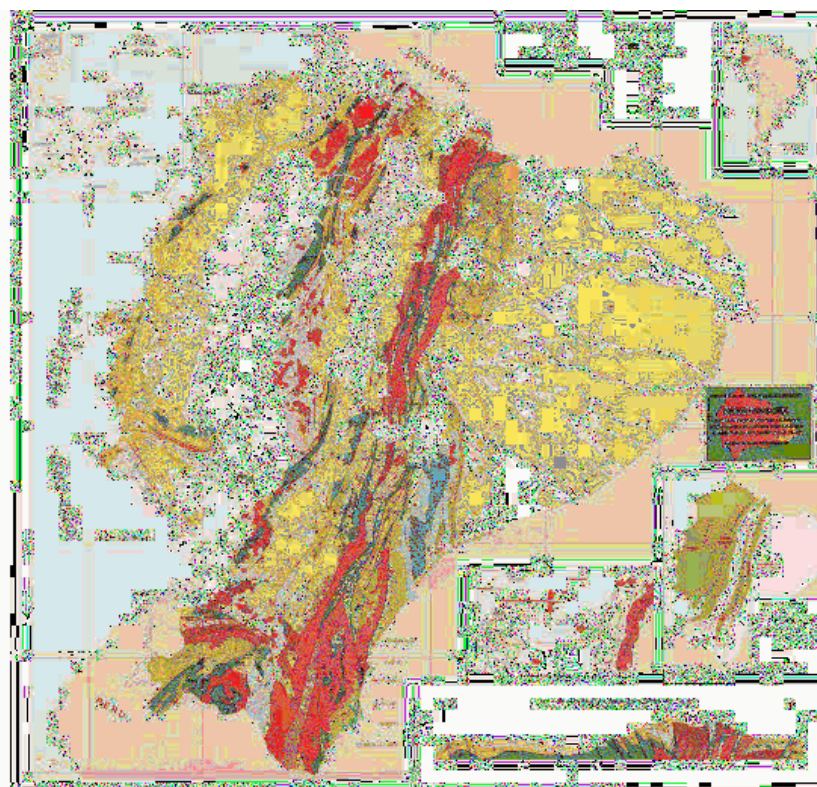
Prospección hidrogeológica.- Un estudio hidrogeológico tiene como fundamento esencial el conocimiento de la geología de la zona a ser investigada, por lo que el hidrogeólogo tiene una serie de herramientas que le ayudan a fundamentar la relación de las formaciones aflorantes y la presencia o no de zonas con aguas subterráneas. Entre las fuentes principales de consulta están las fotografías aéreas, imágenes Landsat y la cartografía geológica.

Estos datos, conjuntamente con la información de la litología de las perforaciones y la prospección geofísica, permiten conocer la disposición y profundidad de los mantos acuíferos.

Reconocimiento geológico.- Trata de determinar en sitio las condiciones litológicas y la presencia de manifestaciones de aguas subterráneas (pozos o vertientes); información que permite la calificación previa sobre la condición hidrogeológica de las rocas (permeabilidad), de acuerdo con la normativa emitida por la Unesco y empleada en la realización del mapa hidrogeológico del Ecuador.

Para el efecto, se debe apoyar con los mapas o cartas geológicas publicadas o cartografía geológica digitalizada (Mapa N° 1).

Mapa N° 1



Corte del mapa geológico de la República del Ecuador publicado por Codigem en 1993

Inventario de puntos de agua.- El estudio de aguas subterráneas se basa en métodos de prospección y utiliza medios de exploración, constituyendo el inventario de puntos de agua en una de las principales herramientas, que permite al hidrogeólogo acceder en forma rápida y confiable al conocimiento intrínseco de las zonas acuíferas de una determinada zona.

La ejecución de un inventario sistemático permite la valoración de los recursos hídricos subterráneos, dentro de un estudio hidrogeológico.

Esta operación, dentro del levantamiento hidrogeológico, es la base fundamental o constituye el documento primordial para la elaboración de la cartografía de aguas subterráneas (mapa piezométrico, mapa de parámetros físico- químicos).

El inventario de puntos de agua (pozos excavados, perforados, manantiales, galerías, etc), es lo que permite determinar y recoger los datos base sobre las características hidrogeológicas y los factores del flujo de aguas subterráneas (Fotos N° 4 y 5).



Foto N° 4
Pozo excavado



Foto N° 5
Pozo perforado

El método en referencia se basa en la recopilación y análisis de la información relacionada con la hidrología subterránea, de una determinada zona a prospectarse y que procede de la información de los usuarios de los denominados puntos de agua, como son los pozos excavados, pozos perforados, pozos abandonados, vertientes, zonas de resúmenes y toda manifestación que nos permita acceder en forma directa al conocimiento de un acuífero determinado.

Esta recopilación de datos, denominada comúnmente inventario de puntos de agua, es el sistema más idóneo para llegar a conocer en forma directa y rápida las características o condiciones de la potencialidad de las formaciones geológicas, sin tener que recurrir a investigaciones más costosas como son los sondeos exploratorios.

La información básica a establecerse es la determinación del nivel freático o piezométrico, control de parámetros indicadores de la calidad físico química del agua (conductividad eléctrica y pH).

La densidad del inventario está relacionada directamente con la escala o detalle del estudio hidrogeológico y las disponibilidades económicas. Para el presente caso, siendo una investigación regional con fines específicos de carácter nacional, el inventario se realiza contando con la hoja topográfica escala 1:50.000; la densidad del inventario es de al menos 2 pozos o puntos de agua por Km².

Prospección geofísica.- Los métodos de prospección geofísica se caracterizan por el estudio de las variaciones en el espacio de un parámetro físico de las rocas o los suelos. La técnica que con más frecuencia se utiliza en los estudios hidrogeológicos, es la prospección eléctrica o de resistividades.

El método eléctrico o de las resistividades es apropiado para el estudio de aguas subterráneas y geotecnia, entre otros, porque permite determinar la naturaleza, la morfología y la profundidad del sustrato, así como la litología de las capas acuíferas (Foto N° 6).

El método sondeo eléctrico vertical (S.E.V.) se utiliza para obtener información de la variación de la resistividad del subsuelo en profundidad.

La resistividad aparente calculada, corresponde a una cierta profundidad del subsuelo, que básicamente depende de la separación de los electrodos de corriente (AB) y la resistividad. Se estima que la profundidad de investigación está en el orden de 1/3 a 1/4 de la apertura de electrodos AB (Gráfico N° 5).



Foto N° 6

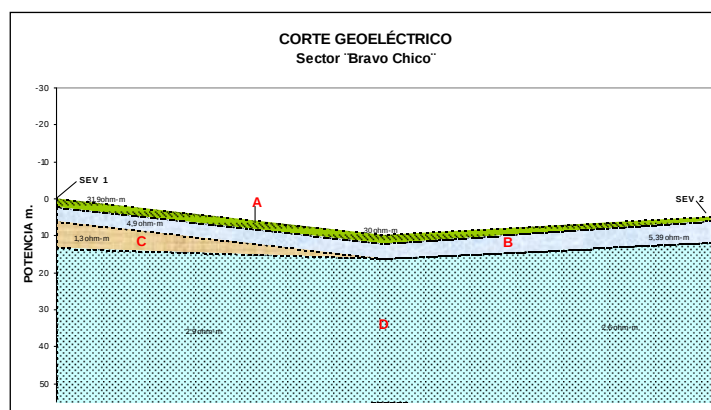


Gráfico N° 5

1.6.1 Conformación de las fichas de inventario

La información hidrogeológica básica es compilada en un sistema que permite almacenar los datos recopilados y los obtenidos en el campo, posibilitando un acceso rápido y ordenado.

La recopilación de la información en campo y oficina debe ser almacenada en una base de datos o ficha, que permita consultar e integrar de una manera eficiente los datos más importantes que caracterizan el recurso hídrico subterráneo (Tabla N° 2).

Con esta información se realizan diferentes mapas, asesoramiento de proyectos de investigación hidrogeológica y satisfacer los requerimientos de investigación de aguas subterráneas, que se basan en las tipologías de las captaciones de pozos, manantiales, profundidad de niveles y características litológicas de las perforaciones.

Tabla N°2 Resumen de Inventario de Puntos de Agua

N° POZO	TIPO	FECHA	HOJA TOPOGR	LOCALIDAD	PROPIETARIO	COORDENADAS		COTA	BROCAL	NE	PT	pH	C.E μS/cm	OBSERVACIONE
						Latitud N	Longitud E	msnm	m	m.	m.			
1	P.B	11/12/2004	Chone	Limón 2	Ramón Zambrano	9916708	600261	94	—	4	5	6,9	55	Doméstico
2	PP	12/12/2005	El Carmen	Las Delicias	Junta de Aguas	9971492	677377	259	0,40	40	80	7,5	217	Doméstico
3	P.E	22/09/2004	P. Nuevo	La Victoria	Sr. Prefecto Pacheco	9859128	599288	79	1,00	5	6	5,6	330	Grupo pozos
9	P.B	08/12/2004	Calceta	Pechichal Afuera	Segundo Barreiro	9898276	586181	85	0,60	5	10	7	3320	Doméstico
10	P.E	12/12/2005	El Carmen	Las Delicias	Eugenia Barrios	9971268	677466	258	1,50	10	12	5,5	111	Doméstico
11	VV	15/12/2004	Jipijapa	C.Colón	Público	9840316	553406	540	—	—	—	6,5	649	Doméstico

Pe Pozo excavado
PP Pozo perforado
P.B Pozo barrenado
Vv Vertiente

NE Nivel estático
PT Profundidad total
C.E Conductividad eléctrica

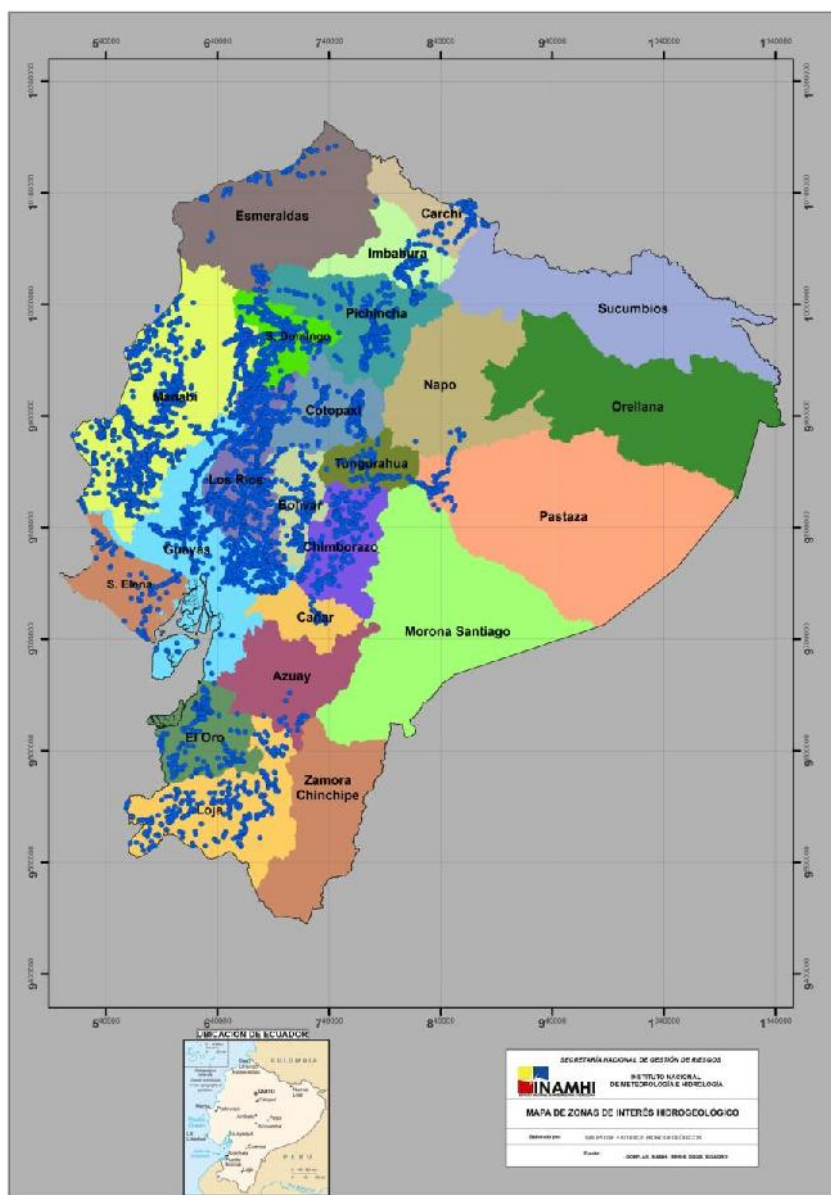
1.6.2 Zonas de interés hidrogeológico

Una vez que se disponga del inventario de puntos de agua de una región determinada, o sea, las fichas de identificación individual de los puntos inventariados y su correspondiente ubicación en el mapa respectivo, se tiene un documento que, aparentemente sencillo en su contenido, permite disponer de una valiosa información de una determinada zona estudiada.

El solo hecho de tener una cartografía con la distribución espacial de los puntos de agua, faculta discernir o definir aquellos lugares donde las características hidrogeológicas del sector son favorables, por cuanto la densidad de puntos de agua, es un indicador fiable para delimitar las zonas que presentan mejores características para la explotación de aguas subterráneas.

En el mapa N° 2 se visualiza la distribución espacial de los puntos clasificados por el Inamhi, en el territorio nacional.

Si a lo enunciado anteriormente se incluyen las características de conductividad del agua y la profundidad del nivel freático, estamos en la posibilidad cierta de precisar zonas de interés hidrogeológico y es hacia donde la investigación a mayor profundidad y detalle debe dirigirse.



Mapa N° 2

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN

HIDROGEOLÓGICA DEL

ECUADOR

2.1 INTRODUCCIÓN

Históricamente, en el Ecuador y en el mundo, la sociedad ha utilizado el agua subterránea como fuente de abastecimiento y desarrollo. Los asentamientos humanos se concentraron en donde este recurso era de fácil acceso y las vertientes o “pogyos”, constituían las fuentes más utilizadas.

Se conoce que los Quitus y los Incas hicieron grandes obras de ingeniería para captar este recurso; los pozos excavados, que generalmente no sobrepasaban las decenas de metros de profundidad, fueron los surtidores más apropiados para satisfacer las necesidades de grupos familiares.

La Constitución actual del Ecuador reconoce el derecho de todos los ciudadanos al agua para consumo humano, derecho que necesita ser garantizado mediante la adopción de medidas, que preserven las fuentes y reservas de agua. En este contexto, las zonas potencialmente acuíferas juegan un rol preponderante, toda vez que en estas áreas se encuentran almacenamientos de agua de altísima calidad.

En varias ciudades del Ecuador como: Tulcán, Ibarra, Ambato, Riobamba, Guaranda, Latacunga, Quito, Arenillas, Machala, Huaquillas, Milagro, entre otras, se realizaron captaciones de vertientes y perforación de pozos para satisfacer las demandas de agua potable de la población.

El Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS) perforó en el país más de 500 pozos para suministro de agua, en diferentes poblaciones. El desaparecido Inerhi, con fines de riego, realizó investigaciones y perforaciones en las cuencas del Guayas, Jubones, Cutuchi y en Manabí.

En los años 2004 y 2005, considerados años secos, se excavaron centenares de pozos en la costa ecuatoriana, especialmente en las provincias de Manabí, Guayas y Los Ríos; proyecto que estuvo a cargo del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (Magap).

Quito, una de las ciudades más pobladas del Ecuador, a partir del año 1942, se ha visto obligada a taladrar pozos para suministrar agua a sus habitantes. En un inventario realizado por el Proyecto Acuífero de Quito, en 1985, se determinó la existencia de 178 puntos de agua, de los cuales 120 son pozos perforados, 49 vertientes y 9 pozos excavados; el 50% es empleado en suministro de agua potable, el 30%, en uso industrial y el 20%, en usos varios.

La Costa se presenta como una región con características sui géneris. La zona central, ubicada aproximadamente en las coordenadas 00° a 03° de latitud sur y 79° 00' a 79° 30' de longitud oeste, constituye una unidad hidrogeológica de excepcionales características, en la que se perforaron la mayor cantidad de pozos a nivel nacional. Éstos alcanzan profundidades que generalmente superan los 100 metros, con caudales que varían entre 12 y más de 100 litros/segundo (l/s), utilizados con fines agrícolas y de abastecimiento.

La zona ubicada en la franja costanera externa se caracteriza por tener acuíferos aislados, pobres y de poca extensión, como los de Manabí y Santa Elena.

El Inamhi cuenta con una estadística de aproximadamente 5000 puntos de agua, pozos excavados, perforados y vertientes inventariados a nivel nacional, sin tomar en cuenta la gran cantidad de los pozos abiertos por entidades gubernamentales y particulares que no han sido codificados.

“Se puede afirmar que el territorio ecuatoriano representa una extensión privilegiada, por contar con abundantes fuentes de agua. Se estima que en la época invernal se dispone de aproximadamente 430.000 Hm³ de agua, reduciéndose en época del verano a más o menos 150 Hm³. Igual que acontece en el resto del mundo, este elemento está irregularmente distribuido, pues en algunos sitios se presentan problemas de abastecimiento.

En la vertiente del Pacífico, en donde se asienta el 80% de la población total, se dispone tan solo del 14% del agua; además, en esta región es creciente el desarrollo económico por lo que la demanda del líquido vital también aumenta.

En la vertiente Amazónica la población alcanza aproximadamente al 20% con actividades económicas restringidas, lo que deriva en una menor demanda de agua. Paradójicamente en esta región existe la mayor disponibilidad de recursos hídricos, llegando a cifras que bordean el 85% del total disponible del líquido en el territorio ecuatoriano.

El consumo anual de agua en el Ecuador se estima en 9.700 Hm³; en el riego se utiliza el 82% aproximadamente, en uso doméstico el 12,5% y en el sector industrial el 5,5%.

En todo el país, el 68% de la población dispone de agua potable y para saneamiento alcanza el 57%, destacándose que apenas un 8% de las aguas servidas disponen de tratamiento antes de ser descargadas a los cuerpos receptores, que constituyen los ríos.

En el Ecuador también se concentra la mayor cantidad de habitantes en las ciudades, aumentando los contaminantes urbanos e industriales, que ponen en riesgo la salud humana y el recurso hídrico, afectando, además, muy severamente el ecosistema.

La deforestación y la explotación indiscriminada de los bosques propician el aumento de las tierras áridas y la consecuente erosión del suelo provocando en época de lluvias, las avalanchas de lodo y material pétreo, que perturban también a los acuíferos.

A pesar que el Ecuador dispone de gran cantidad del recurso hídrico, una proporción significativa de habitantes tiene limitaciones para el acceso al agua potable y en muchos casos, no disponen de este elemental servicio. Así mismo, en zonas agrícolas donde se asientan conglomerados de escasos recursos, se ven abocados a problemas de abastecimiento de agua tanto para el consumo doméstico, como para riego.¹

2.2 CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA

Los mapas hidrogeológicos son cartografías especializadas, que tienen como base la topografía y la geología y sobre los cuales se representan los recursos de aguas subterráneas. Además, de su importancia para hidrólogos o hidrogeólogos, estas herramientas son igualmente útiles para administradores, economistas y planificadores, así como para los usuarios y consumidores permanentes del recurso.

Estos planos establecen diferencias entre los distintos terrenos y regiones, de acuerdo con su carácter hidrogeológico. En estos mapas deben indicarse además los datos referentes a la extensión de los acuíferos principales, la escasez o ausencia de aguas subterráneas, la existencia de acuíferos confinados y la potabilidad de las aguas subterráneas.

Dependiendo de la escala utilizada deben proporcionar también la ubicación de los pozos y otras obras hidráulicas, como el nivel piezométrico, la dirección del escurrimiento subterráneo, así como la calidad del agua subterránea y sus variaciones.

En suma, según la escala adoptada, el mapa debe representar todo tipo de información que permita comprender la presencia, el movimiento, la cantidad y la calidad de este recurso hídrico .

¹ Tomado de: Documentos de Trabajo – 10°Foro de Biarritz - Quito (Ecuador), Octubre, 2009 (Juan A. Neira Carrasco) http://www.cmeal.org/documents/aguaenelmundo_ES.pdf
Neira Carrasco)

Los mapas a escalas grandes tienen generalmente un objetivo técnico, mientras que aquellos a escalas pequeñas, tienen una finalidad científica o pedagógica y pueden interesar a los planificadores del recurso.

La cartografía hidrogeológica permite la integración de los resultados de los trabajos o investigaciones concernientes a las aguas subterráneas.

Análisis y selección de la información.- Antes de proceder a la elaboración de mapas hidrogeológicos, es preciso analizar y evaluar toda la información previa existente.

La documentación básica a ser recopilada debe incluir textos, publicaciones, informes, mapas geológicos, resultados y prospección geofísica, fotografías aéreas, ubicación de puntos de agua, análisis químico del agua, registros de perforaciones y sondeos, datos de rendimiento de pozos y manantiales, parámetros hidrogeológicos, datos hidrométricos, de precipitación, evapotranspiración, estimación de escurrimiento y reservas.

La información necesariamente será complementada con reconocimiento y comprobaciones en el campo, luego seleccionada y evaluada adecuadamente, con el fin de elaborar un mapa claro, legible y comprensible, evitando la sobrecarga de datos.

En zonas sin información se presentan aproximaciones, basadas en extrapolaciones a partir del conocimiento de áreas homogéneas, con características similares a la investigada.

La cartografía hidrogeológica permite la interpretación del movimiento de las aguas subterráneas, su distribución y calidad; la descripción de las áreas de recarga de los acuíferos, indicando la dirección del escurrimiento subterráneo.

Cartografía de la roca reservorio.- O mapa litológico de acuíferos implica estructuras hidrogeológicas cuyo aspecto principal es la litología, conservando los elementos esenciales de un mapa geológico, aunque interpretados desde el punto de vista del contenido de aguas subterráneas.

Los mapas litológicos de acuíferos incluyen:

Una base topográfica, cuyo contenido lleva el color gris.

Una base geológica, con el contenido de color negro. Comprende los contactos geológicos y las estructuras, así como la discriminación de las diferentes formaciones geológicas en forma simplificada, mediante el uso de siglas estandarizadas.

Características de los acuíferos, diferenciadas de acuerdo a su permeabilidad.

Leyenda internacional de los mapas hidrogeológicos.- La Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH) publicó en 1995 la “Leyenda Internacional de los Mapas Hidrogeológicos”, con el fin de normalizar tanto los símbolos geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, como también los colores con que se deben representar.

Los acuíferos con porosidad primaria se identifican con azul, los de porosidad secundaria con verde y las rocas con limitado o ningún recurso de agua subterránea, en color marrón.

El rendimiento cualitativo de los acuíferos está determinado por su capacidad específica promedio en (l/s/m).

2.3 CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ECUADOR

2.3.1 Generalidades

El Ecuador se encuentra situado en América del Sur, entre las latitudes 01° 27' 06" N y 05° 00' 56" S y longitud 75° 11' 49" W a 81° 00' 40" W. La región Insular (Galápagos) está situada aproximadamente 1000 Km. al oeste del territorio continental ecuatoriano.

La Cordillera de los Andes atraviesa el país de norte a sur y constituye una impresionante barrera montañosa, con vertientes externas muy escarpadas de fuertes desniveles; es el factor más importante para que en el país exista una gran variedad de relieves y climas. La presencia de este sistema montañoso divide al Ecuador en tres regiones naturales, con marcadas diferencias en todos sus aspectos.

Región Occidental o Costa.- Se extiende al oeste de la Cordillera de los Andes y se prolonga en una llanura más o menos amplia hasta el Océano Pacífico. Ocupa el 25% de las tierras; en ésta impera la estación húmeda de enero a junio, con una precipitación de aproximadamente el 80% y la estación seca, en los meses restantes del año.

Esta planicie se halla recubierta por sedimentos detríticos (arenas, areniscas, conglomerados) con fuerte aporte volcánico proveniente de la Sierra. Esta característica permitió se desarrollen acuíferos importantes de gran extensión, de permeabilidad variable generalmente alta y con buenos rendimientos.

Región Central o Sierra.- Esta región ocupa el 27% de la superficie total. El paisaje general está compuesto por dos cordilleras meridianas paralelas, con altitudes medias de 4000 a 4500 msnm. La Cordillera Occidental está constituida por un complejo volcánico sedimentario, en tanto que la Cordillera Central o Real se desarrolla sobre facies metamórficas. Estas cordilleras se encuentran coronadas por estrato volcanes con nieve permanente, algunos de los cuales se encuentran en actividad.

La parte central de la Sierra está ocupada por una serie de cuencas interandinas deprimidas, separadas unas de otras por elevaciones transversales o nudos cuyas alturas no superan los 3500 msnm. Estas depresiones son fosas de origen tectónico, rellenas con sedimentos detríticos y material de origen volcánico, producto de intensa actividad volcánica y fuertes erosiones.

En esta región se han desarrollado acuíferos locales y discontinuos de permeabilidad variable, generalmente de baja a media y de mediano rendimiento.

Región Oriental o Amazónica.- Se extiende al este de la Cordillera Real; comprende las estribaciones oriental de la Cordillera Central, los vestigios de una tercera cordillera (domo del Napo) y una amplia área de selva virgen, con lluvias abundantes, permanentes y una rica biodiversidad. Ocupa el 45% del territorio total. Predomina el clima tropical, con lluvias abundantes que caracterizan a esta cuenca.

Una sucesión de ciclos sedimentarios marinos, transgresivos y regresivos rellenan la cuenca con potentes estratos de arcilla, limos, arenisca, conglomerado y rocas calcáreas que conforman trampas estratigráficas para la acumulación de hidrocarburos.

2.4 MAPA HIDROGEOLÓGICO DEL ECUADOR

El Mapa Hidrogeológico del Ecuador escala 1:1'000.000 elaborado por el Inamhi y la Exdirección General de Geología y Minas (DGGM) y publicado en el año de 1983, ofrece una visión general y sintética de la distribución del recurso hídrico subterráneo en el país.

De acuerdo con sus características, el mapa presenta las propiedades relevantes de las principales unidades hidrogeológicas, determinando principalmente la naturaleza de los acuíferos y las áreas con mayor o menor potencial hidrogeológico.

2.4.1 Objetivo y carácter del mapa

El principal objetivo es dotar al país de un mapa que represente las características hidrogeológicas de las formaciones geológicas aflorantes en el territorio nacional, en base a un inventario sistemático de los indicadores del recurso hídrico subterráneo.

Esta información puede ser considerada como una herramienta inicial de consulta y apoyo a los organismos administradores del agua, usuarios y planificadores.

2.4.2 Contenido del mapa

El Mapa Hidrogeológico básico aborda en términos generales la ocurrencia de aguas subterráneas en el territorio ecuatoriano, considerándose tres grandes grupos de rocas diferenciadas por sus características litológicas y su importancia hidrogeológica.

Para su representación se adoptaron símbolos estandarizados (sombreados) con tres colores de tonalidades claras (Mapa N° 3).

La importancia hidrogeológica relativa indica que las rocas porosas (a) y las rocas fisuradas (b) encierran las mejores posibilidades desde el punto de vista hidrogeológico, las rocas del grupo (c) tienen menor importancia hidrogeológica.

a.- Color azul para unidades litológicas permeables por porosidad intergranular



Acuíferos asociados con rocas clásticas no consolidadas de edad cuaternaria, con permeabilidad generalmente alta, con importancia hidrogeológica relativa; de extensión local, con calidad química del agua buena; con posibilidad de explotar a través de pozos someros.



Acuíferos en sedimentos clásticos no consolidados del cuaternario indiferenciado, que predominantemente afloran en las cuencas de los ríos Guayas, Taura, Balao, Jubones, San Miguel, Putumayo, Aguarico y Morona; y en los valles interandinos. La extensión de estos acuíferos es regional, aunque en algunos lugares son limitados, libres y/o confinados generalmente de media a alta permeabilidad, con agua de buena calidad química en la mayoría de los casos.

La explotación se realiza a través de pozos perforados de profundidad variable y pozos excavados. Este grupo representa una unidad hidrogeológica de gran importancia.

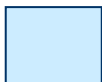


Acuíferos en sedimentos clásticos consolidados y no consolidados, de edad terciaria-cuaternaria, constituidos principalmente de areniscas y conglomerados predominantes sobre arcilla, tobas y limos. Estos depósitos afloran extensamente en la Costa y Amazonía y esporádicamente en el Callejón Interandino.

Forman acuíferos locales o discontinuos, de permeabilidad media, pudiendo ser explotados a través de pozos perforados de profundidad variable.



Acuíferos asociados con sedimentos clásticos consolidados y no consolidados de edad terciaria-cuaternaria, constituidos principalmente de conglomerados, areniscas con cantidades variables de tobas, arcillas y limos. Este grupo comprende acuíferos locales o discontinuos de difícil explotación, debido en algunos casos a la gran profundidad del nivel del agua y por encontrarse en finas capas o lentes de arenas.



Acuíferos en sedimentos clásticos consolidados y no consolidados de edad terciaria-cuaternaria, constituidos principalmente por arcillas, limos, tobas, asociados con conglomerados, areniscas, lutitas y calizas. Constituyen acuíferos muy locales y/o discontinuos de permeabilidad baja, de difícil explotación por encontrarse en finas capas o lentes de arena asociada con arcilla.

b.- Color verde para unidades litológicas permeables por fisuración

La ocurrencia de las aguas subterráneas en las rocas fracturadas, con importancia hidrogeológica relativa de muy baja a media, comprende acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas distinguiéndose los siguientes subgrupos.



Acuíferos asociados con rocas efusivas ácidas y básicas, principalmente del volcanismo reciente; son acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas con permeabilidad de baja a media, con agua de buena calidad química y de importancia hidrogeológica relativamente variable, de baja a media.



Acuíferos asociados con rocas cataclásticas y piroclásticas, calizas alóctonas y en menor proporción areniscas y, los tobas, que son acuíferos locales de aprovechamiento por manantiales principalmente, restringidos a zonas fracturadas y de intemperismo de rocas porosas, con calidad química del agua generalmente buena y de importancia hidrogeológica generalmente baja.



Acuíferos asociados con rocas porfiríticas, diabasas, cuarcita, cataclástitas, lutitas y pizarras; son acuíferos muy locales restringidos a zonas fracturadas y con aprovechamiento sólo por manantiales; poseen permeabilidad generalmente muy baja.

c.- Color marrón para unidades litológicas prácticamente sin agua subterránea explotable.

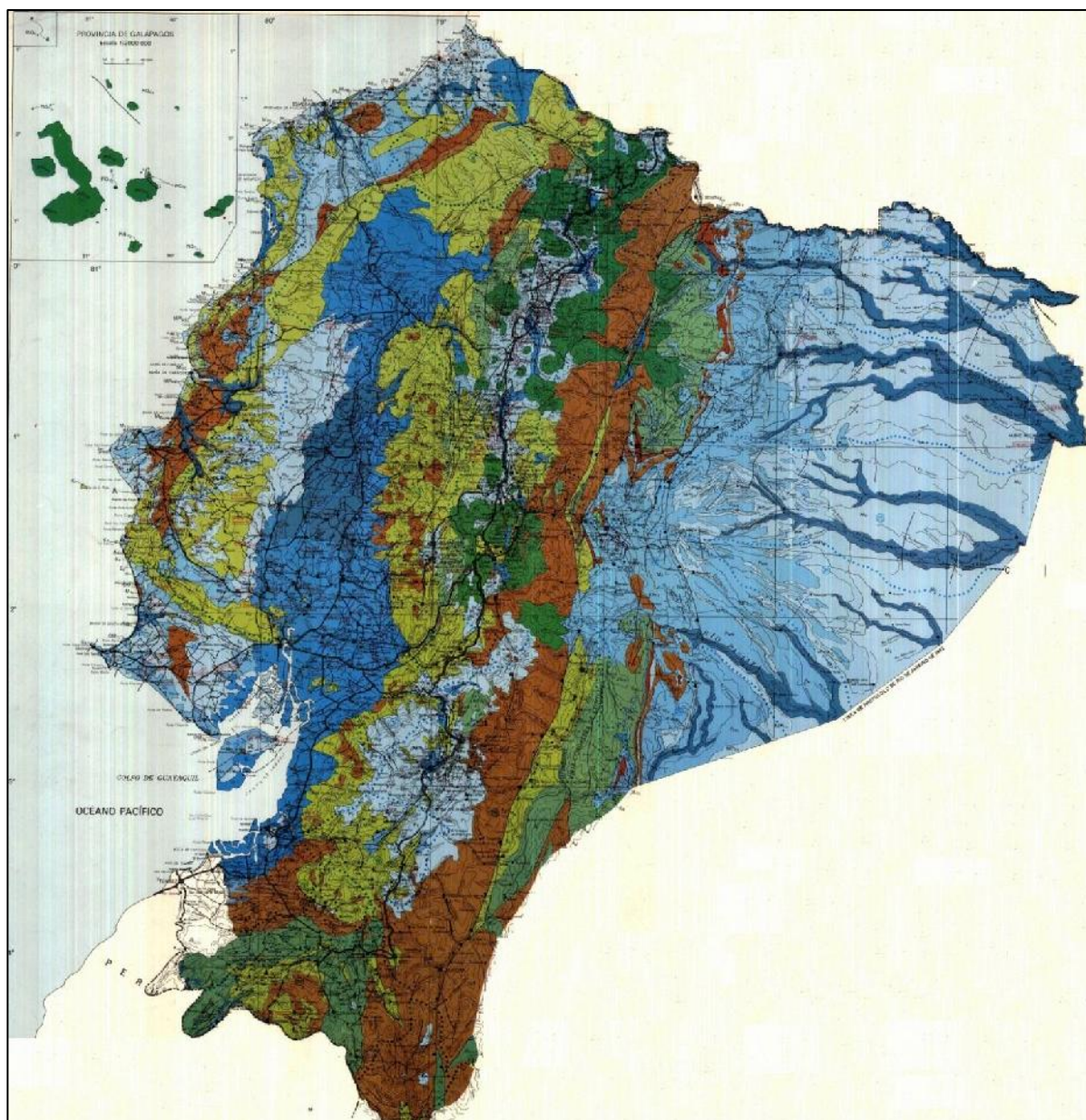
La ocurrencia de las aguas subterráneas en rocas porosas y fracturadas, prácticamente sin importancia hidrogeológica comprenden los siguientes subgrupos :

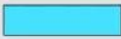
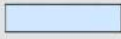
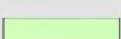
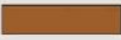


Acuíferos asociados con sedimentos consolidados a no consolidados; están constituidos principalmente por arcillas y lutitas, raramente areniscas y conglomerados; son acuíferos muy locales, sin excluir la ocurrencia de aguas subterráneas en profundidad.



Acuíferos prácticamente ausentes en rocas intrusivas y efusivas, comprendiendo principalmente granitos, granodioritas, riolitas y rocas metamórficas masivas que, constituyen rocas con posibilidades hídricas muy escasas o prácticamente impermeables.



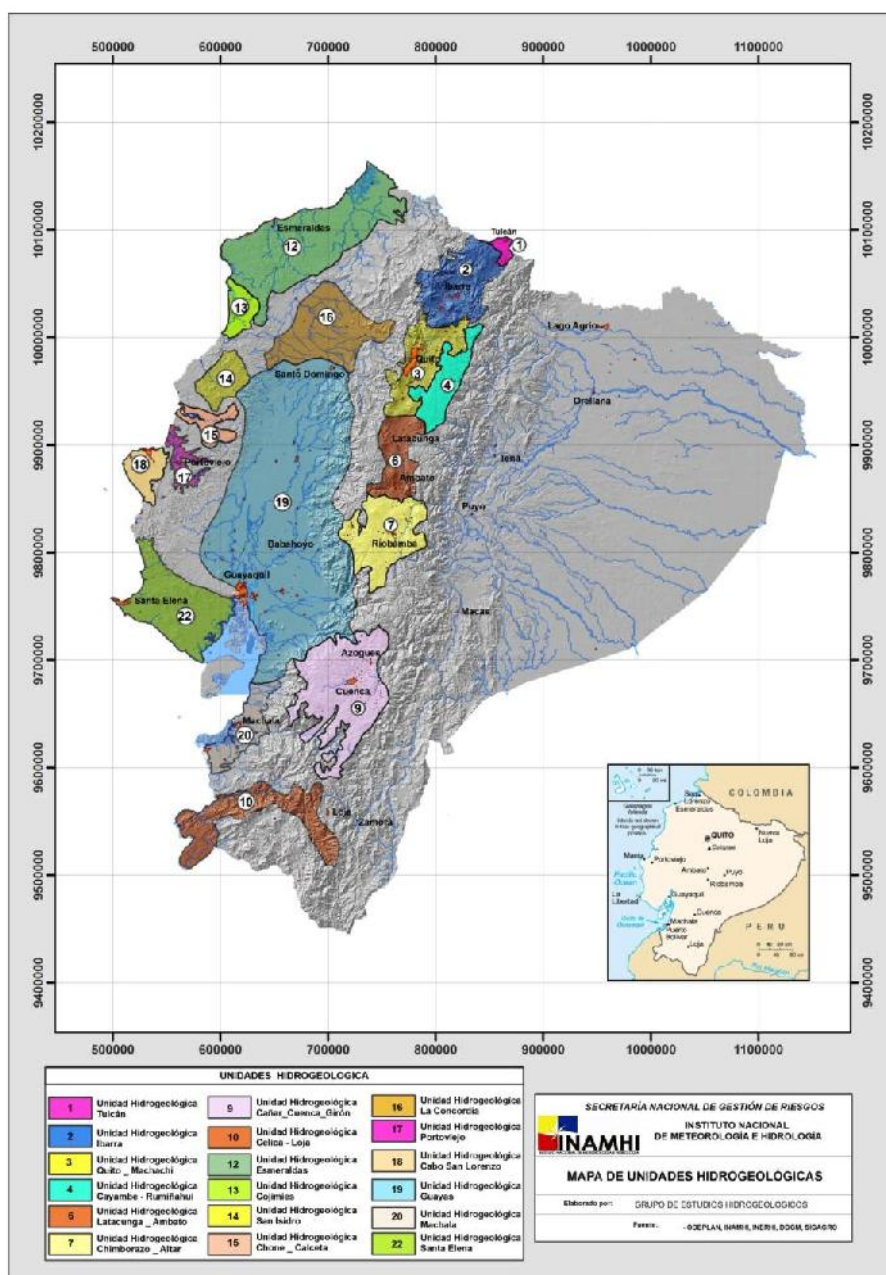
LEYENDA HIDROGEOLOGICA			
COLOR	UNIDADES	PERMEABILIDAD	ACUÍFEROS
<i>POROSIDAD PRIMARIA INTERGRANULAR</i>			
	Aluviales (wavy line symbol), Gravas, Arenas, Sedimentos Fluviales	ALTA	Alto rendimiento
	Limo, Arena, Toba, Lahares, piroclastos, Conglom.	MEDIA	Locales o discontinuos
	Fanglomerados, Tillitas, Morrenas, Margas, Limolitas	BAJA	Muy locales y discontinuos
<i>POROSIDAD SECUNDARIA POR FISURACIÓN</i>			
	Lavas altamente fisuradas	ALTA	Locales o discontinuos
	Clásticas, Piroclásticas, Tobas	MEDIA	Locales, discontinuos aprovech. por manantiales
	Rocas porfíricas, Diabasas, Cuarcitas diacclasadas	BAJA	Muy locales
<i>PRÁCTICAMENTE IMPERMEABLES</i>			
	R. metamórficas, Intrusivos, Lutitas, Areniscas	PRACTICAM. IMPERMEABLE	Generalmente sin acuíferos

Mapa N° 3

2.5 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

El Mapa Hidrogeológico Nacional del Ecuador (Inamhi-DGGM 1983) y la compilación de cerca de 5000 puntos de agua inventariados por el Inamhi sirvió de base para formular y definir las “Unidades Hidrogeológicas del Ecuador” (Mapa N°4), conceptualizadas como medios acuíferos continuos dotados de cierta homogeneidad, que constituyen unidades naturales de planeamiento y gestión del recurso (Plan Nacional de Recursos Hidráulicos del Ecuador - Recursos Subterráneos, - Inerhi -1986).

El objetivo fundamental fue definir para cada unidad hidrogeológica sus características básicas, cuantificando en la medida de lo posible sus elementos principales: geometría, heterogeneidad geológica, productividad acuífera, piezometría y profundidad del agua, calidad química, recarga media interanual.



Mapa N° 4

Fundamentados en la descripción detallada que se hace en el Anexo2 (Recursos subterráneos,-Inerhi-1986), se presenta una síntesis explicativa para cada unidad hidrogeológica. Las características generales de los puntos inventariados en cada una de las unidades, se describen en el cuadro de Resumen de inventario de puntos de agua .

2.5.1 Unidades hidrogeológicas Región Sierra

2.5.1.1. Unidad de Tulcán

Generalidades

La Unidad "Tulcán" está ubicada en la provincia del Carchi, abarcando gran parte del territorio del cantón Tulcán. Constituye una franja irregular, colindante al norte y noreste con Colombia, con una superficie aproximada de 296 Km².

El rasgo morfológico predominante es el paisaje andino con alturas que oscilan entre 3400 msnm (partes central y suroccidental) y 2900 msnm (cursos finales de los ríos Bobo y Obispo).

Los drenes principales son los ríos Bobo y Tajamar que desembocan en el río Carchi (límite natural con Colombia) al noreste de la unidad, y los ríos Obispo y San Pedro que desembocan en el río Cuasmal al sur de la misma, estableciéndose de este modo dos sistemas de drenaje con direcciones opuestas, que posteriormente alimentarán a las vertientes del Atlántico y del Pacífico, respectivamente.

Sinopsis geológica

La unidad está constituida por una sola formación geológica, resultado de la actividad volcánica final de los Andes ecuatorianos. La zona se caracteriza por presencia de sedimentos pliocuaternarios de origen volcánico, tobas (cangahua), lapilli y grava pumícea, depósitos fluvio glaciares y volcánicos recientes constituidos por lavas, brechas y tobas. Mapa 5

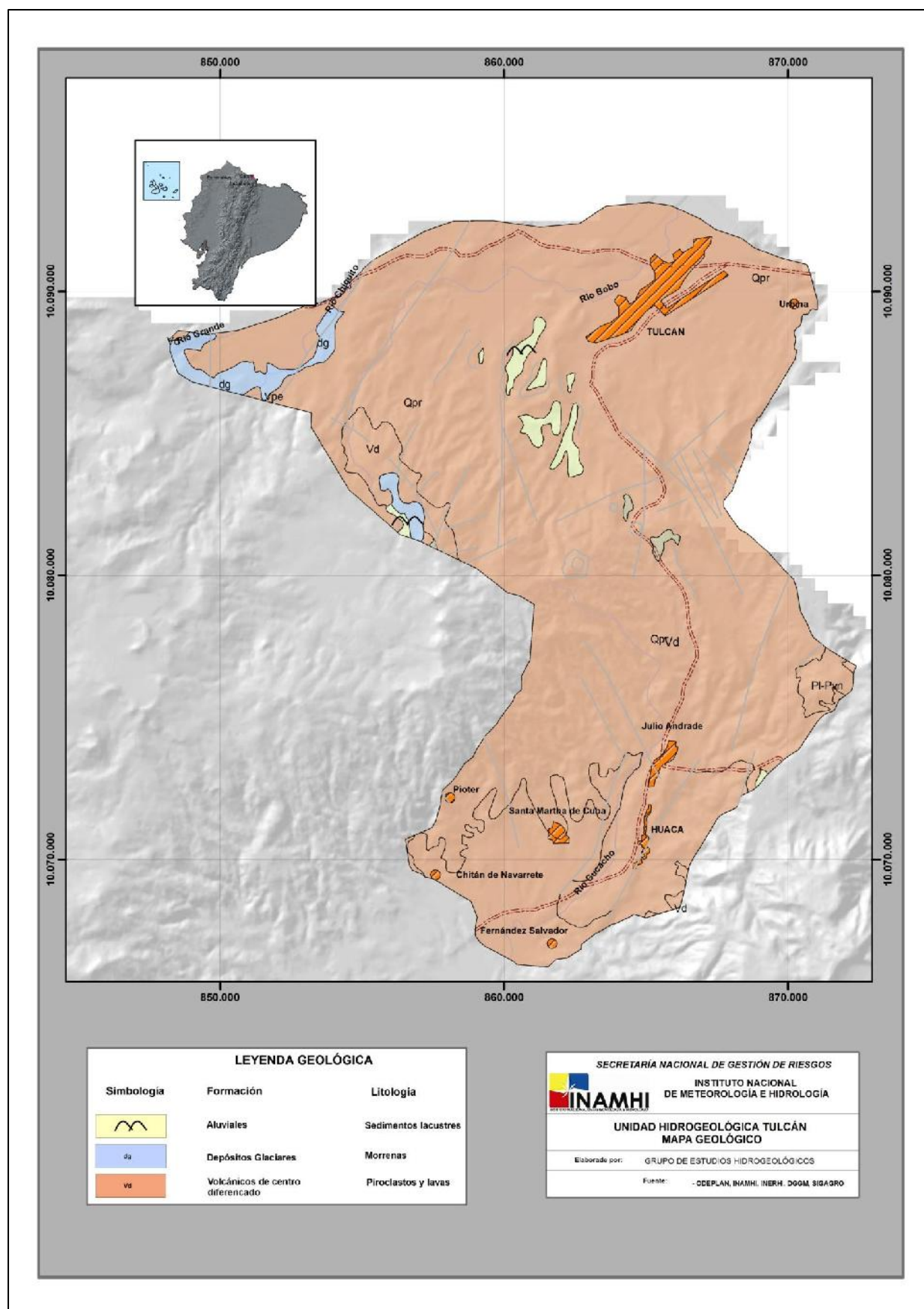
Hidrogeología

Los sedimentos de origen volcánico constituyen sistemas acuíferos de porosidad primaria o intergranular, con permeabilidades medias a bajas formando potencialmente acuíferos de bajos rendimientos. Estos acuíferos son captados por medio de pozos, aljibes y manantiales.

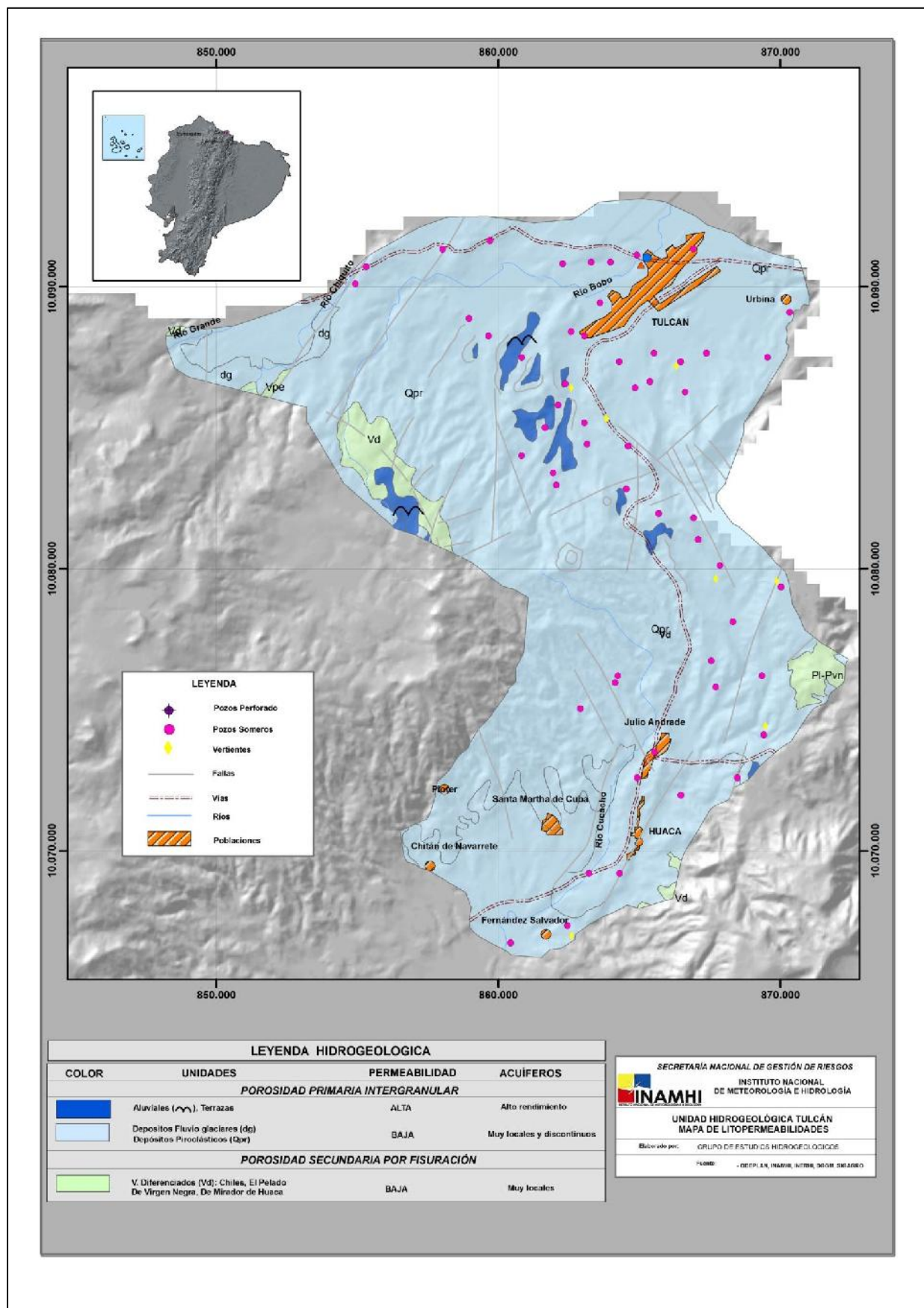
Las aguas subterráneas se caracterizan por ser dulces, con baja salinidad y presentan valores de conductividad menores de 500 µS/cm, con la excepción de los manantiales termo-minerales, que tienen conductividades que superan localmente los 1500 µS/cm. Mapa 6.

Análisis de los datos del inventario

CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA				
VALORES	NE - m	CE - µs/cm	PH	T°C
MEDIO	12,0	311,3	5,6	14,5
MAXIMO	46,9	3500,0	7,0	36,0
MINIMO	1,9	70,0	5,5	10,0



Mapa 5



Mapa 6

2.5.1.2. Unidad de Ibarra

Generalidades

La Unidad Hidrogeológica Ibarra está ubicada en el extremo norte del callejón interandino ecuatoriano, ocupando parte de las provincias de Imbabura y Carchi, determinando un área aproximada de 4760 Km².

Desde el punto de vista orográfico destacan elevaciones como el Imbabura (4600 msnm), el Cotacachi (4939 msnm), el Yanahurco del Piñán (4535 msnm) y los páramos del Ángel (4000 msnm) en contraste con los valles y depresiones como el del Chota (1600 msnm).

El sistema hidrográfico está representado por el río Mira, que recibe el aporte de los ríos El Ángel, Chota y Ambi, para luego desembocar en el Océano Pacífico.

Sinopsis geológica

La unidad está constituida por sedimentos y rocas volcánicas modernas que descansan sobre rocas paleozoicas, y mesozoicas (basamento cristalino).

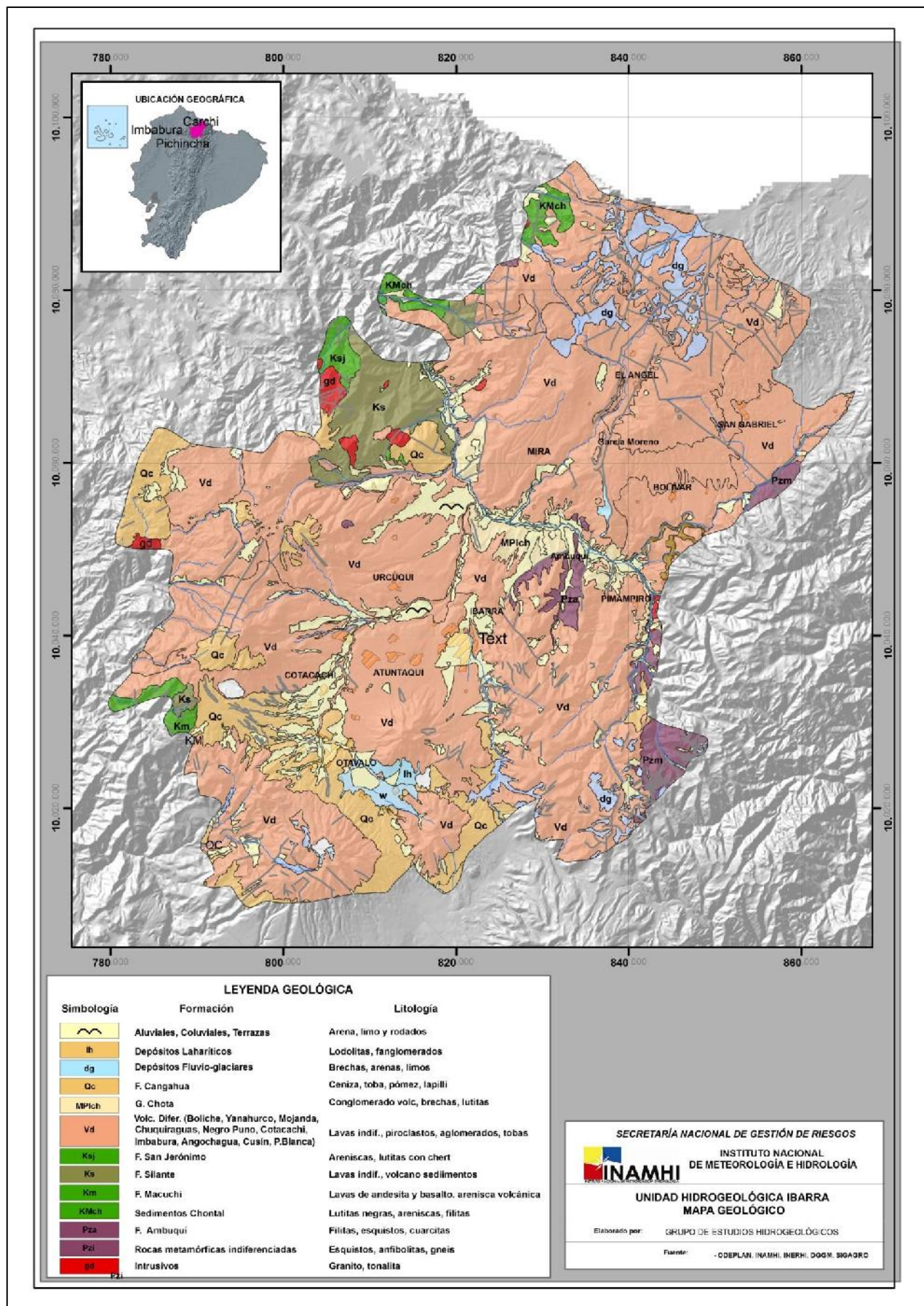
La sedimentación cuaternaria se debe a complejos procesos, a consecuencia de la acción simultánea del vulcanismo intenso, glaciaciones, levantamientos y hundimientos, por lo que los sedimentos modernos se encuentran sin ningún ordenamiento. Mapa 7.

Hidrogeología

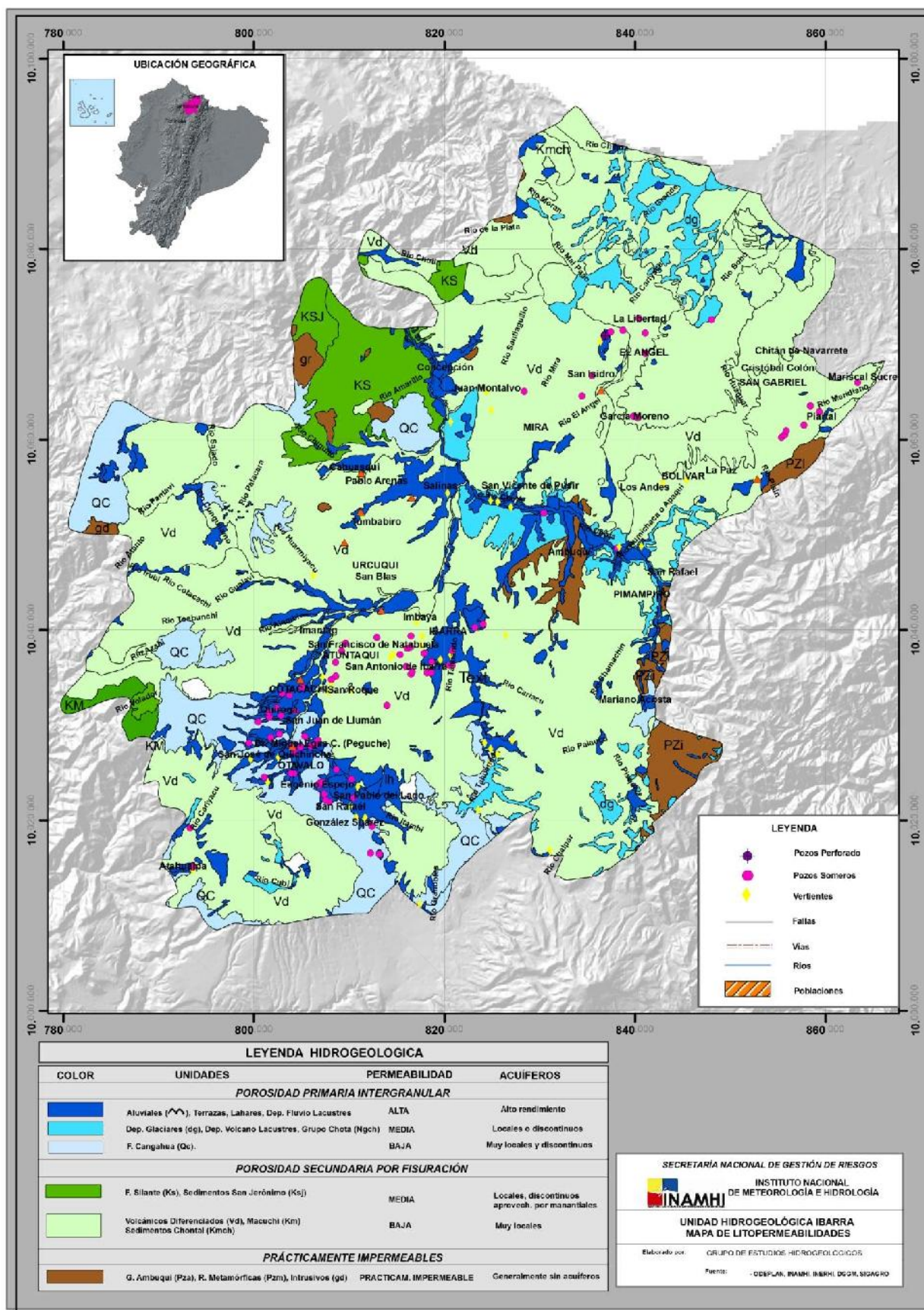
Del análisis del mapa hidrogeológico se desprende que en la cuenca en estudio se localizan zonas hidrogeológicas de interés, una localizada al nor-este de la cuenca a la que se ha denominado “Acuífero San Gabriel”. Hacia el sur oeste encontramos otra a la que se ha denominado “Acuífero Otavalo-Ibarra”. Están conformadas por unidades litológicas no consolidadas, permeables por porosidad intergranular, asociadas con rocas clásticas de edad terciaria a cuaternaria. Mapa 8.

Análisis de los datos del inventario

CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA				
VALORES	NE - m	CE - $\mu\text{s/cm}$	PH	T°C
MEDIO	7,5	610,2	5,7	17,3
MAXIMO	50,7	8000,0	7,0	50,0
MINIMO	0,7	60,0	5,0	12,3



Mapa 7



Mapa 8

2.5.1.3. Unidad de Quito - Machachi

Generalidades

Esta unidad se ubica íntegramente en la provincia de Pichincha, extendiéndose por el norte hacia Tabacundo-Cayambe y por el sur hasta Machachi, abarcando un área de 3014 Km². Los límites naturales de la unidad constituyen la Cordillera Real al este de la sub-cuenca y la Cordillera Occidental al oeste, los nudos de Mojanda-Cajas al norte, y Tiopullo al sur.

Dentro de este sistema orográfico se localizan los valles de Machachi, Sangolquí-Amaguaña, Tumbaco, Guayllabamba-Cayambe y el Altiplano de Quito.

El río Guayllabamba constituye el principal drenaje de la unidad cuyos tributarios principales son los ríos Machángara, San Pedro, Chiche y el Pisque.

Sinopsis geológica

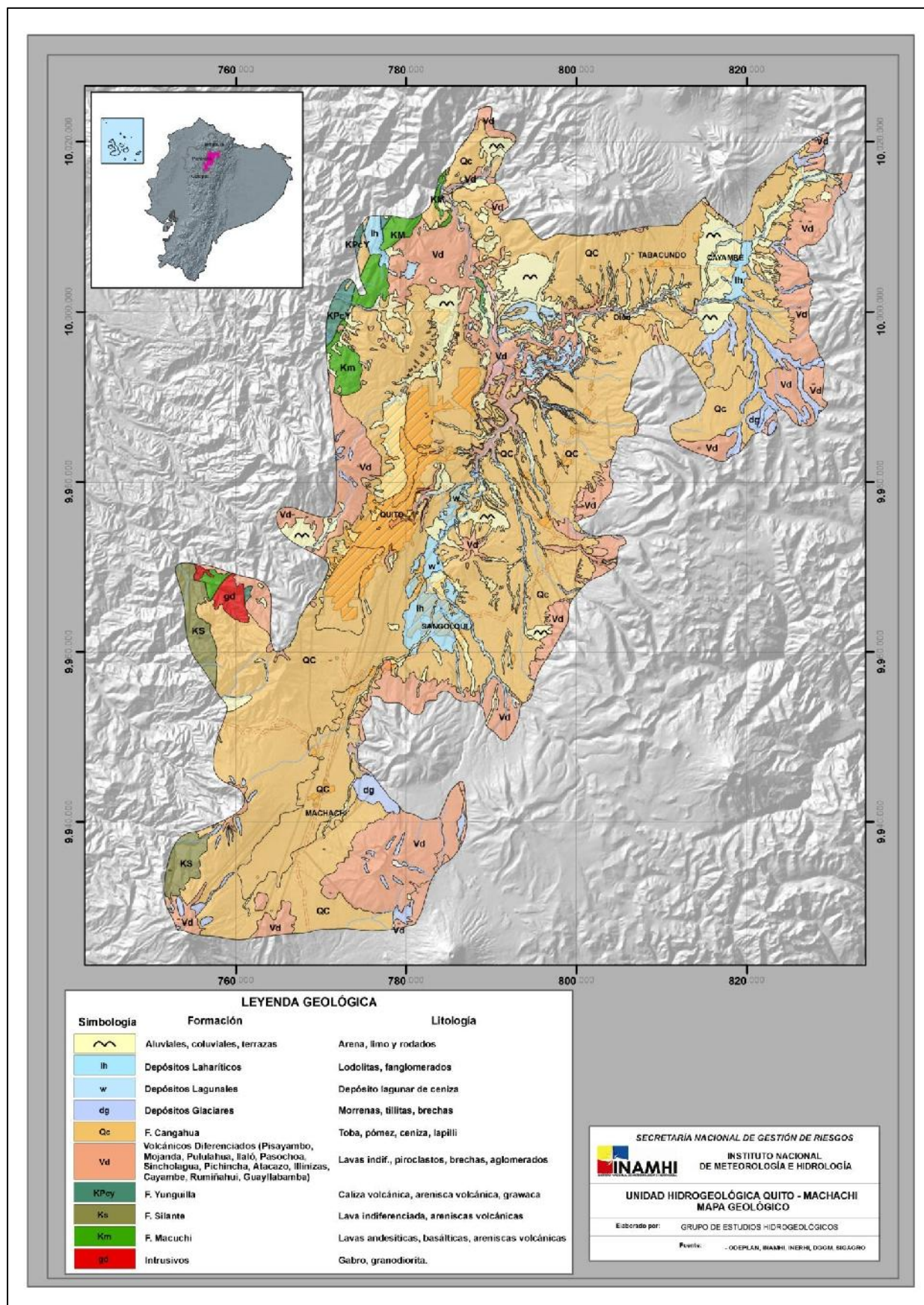
La Unidad Hidrogeológica Quito-Machachi constituye un graben alargado, interrumpido por dos cordones montañosos. La depresión está constituida por sedimentos y rocas volcánicas modernas asentadas sobre formaciones paleozoicas y mesozoicas. Su configuración actual se debe a la acción de los diferentes períodos orogénicos, en especial al ocurrido en el pleistoceno (orogenia andina), los sedimentos se encuentran dispuestos de forma caótica. Mapa 9

Hidrogeología

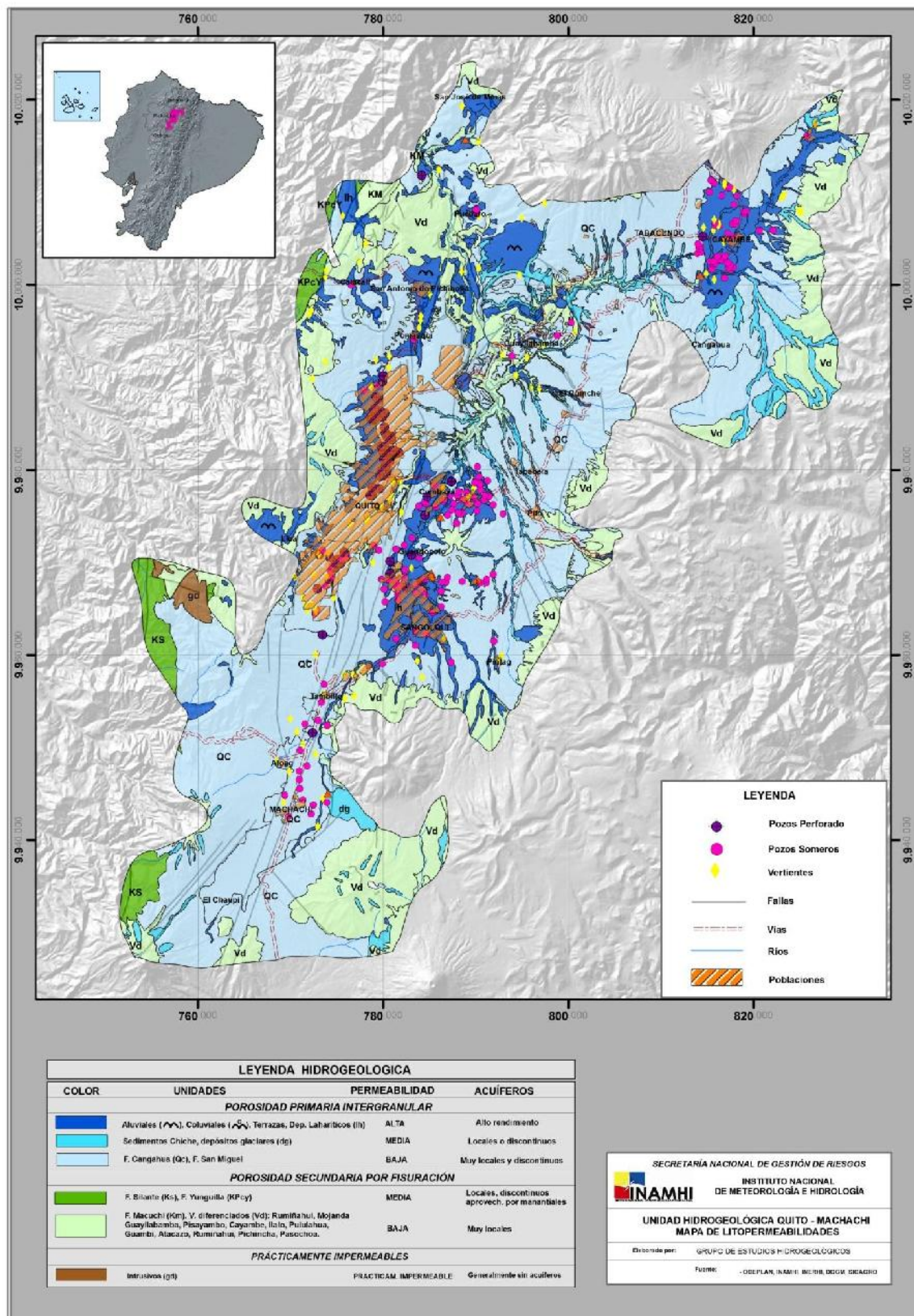
Considerando las características litológicas de las diferentes formaciones geológicas, se ha delimitado los sistemas de acuíferos asociados con rocas piroclásticas y sedimentos clásticos consolidados y no consolidados de edad plio-cuaternaria, mismos que se localizan en el valle de Machachi, Los Chillos, Quito y Cayambe. Mapa 10.

Análisis de los datos del inventario

CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA				
VALORES	NE - m	CE - $\mu\text{s/cm}$	PH	T°C
MEDIO	12,0	514,9	6,1	17,1
MAXIMO	52,0	4500,0	8,5	36,5
MINIMO	0,4	100,0	5,0	11,4



Mapa 9



Mapa 10

2.5.1.4. Unidad de Latacunga - Ambato

Generalidades

Esta unidad se ubica en el callejón interandino, cubre la provincia de Tungurahua y parte de Cotopaxi. Con un área aproximada de 2070 km² se extiende por el norte hasta el Nudo de Tiopullo, y por el sur hasta el de Igualata - Sanancajas. Al este y oeste limita con las cordilleras Real y Occidental de los Andes respectivamente. en la cual se destaca un extenso valle, de relieve suave, que se extiende desde Salcedo hacia el norte, hasta Mulaló - Lasso con un ancho medio de unos 20 km. Al sur de Salcedo el relieve se vuelve irregular.

El río Patate, principal drenaje de la unidad, toma este nombre en la unión de los ríos Ambato y Cutuchi. El primero nace en las faldas del Chimborazo y Carihuairazo, el segundo en los deshielos del Cotopaxi.

Sinopsis geológica

La unidad constituye un graben originado por el hundimiento de los bloques centrales. Los procesos de relleno de la cuenca son predominantemente de tipo volcánico, causado por el vulcanismo del plioceno, caracterizados por la presencia de material piroclástico, cenizas, lapilli, cangahua y flujos de lava y sedimentos laharíticos y fluviolacustres provenientes del volcán Cotopaxi. Mapa 11.

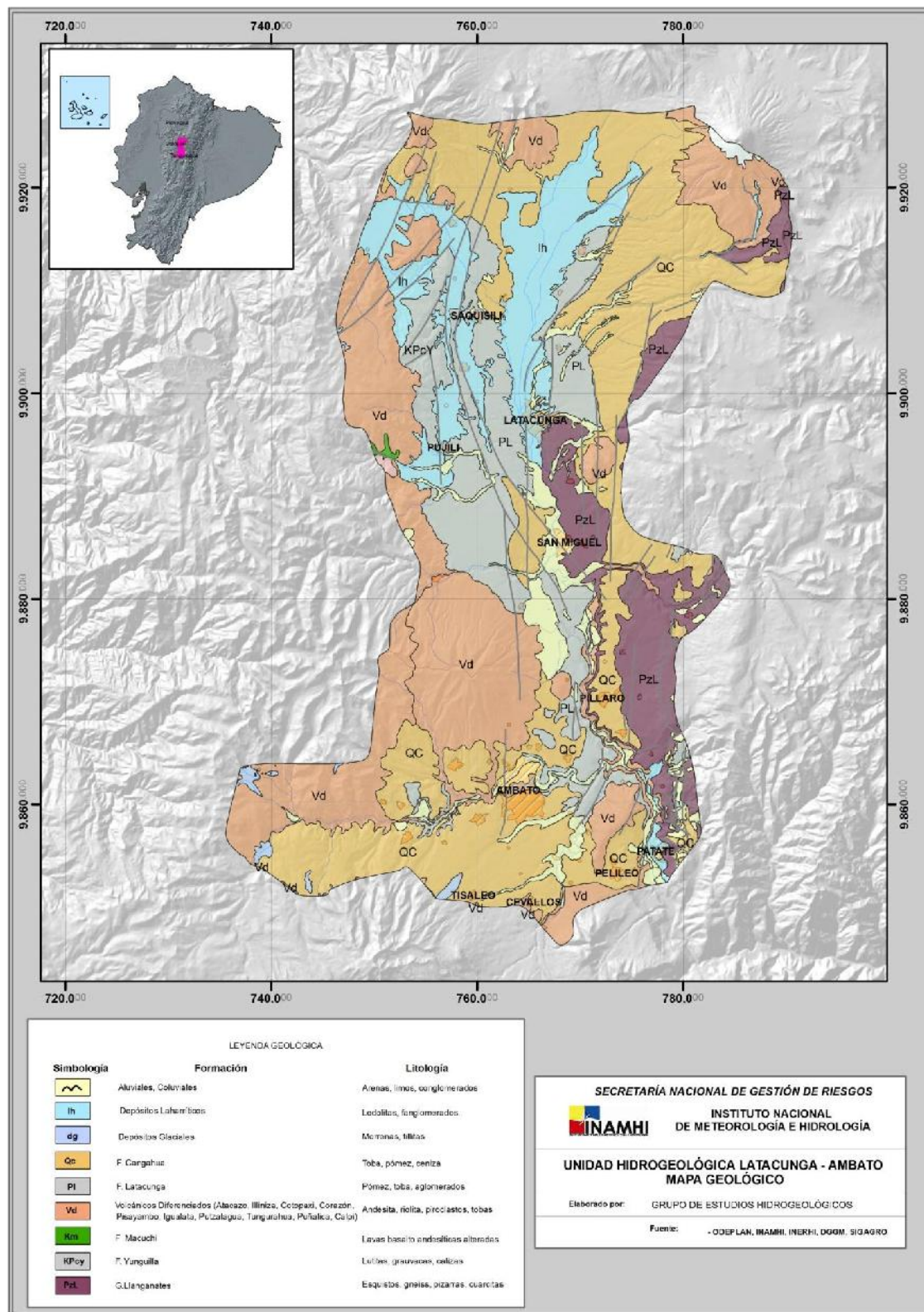
Hidrogeología

La presencia de rocas de origen fluvio lacustre y sedimentos de origen laharítico, dependiendo de su grado de permeabilidad conforman acuíferos locales de permeabilidad media.

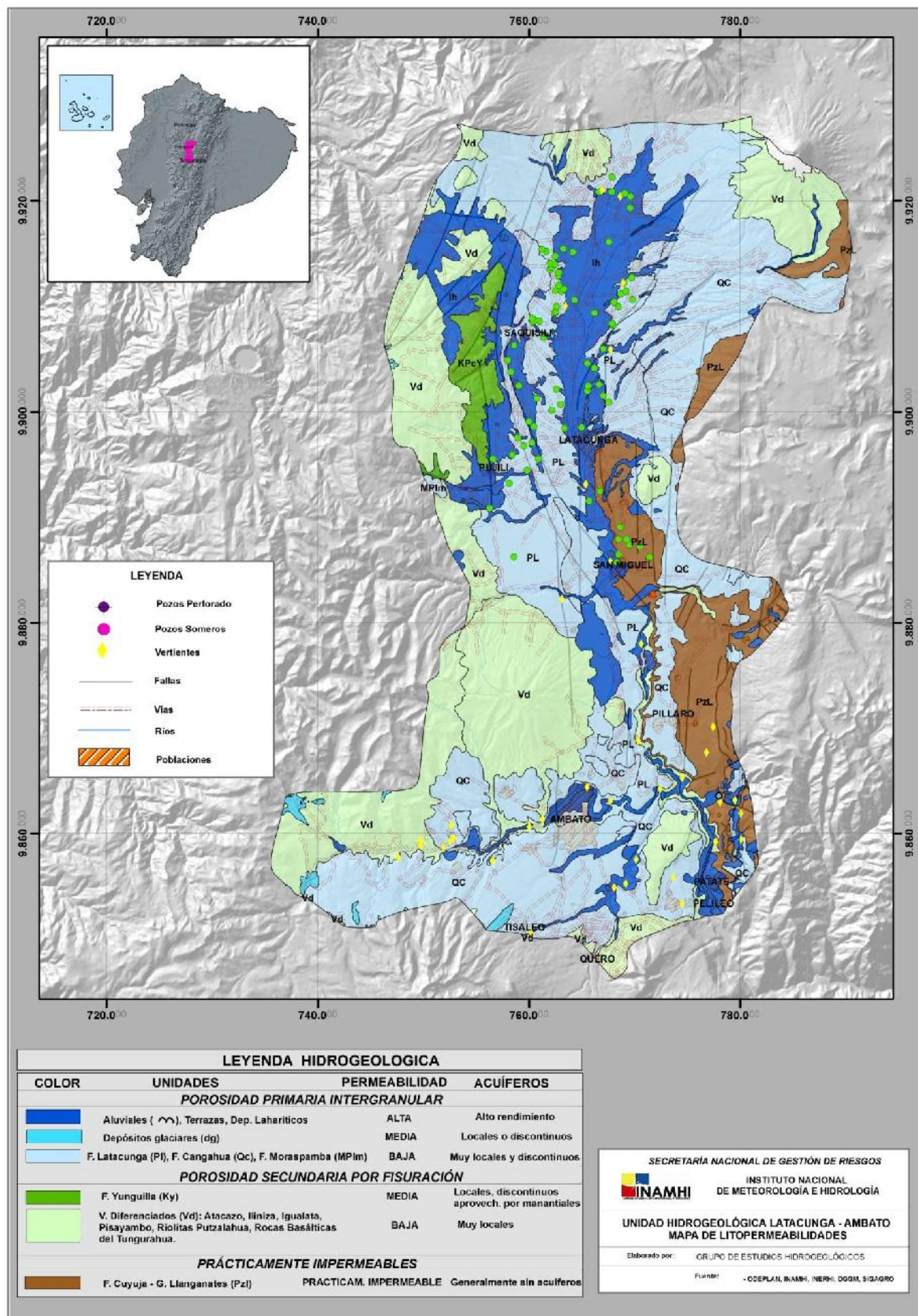
Las formaciones de origen volcánico, hidrogeológicamente son rocas permeables por fisuración y fracturamiento, conforman acuíferos locales y discontinuos que se descargan a través de los ejes de drenaje del Callejón Interandino por manantiales de alto rendimiento (Quillán: 300 l/s). Mapa 12.

Análisis de los datos del inventario

CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA				
VALORES	NE - m	CE - $\mu\text{s/cm}$	PH	T°C
MEDIO	10,4	767,5	5,8	15,5
MAXIMO	64,7	2700,0	8,0	25,0
MINIMO	0,0	190,0	5,0	10,0



Mapa 11



mapa 12

2.5.1.5. Unidad Chimborazo-Altar

Generalidades

La unidad está ubicada en la región central del Callejón Interandino con una superficie estimada de 3905 Km².

Geomorfológicamente presenta una topografía irregular y compleja. En sus flancos se alzan las cordilleras Central y Occidental, que se hallan entrelazadas por cadenas montañosas o nudos, con una altura promedio de 3600 msnm, donde se destaca la llanura de Tapi (2800 msnm.).

La principal arteria hidrográfica es el río Chambo, que se origina en la confluencia de los ríos Guamote y Cebadas, hacia el noreste se une con el río Patate para formar el río Pastaza.

Sinopsis geológica

Regionalmente esta zona corresponde a la denominada “Depresión Interandina” limitada por fallas longitudinales de dirección general N – S.

Geológicamente la cuenca se encuentra recubierta por sedimentos vulcano clásticos del cuaternario, conformados por lavas, sedimentos volcánicos y laharíticos, que cubrieron amplias superficies preexistentes. En la zona afloran rocas metamórficas del mesozoico, en la faja centro-oeste de la unidad afloran rocas cretácicas (F. Yunguilla). Mapa N° 13.

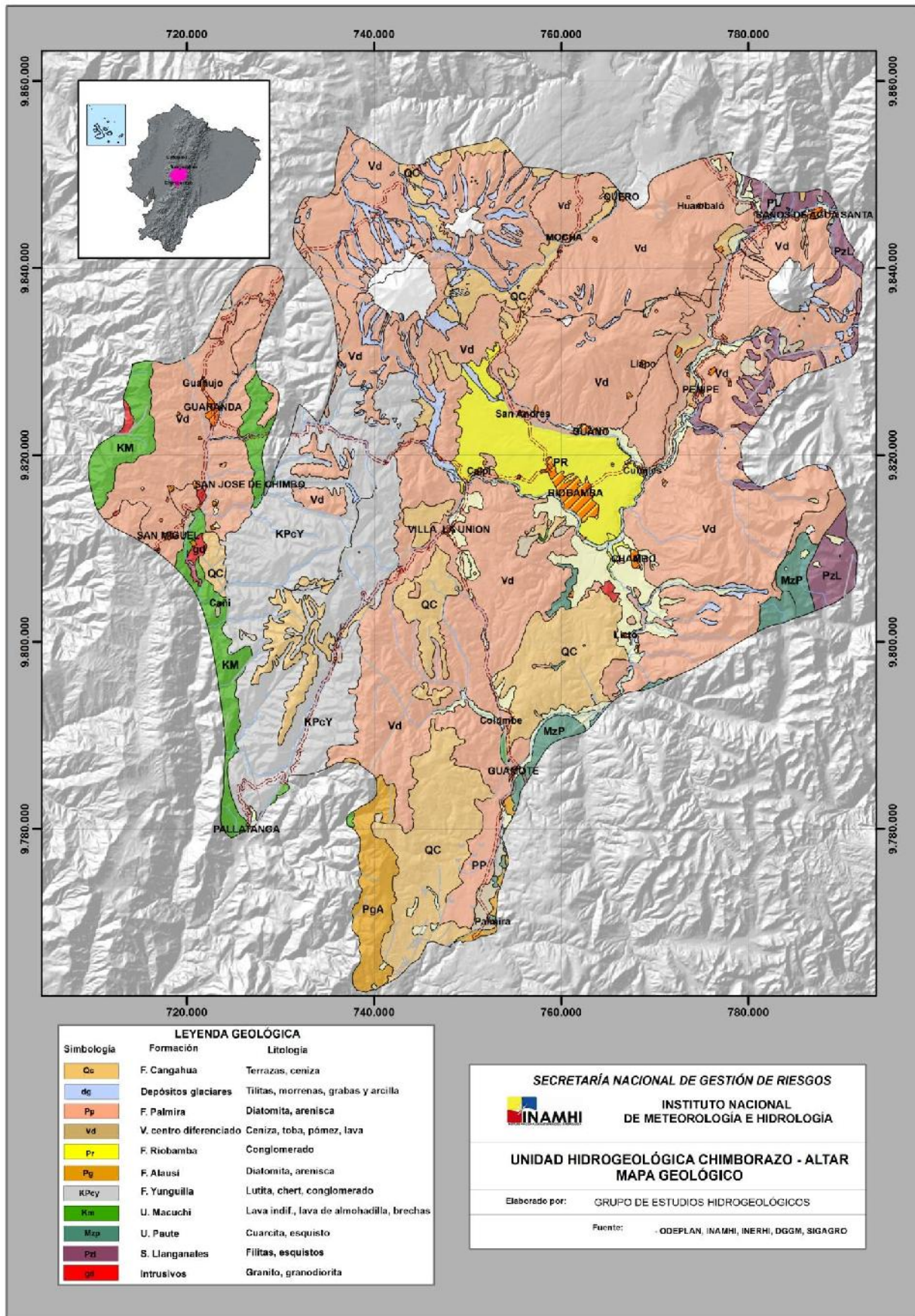
Hidrogeología

Los depósitos recientes: aluviales, coluviales, terrazas, cangahua, volcánicos y formaciones del pleistoceno son permeables por porosidad intergranular, que han originado acuíferos con una permeabilidad variable, generalmente baja.

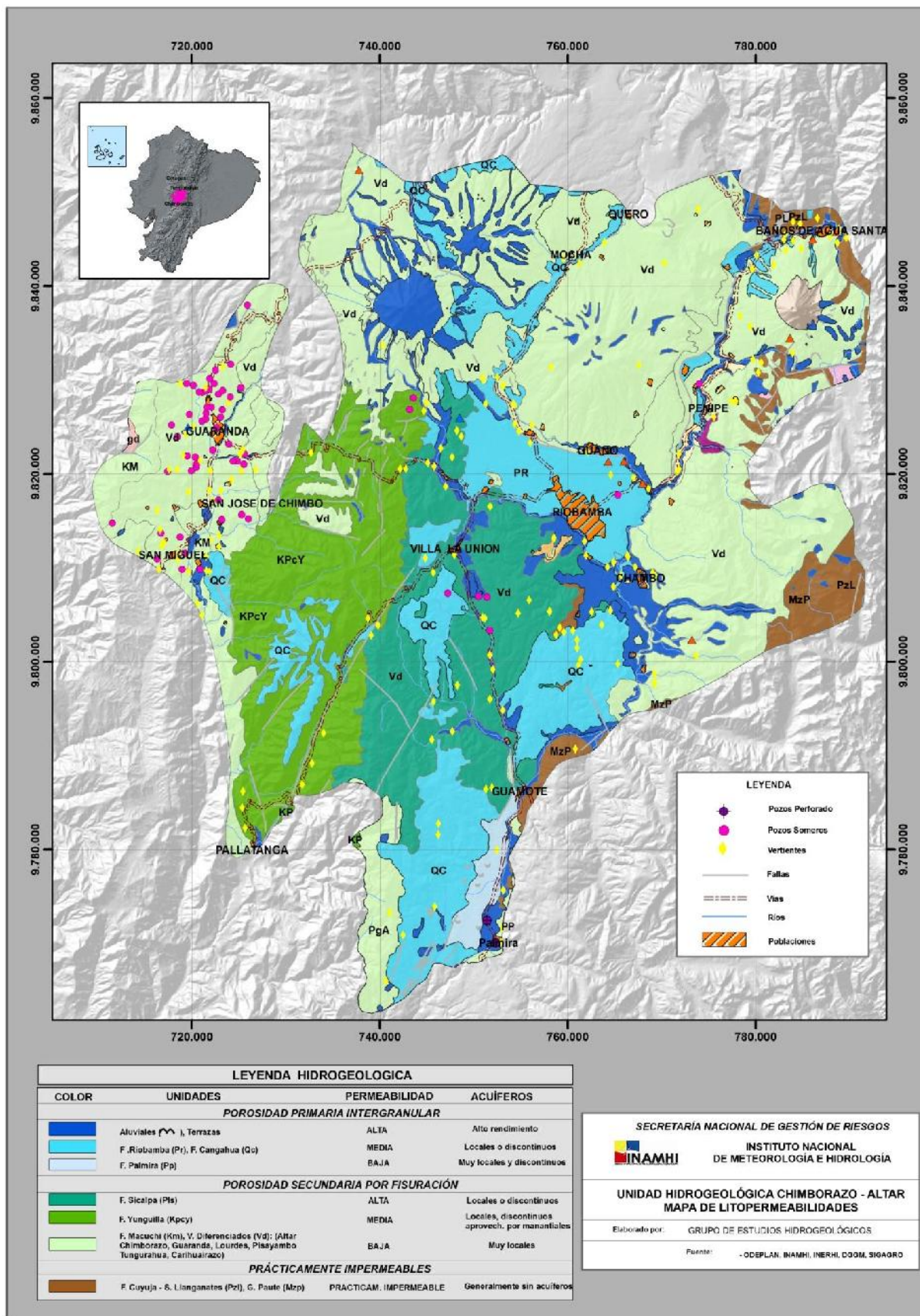
Las formaciones volcánicas son depósitos permeables por fisuración, produciendo acuíferos locales o discontinuos de permeabilidad baja a media, dependiendo del grado de fracturamiento que éstos presenten. Mapa 14.

Análisis de los datos del inventario

CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA				
VALORES	NE - m	CE - $\mu\text{s}/\text{cm}$	PH	T°C
MEDIO	12,6	313,1	7,1	15,3
MAXIMO	30,1	620,0	8,2	17,6
MINIMO	1,3	120,0	4,5	11,8



Mapa 13



Mapa 14

2.5.1.6. Unidad de Cañar-Cuenca-Giron

Generalidades

La unidad se encuentra ubicada en el sur del Callejón Interandino, ocupando mayoritariamente territorios de las provincias de Cañar y Azuay. Su superficie es de aproximadamente 6.300 Km².

El paisaje andino con relieves colinados, ondulados y superficies escarpadas es característico en la unidad.

El sistema hidrográfico está representado por dos ríos principales: el Tomebamba y el Burgay, afluentes del Paute.

Sinopsis geológica

La unidad hidrogeológica constituye una fosa cuyo sustrato está conformado por formaciones cretácicas, mismas que fueron cubiertas secuencialmente por formaciones miocénicas hasta recientes. Las formaciones plio-cuaternarias conformadas por depósitos volcánicos recientes, aluviales, coluviales, y glaciales cubren más del 90% del área total de la unidad. Mapa 15

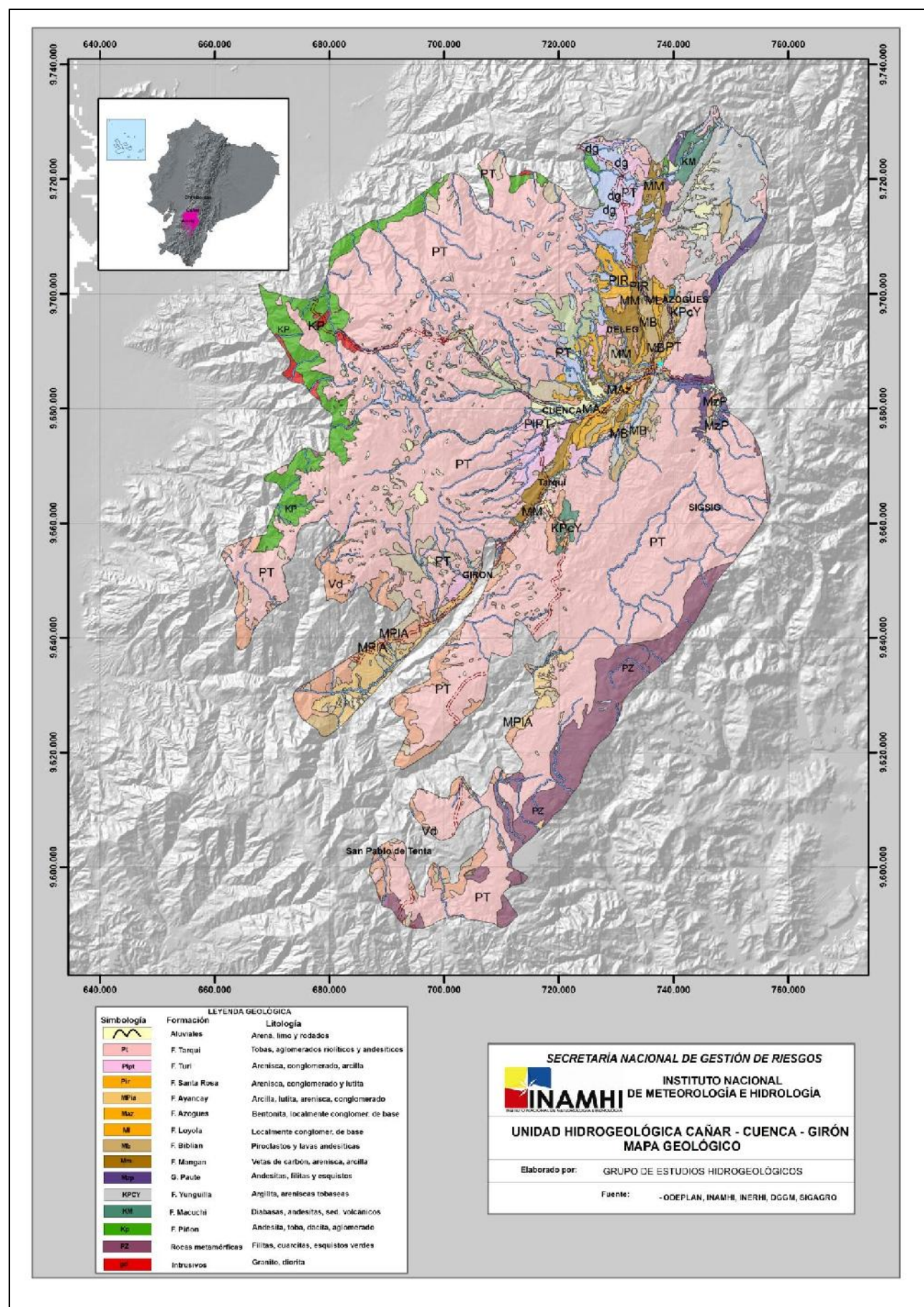
Hidrogeología

Los conglomerados, areniscas tobáceas, cenizas, brechas volcánicas y tillitas, litología representativa de las formaciones pliocuaternarias poseen una permeabilidad por porosidad intergranular variable, de baja a media; factores que determinan que el grupo pueda dar lugar a la formación de acuíferos locales de bajo rendimiento.

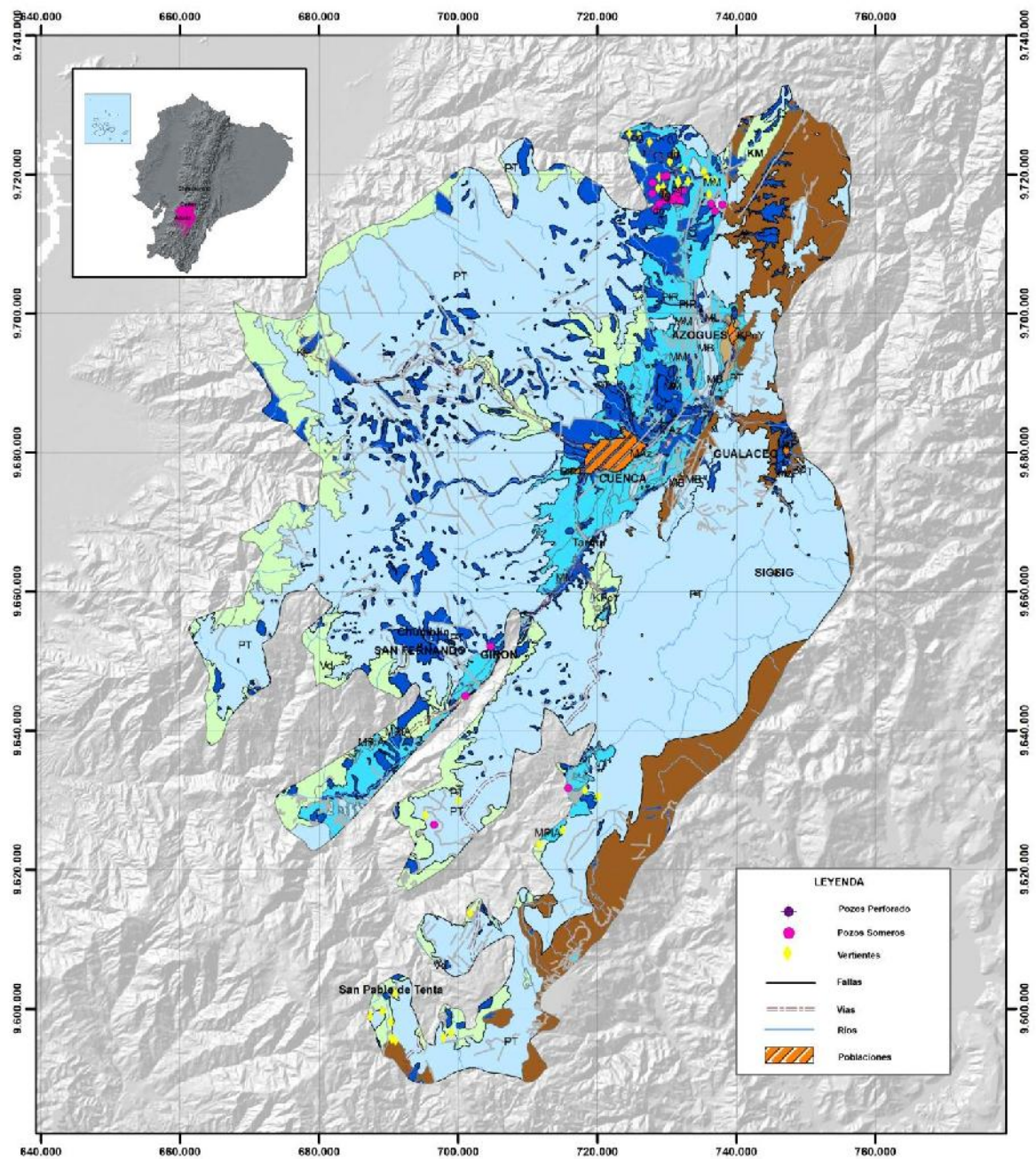
Las formaciones miocénicas y pleistocénicas, constituyen el grupo más extendido en la unidad por su litología (arcillas, arenas, lutitas y productos piroclásticos), que dan lugar a la formación de acuíferos pobres. Mapa 16

Análisis de los datos del inventario.

CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA				
VALORES	NE - m	CE - μ s/cm	PH	T°C
MEDIO	5,5	595,6	5,5	14,8
MAXIMO	13,4	1010,0	5,5	18,4
MINIMO	0,0	95,0	5,5	11,0



Mapa 15



LEYENDA HIDROGEOLOGICA			
COLOR	UNIDADES	PERMEABILIDAD	ACUÍFEROS
POROSIDAD PRIMARIA INTERGRANULAR			
Aluviales (A), Terrazas		ALTA	Alto rendimiento
F. Azogues (Maz), F. Turi (TUP), F. Loyola (Mi), F. S. Rosa (PLR), Mangán (Mm), G. Naranjal (MPLA), G. Nabor (MPIA)		MEDIA	Locales o discontinuos
F. Tarqui (PT), F. Bibiani (Mb), F. Uchucay		BAJA	Muy locales y discontinuos
POROSIDAD SECUNDARIA POR FISURACIÓN			
F. Colica (Kc), F. Macushi (KM), V. Saraguro (Vd), F. Piñón (KP)		BAJA	Muy locales
PRÁCTICAMENTE IMPERMEABLES			
S. Zamora (Pzz), G. Paute (Mzp), F. Yung (Kpy)		PRÁCTICAMENTE IMPERMEABLE	Generalmente sin acuíferos

SECRETARÍA NACIONAL DE GESTIÓN DE RIESGOS
INAMHI
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

UNIDAD HIDROGEOLOGICA CAÑAR - CUENCA - GIRÓN
MAPA DE LITOPERMEABILIDADES

Elaborado por: GRUPO DE ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS

Fuente: IDEPLAN, INAMHI, INERH, OGIM, SIGAGRO

Mapa 16

2.5.2. Unidades hidrogeológicas Región Costa

2.5.2.1. Unidad de Cabo San Lorenzo

Generalidades

Se encuentra ubicada en la parte occidental de la provincia de Manabí; está limitada al norte, suroeste y oeste por el Océano Pacífico formando una península, en tanto que, al este la cierra una faja montañosa, con una altura promedio de 400 m.s.n.m. Su superficie es de aproximadamente 1.230 Km².

Presenta una topografía regular con elevaciones pequeñas que suben gradualmente desde las costas del Pacífico.

La hidrografía está conformada por una serie de cauces (Manta, Salado, Bravo, Cantagallo y Jipijapa), la mayoría intermitentes.

Sinopsis geológica

La evolución geológica de Manabí empieza en el jurásico con la emisión de potentes flujos volcánicos, que se prolongan hasta el cretácico, conformando el zócalo de rocas volcánicas. A partir del cretáceo superior hasta el mioceno medio se produce una sedimentación conformada por depósitos de origen marino, intercalados con sedimentos continentales provenientes de la erosión de la naciente cordillera.

En el plioceno, hasta el reciente continúa la sedimentación de materiales detríticos que rellenan los valles formados por los ríos que conforman las cuencas hidrográficas. Mapa 17

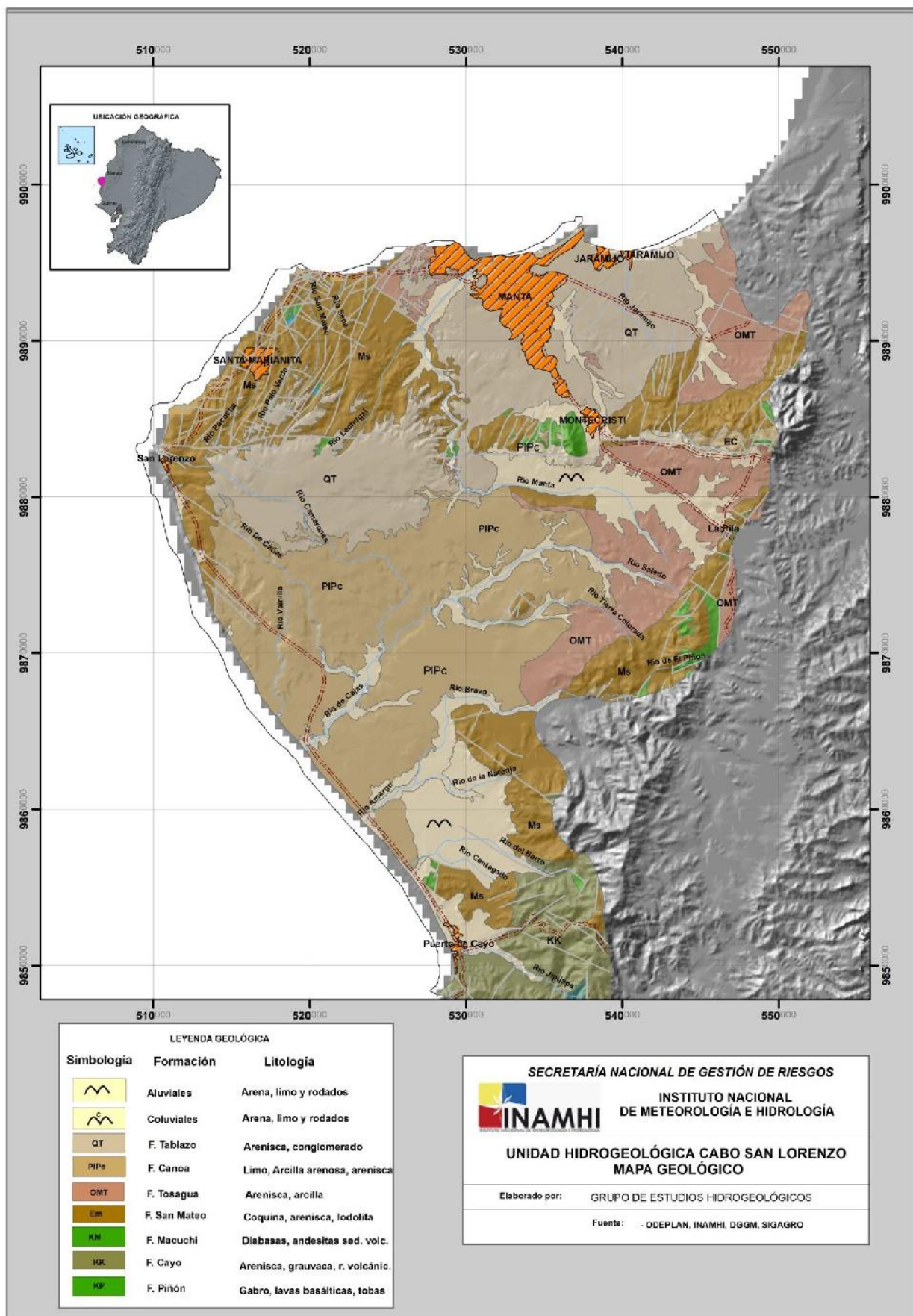
Hidrogeología

Por las características litológicas de las formaciones geológicas investigadas, el sector se comporta como un acuífero con reservas importantes de agua subterránea.

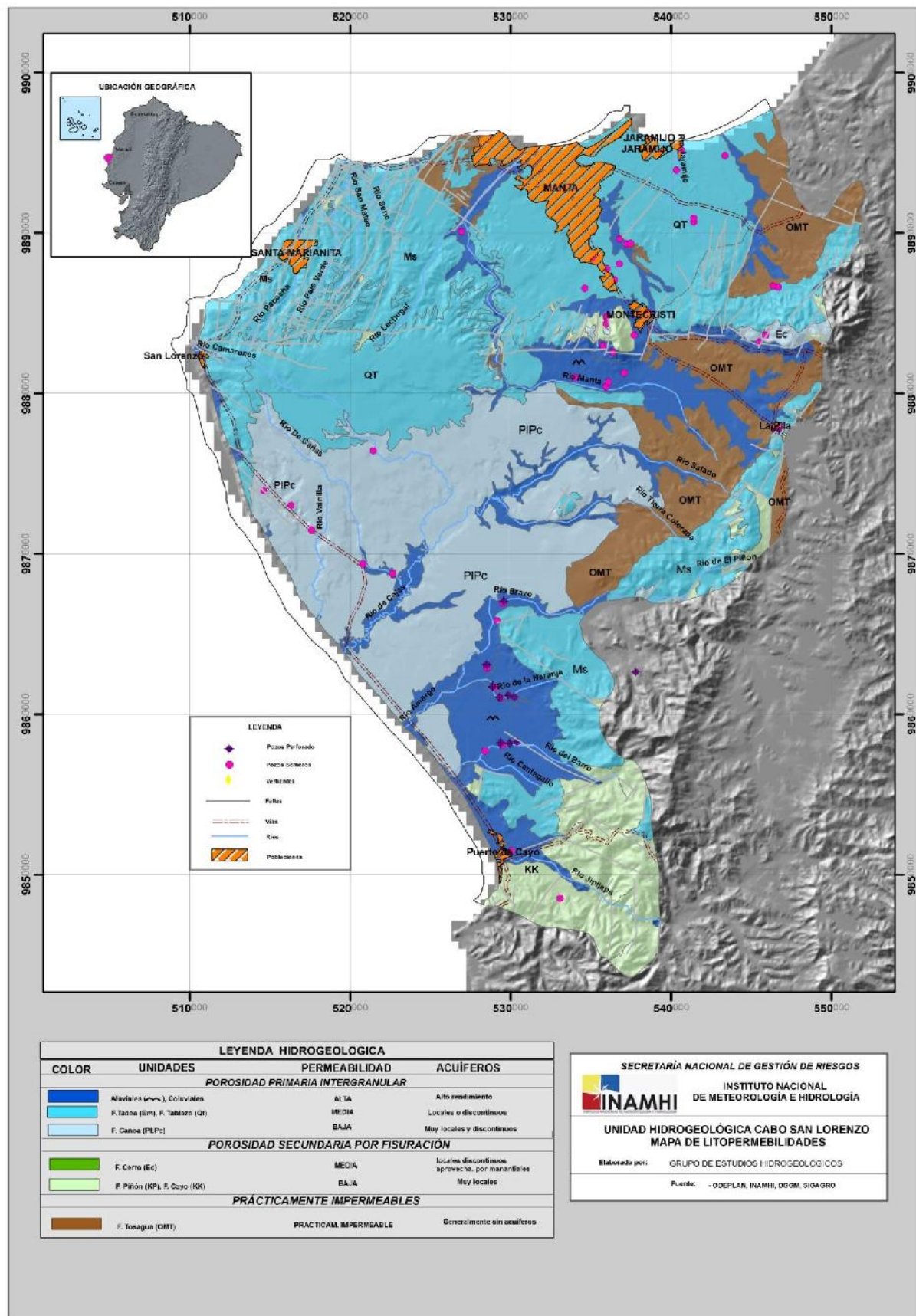
La formación de San Mateo constituye el principal acuífero potencial dentro de la unidad, ya que su composición litológica dominante es de conglomerados y arenas. En las poblaciones de Manantiales y Cantagallo se han perforado pozos que posiblemente capten agua de esta formación. El acuífero de Cantagallo es un acuífero costero, que por su cercanía al mar, se convierte en un recurso de importancia estratégica. Mapa 18

Análisis de los datos del inventario

CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA				
VALORES	NE - m	CE - $\mu\text{s}/\text{cm}$	PH	T°C
MEDIO	11,9	3586,3	6,6	25,8
MAXIMO	27,2	9000,0	8,4	30,6
MINIMO	0,0	600,0	5,5	21,6



Mapa 17



Mapa 18

2.5.2.2. Unidad de Esmeraldas

Generalidades

La unidad está ubicada en el nor-occidente del territorio ecuatoriano; abarca una extensión de aproximadamente 5.462 Km² que comprende la faja costera de la provincia de Esmeraldas, tomado como referente superior hacia el noreste el sector de Borbón y hacia el suroccidente el cantón Muisne.

La región se caracteriza por un relieve de llanura con pequeñas elevaciones (600 msnm.), como las de las montañas de Muisne y Mache, que originan estrechas cuencas.

El río Esmeraldas es el sistema fluvial más importante de la unidad, que recibe como afluentes entre otros al Teaone y al Viche. Los principales ríos que desembocan en el Océano Pacífico son: Verde, Ostiones y Muisne.

Sinopsis geológica

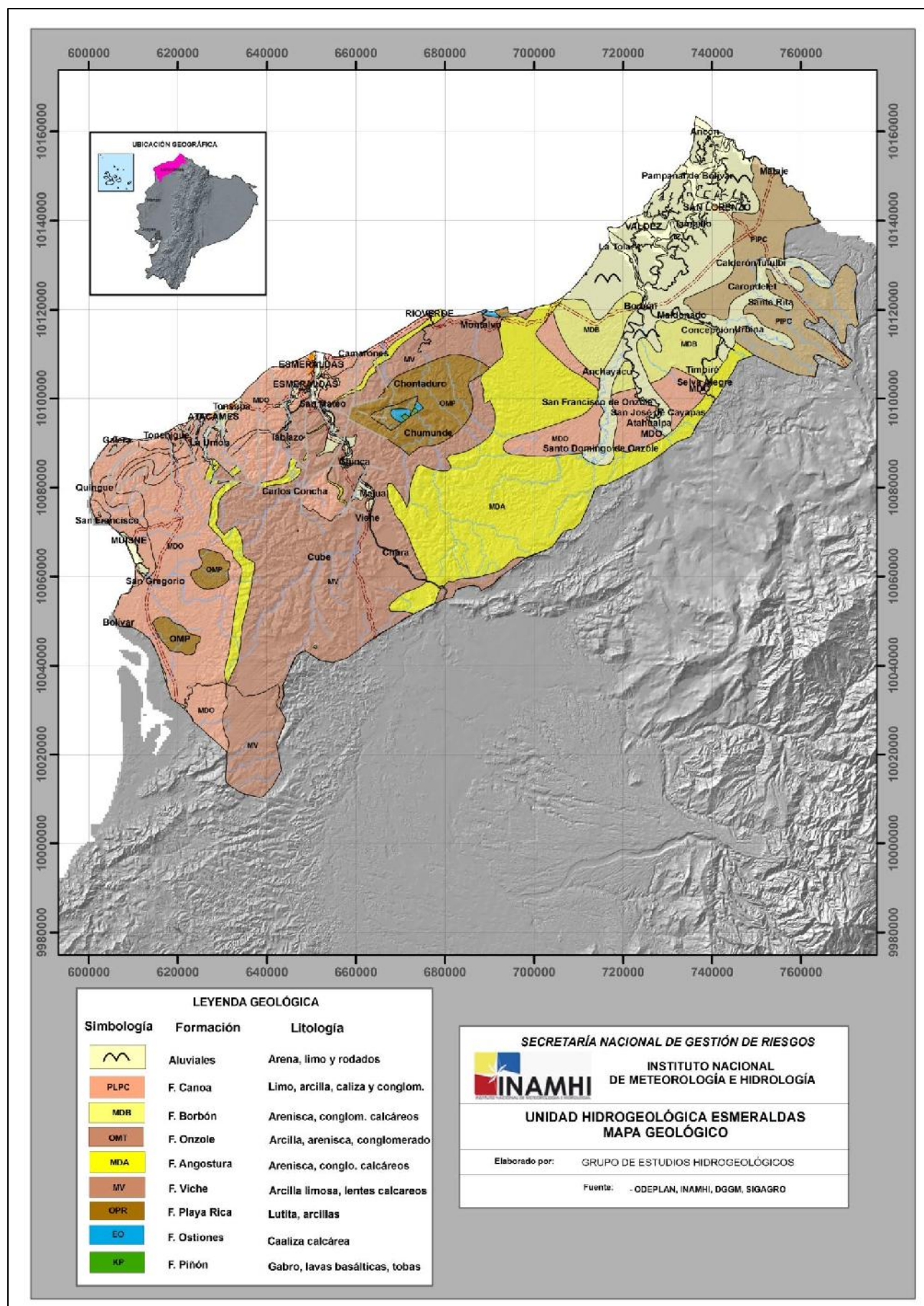
Esta unidad se encuentra formando parte de la cuenca neógena de Borbón o Esmeraldas. La región noroccidental del Ecuador ha sido escenario de una potente sedimentación terciaria, con marcados fenómenos de subsidencia, con una invasión marina ocurrida durante el eoceno medio y superior, provocando el relleno de las fosas de subsidencia sobre las cuales se han depositado sedimentos esencialmente marinos de edad terciaria y cuaternaria. Mapa 19.

Hidrogeología

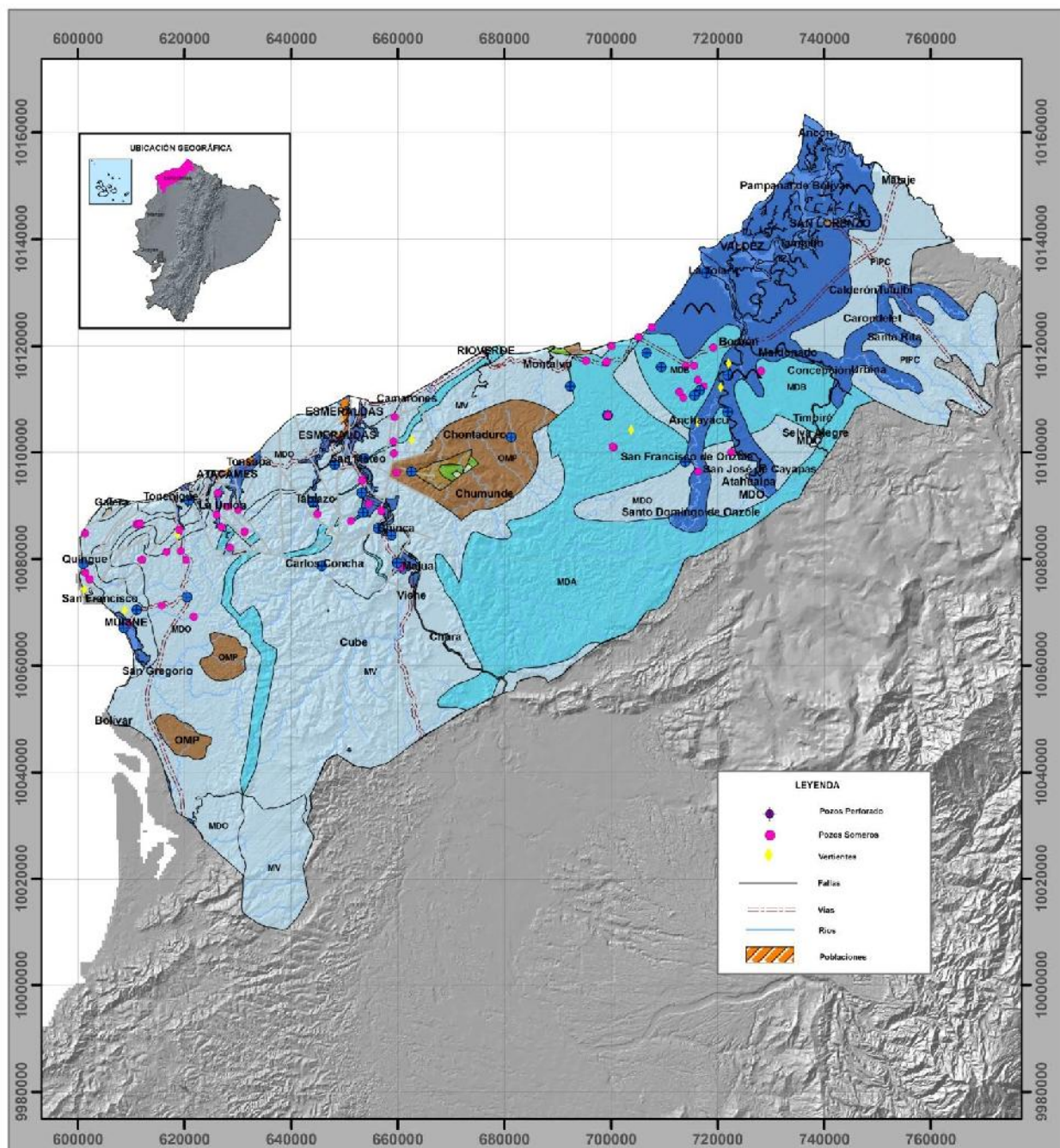
Las características de la unidad están estrechamente vinculadas a la litología de las formaciones aflorantes, determinándose que son los sedimentos cuaternarios que conforman terrazas aluviales y los aluviales de los principales ríos, los que por su grado de permeabilidad intergranular pueden dar lugar a la formación de acuíferos locales, limitados por su espesor. Las formaciones terciarias difícilmente conformarán acuíferos de importancia. Mapa 20.

Análisis de los datos del inventario.

CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA				
VALORES	NE - m	CE - µs/cm	PH	T°C
MEDIO	5.3	2324.4	6.8	27.1
MAXIMO	12,2	8000,0	7,0	28,0
MINIMO	1,3	720,0	6,0	26,0



Mapa 19



LEYENDA HIDROGEOLOGICA			
COLOR	UNIDADES	PERMEABILIDAD	ACUÍFEROS
POROSIDAD PRIMARIA INTERGRANULAR			
Blue	Aluviales (A)	ALTA	Alto rendimiento
Light Blue	F. Borbón (MDB), F. Angostura (MDA), F. Canoa (PLPC), F. Viche (MV), F. Onzole (MDO)	MEDIA	Locales o discontinuos
Light Blue		BAJA	Muy locales y discontinuos
POROSIDAD SECUNDARIA POR FISURACIÓN			
Green	F. Ostiones (EO)	MEDIA	Locales, discontinuos aprovech. por manantiales
Light Green	F. Piñón (KP)	BAJA	Muy locales
PRÁCTICAMENTE IMPERMEABLES			
Brown	F. Playa Rica (OPR)	PRACTICAM. IMPERMEABLE	Generalmente sin acuíferos

SECRETARÍA NACIONAL DE GESTIÓN DE RIESGOS
INAMHI
INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

UNIDAD HIDROGEOLOGICA ESMERALDAS
MAPA DE LITOPERMEABILIDADES

Elaborado por: GRUPO DE ESTUDIOS HIDROGEOLOGICOS

Fuente: CDEPLAN, INAMHI, DGGM, SIGAGRO

Mapa 20

2.5.2.3. Unidad de Chone-Calceta

Generalidades

Esta unidad está situada en la zona central de la provincia de Manabí y se extiende por las terrazas de los ríos Chone y sus afluentes: los ríos Mosquito, Garrapata, Canuto y Carrizal.

Morfológicamente se conforma como una zona colinada hacia el este y plana hacia el oeste. Las ciudades más importantes son Chone, Calceta, Bahía de Caráquez y Tosagua.

Sinopsis geológica

Esta unidad forma parte de la cuenca sedimentaria de Manabí; se caracteriza por presentar un conjunto geológico constituido por un sustrato volcánico (F. Piñón), que fue cubierto posteriormente por transgresiones terciarias. A partir del oligoceno superior, en la región costanera del Ecuador, se produce una sedimentación marina litoral.

Estas cuencas tuvieron una evolución sedimentaria neógena semejante, con conglomerados gruesos a la base, seguidos por sedimentos finos como areniscas, lutitas y tobas, dispuestas en secuencias sedimentarias.

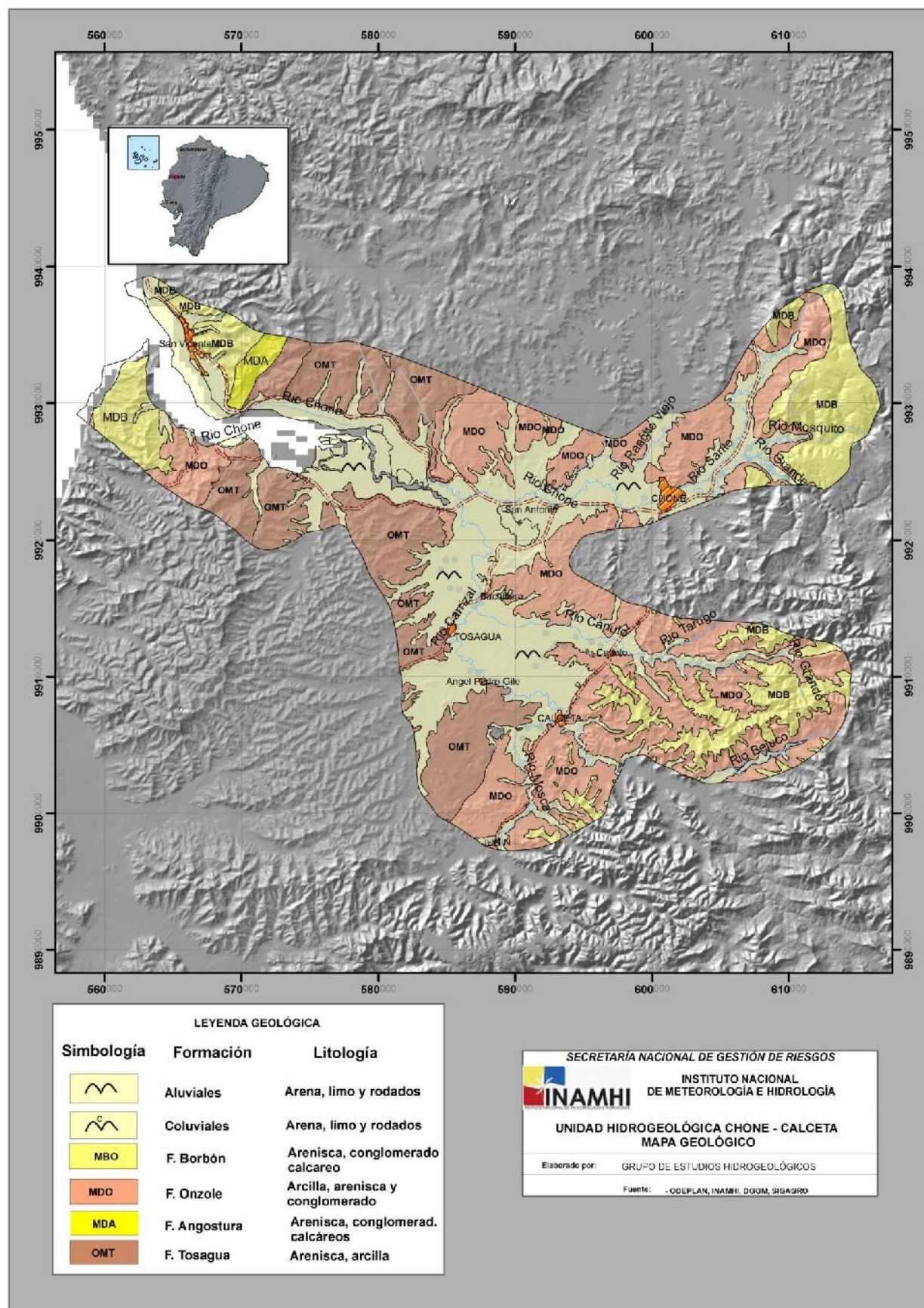
En el cuaternario se produce una etapa de meteorización intensa; simultáneamente se presenta un período de sumersión con el consiguiente relleno de los estuarios y valles de los ríos. La distribución areal de las formaciones se visualiza en el mapa geológico. Mapa 21

Hidrogeología

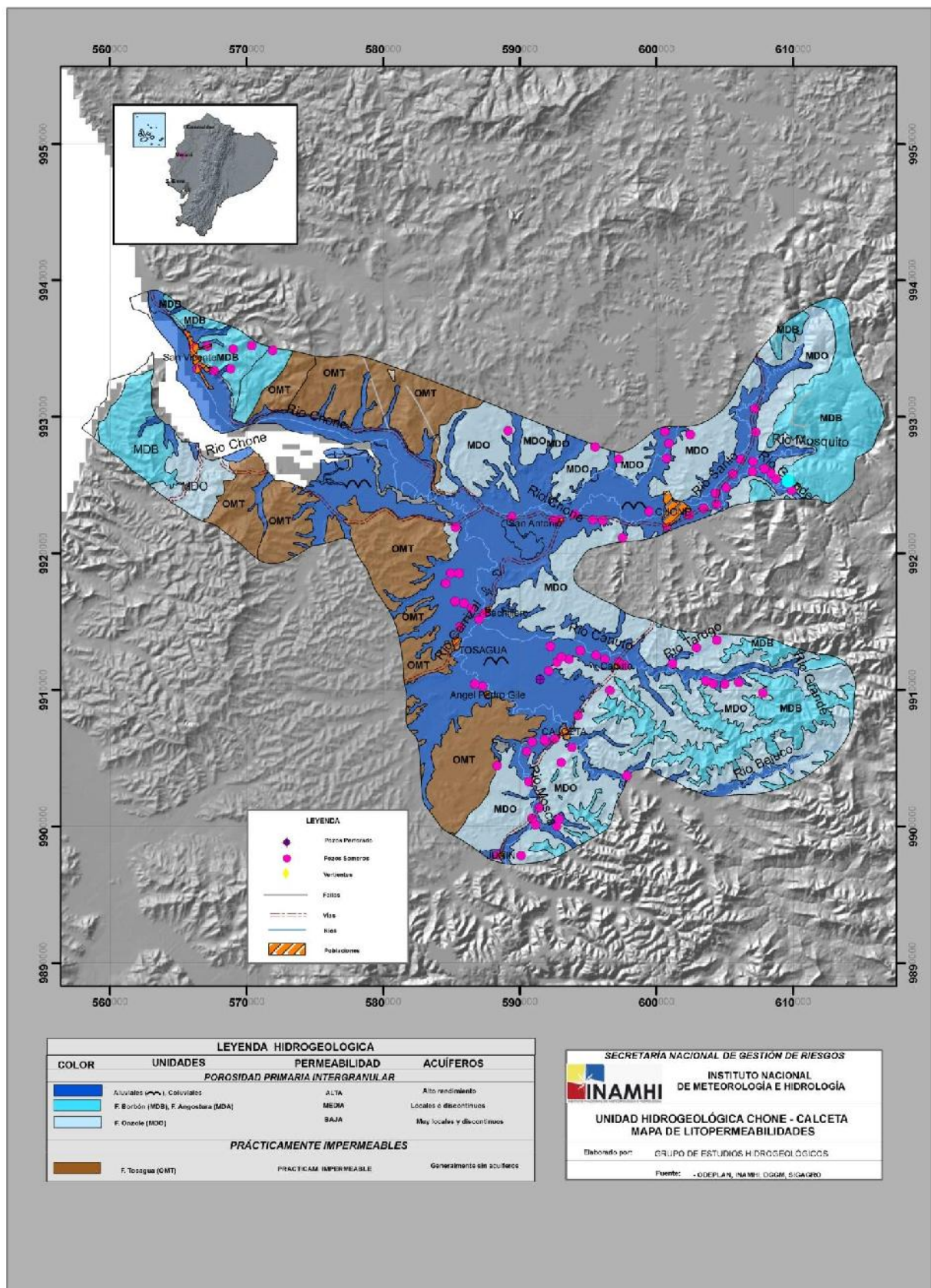
Las unidades litológicas permeables por porosidad primaria o intergranular, están asociadas con rocas clásticas, no consolidadas o poco consolidadas y corresponden en orden de importancia a las siguientes formaciones geológicas: terrazas y depósitos aluviales. Por su composición litológica estas formaciones, pueden conformar acuíferos locales, de permeabilidad media a baja. Su importancia hidrogeológica es muy restringida. Mapa 22

Análisis de los datos del inventario

CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA				
VALORES	NE - m	CE - $\mu\text{s}/\text{cm}$	PH	T°C
MEDIO	3,9	2547,4	6,2	26,1
MAXIMO	13,5	9000,0	7,5	29,0
MINIMO	0,3	60,0	5,5	23,0



Mapa 21



Mapa 22

2.5.2.4. Unidad de Portoviejo

Generalidades

El área de la cuenca es de 2060 Km² y es una de las más importantes de la provincia de Manabí. Sus drenajes principales lo conforman los sistemas de los ríos Portoviejo, Chico y Lodana. Los ríos nacen en las estribaciones de la Cordillera de Balzar y están alimentados por esteros, que permanecen secos la mayor parte del año, excepto en épocas de lluvias.

Desde la confluencia de los ríos Portoviejo y Chico se forma una llanura de inundación hasta su desembocadura en el Pacífico, que posee una anchura variable entre 1 y 5 Km. y una longitud de 20 Km., extendiéndose al sur hasta la ciudad de Portoviejo.

Sinopsis geológica

Esta unidad forma parte de la cuenca sedimentaria de Manabí; se caracteriza por presentar un conjunto geológico constituido por un sustrato volcánico (F. Piñón), que fue cubierto posteriormente por transgresiones terciarias. Esta cuenca tuvo una evolución sedimentaria neógena, con conglomerados gruesos a la base, seguidos por sedimentos finos como areniscas, lutitas y tobas en secuencias sedimentarias.

En el cuaternario se presenta un período de sumersión con el subsiguiente rellenado para formar las terrazas, continuando luego los depósitos aluviales hasta la actualidad. Mapa 23

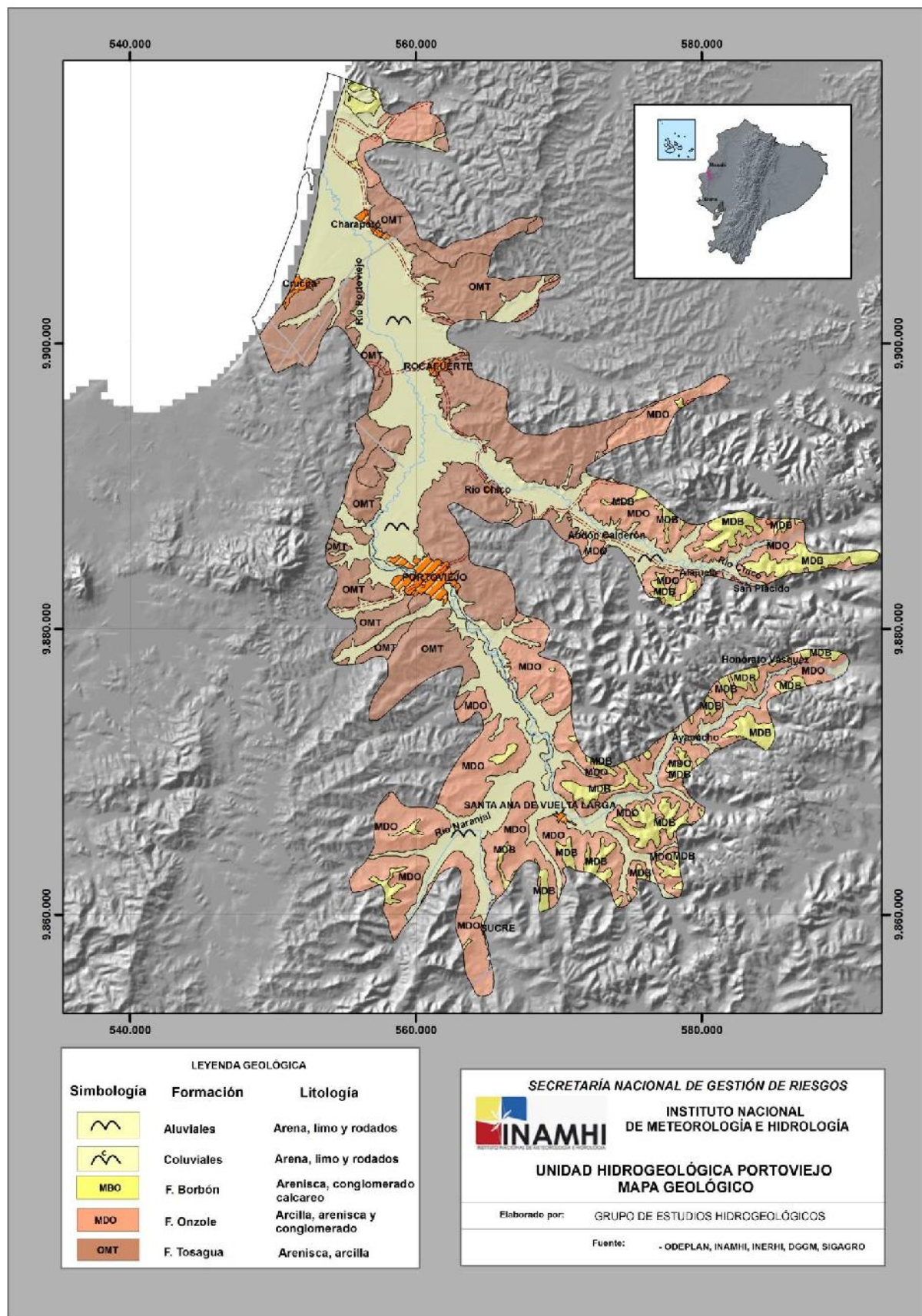
Hidrogeología

Las terrazas y aluviales conformados por arenas, limos, arcillas y fragmentos de las formaciones más antiguas se presentan a lo largo de los principales ríos como el Portoviejo y Chico conformando potenciales acuíferos. La condición de origen marino de las formaciones descritas, tienen una marcada influencia en la calidad del agua; esta condición hace que el agua de la zona tenga alta salinidad.

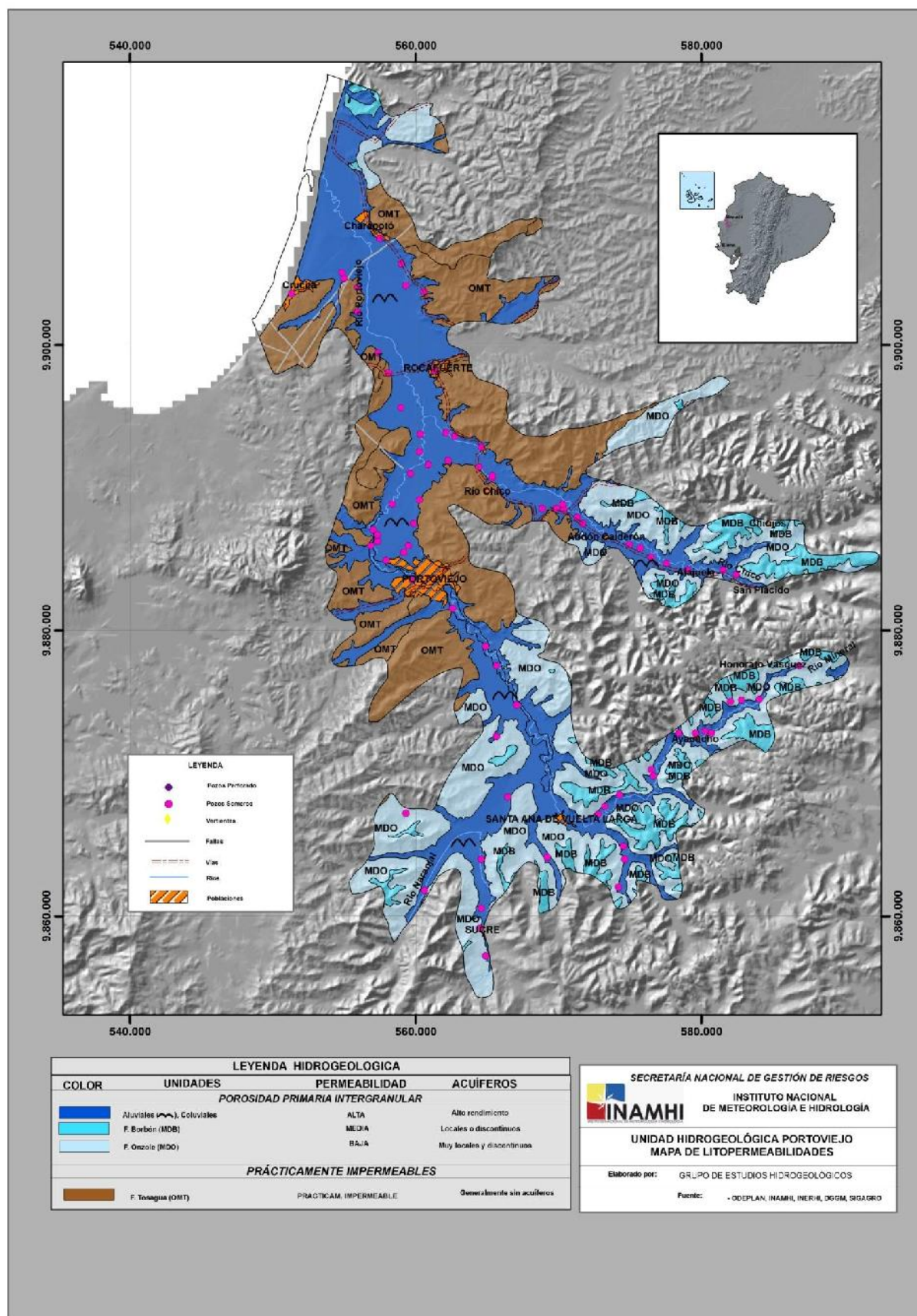
Las formaciones terciarias cubren más del 75% de la unidad; litológicamente están constituidas por lutitas, arcillas y limolitas, por lo que no revisten importancia hidrogeológica. Mapa 24

Análisis de los datos del inventario

CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA				
VALORES	NE - m	CE - μ s/cm	PH	T°C
MEDIO	4,2	2705,1	6,1	26,0
MAXIMO	16,7	9000,0	8,0	28,0
MINIMO	0,7	105,0	5,0	22,5



Mapa 2



Mapa 24

2.5.2.5. Unidad de Guayas

Generalidades

La Unidad Hidrogeológica Guayas se encuentra ubicada al oeste de las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental. Abarca una superficie de unos 28000 Km².

Geomorfológicamente se caracteriza por un relieve relativamente plano, con amplias planicies conformada por terrazas y aluviones cuaternarios. Al norte el relieve cambia hacia una zona de montaña.

El sistema hidrográfico se concentra en dos grandes cursos fluviales: el río Daule, que recibe el aporte de los ríos Macul, Peripa, Pescadillo, Cajones y La Esperanza. Hacia el este el río Babahoyo, cuyos tributarios principales son los ríos Vinces, Tintos, Quevedo, Milagro y Catarama.

Sinopsis geológica

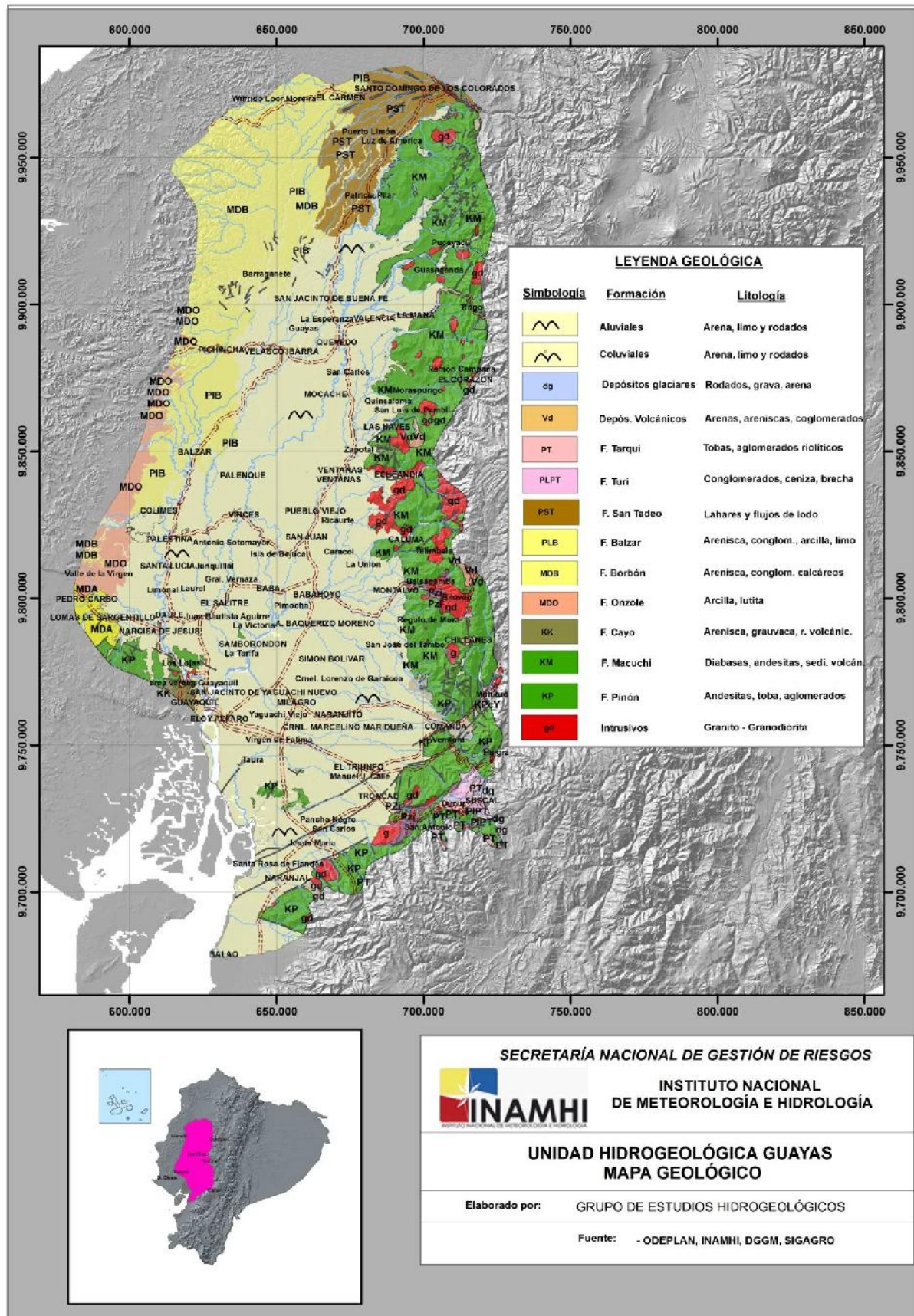
La cuenca del Guayas se formó en el neógeno superior, con el levantamiento de las cordilleras costeras que originó un desplazamiento del eje de depositación hacia el este, dando como resultado potentes depósitos fluviales y de piedemonte que han originado la formación de las plataformas de Daule y Babahoyo, sobre un basamento ígneo de edad cretácica de la costa ecuatoriana (F. Piñón). Mapa 25

Hidrogeología

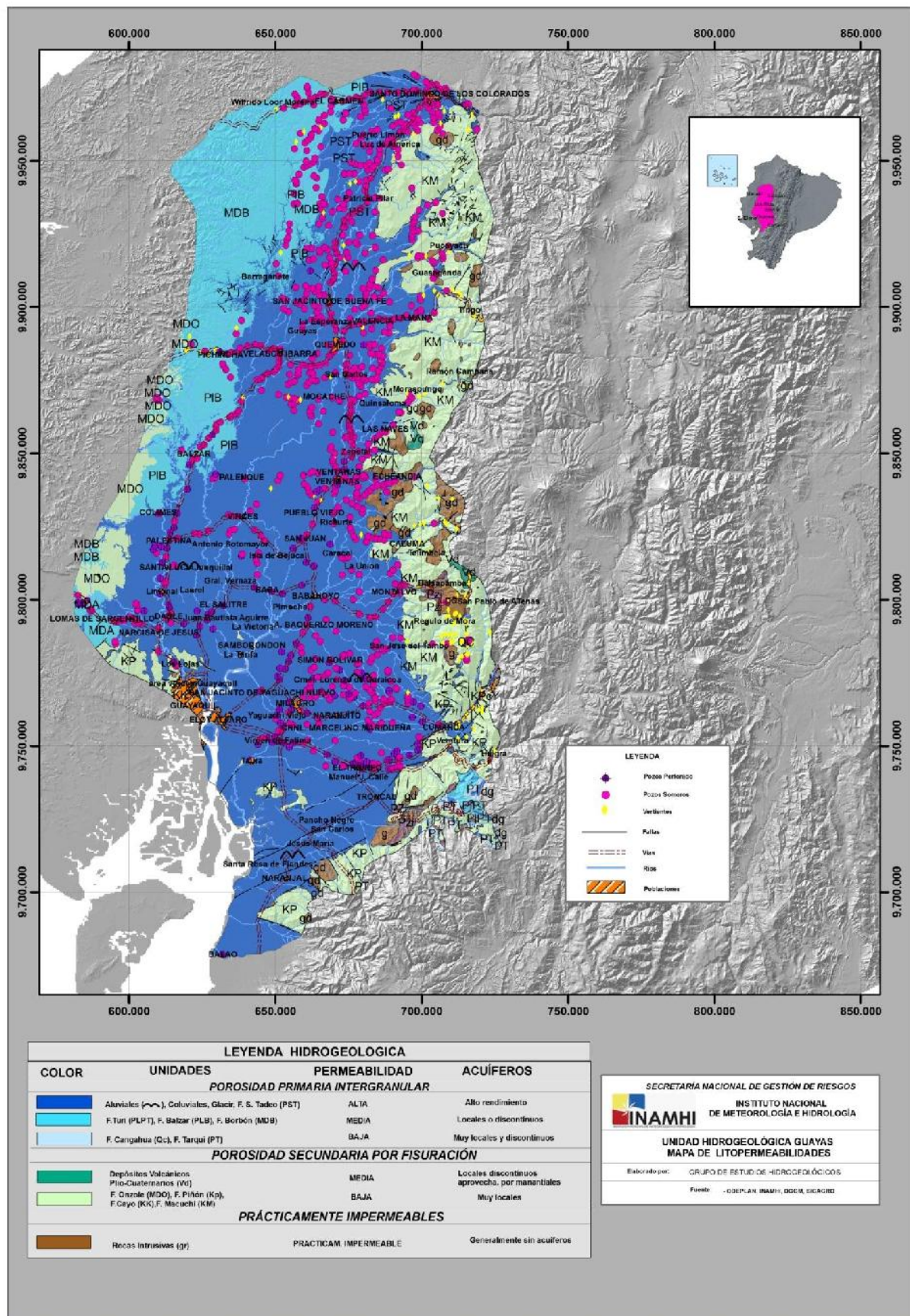
Analizando las características físicas de las rocas y fundamentados en la descripción litológica, se ha definido para esta unidad un solo conjunto de rocas permeables por porosidad intergranular, conformado por sedimentos pliocuaternarios detríticos de tipo aluvial, que conforman la llanura más extensa del país y la más promisoría para la explotación de aguas subterráneas. El límite occidental está conformado mayoritariamente por rocas volcánicas, que conforman la zona de recarga del acuífero. Mapa 26

Análisis de los datos del inventario

CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA				
VALORES	NE - m	CE - $\mu\text{s/cm}$	PH	T°C
MEDIO	6,7	367,1	5,9	25,2
MAXIMO	100,0	8000,0	10,0	30,0
MINIMO	0,0	0,0	4,7	0,0



Mapa 25



Mapa 26

2.5.2.6. Unidad de Machala

Generalidades

Se localiza en el extremo suroccidental del Ecuador; pertenece íntegramente a la provincia de El Oro; las ciudades principales son Machala, Santa Rosa, Pasaje, Arenillas y Huaquillas.

Morfológicamente la unidad se caracteriza por relieves casi horizontales que conforman la llanura costera, la cual se ve interrumpida por pequeñas elevaciones como el cerro "El Vergel", de origen volcánico, ubicado a unos 3 Km al sureste de la población El Guabo.

La red hidrográfica está representada por los ríos Jubones (curso bajo), Arenillas, Sta. Rosa, Zapotillo y Zarumilla.

Sinopsis geológica

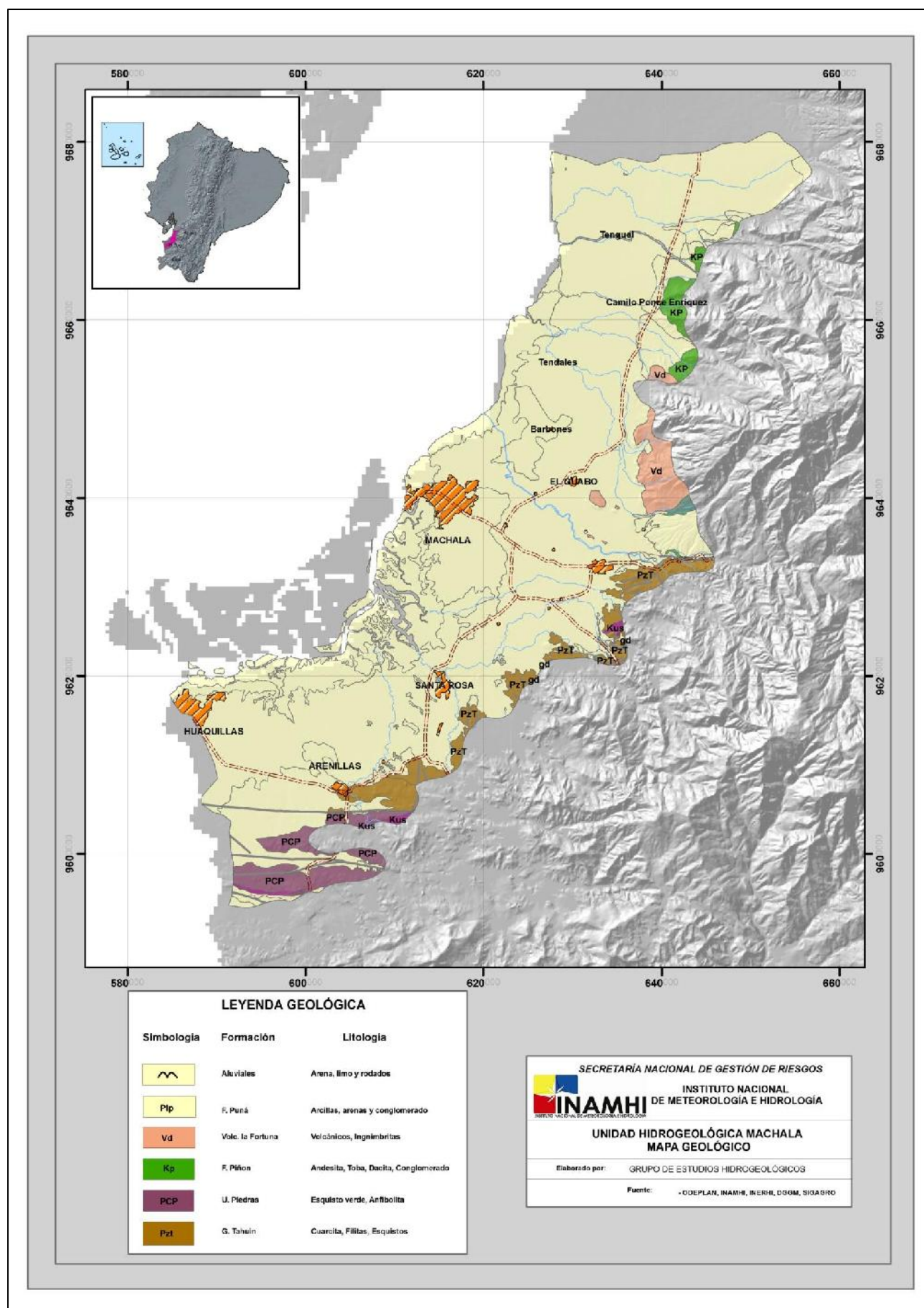
La unidad está constituida por sedimentos aluviales, coluviales e indiferenciados del cuaternario y sedimentos del terciario. Bordeando a estos sedimentos encontramos a la formación Macuchi y sedimentos fuertemente plegados y metamorfizados del Grupo Tahuín. Detalles se indican en el mapa geológico. Mapa 27

Hidrogeología

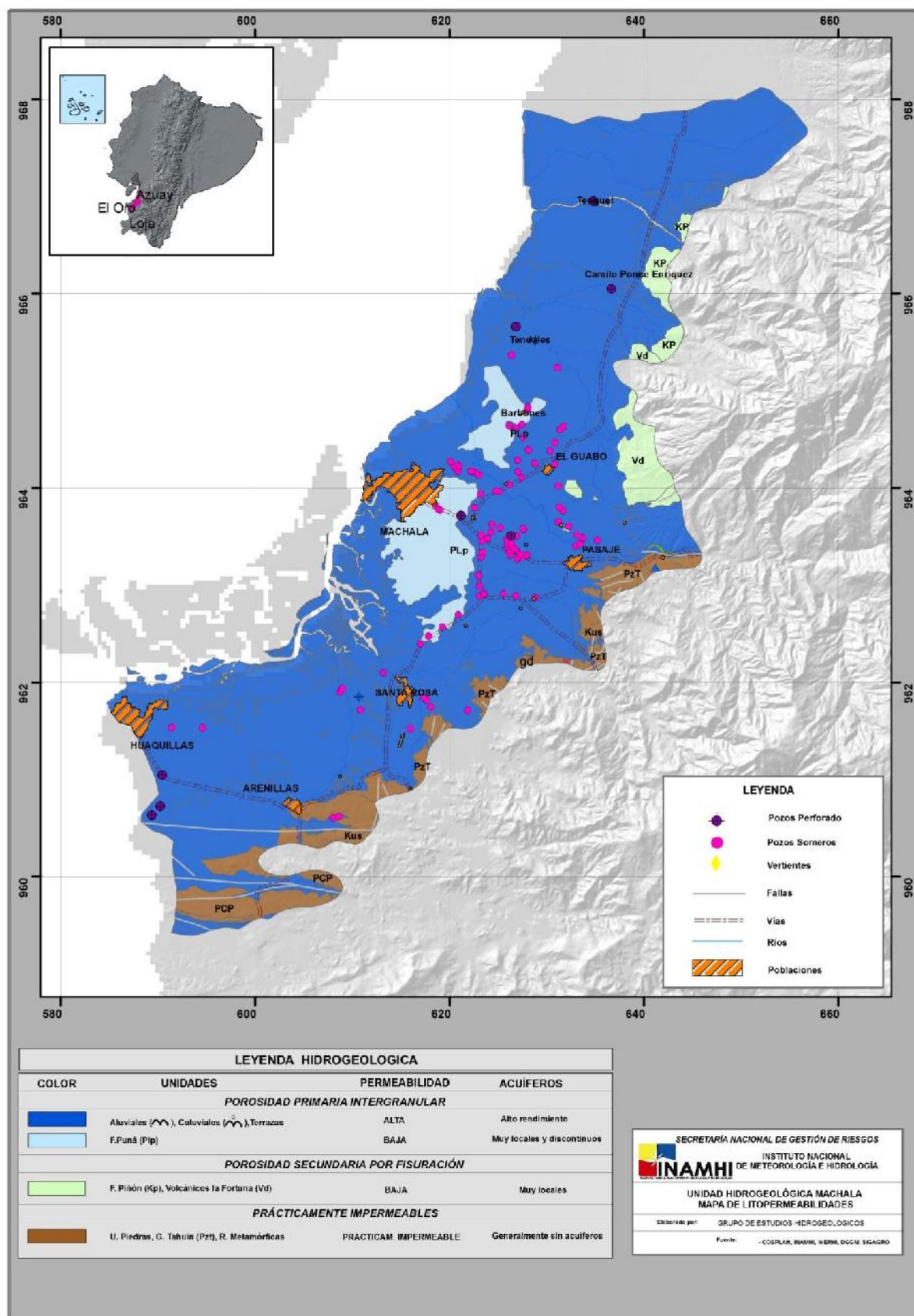
Los sedimentos aluviales, coluviales y el cuaternario indiferenciado, que conforman los valles fluviales, están formando las planicies de inundación, mismas que por su notable espesor y buena permeabilidad, presentan un mayor interés hidrogeológico. Ver Mapa de litopermeabilidad. Mapa 28.

Análisis de los datos del inventario

CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA				
VALORES	NE - m	CE - $\mu\text{s/cm}$	PH	T°C
MEDIO	2,7	1158,4	5,7	24,7
MAXIMO	23,0	10000,0	7,1	28,0
MINIMO	0,0	0,0	0,0	0,0



Mapa 27



Mapa 28

2.5.2.7. Unidad de Santa Elena

Generalidades

Se ubica en el extremo oeste del territorio continental ecuatoriano, ocupando el área de la Península de Santa Elena, con una extensión aproximada de 5380 Km².

El sistema hidrográfico de la Península comprende los ríos que nacen en la cordillera Chongón y Colonche y se dirigen hacia el sur oeste; entre los principales se destacan los ríos Zapotal, Salado, Grande, Javita, Viejo, Valdivia y Manglaralto.

Geomorfológicamente es una zona relativamente plana con pequeñas colinas y cerros, que no sobrepasan los 300 metros de altura. El rasgo fisiográfico fundamental lo constituye el Cerro de Estancia, que separa la cuenca del Progreso al este y la plataforma de Santa Elena al oeste.

Sinopsis geológica

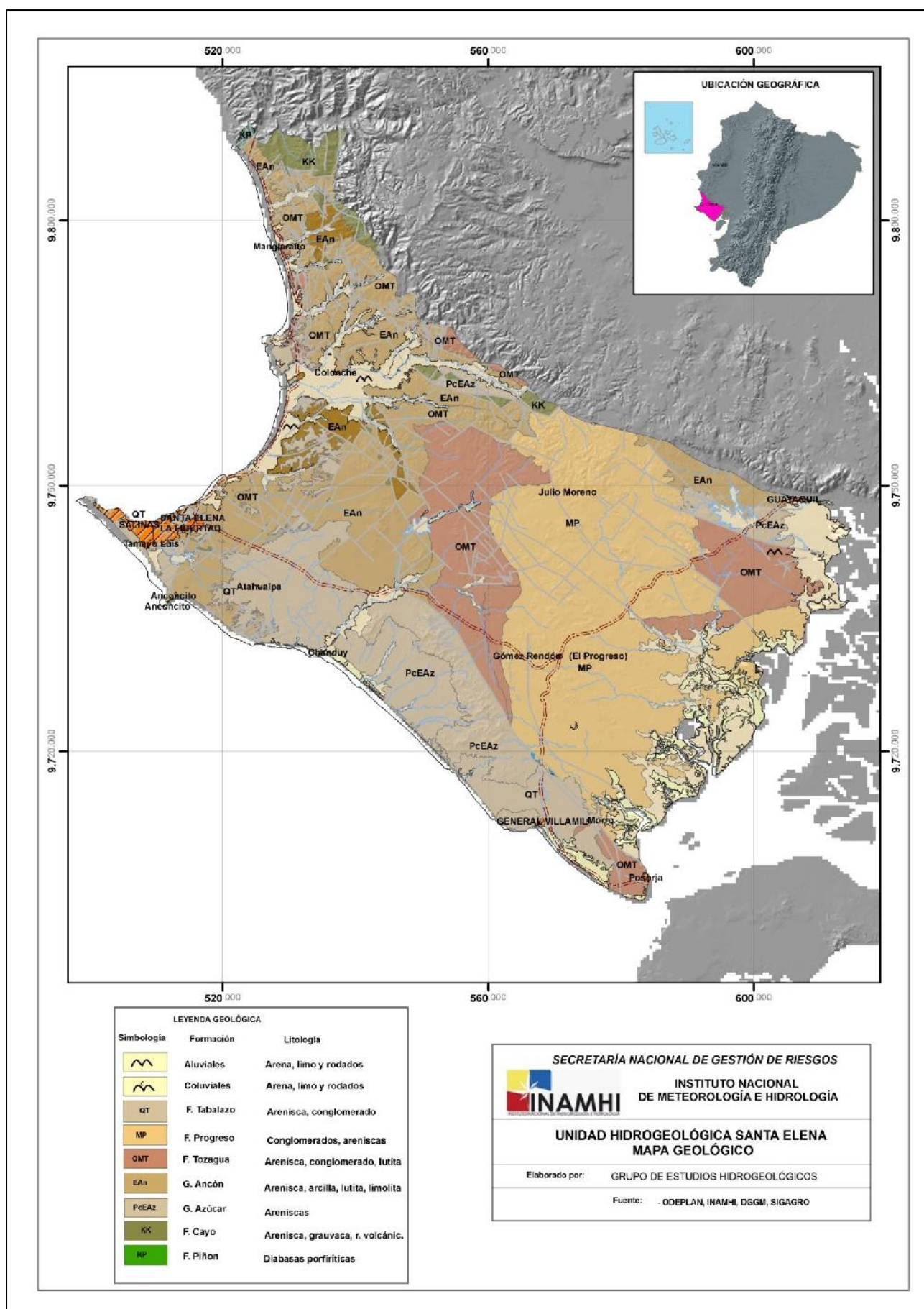
En la unidad afloran rocas volcánicas y sedimentarias, altamente tectonizadas. La unidad forma parte de la cuenca Progreso, caracterizada por el afloramiento de formaciones sedimentarias cuyas edades varían entre el cretácico al reciente. El límite norte lo conforman rocas ígneas de la formación Piñón. Mapa N° 29.

Hidrogeología

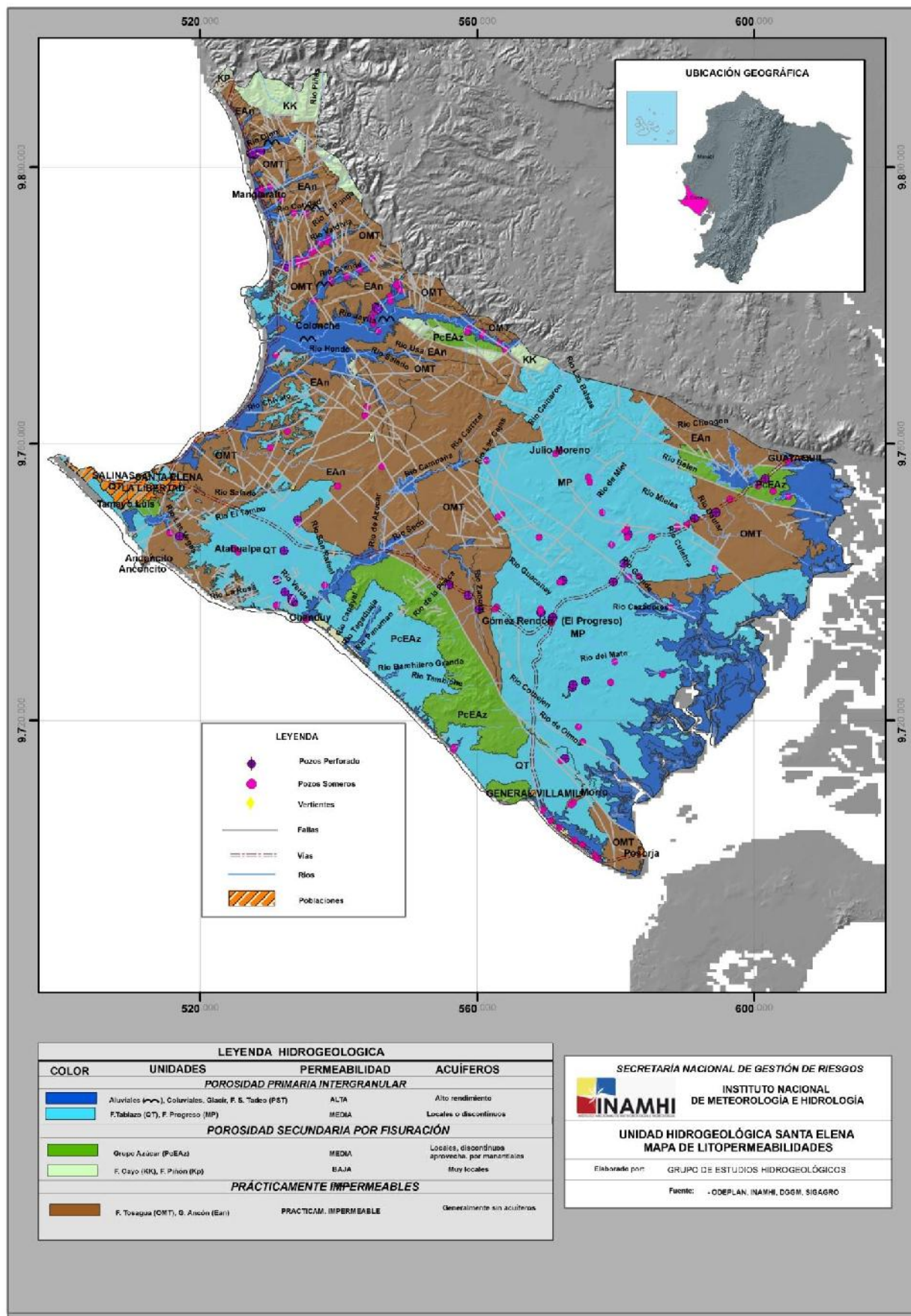
La unidad está integrada mayoritariamente por rocas sedimentarias del terciario al reciente, las cuales por su litología con predominancia de minerales arcillosos, mismos que ofrecen pocas posibilidades de constituir acuíferos de importancia; sin embargo, en los aluviales y en paleocauces es probable identificar zonas con un relativo interés hidrogeológico. Mapa 30

Análisis de los datos del inventario

CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA				
VALORES	NE - m	CE - $\mu\text{s}/\text{cm}$	PH	T°C
MEDIO	4,8	3080,8	5,5	26,6
MAXIMO	28,5	8000,0	5,5	30,0
MINIMO	0,2	170,0	5,5	24,0



Mapa 29



Mapa 30

2.5.2.8. Unidad de Cojimíes

Generalidades

El territorio ocupado por la unidad de Cojimíes pertenece a la parte norte de la provincia de Manabí. Su extensión aproximada es de 553 km².

Constituye una franja costera que se caracteriza por un relieve ondulado al este, que constituyen las estribaciones occidentales de las montañas de Jama, Convento y un relieve plano al oeste, que bordea el Océano Pacífico.

El sistema hidrográfico está representado por los ríos Don Juan, Camarones, Cuaque, Cojimíes y Salima entre otros.

Sinopsis geológica

La unidad está constituida en su parte basal por rocas magmáticas de origen oceánico del cetácico, sobre las cuales se han depositado sedimentos esencialmente marinos de edad terciaria y sedimentos continentales del cuaternario.

De acuerdo al mapa geológico se establece que los bordes de la unidad están constituidos por las formaciones miocénicas. Mapa 31

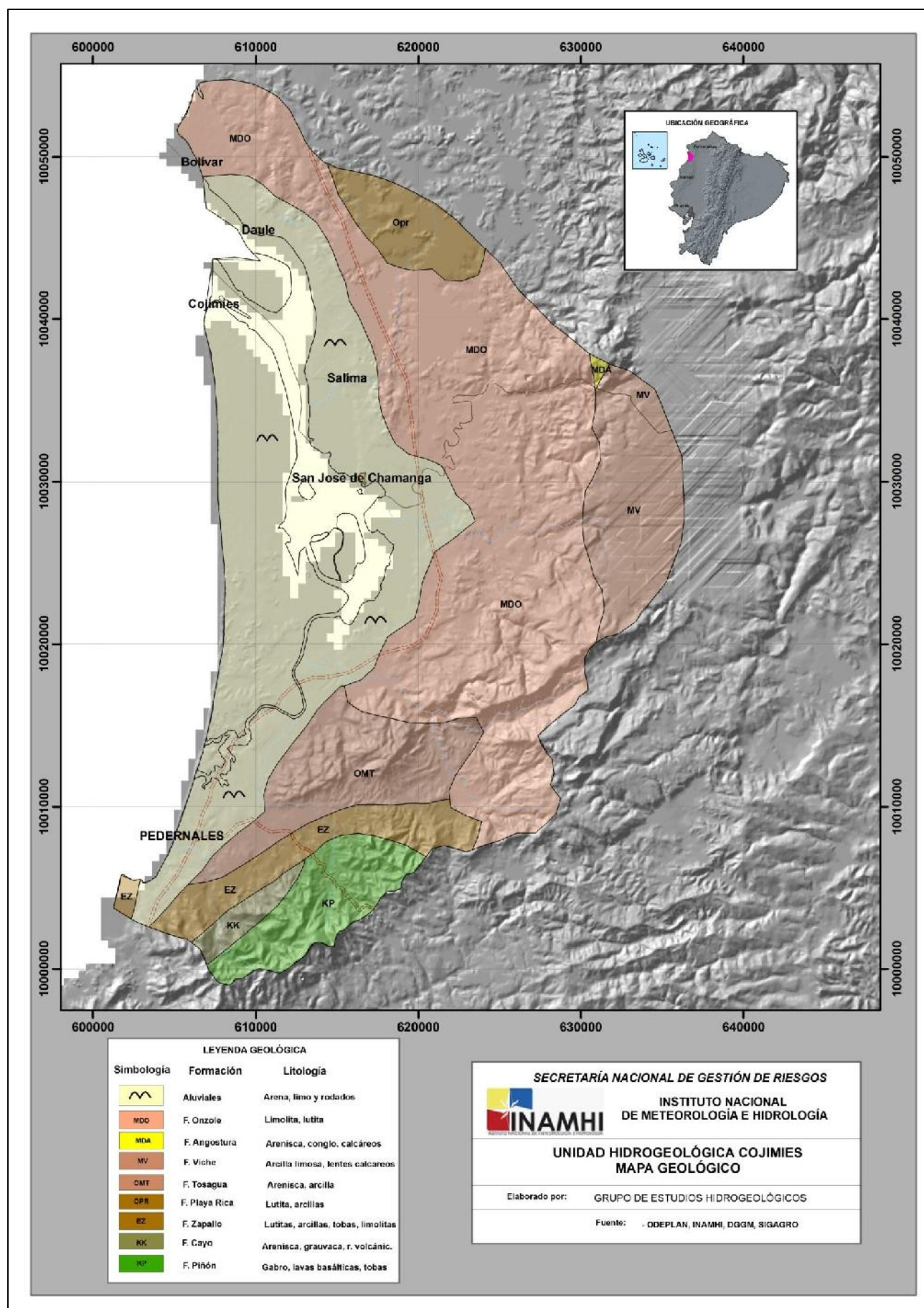
Hidrogeología

La unidad está conformada casi exclusivamente por formaciones sedimentarias de permeabilidad intergranular, las que dependiendo de su litología, han sido clasificadas como unidades de permeabilidad generalmente media y corresponden a las formaciones cuaternarias que constituyen las terrazas aluviales, constituidas por arenas, limos y arcillas, conformando acuíferos locales de bajo rendimiento. Estas unidades están representadas en el mapa de litopermeabilidades con tonos azules.

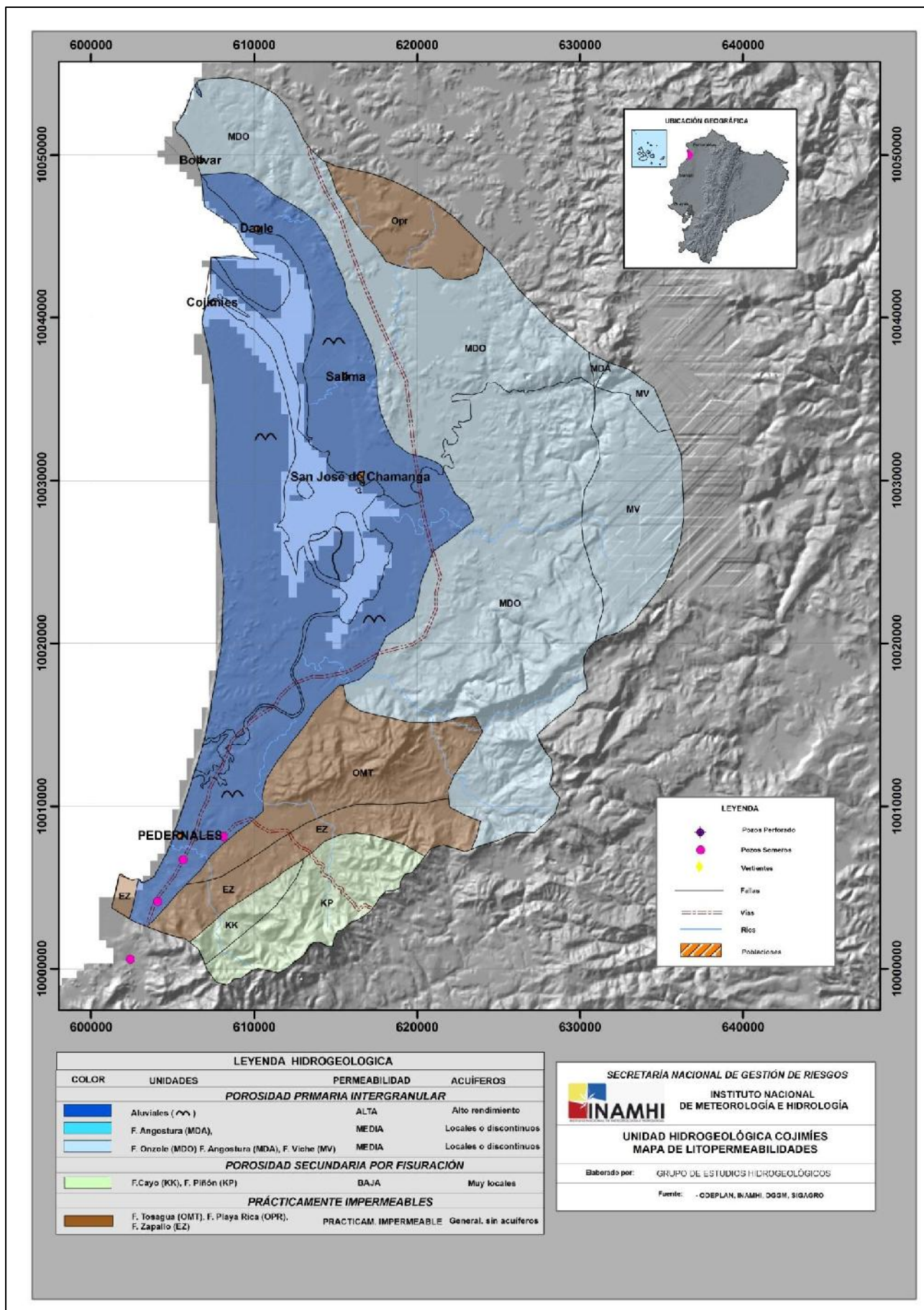
Las formaciones miocénicas que constituyen el límite oriental de la unidad, por su litología han sido clasificadas como de baja permeabilidad y con pocas posibilidades de conformar acuíferos. Mapa 32.

Análisis de los datos del inventario

CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA				
VALORES	NE - m	CE - $\mu\text{s/cm}$	PH	T°C
MEDIO	3,3	1972,3	6,5	25,6
MAXIMO	9,2	8000,0	8,0	27,0
MINIMO	0,9	180,0	5,5	25,0



Mapa 31



Mapa 32

2.5.2.9. Unidad de La Concordia

Generalidades

La Unidad Hidrogeológica La Concordia se encuentra ubicada en las provincias de Pichincha, Sto. Domingo de los Tsáchilas, Esmeraldas y Manabí.

Geomorfológicamente se caracteriza por un relieve relativamente plano al este y ligeramente ondulado al oeste, correspondiente a una llanura de pie de monte de la zona costera. La altitud del terreno varía entre los 1.600 y 100 msnm, correspondiendo la parte más alta a los sectores de Mindo y la más baja a los de Quinindé y/o Bocana del Búa. La unidad tiene forma irregular trapezoidal con una superficie de aproximadamente 5.386 Km².

El sistema hidrográfico de la unidad se concentra en tres grandes cursos fluviales: los ríos Guayllabamba, Blanco y Quinindé.

Sinopsis geológica

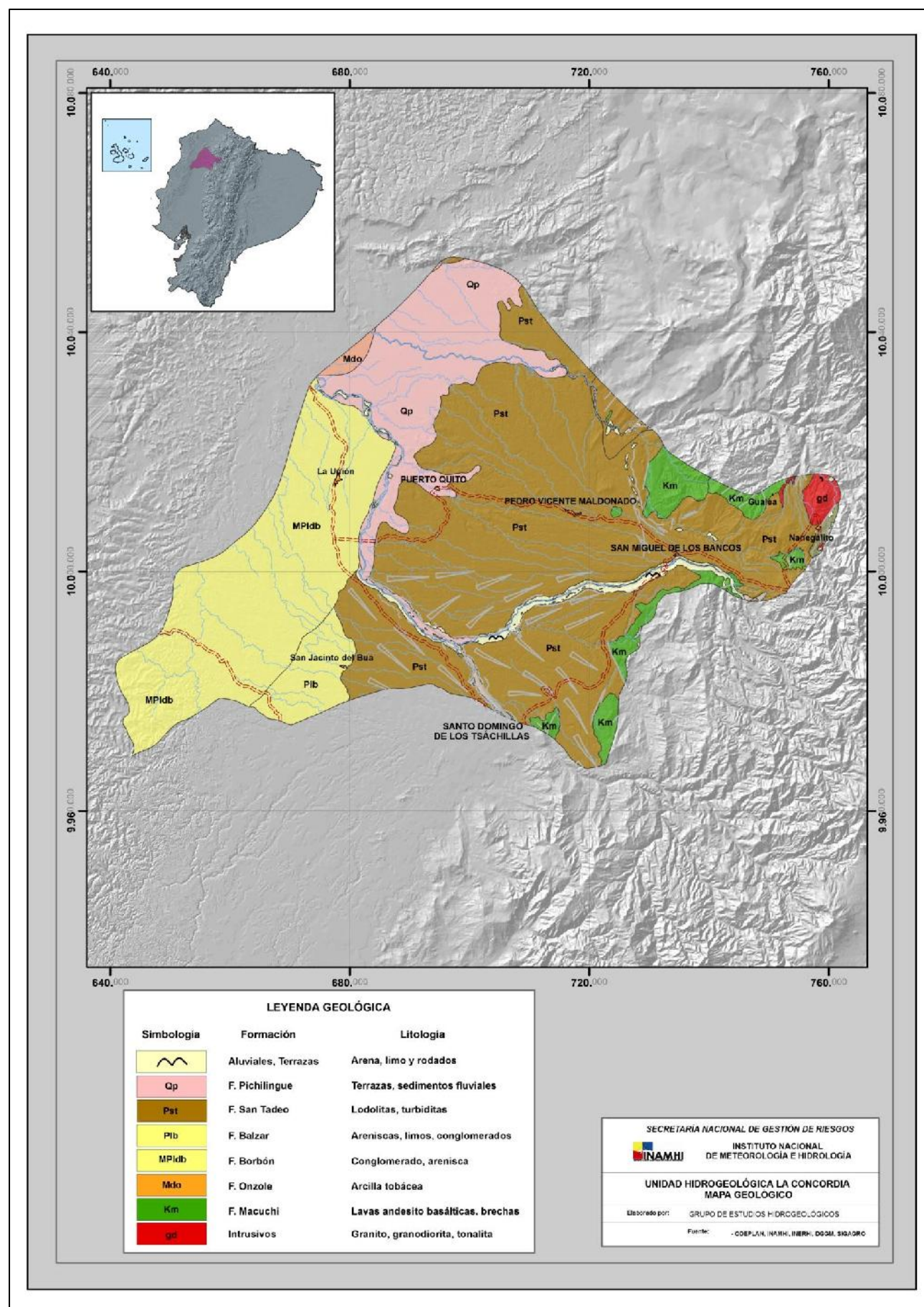
El basamento cretácico está representado por la formación Macuchi, La cobertura sedimentaria es el resultado de haberse depositado rocas de origen marino durante el terciario superior, donde se sucedieron constantes transgresiones y regresiones marinas. Sobre esta secuencia terciaria se depositan rocas de origen continental, caracterizadas por fanglomerados, provenientes de la erosión de las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental; distribución que se aprecia en el Mapa 33.

Hidrogeología

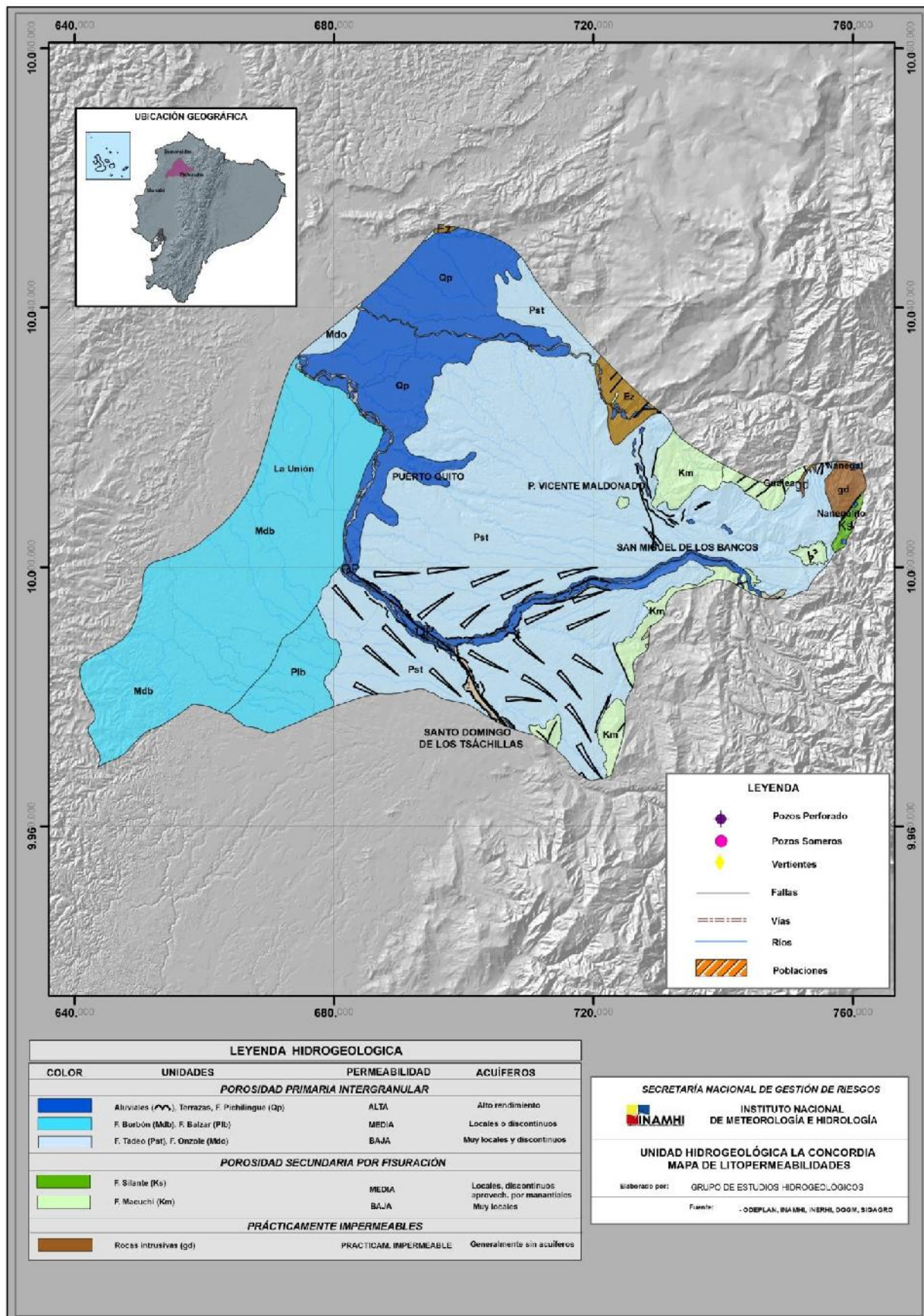
Los depósitos cuaternarios que conforman las terrazas y aluviales localizados al noroeste de la unidad, pueden dar lugar a la formación de acuíferos locales con importancia relativa. Las formaciones terciarias están caracterizadas por una permeabilidad primaria baja, por lo que no presentan acuíferos de interés. Mapa 34.

Análisis de los datos del inventario

CUADRO RESUMEN DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA				
VALORES	NE - m	CE - $\mu\text{s/cm}$	PH	T°C
MEDIO	8,1	102,8	6,0	23,3
MAXIMO	21,2	330,0	6,5	26,1
MINIMO	0,1	50,0	5,5	15,0



Mapa 33



Mapa 34

2.6. ACUÍFEROS TRANSFRONTERIZOS

Antecedentes

El Programa Unesco/OEA, Isarm Américas, es la iniciativa regional para el hemisferio americano y su coordinación está a cargo, conjuntamente, del Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) y del Departamento de Desarrollo Sostenible de la Organización de los Estados Americanos (DDS/OEA).

El programa Isarm se creó para divulgar entre los países la importancia del recurso hídrico subterráneo. Su finalidad es promover el reconocimiento y el saber en relación con los recursos hídricos transfronterizos subterráneos de las Américas y fomentar la colaboración entre los países que comparten el mismo recurso, para lograr consenso sobre aspectos jurídicos, institucionales, socioeconómicos, científicos y ambientales.

Otro importante objetivo del Programa Isarm Américas es la identificación de estudios de casos que revistan especial interés.

El objetivo primordial no es sólo conocer las reservas de aguas transfronterizas, sino también evitar los conflictos que pueden derivarse de un uso no sustentable, además, generar entre los países, nuevos acuerdos para el buen uso y la sostenibilidad del recurso a través del conocimiento.

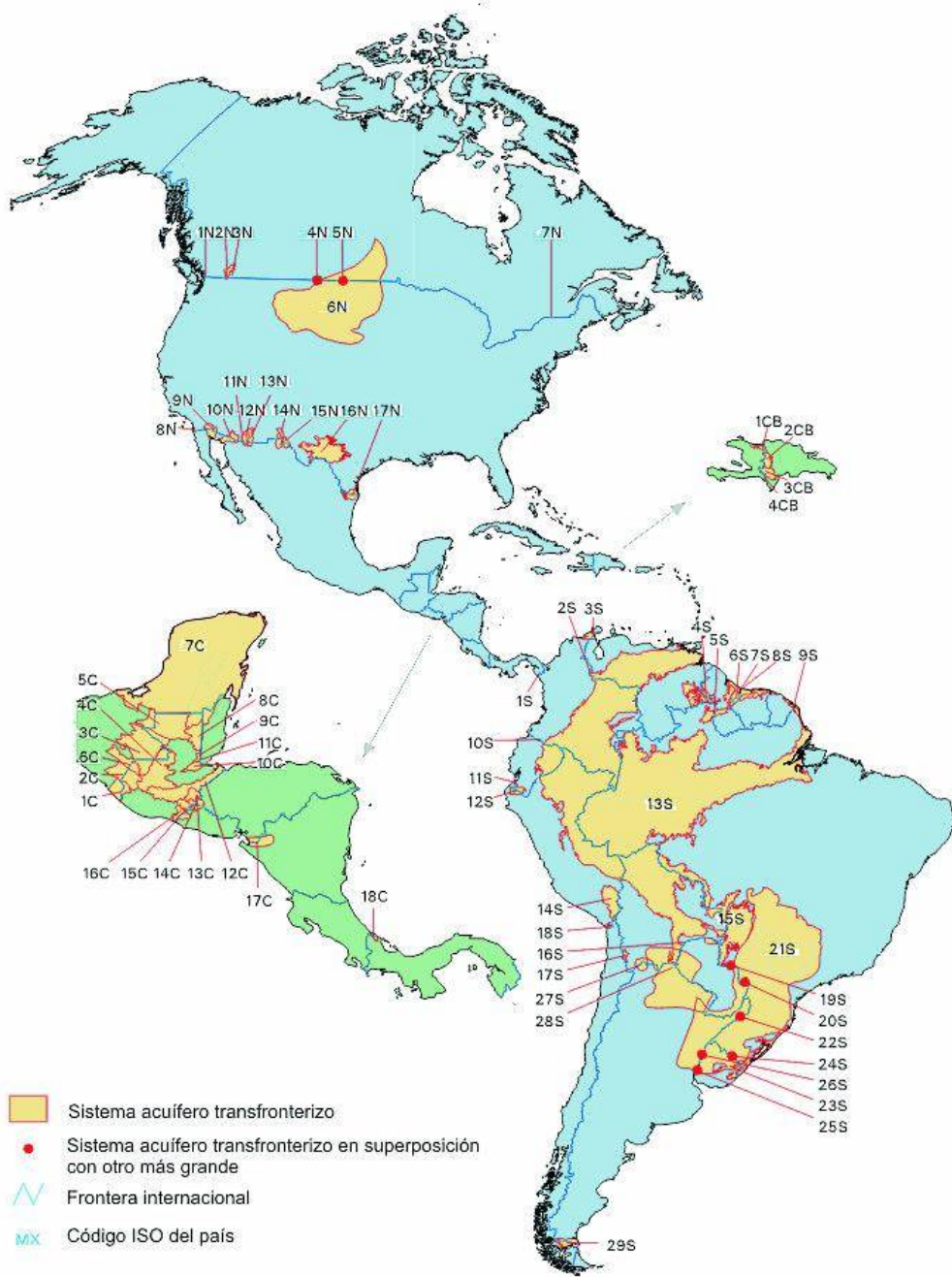
Desde el inicio de sus actividades en 2003, hasta mayo de 2009, el programa ha evaluado los acuíferos transfronterizos en el hemisferio ccidental, con las contribuciones de una red de coordinadores nacionales, que representan a 24 países del hemisferio americano.

Inventario de acuíferos transfronterizos

Uno de los más importantes objetivos del Programa Isarm Américas consiste en crear un inventario de acuíferos transfronterizos en las Américas, de carácter exhaustivo, como recopilación de datos referentes a las características hidrogeológicas, el uso real de las aguas subterráneas transfronterizas y los aspectos jurídicos e institucionales.

Según el inventario, hasta octubre del 2010, se han identificado 73 acuíferos transfronterizos: 30 están ubicados en Sudamérica, 18 en Centroamérica, 21 en Norteamérica y 4 en el Caribe. Mapa 35

Sistemas Acuíferos Transfronterizos de las Américas



Mapa 35

Fuente: Unesco, 2007. Sistemas Acuíferos Transfronterizos en las Américas – Evaluación preliminar, Serie Isarm Américas N°1.

En el Ecuador, conjuntamente con los países vecinos, se han identificado 3 acuíferos compartidos : al norte con la República de Colombia el acuífero Tulcán-Ipiales; al sur con la República del Perú los sistemas acuíferos de las cuencas Puyango-Tumbez-Catamayo-Chira y el acuífero Zarumilla.

2.6.1. Sistema acuífero transfronterizo Tulcán Ipiales

Está localizado al sur de Colombia, en el departamento de Nariño, sobre las poblaciones de Ipiales, Carlosama, Cumbal y Potosí y al norte del Ecuador, en la provincia del Carchi, en el cantón Tulcán. Presenta un relieve de mesetas con pendientes generalmente moderadas. Las poblaciones en conjunto, para ambos países son del orden de ciento cincuenta mil habitantes, las cuales actualmente presentan déficit de agua, tanto para consumo humano como para riego.

El área se caracteriza por presentar un clima templado a frío, con una temperatura promedio de 11° a 12° centígrados y una precipitación promedio de 1100 mm. En general, se presenta un régimen bimodal, con una época de baja precipitación de julio a septiembre.

Desde el punto de vista socio económico, la población se dedica principalmente a la agricultura y a la ganadería.

El uso indiscriminado de agroquímicos potencialmente afecta la calidad de los suelos y los recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad, lo que puede generar un riesgo y afectar la sostenibilidad ambiental de esta zona colombo ecuatoriana. La ocurrencia del agua subterránea en la región, constituye una alternativa viable de solución en cantidad y calidad, para cubrir la demanda para diferentes usos por parte de la población.

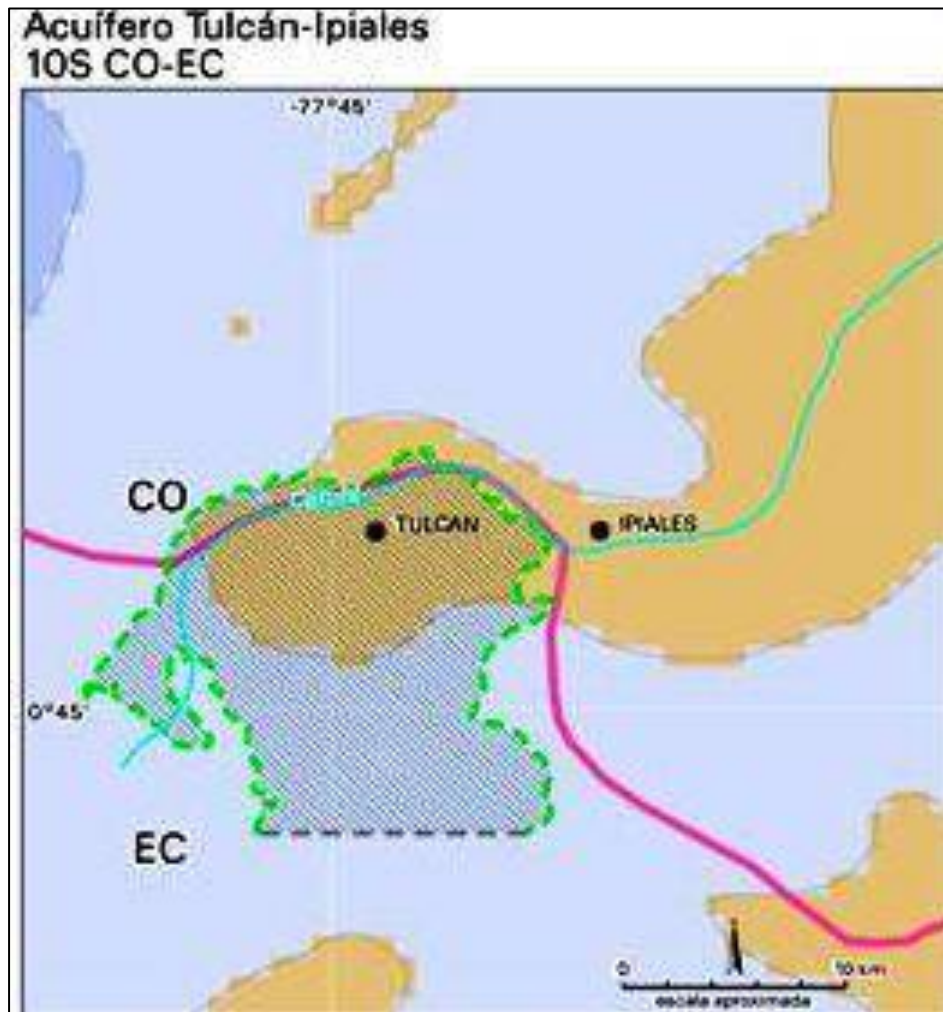
Geológicamente en el área afloran rocas volcanoclásticas constituidas por lavas, cenizas, tobas, pumitas, intercaladas localmente con flujos de lodos originados por las glaciaciones del pleistoceno y la actividad volcánica del levantamiento de la Cordillera de los Andes. Los sedimentos de origen volcánico constituyen sistemas acuíferos de porosidad primaria o intergranular, con permeabilidades medias a bajas, constituyendo potencialmente acuíferos de bajos rendimientos.

Estos acuíferos son captados por medio de pozos, aljibes y manantiales. Las aguas subterráneas se caracterizan por ser dulces, con baja salinidad, y presentan valores de conductividad menores a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con excepción de los manantiales termo-minerales, que tienen conductividades que superan localmente los 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El acuífero es poco conocido desde el punto de vista hidrogeológico; no se ha establecido su geometría (área, espesor), su modelo de flujo para la identificación de las áreas de recarga, tránsito y descarga, sus recursos, reservas potenciales y en general sus características hidrodinámicas (transmisividad, coeficiente de almacenamiento y conductividad hidráulica). Tampoco se ha caracterizado la vulnerabilidad y el riesgo a la contaminación.

Las poblaciones de ambos países, asentadas en el área, ejercen una presión constante sobre los recursos hídricos superficiales, los cuales a su vez, son escasos y presentan un progresivo deterioro de su calidad, impidiendo su uso y por ende el desarrollo sostenible de la región. La situación anterior demanda acciones de las entidades gubernamentales de ambos países, en relación a la exploración y evaluación del potencial del acuífero denominado Tulcán - Ipiales.

Esto permitirá generar una gestión para su uso, manejo, aprovechamiento integral y sostenible; actividad que permitirá elevar el estándar de vida de las comunidades colombo ecuatorianas asentadas en la frontera, evitando el desplazamiento y migración de la población fronteriza.



2.6.2. Sistema acuífero transfronterizo Zarumilla

Este sistema tiene demarcado su ámbito sobre la base superficial del río Zarumilla, que involucra a los países de Perú y Ecuador, con una extensión de 920 km.

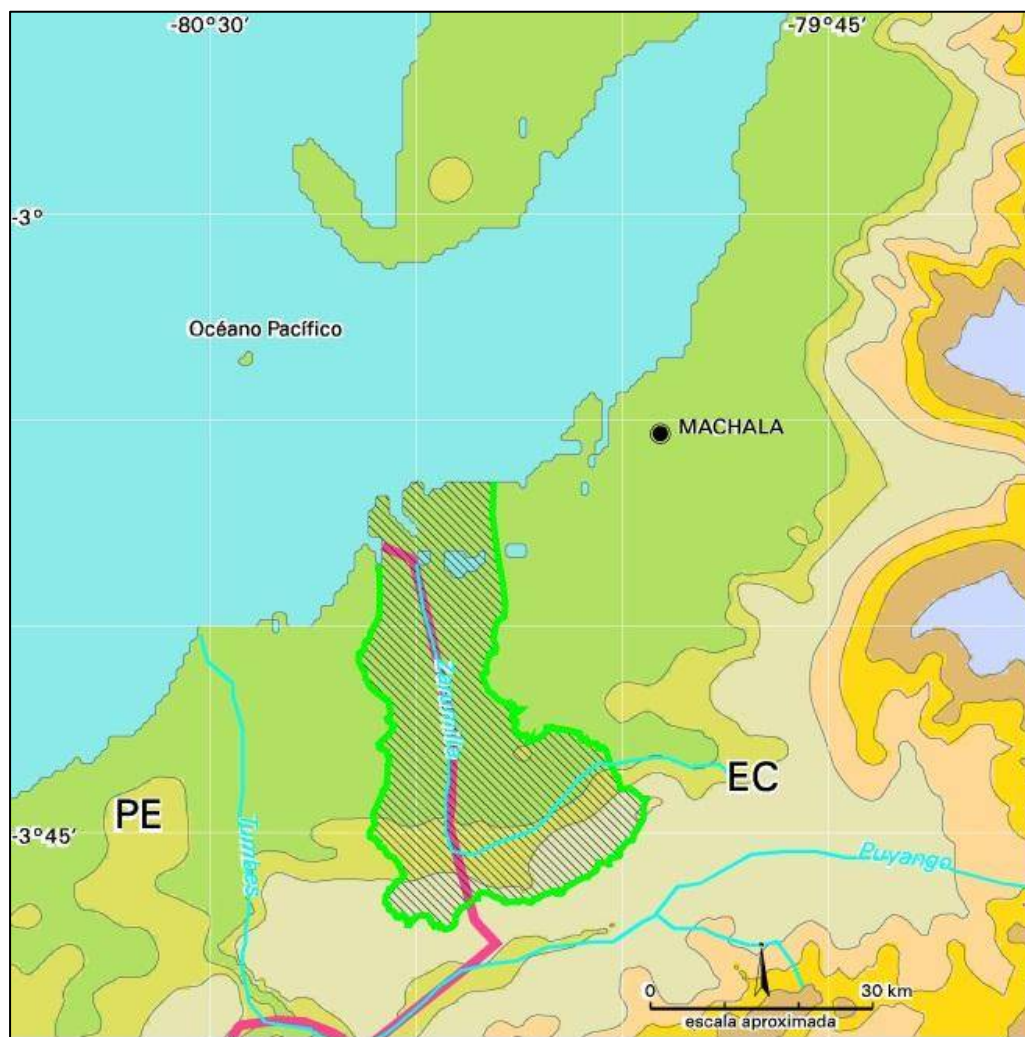
La precipitación pluvial se presenta generalmente de diciembre a mayo. La población aproximada es de 70.000 habitantes, que se asientan en los distritos de Aguas Verdes, Papayal, Matapalo y Zarumilla en Perú y en Ecuador, en los cantones de Huaquillas, Arenillas y Las Lajas. El clima es árido en las zonas planas y monzón tropical en las áreas montañosas. La temperatura promedio es de 25°C en las llanuras y 22°C en la zona montañosa.

Geológicamente está constituido por depósitos aluviales, coluviales e indiferenciados, de edad cuaternaria y sedimentos no deformados del neógeno, con intercalación de limos y arcillas con porosidad intergranular y permeabilidad generalmente media ($K=3 \times 10^{-3}$ m/s). Bordeando a los sedimentos encontramos rocas fuertemente plegadas y metamorizadas compuestas por lutitas, cuarcitas, rocas ígneas, filitas y esquistos.

Estructuralmente este complejo está atravesado por un sistema de fallas.

Las formaciones que conforman el borde exterior se consideran prácticamente impermeables. El gradiente hidráulico varía de 2 a 6%. El sentido de flujo en general es de sureste a noroeste. El agua se caracteriza por tener una alta salinidad.

En la zona de estudio se asientan poblaciones económicamente muy deprimidas, por lo que la única forma de elevar su standard de vida es suministrarles el recurso hídrico, constituyéndose como la única alternativa viable la evaluación del acuífero Zarumilla, gestión que debe ser compartida para una explotación sostenible.



Acuífero Zarumilla-11S EC PE

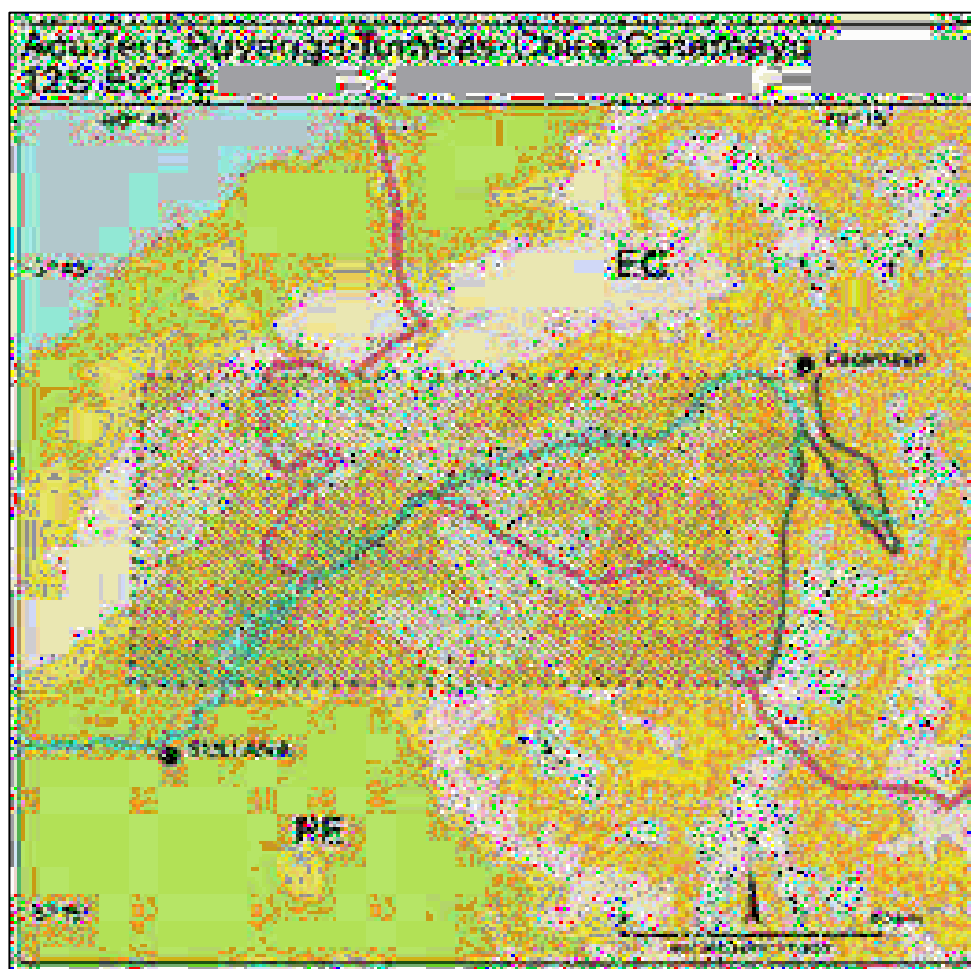
2.6.3. Sistema acuífero transfronterizo Puyango – Tumbes -Catamayo-Chira

Está ubicado en la frontera entre Perú y Ecuador, en una zona caracterizada por sus formas irregulares, con una precipitación variable en el tiempo y el espacio. En esta zona se asientan poblaciones cuya actividad principal es la agricultura y la ganadería.

En el área afloran rocas de edad variable, desde el paleozoico al reciente. Hacia el este y en la parte superior emergen rocas metamórficas, en el centro un conjunto de intrusivas y rocas volcánicas. En el curso medio bajo afloran rocas sedimentarias del cretácico. La presencia de los aluviales es restringida y local.

El conjunto descrito presenta por sus características litológicas cualidades de permeabilidad diversa que se pueden agrupar en tres grupos: 1- Permeabilidad alta para aluviales y coluviales. 2- Permeabilidad baja en zonas con presencia mayoritaria de areniscas y conglomerados, especialmente en rocas del cretácico, con presencia de lutitas e intercalaciones de tobas, calizas y rocas volcánicas. 3- Permeabilidad muy baja a nula en las intrusivas, metamórficas y rocas del cretáceo con presencia de lutitas y minerales arcillosos. Se considera que la zona acuífera se localiza en el curso medio o inferior de los ríos Catamayo y Puyango.

La zona se caracteriza por ser deficitaria en recursos hídricos, lo que ha causado que la población se encuentre en condiciones de extrema pobreza. Las actividades agrícolas y ganaderas son de subsistencia, por lo que se justifica que los gobiernos de los dos países integren esfuerzos encaminados a la cuantificación de los recursos hídricos subterráneos, como alternativa viable para solucionar el déficit de agua y elevar las condiciones de vida de la población.



¹ UNESCO, 2007. Sistemas Acuíferos Transfronterizos en las Américas – Evaluación preliminar, Serie ISARM Américas N°1.

CAPÍTULO III

SÍNTESIS DE LOS ESTUDIOS

HIDROGEOLÓGICOS

REALIZADOS POR EL INAMHI

3.1. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO GUAYAS (INAMHI-2009)

Características generales de la zona de estudio

La cuenca baja del río Guayas es una de las zonas más importantes del país; abarca aproximadamente 32218 km² (CNRH, 2007) en su totalidad. Está conformada por las subcuencas de los ríos: Daule, Vinces, Macul, Babahoyo, Yaguachi, Jujan y drenajes menores; limita al este con la Cordillera Occidental de los Andes; al norte, con la divisoria de aguas de las cuencas de los ríos Esmeraldas y Guayas; al oeste por las cordilleras costaneras de Balzar y de Chongón y por el sur, con las subcuencas de los ríos Taura, Churute y Cañar.

Hidrografía.- La red hidrográfica está formada por un gran número de ríos y esteros, que conforman el sistema hídrico más importante de la vertiente del Pacífico; el río Guayas constituye el sistema hidrográfico más importante de la vertiente occidental. La cuenca está constituida por seis subcuencas principales conformadas por los ríos: Babahoyo, Vinces, Macul, Daule, Yaguachi y Jujan.

Geomorfología.- Básicamente se divide en dos zonas diferenciadas por su pendiente: la primera es característica del Callejón Interandino con una topografía fuertemente accidentada y corresponde a la parte alta y media de la cuenca, conformada por las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes; la segunda constituye la parte baja de la Costa. Existe, además, una franja de transición de la Cordillera Occidental a la planicie costera, en donde se observan pequeñas elevaciones de pie de monte.

La llanura costera del río Guayas se considera como una gran planicie ubicada al pie de Los Andes. Geomorfológicamente es una fosa de hundimiento con relleno fluvio-marino, bordeada de conos de deyección al este y cubierta por cenizas volcánicas en su parte norte. Se caracteriza por presentar un relieve relativamente horizontal al sur (planicie costera conformada por terrazas y aluviones cuaternarios) y poco ondulado al norte, en que se puede diferenciar una zona de montaña (F. Borbón) y una zona de colinas (F. Balzar).

Esta planicie está limitada al norte por relieves sedimentarios levantados; al sur, la llanura aluvial actual es parcialmente inundable en la estación lluviosa y el delta del río Guayas, formas que atestiguan una subsidencia activa.

Clima.- Las condiciones climáticas de esta región están determinadas por la orografía de la cuenca, mismas que influyen directamente en la variabilidad espacial de los parámetros meteorológicos, como la temperatura y la precipitación, definiendo los diferentes tipos de clima.

La temperatura de la cuenca baja del Guayas está directamente asociada a la morfología del terreno, encontrándose las más bajas temperaturas en los sectores de las estribaciones de la Cordillera Occidental con una temperatura media de 12 °C. Conforme desciende hacia la llanura costera, los valores se van incrementando hasta un promedio de 26 °C, en la zona de Guayaquil.

La precipitación tiene una marcada influencia en la cuenca baja del Guayas, variando desde los 750 hasta 3000 mm por año. En la zona central se producen las mayores lluvias, con un promedio entre 2000 y 2500 mm al año.

Geología.- La descripción de la geología de la cuenca se fundamenta en la génesis de las formaciones y la tectónica, descrita en las diferentes hojas geológicas editadas por la DGGM, así como en el detalle expuesto en estudios realizados por Cedege e Inerhi.

Durante el terciario superior se evidencian el resultado de frecuentes transgresiones y regresiones marinas, que permitieron la acumulación de rocas de origen oceánico (tipo terrígeno, nerítico, sublitoral y molásico).

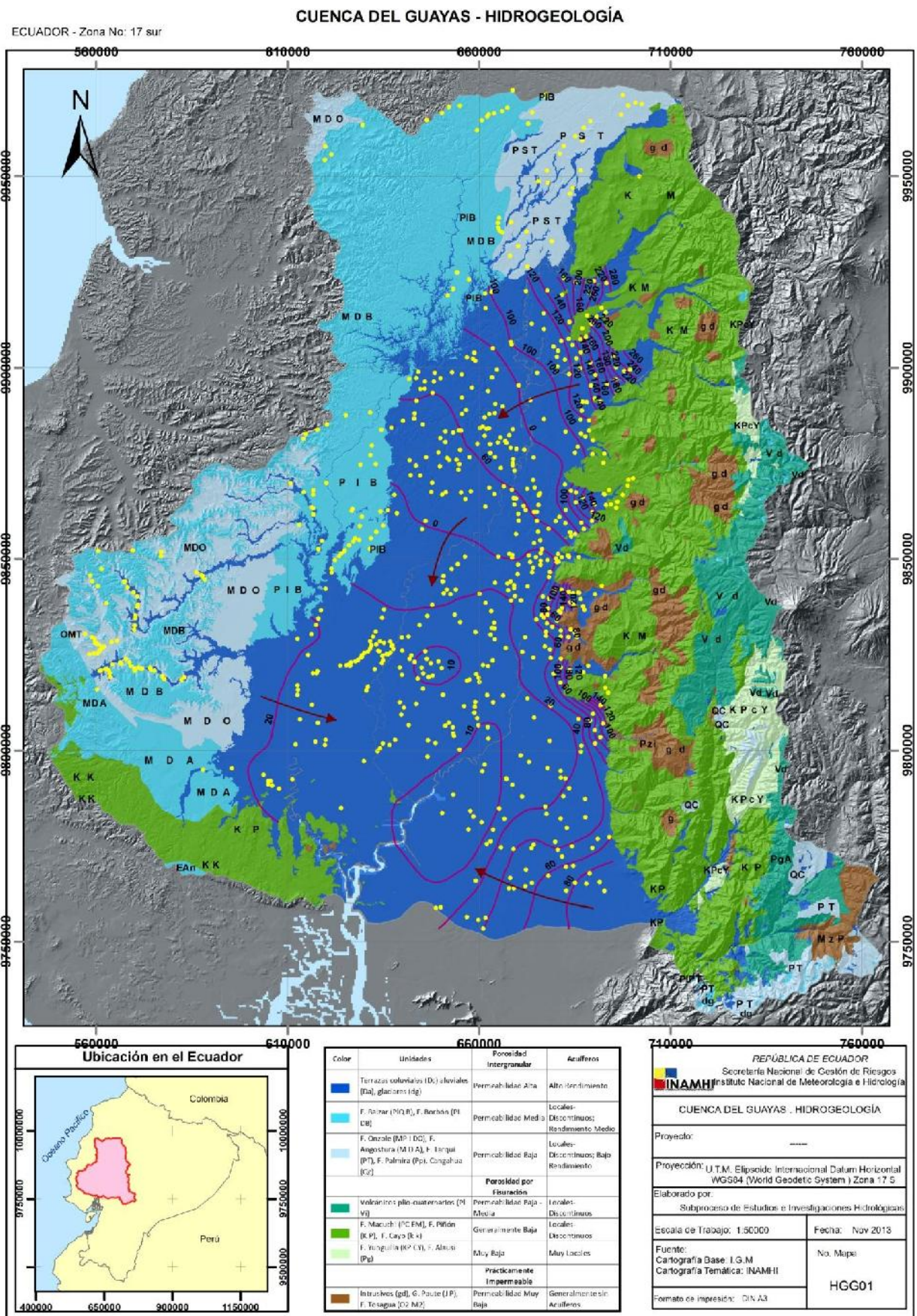
En el cuaternario se depositaron grandes cantidades de rocas de origen continental provenientes de la erosión de la Cordillera de los Andes, acarreadas por aguas torrenciales o fluviales, que han dado lugar a la formación de las plataformas de Daule y Babahoyo.

En el lado oriental de la cuenca se encuentran rocas ígneas y vulcano-clásticas, sedimentarias del cretáceo, representadas por las formaciones Piñón y Macuchi, respectivamente. Inmersos en este borde y en forma dispersa se encuentran algunos intrusivos.

Hidrogeología.- La cuenca baja del Guayas constituye un graben, en donde la acumulación de sedimentos detríticos de tipo aluvial, producto de erosión continua de los flancos occidental de la Cordillera de los Andes, ha permitido que en la cuenca se conforme una sola unidad hidrogeológica. El acuífero principal, en el área de estudio, está relacionado con los sedimentos arenosos fluviovolcánicos y fluviales, provenientes especialmente de las estribaciones de la Cordillera Occidental de los Andes y depositados en la cuenca baja del Guayas. Mapa N° 36.

Considéranse zonas de interés hidrogeológico, aquellas en las que el agua subterránea constituye un recurso natural estratégico y una fuente esencial de abastecimiento, además de recursos para las actividades humanas, desde el punto de vista socio-económico. En este contexto, hemos seleccionado áreas en las que la explotación y uso del agua subterránea ha sido una prioridad.

- a) Zona comprendida entre Milagro y Yaguachi.- En esta franja se han perforado pozos que satisfacen los requerimientos de agua de Guayaquil y Milagro, a más de otros para riego. En el sector de El Chobo se estima que la producción es de 60000 m³/día.
- b) Ingenio Valdez.- Al norte de Milagro, con la perforación de más de 17 pozos se satisface las necesidades de riego y agroindustria preferentemente.
- c) Sector de Naranjito.- En el Ingenio San Carlos se perforaron más de 64 pozos, fundamentalmente con fines agroindustriales. Estos pozos proveen un caudal del orden de 11.4 m³/s, el 30 % es para uso doméstico e industrial y el 70% para riego. Varios de estos pozos tienen producciones superiores a los 100 l/s, identificándose en un caso 200l/s; las profundidades oscilan entre 40 y 130 m.
- d) Subcuencas de los ríos Pueblo Viejo y Catarama.- La mayoría de pozos perforados tienen profundidades entre 40 y 70 m, con caudales variables entre 15 a 20 l/s; sin embargo, algunos pozos tienen rendimientos altos como es el caso de Ventanas, con una profundidad de 109 m y un rendimiento de 40 l/s. Al norte de Babahoyo, en los sectores de La Julia y Martinica se encuentra una zona con acuíferos de alto rendimiento, en donde se han perforado pozos entre 50 y 85 m de profundidad con caudales entre 30 a 90 l/s.
- e) En Pedro Carbo se han perforado pozos con profundidades de hasta 135 m con caudales por el orden de los 12 l/s; en Santa Lucía y Palestina los pozos pueden alcanzar un caudal de 15 l/s; en Palenque, Vines, Salitre y Baba, entre 15 a 25 l/s. Los pozos perforados son utilizados para abastecimiento de agua a las comunidades y para riego extensivo en algunas haciendas de la zona.



Mapa 36

3.2 CARACTERIZACION HIDROGEOLÓGICA DEL CANTÓN TULCÁN – (INAMHI-2000)

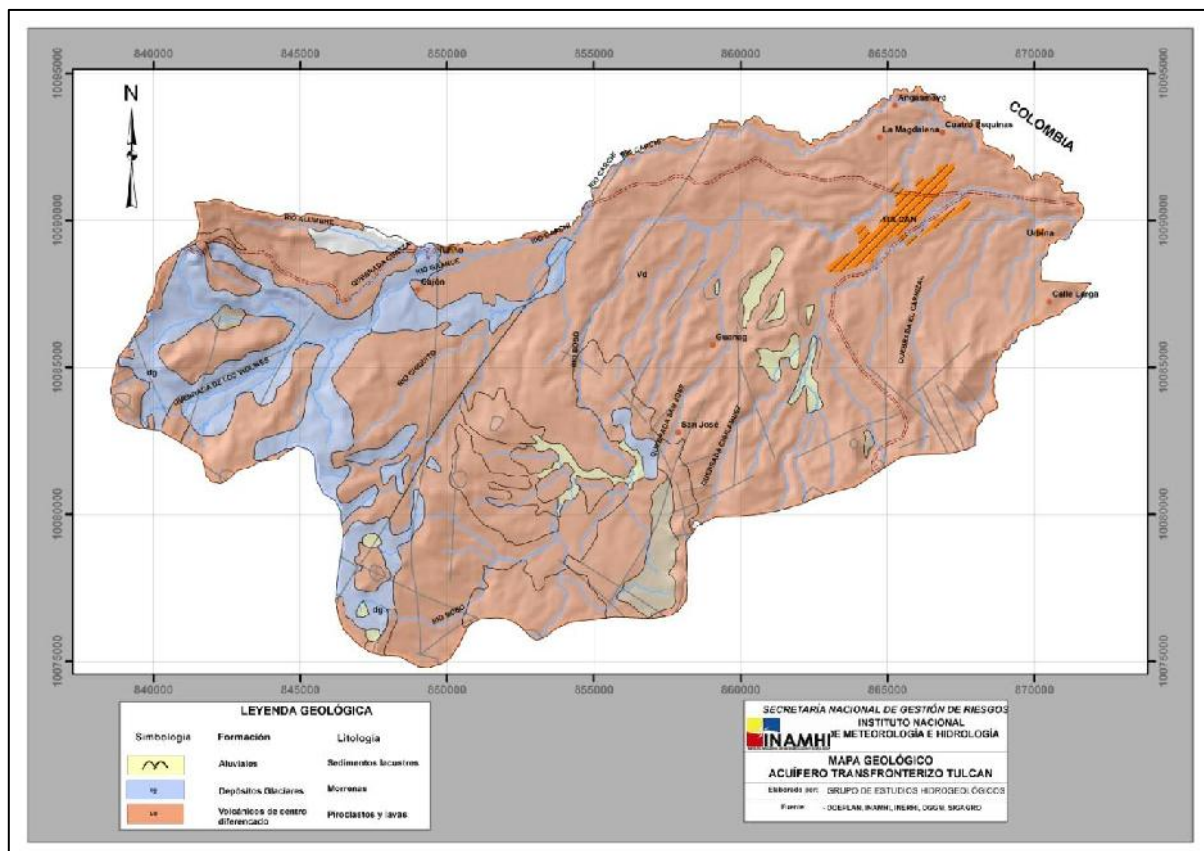
El área se caracteriza por presentar un clima templado a frío, con una temperatura promedio de 11 a 12° centígrados y una precipitación promedio del orden de 1100 mm. En general se presenta un régimen bimodal, con una época de baja precipitación de julio a septiembre.

Desde el punto de vista socio-económico, la población se dedica principalmente a la agricultura y la ganadería. El uso indiscriminado de agroquímicos potencialmente afecta la calidad de los suelos y los recursos hídricos superficiales, en cantidad y calidad, lo que puede generar un riesgo y afectar la sostenibilidad ambiental de esta región colombo ecuatoriana.

La ocurrencia del agua subterránea en la región constituye una alternativa viable de solución en cantidad y calidad, con el fin de cubrir la demanda para diferentes usos por parte de la población.

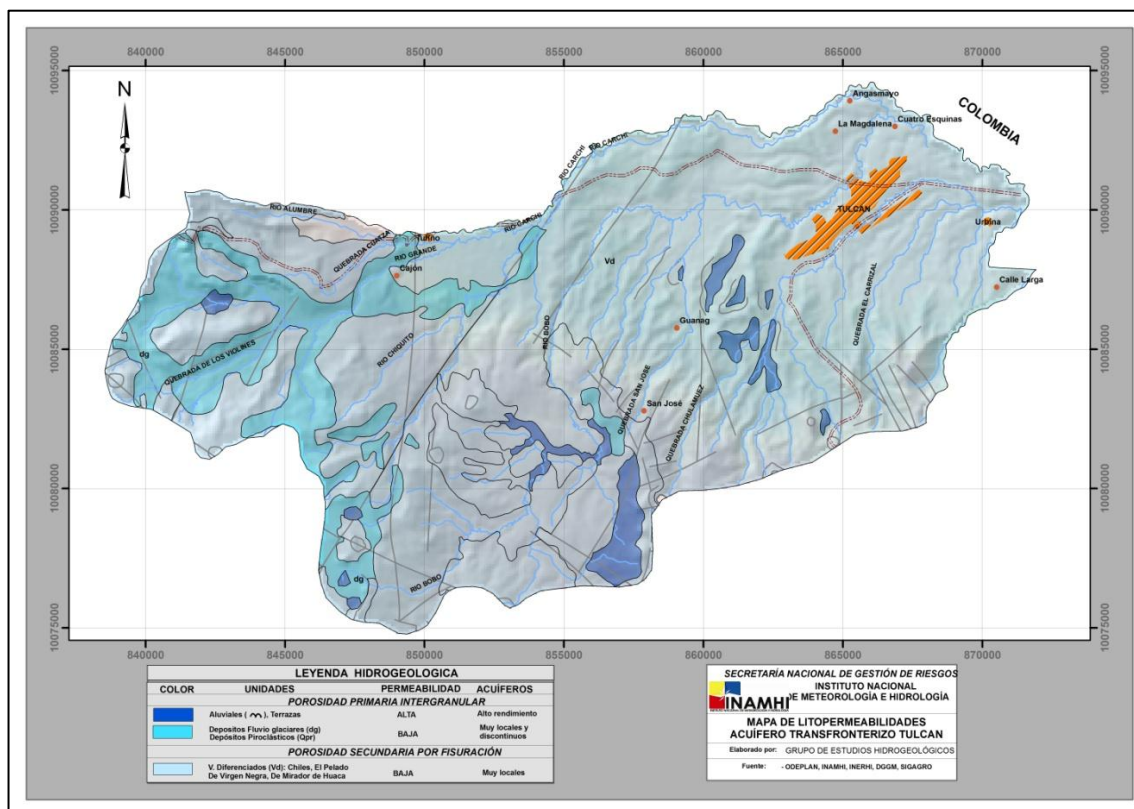
Geológicamente en el área afloran rocas volcano-clásticas constituidas por lavas, cenizas, tobas, pumitas, intercaladas localmente con flujos de lodos originados por las glaciaciones del pleistoceno y la actividad volcánica, producida por el levantamiento de la cordillera andina. Los sedimentos de origen volcánico conforman sistemas acuíferos de porosidad primaria o intergranular, con permeabilidades medias a bajas, constituyendo potencialmente acuíferos de bajo rendimiento. Estos acuíferos son captados por medio de pozos, aljibes y manantiales.

Las aguas subterráneas se caracterizan por ser dulces, con baja salinidad, y presentan valores de conductividad menores a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con excepción de los manantiales termo-minerales, que tienen conductividades que superan localmente los 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Mapa N° 37.



Mapa 37

El acuífero es poco conocido desde el punto de vista hidrogeológico; no se ha establecido su geometría (área, espesor), su modelo de flujo para la identificación de las áreas de recarga, tránsito y descarga, sus recursos, reservas potenciales y en general, sus características hidrodinámicas (transmisividad, coeficiente de almacenamiento, conductividad hidráulica). Mapa 38.



Mapa 38

La prospección geofísica permitió conocer la disposición de las diferentes capas geoelectricas y ubicar la profundidad del estrato acuífero.

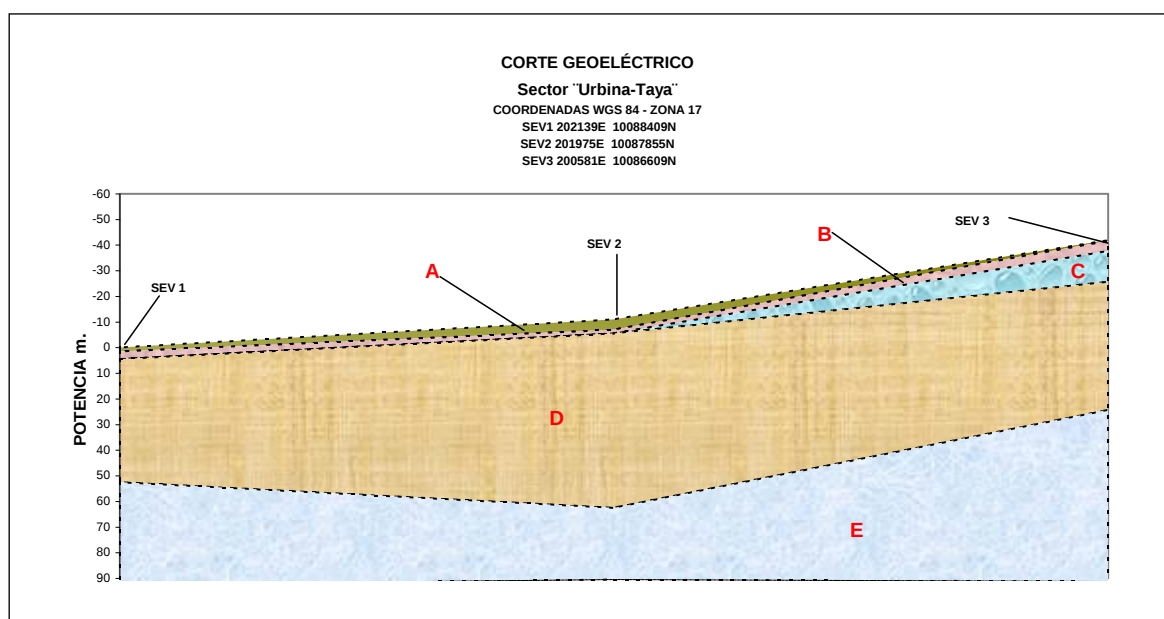


Gráfico N° 7

La zona presenta una configuración geoelectrica homogénea. Se estima que a una profundidad media de 60 metros, se halla un estrato acuífero de importancia, como se visualiza en el Gráfico N° 7.

La recarga principal del acuífero está dada por la infiltración de las aguas meteóricas, que se generan en las estribaciones de la Cordillera Occidental y en las divisorias de las diferentes vertientes.

3.3. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA ISLA PUNÁ (INAMHI-2009)

La Isla Puná es una parroquia rural, que se encuentra al sur de Guayaquil. Su superficie aproximada es de 890 km². La cabecera de la parroquia es Puná Nueva y se encuentra al extremo noreste de la isla, con una población de 3046 personas, según el censo INEC 2001 y representa casi la mitad de la población de la isla, de 6498 habitantes.

La influencia de la zona de convergencia intertropical, las corrientes oceánicas y los vientos, son los factores determinantes del clima en la región. De acuerdo con el análisis estadístico de la información meteorológica de la estación Puná (M 228), el clima de la isla se caracteriza por presentar en la época húmeda (meses de enero a mayo) precipitaciones acumuladas de 664 mm, equivalente al 84% del total de las precipitaciones anuales. Los meses de junio a diciembre son prácticamente secos.

La isla Puná, geomorfológicamente es el resultado de los diferentes eventos tectónicos, que han incidido con sus efectos de subsidencia y levantamiento diferencial, asociados a procesos erosivos y deposicionales.

El 75 % de la isla se encuentra cubierta por formaciones cuaternarias, hacia el oeste los tablazos y hacia el este aluviales; las formaciones miocénicas se las encuentra en los extremos norte y sur, conformando estructuras anticlinales.

La importancia hidrogeológica indica que las rocas permeables por porosidad intergranular, se refieren al dominio de acuíferos, relacionados con sedimentos clásticos consolidados y no consolidados.

De la recopilación de la información de prospección geofísica realizada por SSA y Pdvsa se desprende que en la zona hay dos sectores favorables para la perforación de pozos: uno localizado entre Campo Alegre y Loma Erasmo y otro en el extremo nor oriental, donde se asientan las poblaciones de Pólvora, Tabor y Puná Nuevo.

La caracterización hidrogeológica de las formaciones aflorantes, de acuerdo con su litología y relacionándolos con la permeabilidad, permite indicar que los acuíferos serán locales y de baja productividad. Mapa N° 39.

En general, la población de la isla se abastece de pozos. Se inventarió un total de 17 pozos en los sectores de Cahuchiche, Río Hondo, Campo Alegre, Agua Piedra y Puná Nuevo, de los cuales sólo dos son perforados; uno de ellos abastece a la población de Puná Nuevo. Por información se conoce que en las poblaciones de Los Cerritos, Zapote, Tabor, Pólvora y Concordia, los habitantes se abastecen de agua subterránea.

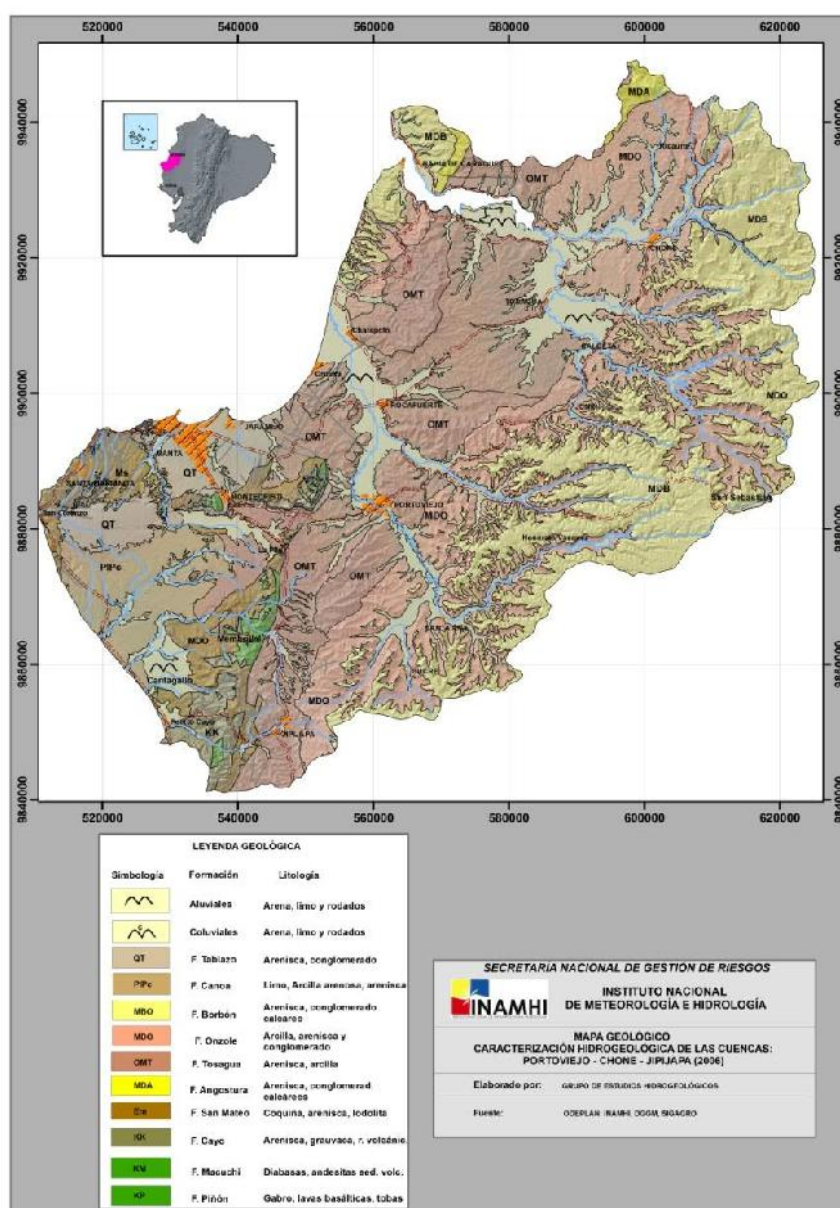
La formación Tablazo se comporta como acuífero de bajo rendimiento y los caudales obtenidos así, lo confirman. Es poco probable que en profundidad pueda encontrarse acuíferos de buen rendimiento.

Los análisis físico-químicos del agua, indican que no es recomendable para consumo humano.

El clima de Manabí está influenciado por la orografía de la zona, determinándose de occidente a oriente tres tipos de clima; las temperaturas medias no experimentan mayor cambio, manteniéndose más o menos constante.

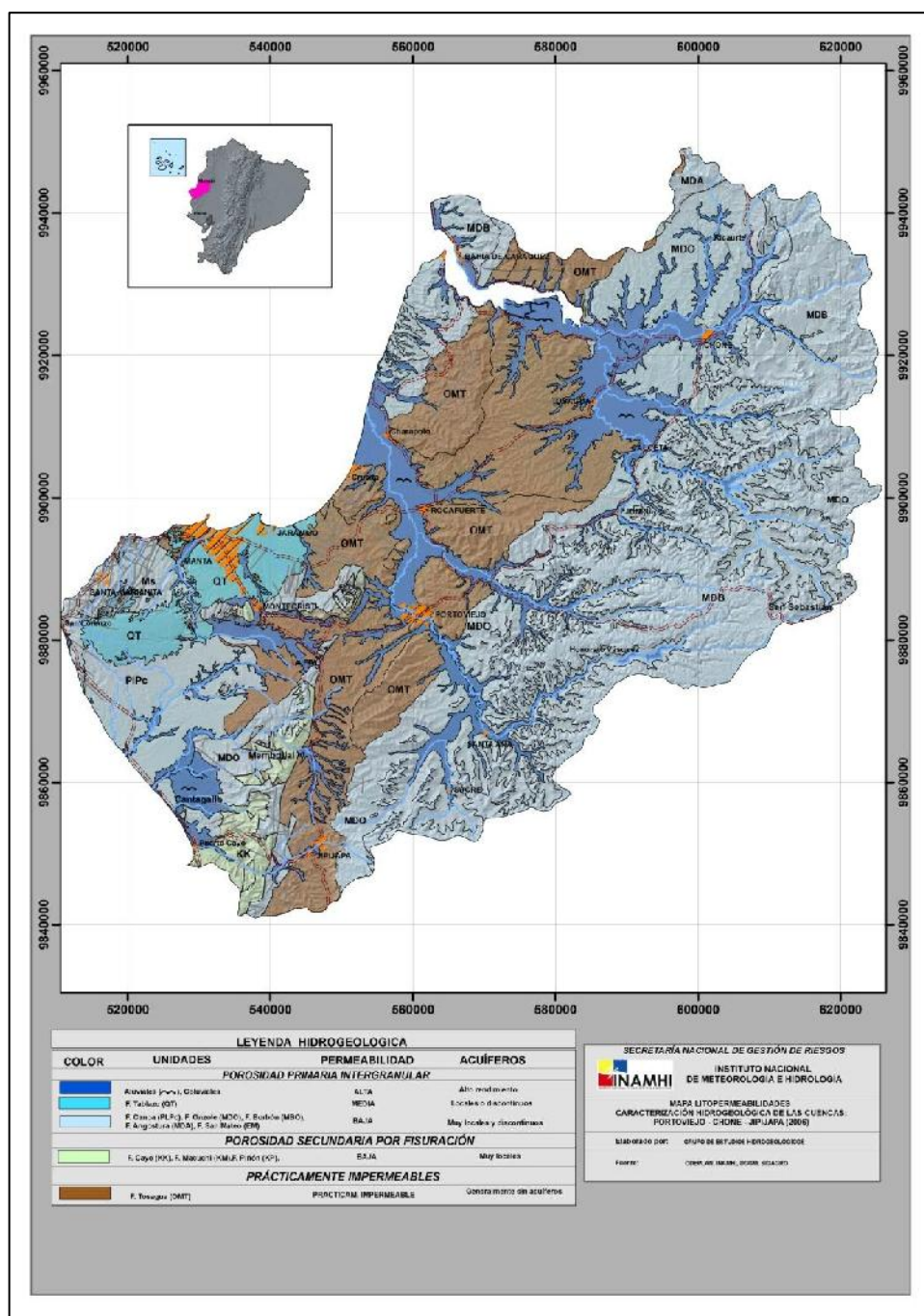
En la región, las precipitaciones varían desde la franja costera, con valores medios anuales de aproximadamente 250 mm por año, hasta el límite oriental de la región de investigación; en las zonas montañosas de las principales divisorias de aguas, las lluvias aumentan hasta aproximadamente 1600 mm por año. Desde el punto de vista hidrogeológico, es muy importante la distribución de la precipitación, que generalmente, en un 70% cae dentro de los meses de enero a mayo. En el tiempo restante, la precipitación no es apreciable.

Geológicamente, las cuencas de Portoviejo-Chone y Manta-Jipijapa se encuentran cubiertas mayoritariamente por sedimentos terciarios de origen marino, con un alto contenido de minerales arcillosos; característica que califica a estos estratos como acuitardos, razón por la cual, en las referidas cuencas no se presentan acuíferos con buena producción. Mapa N° 40.



Mapa N° 40

La condición de origen marino de las formaciones descritas, tienen una marcada influencia en la calidad del agua. Esta condición hace que el agua encontrada en los pozos tenga elevados valores de salinidad, lo que restringe significativamente su uso.



Mapa 41

Las áreas donde afloran sedimentos cuaternarios, que forman depósitos aluviales, presentan condiciones hidrogeológicas favorables, sin embargo, éstos se localizan principalmente en las zonas altas, siendo la poca potencia y extensión de los mismos, los factores limitantes que no permiten alcanzar buenos rendimientos, por lo que la explotación del agua subterránea se realiza por medio de pozos artesanales someros. Mapa 41

De los diferentes sistemas acuíferos investigados, el que merece especial atención, es el acuífero denominado Cantagallo – Manantiales, que se ubica muy cerca a la línea costera, razón por la cual su

explotación debe ser muy cuidadosa, ya que el estado de equilibrio en la zona es muy delicado y fácilmente alterable.

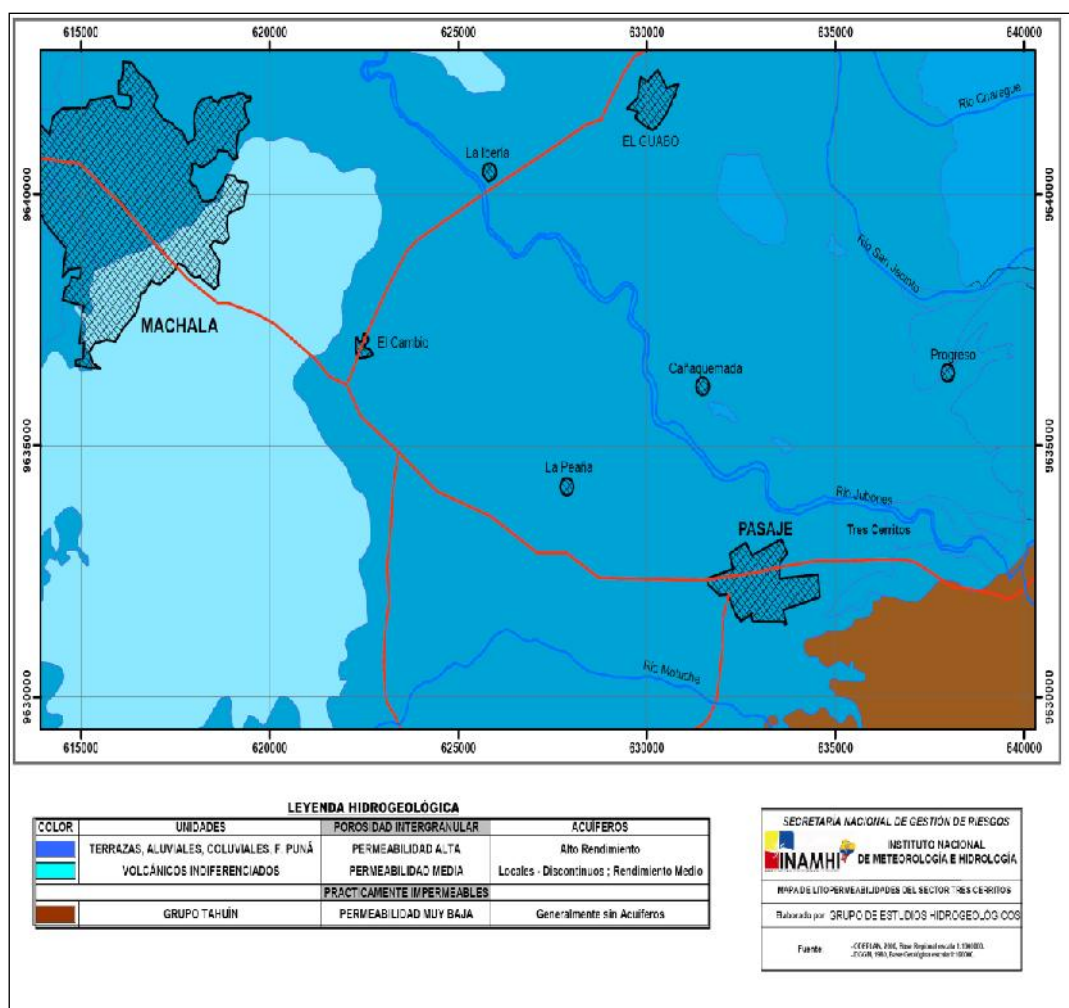
El acuífero de la zona de Río Grande se ubica en el sector de Chone, en donde el posible embalse subterráneo alcanza un espesor de hasta 40 metros. La recarga en esta zona depende casi estrictamente de los aportes fluviales y factores meteóricos locales, que se ven periódicamente favorecidos por las épocas de mayor pluviosidad, que generalmente se extienden entre los meses de diciembre a marzo.

3.5. HIDROGEOLOGÍA DEL SECTOR TRES CERRITOS (INAMHI-1993)

El área objeto del estudio se halla localizada 7 Km al oeste de la ciudad de Pasaje, en el sector denominado Tres Cerritos, aproximadamente entre las coordenadas 3°18'30" a 3°19'20" de latitud sur y 78°45'00" a 78°46'30" de longitud oeste.

El área de estudio se encuentra bisectada por el río Jubones, el mismo que tiene características de un curso de plenillanura limitado por taludes de moderada pendiente.

De la información recopilada y de la comprobación realizada in situ, se desprende que en esta zona afloran rocas datadas del período paleozoico, que corresponden a la formación Tahuín, la misma que constituye el núcleo de la Cordillera Occidental. En el área misma de estudio, se halla cubierta por un aluvial cuaternario. Mapa N° 42.



Mapa N°42

De la interpretación técnica de los resultados obtenidos y el análisis de la información de campo se desprende que en la zona existe un aluvial que se presenta homogéneo, con una potencia promedio de 10 metros. Litológicamente se compone de clastos de diferente tamaño y composición, variando de arena fina hasta bloques mayores a 30 centímetros de diámetro; éstos se hallan débilmente cementados con una matriz limo arenosa (horizonte A); los horizontes geoelectricos B y C no tienen interés hidrogeológico. Gráfico N° 8.

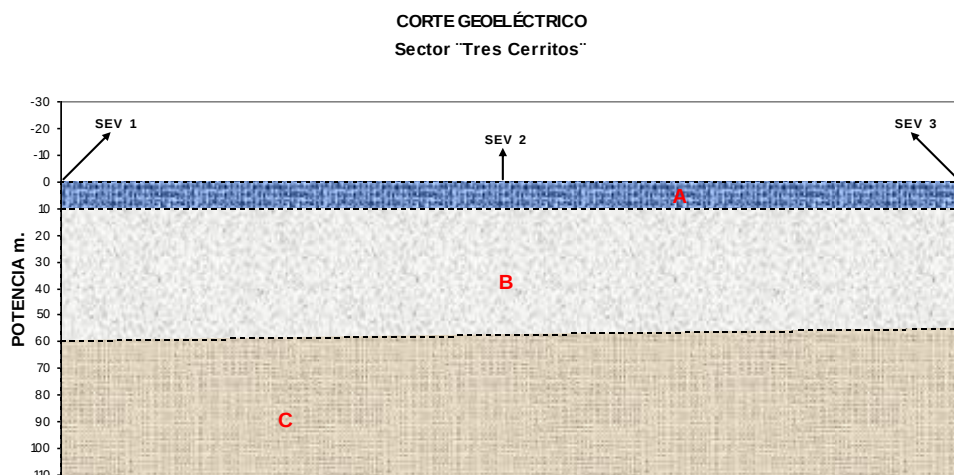


Gráfico N° 8

Este acuífero, a pesar de presentar una extensión pequeña, se favorece por la recarga del río Jubones y por la infiltración lateral de los canales circundantes.

Actualmente se lo explota con pozos excavados de poca profundidad, en los cuales se observa contaminación.

De las pruebas de permeabilidad realizadas por Inerhi en 1982, en el eje de la presa, se desprende que el aluvial tiene una permeabilidad media de 1.5×10^{-2} cm/s. Sin embargo, de las observaciones realizadas en el campo, se determinó que el material aluvial en su parte superior, consta de cantos rodados, gravas y arenas, estimando que la permeabilidad puede estar en el orden de 1×10^{-1} cm/s, lo que equivale a 10^2 m/d.

3.6. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO MIRA (INAMHI-2005)

La cuenca del río Mira está ubicada en el sector nor occidental del país y forma parte del graben Interandino, limitado por las cordilleras Occidental y Real de Los Andes; abarca dos zonas claramente diferenciadas : la zona interandina y las estribaciones de la Cordillera Occidental de Los Andes.

El área de la cuenca está constituida por un basamento cristalino, posiblemente precámbrico, representado por rocas metamórficas del período paleozoico; se superponen lavas y sedimentos volcánicos del jurásico y cretácico, representados por las formaciones Macuchi, Yunguilla y Silante. Posteriormente se depositan los sedimentos continentales y volcánicos del terciario superior (grupo Chota).

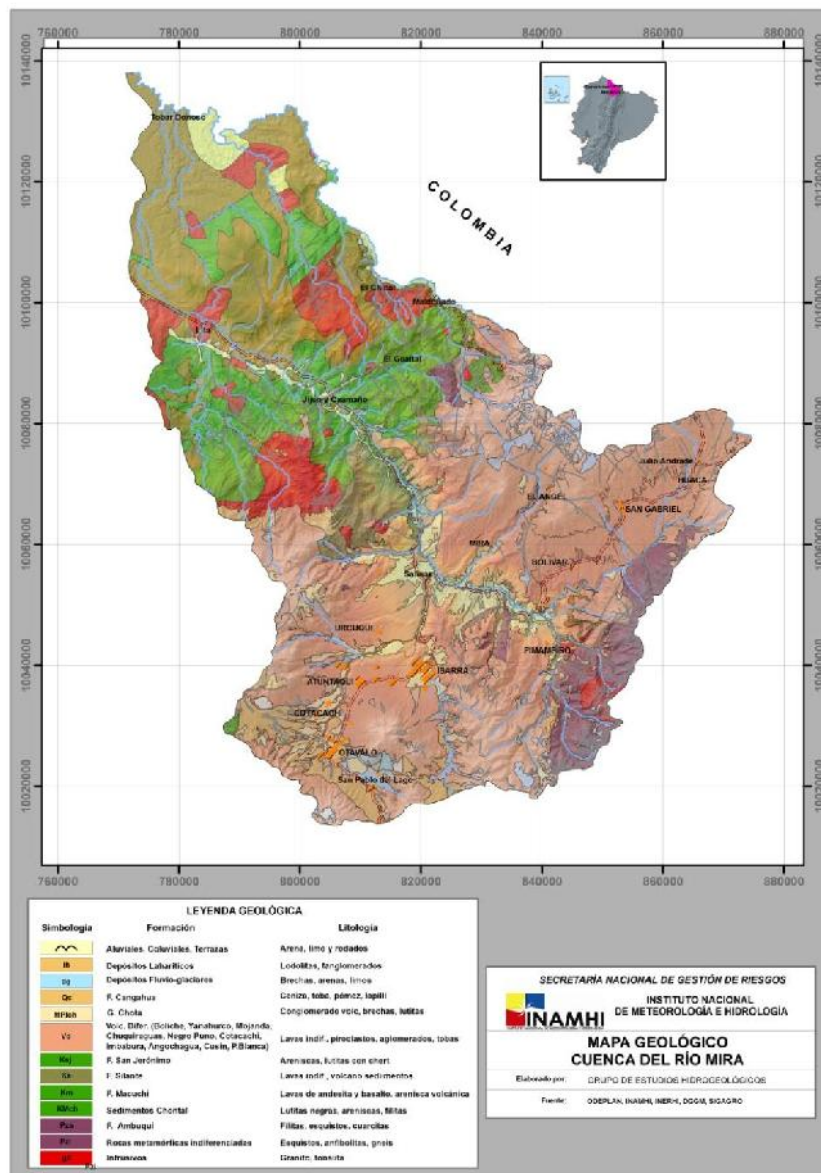
Rellenan la cuenca superficialmente las rocas volcano-sedimentarias del plioceno (cuaternario), representadas por potentes estrato volcanes como el Imbabura, Cotacachi, Chiles y Yanahurco, entre otros, que han generado el recubrimiento actual con la presencia de cenizas, cangahuas y lavas; estos sedimentos han sido fuertemente erodados por la actividad glacial, que formaron potentes flujos de lodo.

En la cuenca del Mira se localizan dos unidades hidrogeológicas: una localizada al nor-este de la misma, a la que se ha denominado acuífero San Gabriel, que abarca las zonas de El Ángel, San Gabriel y Huaca. Hacia el sur oeste encontramos otra unidad que se localiza entre las ciudades de Ibarra, Cotacachi, Otavalo y San Pablo, a la que se ha denominado acuífero Otavalo - Ibarra . Mapa N° 43.

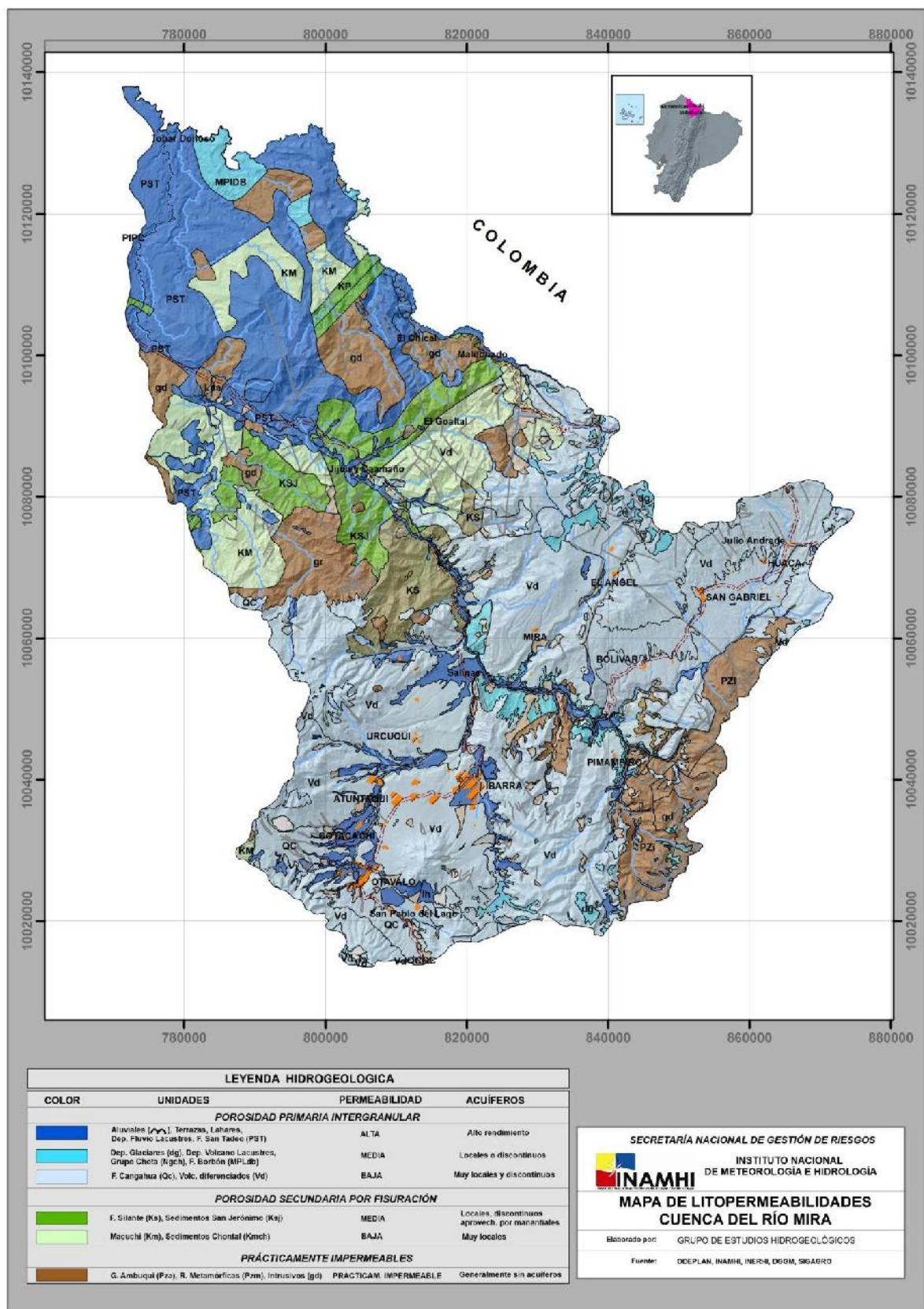
En la unidad Otavalo – Ibarra se puede observar que los pozos se agrupan en tres zonas: la principal abarca el sector comprendido ente Cotacachi y Otavalo, el segundo al sur oeste de Ibarra y un tercero en los alrededores del Lago San Pablo.

En el acuífero San Gabriel el sentido general de las isopiezas es NW – SE, con un gradiente hidráulico medio de 45 m/Km.

La dirección general de flujo de las aguas subterráneas es hacia los drenajes o cauces principales, así en el caso del acuífero San Gabriel, el agua fluye hacia el río Apaquí y en el acuífero Otavalo – Ibarra, el agua subterránea drena en dirección a los ríos Blanco y Tahuando. Mapa 44.



MAPA N°43



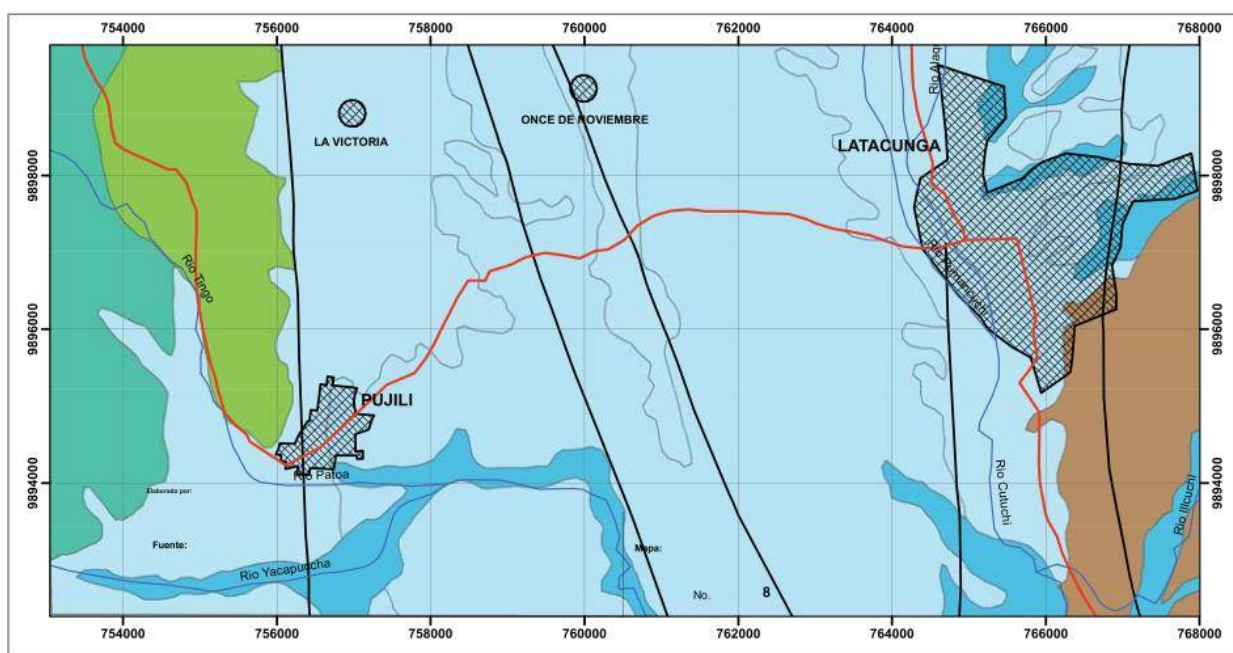
Mapa 44

3.7 HIDROGEOLOGÍA DE LOS SECTORES PUJILÍ - LA VICTORIA (INAMHI-2005)

La zona de estudio se ubica en la provincia de Cotopaxi, aproximadamente 4 Km al occidente de la ciudad de Latacunga; el área en investigación cubre aproximadamente 12 Km².

Regionalmente, la geología predominante está constituida por rocas cuyas edades van desde el período mesozoico hasta el reciente; en ella destacan la formación Yunguilla, que aflora en las partes altas de la zona. Las áreas bajas y de topografía plana están cubiertas por sedimentos fluvio lacustres cuaternarios y depósitos laharíticos, que recubren a las rocas volcánicas del cretácico. Una falla cubierta dominante cuya dirección es N-S, está localizada en el cambio de pendiente y corta los afloramientos descritos.

Hidrogeológicamente, la zona en estudio está constituida por materiales de porosidad intergranular con permeabilidad media a baja, que han dado lugar a la presencia de acuíferos profundos, agrupados en una unidad regional denominada Latacunga. La recarga principal está constituida por la infiltración de las aguas meteóricas, que se generan en las estribaciones de la Cordillera Occidental de Los Andes. Mapa N° 45.



LEYENDA HIDROGEOLÓGICA			
COLOR	UNIDADES	POROSIDAD INTERGRANULAR	ACUÍFEROS
[Color Verde]	ALUVIALES, COLUVIALES	PERMEABILIDAD ALTA	Alto Rendimiento
[Color Azul]	LAHARES Y VOLC. INDIFERENCIADOS	PERMEABILIDAD MEDIA	Locales - Discontinuos ; Rendimiento Medio
[Color Verde Claro]	CANGAHUA, F. LATACUNGA	PERMEABILIDAD BAJA	Locales - Discontinuos ; Bajo Rendimiento
[Color Verde Oscuro]	FORMACIÓN YUNGUILLA	POROSIDAD POR FISURACIÓN	
		PERMEABILIDAD BAJA	Locales - Discontinuos
		PRACTICAMENTE IMPERMEABLES	
[Color Marrón]	METAMÓRFICOS CUYUJA	PERMEABILIDAD MUY BAJA	Generalmente sin Acuíferos

SECRETARÍA NACIONAL DE GESTIÓN DE RIESGOS	
INAMHI	INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA
MAPA DE LITOPERMEABILIDADES DEL SECTOR LA VICTORIA	
Elaborado por:	GRUPO DE ESTUDIOS HIDROGEOLÓGICOS
Fuente: - ODEPLAN (1980), Base Regional escala 1:100.000. - IDEAM (1985), Base Geológica escala 1:100.000.	

Mapa N° 45

En la zona se realizaron sondeos eléctricos verticales, cuyos resultados conjuntamente con el reconocimiento geológico, permitieron definir las características hidrogeológicas y estructura del acuífero presente en la zona. Este proceso investigativo, permitió definir áreas favorables para la perforación de pozos.

Del análisis e interpretación de los diferentes cortes geoelectrónicos se desprende que el estrato D presenta condiciones hidrogeológicas favorables para la explotación de aguas subterráneas, que se

localiza a una profundidad media de 70 m. Los horizontes A, B y C, no tienen interés hidrogeológico. Gráfico 9.

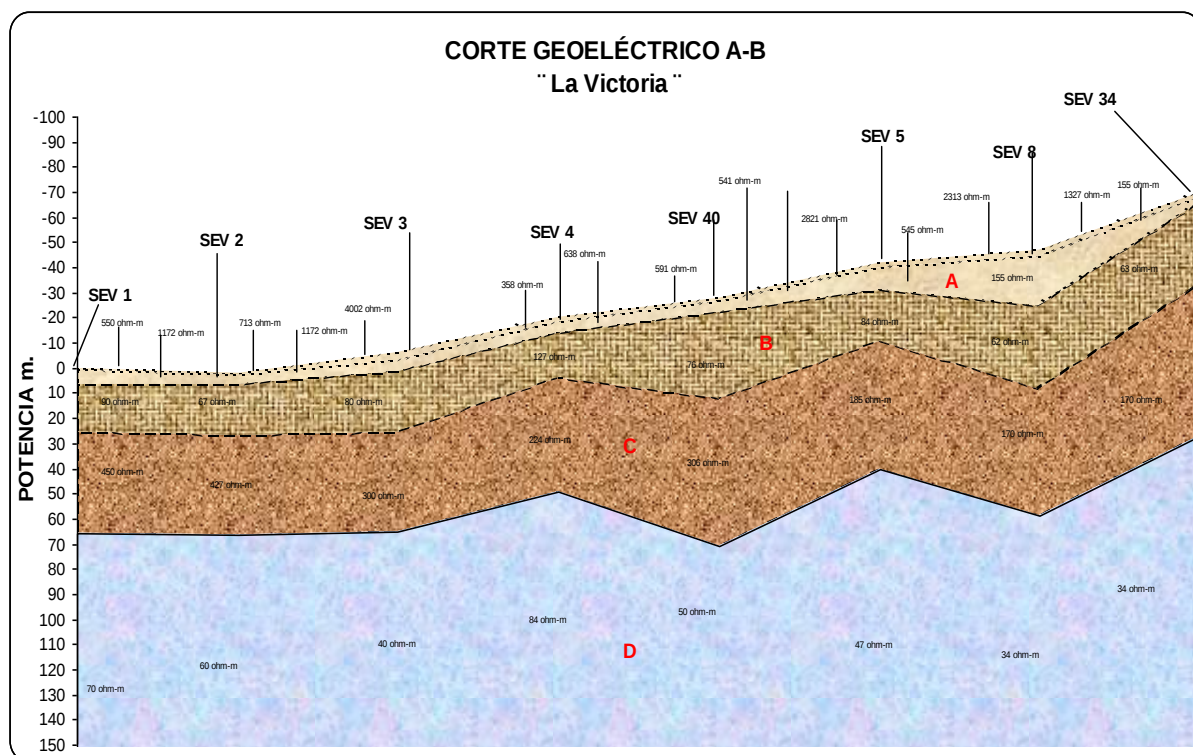


Grafico N° 9

3.8. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL ACUÍFERO DE CANTAGALLO

CARACTERÍSTICAS GENERALES

La zona de Cantagallo se ubica en la parte sur-occidental de la provincia de Manabí, limitada al oriente por los cerros Rodadero, en las estribaciones finales de la cordillera de Chongón - Colonche y al occidente por el Océano Pacífico.

La cuenca del río Cantagallo se encuentra al occidente de Jipijapa, con un área aproximada de 72 Km², de forma casi rectangular entre 540791 E y 527811 E y 9852625N Y 9861834N; Datum WGS-84.

Características climáticas

La presencia de la corriente cálida de El Niño tiene una marcada influencia en las precipitaciones de la zona, presentándose dos períodos diferenciados por la intensidad de las lluvias : un período que va de enero a mayo, con fuertes precipitaciones que alcanzan su máxima intensidad en el mes de marzo y representa el 84% del total de la precipitación anual. Los meses de junio a diciembre se caracterizan por ser prácticamente secos, con presencia de garúas esporádicas en las partes altas de las montañas.

La cuenca en estudio tiene un clima tropical mega térmico semi-árido, donde las precipitaciones anuales son en promedio de 500 mm. Las temperaturas medias anuales son mayores a 24°C, con un período lluvioso que va de enero a mayo, alcanzando su máxima intensidad en marzo.

Precipitación mensual -Estación Pto Cayo - M457												
ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	suma
66,3	131	124	72,6	40,1	16,7	12,5	8,2	8,3	17	8,1	10,5	515

Del análisis del balance hídrico se desprende que existe un déficit, pues el escurrimiento, parámetro que representa la suma del escurrimiento superficial y la infiltración a capas del subsuelo, es cero, lo que evidencia que la infiltración, en los sectores de la zona de estudio, es prácticamente nula.

Características hidrogeológicas

La cuenca de Manabí es una unidad geológica individualizada, como lo demuestra su evolución estratigráfica y sedimentológica. Está constituida su basamento por rocas cretácicas de la formación Piñón, sobre las que yacen rocas sedimentarias volcanoterrígenas de la formación Cayo y clásticas neríticas de la formaciones Cerro, San Mateo y Tosagua, sobre los que suprayacen aluviones cuaternarios, de litología variada, que conforman terrazas que han sido bisectadas por los efluentes superficiales. Litológicamente, comprende una alternancia de limos arenosos y conglomerados englobados en una matriz arcillosa. El espesor estimado no supera los 20 metros.

Por sus características litológicas, los depósitos y terrazas aluviales, tienen condiciones relativamente buenas para almacenar agua. Los resultados de la geofísica realizada en esta zona, determina la potencia del posible acuífero, entre los 20 a 35 m, localizado en los aluviales de los ríos Cantagallo y Manantiales. Gráfico 10.

El bombeo de los pozos, en el sector de Cantagallo, es desordenado; cada una de las comunidades bombea en tiempo y espacio, de acuerdo con sus necesidades.

El acuífero de Cantagallo es un acuífero costero, que por su cercanía al mar se convierte en un recurso frágil, que puede perderse a causa de una explotación no controlada, ocasionando la salinización del mismo. Producto de esto, la zona de difusión entre agua marina y el agua del acuífero es relativamente estrecha, por lo que el estado de equilibrio en la zona, es muy delicado y fácilmente alterable.

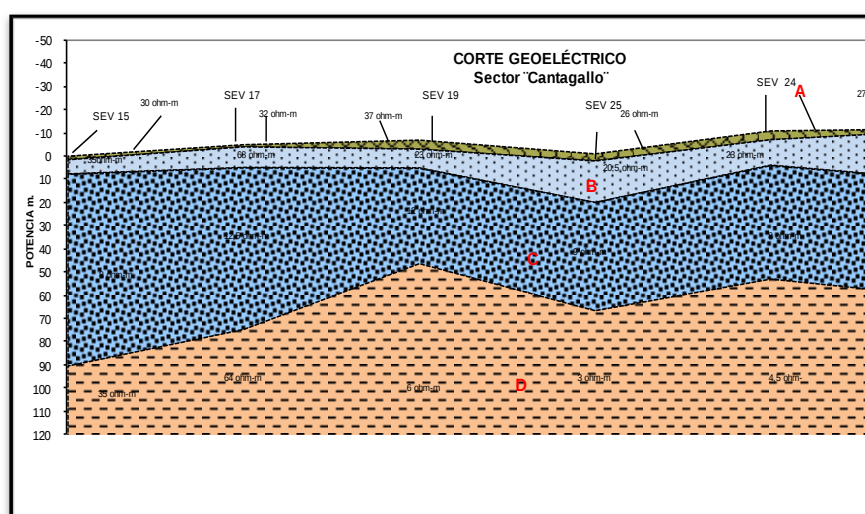


Gráfico 10

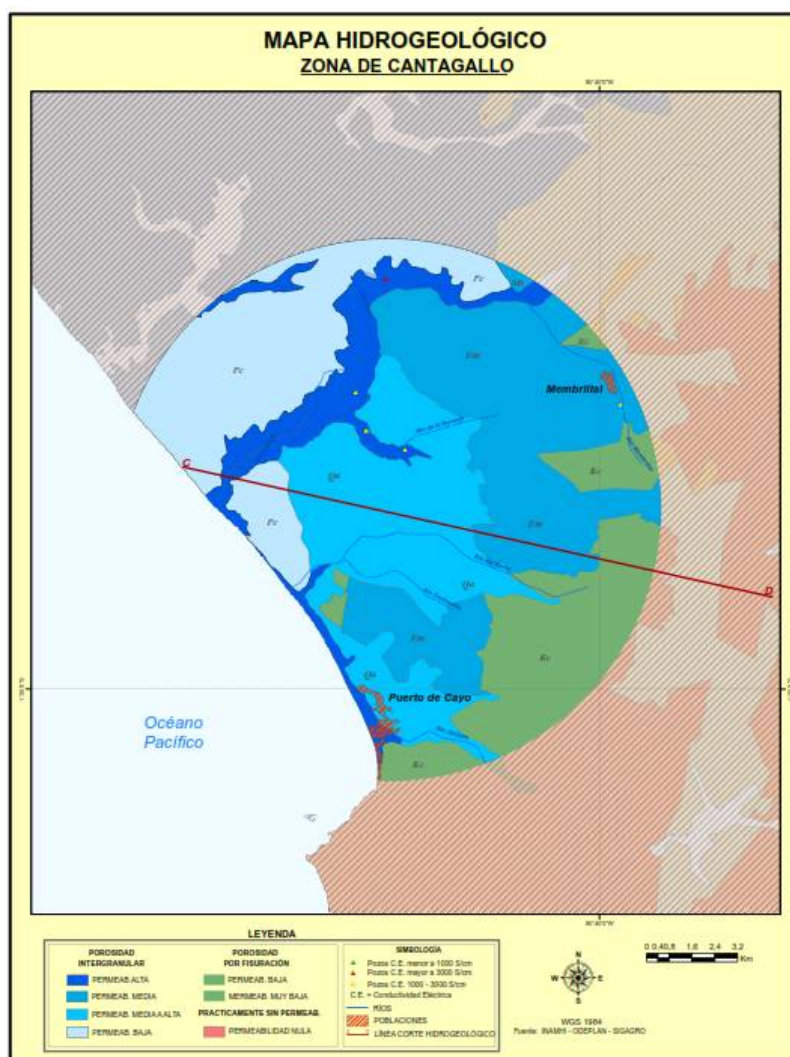
La zona saturada del acuífero de Manantiales – Cantagallo, está determinada por la potencia de los aluviales de los ríos que llevan los mismos nombres.

En el sector de Manantiales la potencia media del acuífero se estima en 30 metros, la perforación de los pozos del sector no sobrepasa los 50 metros de profundidad.

En el sector de Cantagallo se encuentran similares características al acuífero de Manantiales, éste se localiza en un relleno sedimentario antiguo y en los aluviales del río Cantagallo. Por las características litológicas de las formaciones geológicas investigadas, el sector se comporta como un acuífero con reserva de agua subterránea, motivo por el que en la zona, la perforación de pozos se la ha realizado con fines de consumo humano y de agricultura.

Los pozos para abastecer de agua potable a la población de Puerto Cayo tienen un bombeo permanente, mientras que en el caso de los pozos para agricultura el bombeo es indiscriminado, lo que hace que este acuífero sea más vulnerable en su reserva. Los estudios geológicos (estratigrafía, sedimentología y análisis estructural) permiten definir la naturaleza y características de las formaciones presentes, los límites del acuífero o de los acuíferos, su volumen aproximativo y la calidad de las formaciones (permeables, semipermeables). Esta información constituye la base de los estudios hidrogeológicos.

El mapa hidrogeológico aborda, en términos generales, la ocurrencia de aguas subterráneas en las zonas de estudio, considerando tres tipos de rocas diferenciadas por sus características litológicas y su importancia hidrogeológica. Mapa 46.



Las recargas que se generan en estos acuíferos dependen casi estrictamente de los aportes fluviales respectivos y de factores meteóricos locales, que se ven periódicamente favorecidos por las épocas anuales de mayor pluviosidad, que generalmente se extienden entre los meses de enero hasta abril.

3.9. HIDROGEOLOGÍA DE LOS ACUÍFEROS PROGRESO – SANTA ELENA

La cuenca de Progreso se encuentra limitada al norte por la cordillera Chongón Colonche, al oriente por la ramificación de la cordillera de Mullupungu, Chilla, Tahuin y Amotape. La Península de Santa Elena se localiza en el extremo oeste del Ecuador; limita por el este con la Cordillera Chongón Colonche, al norte con la provincia de Manabí, al oeste por el Océano Pacífico y al sur, por el estuario del río Guayas y el Golfo de Guayaquil.

Características Generales

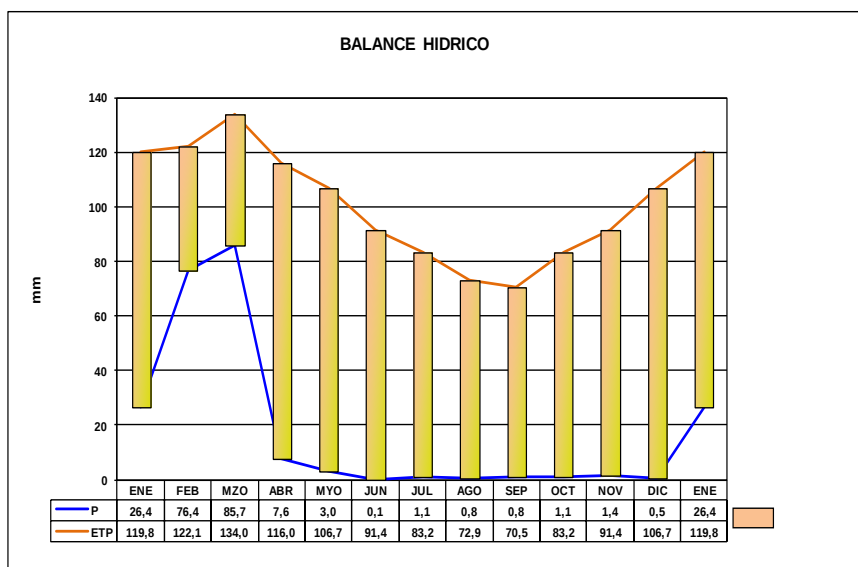
Climatología.- Los factores principales que inciden sobre las condiciones climáticas son la corriente fría de Humboldt, la corriente cálida de El Niño y los desplazamientos de la zona de convergencia intertropical.

Se distinguen dos tipos de clima: tropical húmedo y tropical sabana; este último es el predominante en la zona de estudio.

Precipitación.- La influencia orográfica, las corrientes marinas, la amplia gradiente altitudinal de la cuenca y la oscilación de la zona de convergencia intertropical, determinan un régimen de precipitaciones muy variado.

La distribución temporal fue graficada en el cuadro e histograma adjunto, en los que se observa que las precipitaciones están presentes los cuatro primeros meses del año, siendo el mes más lluvioso febrero; en los meses restantes (8) prácticamente hay ausencia de lluvias.

Regionalmente en la Costa ecuatoriana y en particular en la zona de estudio, el clima está determinado por la zona de convergencia intertropical (ZCIT) y la corriente fría de Humboldt, que unidos a la acción de los factores geográficos, tales como la presencia de la cordillera de Chongón – Colonche, y los fenómenos como el ENSO (El Niño Oscilación Sur) determinan en base a la información meteorológica existente en la zona de estudio, un período lluvioso durante los meses de enero



a marzo y un período seco, que se extiende entre abril a diciembre. Gráfico 10.

Mediante el balance hídrico se determinó que en los sectores investigados, las bajas precipitaciones hacen que el acuífero Progreso – Santa Elena mantenga un déficit de agua durante todo el año.

El agua que precipita prácticamente es consumida por la evapotranspiración y los acuíferos existentes en la zona, deben alimentarse de la infiltración de las lluvias, que se presentan en los primeros meses en las nacientes de los ríos, en la cordillera de Chongón.

Características geológicas

Producto de la intensa actividad de placas tectónicas ocurrida en la región, durante los diferentes períodos geológicos, el territorio ha sido altamente afectado; la mayoría de rocas de las diferentes formaciones se encuentran con alto grado de fragmentación y fracturamiento, dependiendo básicamente de la composición litológica de las mismas.

La cuenca geológicamente está constituida sobre un basamento cretácico, sobre el que se han edificado potentes conjuntos de rocas de edad terciaria, que afloran especialmente al centro y este de la cuenca y depósitos cuaternarios, como los tablazos y aluviales recientes. El relieve ha sido bisectado por una serie de fallas y estructuras geológicas.

En la unidad afloran exclusivamente rocas sedimentarias, pero el límite norte lo conforman rocas ígneas (F, Piñón). Las edades varían desde el cretáceo hasta el reciente.

La unidad se encuentra altamente tectonizada, especialmente en el sector norte-oeste; existen fallas de rumbo NW-SE antiguas, cortadas por fallas de dirección NE-SW más jóvenes.

En ciertos sectores se observa plegamiento de las formaciones. La falla de la Cruz, de rumbo NNW-SSE es el elemento tectónico más importante, por cuanto divide a la plataforma de Santa Elena de la cuenca Progreso mediante los Cerros de Estancia.

Levantamiento hidrogeológico

Los datos adquiridos en el levantamiento hidrogeológico general de la zona, permiten conocer las características hidrogeológicas de una determinada zona.

Las actividades más relevantes constituyen el reconocimiento geológico, inventario de puntos de agua y la prospección geofísica. Esta información, analizada y procesada, es la base para definir la caracterización hidrogeológica de las formaciones aflorantes, calificándolas cualitativamente de acuerdo a su litología, diferenciando superficialmente los materiales acuíferos y relacionándolos con la permeabilidad. Mapa 47.

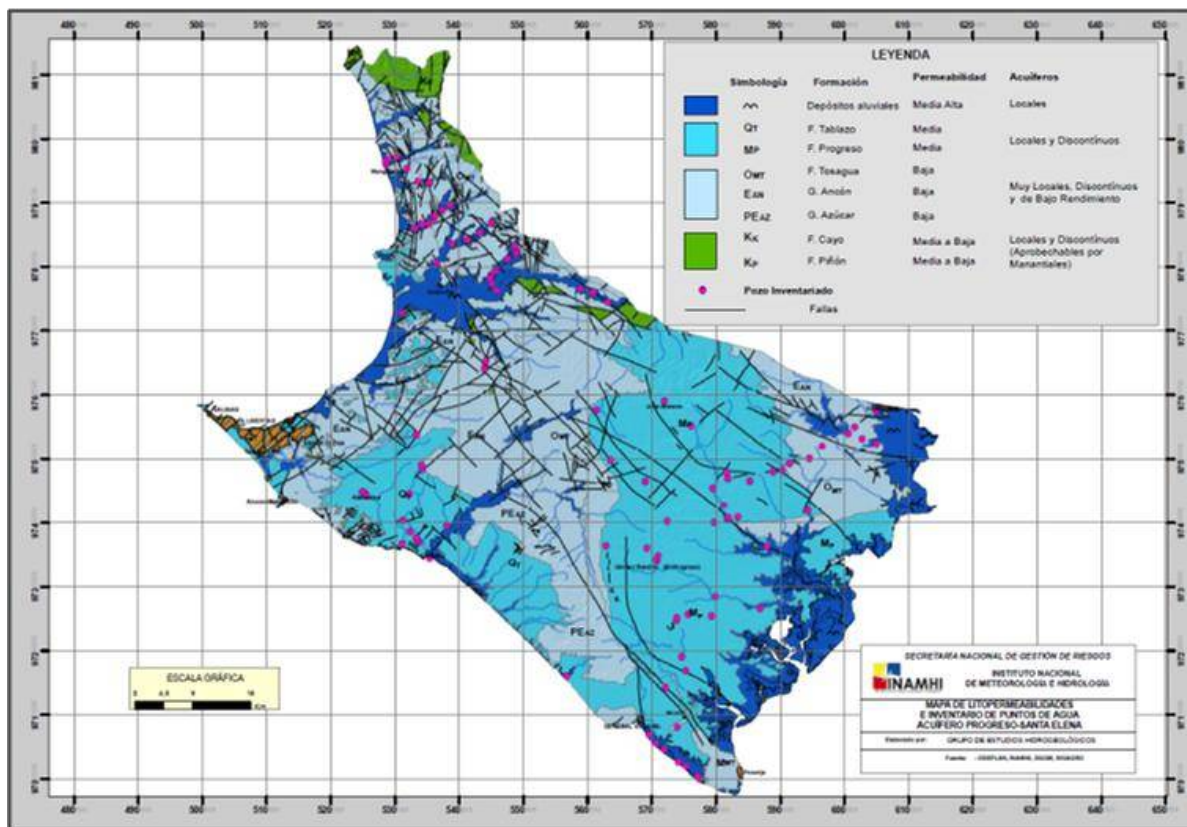
Inventario de puntos de agua

El inventario, realizado en el año 2011, de 16 pozos perforados, 40 pozos someros y dos vertientes minerales, sirvió para determinar zonas prioritarias con potencial hídrico subterráneo. El resumen de los 58 puntos inventariados constan en el cuadro adjunto y su distribución areal, en el mapa de inventario de puntos de agua. Mapa 47.

En cada uno de los puntos inventariados se tomó datos de conductividad eléctrica, pH, temperatura del agua, cota respectiva y uso. Con el empleo de GPS, los mismos fueron geo-referenciados.

El resumen de los datos obtenidos, constan en el siguiente cuadro:

VALOR	NE (m)	PT (m)	CE ($\mu\text{S/cm}$)	pH	T° (C)
MEDIO	6,5	21,3	5705,2	7,5	26,7
MINIMO	0,9	2,0	460,0	5,8	21,3
MAXIMO	29,3	80,0	47500,0	8,5	37,3



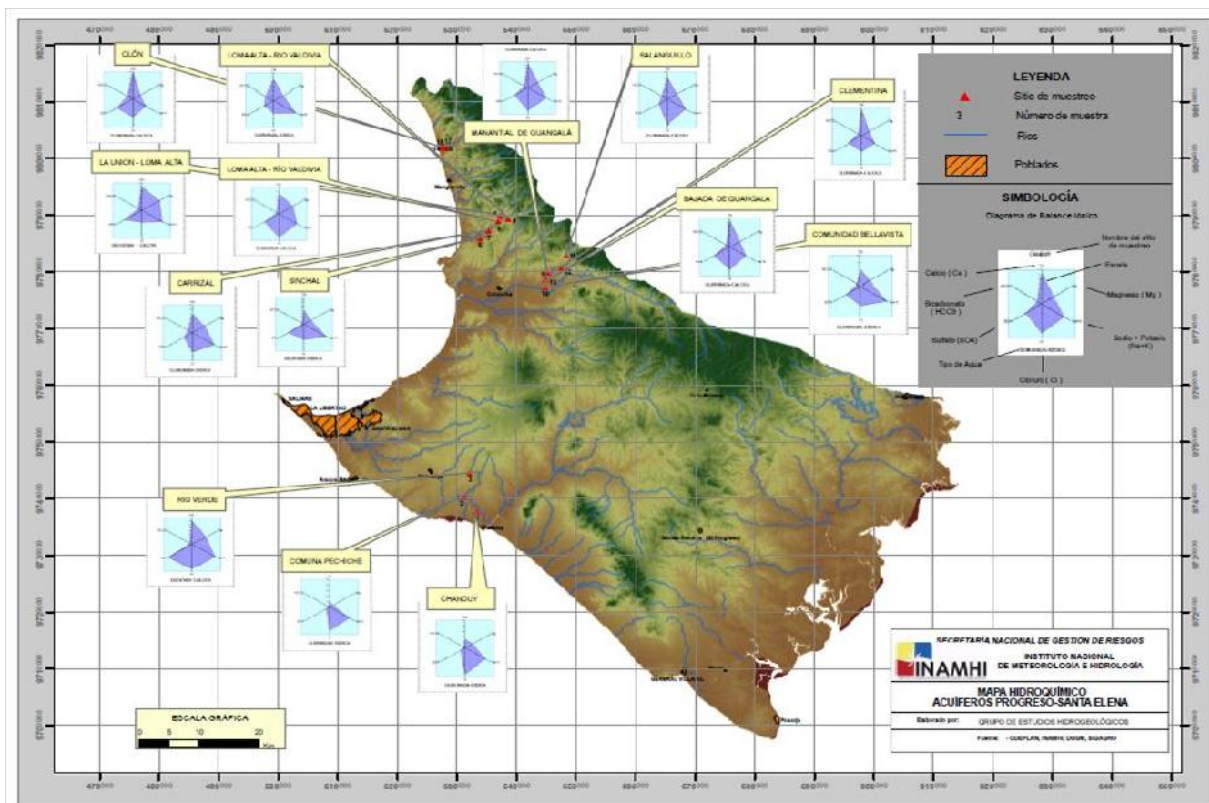
Mapa 47

HIDROQUÍMICA

Se recolectaron un total de 17 muestras de agua subterránea: tres en la zona de Río Verde, cinco en la zona de Río Valdivia, cinco en la zona de Colonche – Manantial de Guangala y cuatro en el sector de Olón. Las muestras recolectadas fueron enviadas al laboratorio de agua del Inamhi, para su análisis físico – químico completo.

Con respecto al tipo de agua, en su mayoría son cloruradas-sódicas y cloruradas-cálcicas. En base a esta característica, de manera general, se determina que las aguas subterráneas pertenecientes a las zonas de estudio, han tenido mayor tiempo de permanencia y por ende, mayor presencia de mineralización.

En el mapa de hidroquímica se presentan los diagramas radiales, pertenecientes a cada una de las muestras, en donde se evidencia el tipo hidroquímico de cada una de ellas. Mapa 49.



Mapa 49

Del análisis de la información, se determina que en el sector se encuentran zonas favorables para la acumulación de aguas subterráneas, constituidas por formaciones recientes, como son los aluviales de los ríos del extremo nor-oeste de la península, de los ríos Valdivia, Javita y Olón, sector de Río Verde.

Las poblaciones del sector de Colonche se abastecen de agua subterránea, procedente de pozos perforados de profundidades de hasta 30 metros, que están exclusivamente en los aluviales de los drenajes. Los pozos someros, que llegan hasta los siete metros de profundidad, tienen una CE de 1200 a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

El lecho del río Olón, en donde se encuentran los depósitos aluviales de arenas variadas y gravas, se comporta como el acuífero de interés, con características hidrogeológicas favorables para la acumulación y explotación de agua subterránea.

3.10. HIDROGEOLOGÍA MACHALA- ZARUMILLA

Generalidades

La unidad se localiza en el extremo suroccidental del Ecuador; pertenece íntegramente a la provincia de El Oro; las ciudades principales son Machala, Santa Rosa, Pasaje, Arenillas y Huaquillas.

Morfológicamente la unidad se caracteriza por relieves casi horizontales que conforman la llanura costera, la cual se ve interrumpida por pequeñas elevaciones, como el cerro conocido con el nombre El Vergel de origen volcánico, ubicado a unos 3 Km al sureste de la población El Guabo. La red hidrográfica está representada por los ríos Jubones (curso bajo), Arenillas, Sta. Rosa, Zapotillo y Zarumilla.

La vegetación en general es exuberante y está condicionada por el clima, la humedad y la altura. Se presenta muy densa en las estribaciones de la cordillera, variando a moderada e incluso escasa en algunos sitios. La zona comprendida entre Pasaje-Buenavista-Motuche y Santa Rosa se encuentra intensamente cultivada, no así la zona de Huaquillas y Chacras, donde se presentan zonas semidesérticas.

Climatología

Se encuentran tres tipos de climas de este a oeste : mesotérmico – semihúmedo, tropical monzón y tropical sabana. El clima varía desde cálido, en los valles arriba indicados, hasta frío de montaña y páramos en la Sierra; las lluvias se presentan a lo largo del año.

Precipitación.- La influencia orográfica, las corrientes marinas, la amplia gradiente altitudinal de la cuenca y la oscilación de la zona de convergencia intertropical, determinan un régimen de precipitaciones muy variado, como se visualiza en el mapa de isoyetas.

Los promedios máximos anuales varían entre los 1750 a 2000 mm en las partes altas; en la parte oriental de la cuenca, hasta mínimas de 0 – 500 mm en el sector de Zarumilla y parte occidental de la cuenca. La precipitación promedio estimada es de 1000 mm. al año.

Balance hídrico.- Con el fin de conocer la disponibilidad de agua en la cuenca se procedió a realizar el balance, utilizando la metodología propuesta por Thornthwaite para la Estación Machala UTM, considerada representativa de la zona; resultados que se exponen en el cuadro adjunto y en el gráfico 11.

BALANCE HIDRICO														
ESTACION:	M185	Machala -UTM												
UBICACIÓN	LAT	3° 03' 00"S	LONG	79° 44' 00"	COTA	13	msnm					Reserva máx:	100	
	ENE	FEB	MZO	ABR	MYO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	Total
TEMPERATURA	25,8	26,2	26,4	26,2	25,5	24,2	23,0	22,6	23,1	22,8	23,7	25,0	25,8	24,5
ETP corr.	129,2	124,3	140,3	132,0	125,9	102,8	90,4	86,1	88,8	88,3	96,0	118,3	129,2	1322,3
PRECIPITACION	206,9	272,7	238,4	169,9	94,8	67,4	57,7	47,1	85,2	72,9	72,0	98,4	206,9	1483,3
ETR	129,2	124,3	140,3	132,0	125,9	102,8	90,4	48,0	85,2	72,9	72,0	98,4	129,2	1221,2
Déficit	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,1	3,6	15,4	24,0	19,9	0,0	101,1
Reserva	77,7	100,0	100,0	100,0	68,9	33,5	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	77,7	481,0
Excedentes	0,0	126,1	98,1	37,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	262,1

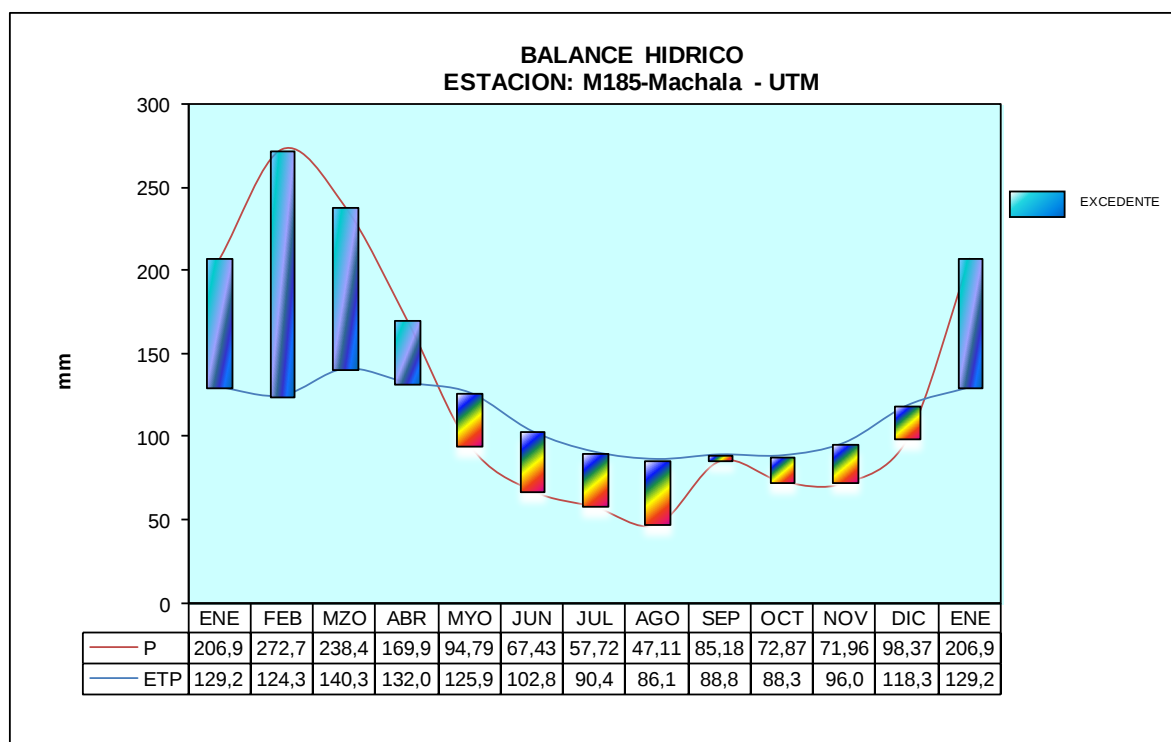


Gráfico 11

Del análisis respectivo se desprende que en la parte media de la cuenca existe un escurrimiento de 262 mm al año, parte del cual alimentará a los acuíferos de la zona, considerando la litología de los depósitos coluviales y del cuaternario indiferenciado, que conforman los valles fluviales y las planicies de inundación. Se estima que el 30% al 50% del escurrimiento se infiltraría hacia los acuíferos, equivalente aproximadamente al 10% de la precipitación.

Características geológicas

La descripción de la geología de la cuenca se fundamenta en la génesis de las formaciones y la tectónica, descrita en las diferentes hojas geológicas editadas por la DGGM, actual Ingem y que se utilizaron en la realización del informe.

La unidad está constituida por sedimentos aluviales, coluviales e indiferenciados del cuaternario y sedimentos del terciario, no deformados. Bordeando a estos depósitos encontramos sedimentos fuertemente plegados y metamorfozados (lutitas, areniscas, cuarcitas, gneis, filitas y esquistos) del grupo Tahuín (PzT), lavas y piroclastos de la formación Macuchi (KM). El cuaternario indiferenciado recubre totalmente la unidad.

Características hidrogeológicas

Las formaciones que conforman el borde exterior (grupo Tahuín – PzT, formación Macuchi – KM y volcánicos de la Fortuna – Vf), se las considera prácticamente impermeables.

Las formaciones miopliocénicas: la formación Zarumilla y la formación Puná, conformadas por estratos de porosidad intergranular, tienen un relativo interés hidrogeológico y conforman acuíferos locales que están siendo explotados por pozos profundos y excavados. Los depósitos coluviales y el cuaternario indiferenciado, que conforman los valles fluviales y las planicies de inundación, presentan un mayor interés hidrogeológico.

En el mapa hidrogeológico adjunto, (Mapa 50), se visualiza la distribución espacial de los puntos inventariados, que con la interpretación de la permeabilidad de las formaciones aflorantes, permitieron definir las características de lito-permeabilidad, de cada una de las formaciones presentes y calificarlas de acuerdo a la metodología propuesta por la Unesco y utilizada en el mapa hidrogeológico del Ecuador (Inamhi-DGGM-1983).

Inventario de puntos de agua

Se inventarió un total de 56 puntos de agua; en cada uno se tomó datos de conductividad eléctrica, pH, temperatura del agua, cota respectiva y uso. Con el empleo de GPS fueron georeferenciados. En el mapa de litopermeabilidades, se puede observar la ubicación y la distribución areal de los puntos de agua inventariados. Mapa 50.

Con la finalidad de complementar la información se procedió a recopilar datos hidrogeológicos sobre 90 pozos perforados y excavados, que fueron obtenidos de los archivos de la Senagua, Demarcación Jubones, Gobierno Provincial de El Oro y gobiernos locales.

El nivel freático en la región es somero, en el 90 % de los pozos inventariados no sobrepasa los 10 m. de profundidad. En el cuadro siguiente, se resumen los diferentes parámetros obtenidos en el inventario.

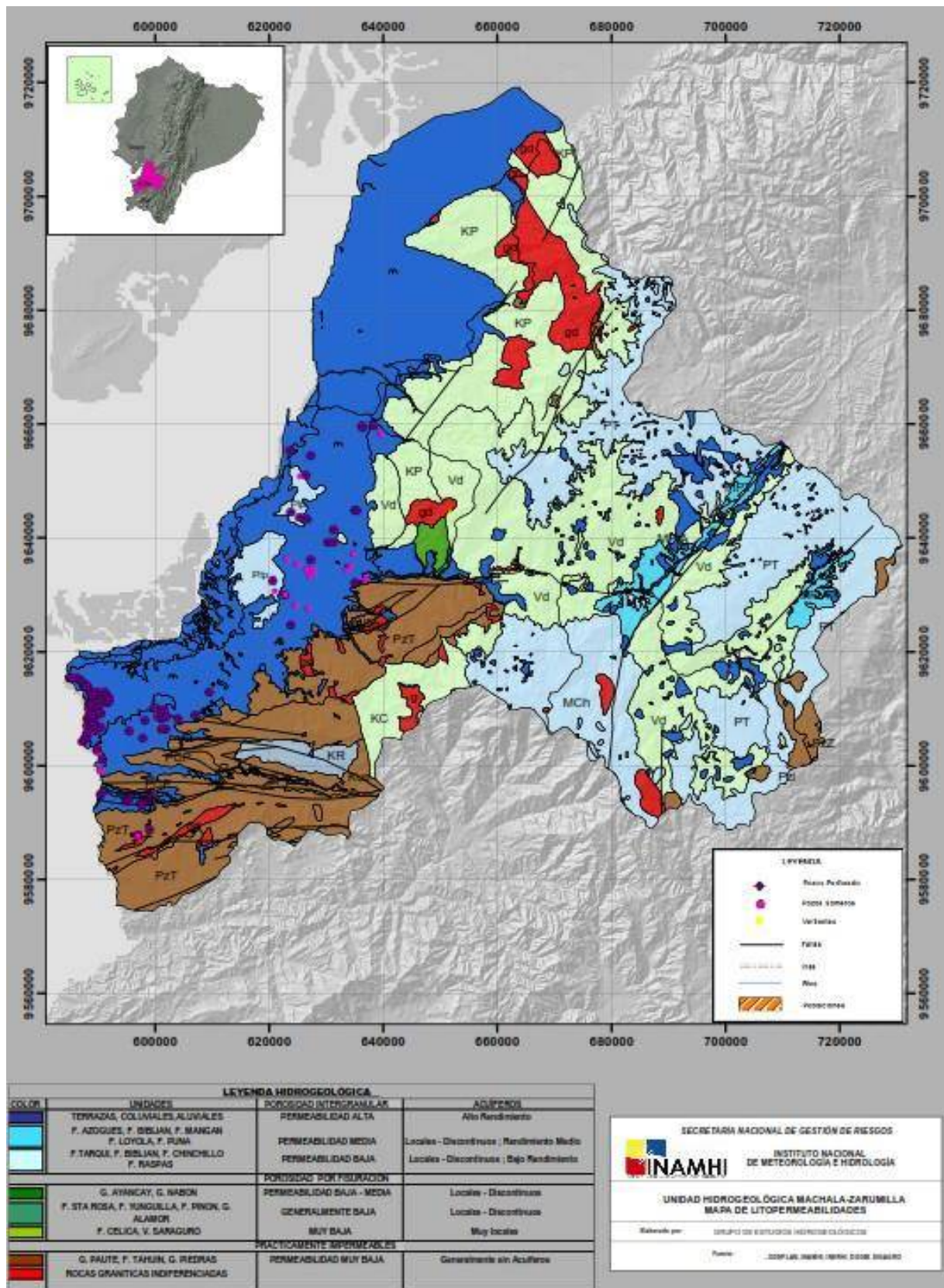
VALOR	COTA	NE (m)	PT (m)	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	T° (C)
Medio	50,8	3,9	36,6	7,3	789,9	26,4
Mínimo	3	0,3	2,7	6,6	90	18,9
Máximo	1200	32,5	150	8	3910	30,7

El inventario de puntos de agua, así como la recopilación de información de pozos perforados, permitió establecer zonas con características favorables para la explotación de aguas subterráneas; de norte a sur se definen como áreas prioritarias a las comprendidas entre Tendales y El Guabo. De la información recopilada se establece que la transmisividad promedio es de $117,6 \text{ m}^2/\text{d}$.

En la zona central de la unidad, comprendida entre Machala, Pasaje y Santa Rosa, se encuentra una zona acuífera de excelentes condiciones; la transmisividad promedio es de $464 \text{ m}^2/\text{d}$; constituyéndose la zona donde se asienta la ciudad de Machala la que mejores características presenta, con una transmisividad promedio de $716 \text{ m}^2/\text{d}$; hacia el suroeste este parámetro disminuye, estableciéndose un valor promedio de $212 \text{ m}^2/\text{d}$.

En el extremo sur oeste de la unidad se encuentra una zona comprendida entre las poblaciones de Huaquillas y Cazaderos, que hidrogeológicamente se la considera con buenas perspectivas para la explotación de aguas subterráneas, con la presencia de varios niveles acuíferos, que han sido captados por medio de pozos someros y profundos, que son utilizados como fuente de abastecimiento de las diferentes poblaciones y para riego en épocas de estiaje.

De la información recopilada, se establece que la transmisividad promedio es de $290 \text{ m}^2/\text{d}$, con valores máximos de $840 \text{ m}^2/\text{d}$.



Mapa 50

Caracterización hidrogeoquímica

En el área de estudio, la fuente principal de abastecimiento de agua, tanto para el consumo humano en las poblaciones rurales, como para regadío especialmente en las plantaciones de banano, corresponde a aguas subterráneas, por lo que es de gran importancia hacer la caracterización hidrogeoquímica de este recurso.

En cada uno de los puntos inventariados se determinaron los parámetros de campo: temperatura, pH, y conductividad eléctrica. Las determinaciones fueron realizadas con equipos portátiles, que garantizan la toma del dato.

Para conocer la composición química del agua subterránea y su variabilidad espacial, en el área de estudio, se colectaron 12 muestras de agua subterránea, en pozos que se los considera representativos de una determinada zona.

Los resultados obtenidos del análisis del laboratorio, fueron tabulados en el siguiente cuadro :

RESULTADO DE LOS ANALISIS FISICO QUIMICO UNIDAD HIDROGEOLOGICA MACHALA-ZARUMILLA																						
NOMBRE	PARAMETROS FISICOS						CATIONES				ANIONES			OTRAS DETERMINACIONES								
	pH	CE	T	urbide	Color	TDS	Ca++	Mg++	Na+	K+	HCO3-	SO4=	Cl-	Mn++	NH4	NO3	NO2	PO4	F-	A/T	D/T	
		us/cm	°C	FAU	UC Pt-Co	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Bajo Alto	7,90	1364	27	0,3	29	914,0	14,4	3,0	225,5	5,7	335,8	18,8	8,5	0,19	0,3	1,2	1,1	0,4	0,4	335,8	50,0	
La Mina	6,70	169	26	99,9	131	113,2	33,6	ND	10,3	2,1	52,6	33,7	8,5	0,00	0,6	0,9	0,4	0,5	0,1	52,6	83,8	
Rosa de Oro	6,80	237	25	3,4	0	159,0	15,2	7,6	15,3	4,0	61,7	25,7	8,5	ND	0,3	2,4	0,1	0,5	0,3	61,7	70,8	
La Lira de Oro	7,20	555	26	3,0	2	371,9	118,3	ND	22,9	2,6	196,0	37,7	8,5	ND	0,2	6,3	0,0	0,7	0,7	196,0	295,2	
La Victoria	6,70	357	26	0,2	4	239,0	24,0	20,2	4,8	0,0	90,8	37,8	17,8	0,06	0,2	2,4	0,0	0,6	0,3	90,8	145,7	
El Paraiso	7,5	1339	27,4	0,1	42	89,7	91,1	49,6	94,3	1,1	225,1	310,3	97,7	0,3	0,2	0,5	0,0	0,8	0,3	239,6	431,5	
Palmales	7,05	481	27	0,3	0	272,0	11,2	56,7	42,6	2,1	83,5	35,2	70,5	0,3	0,3	0,2	0,0	0,9	1,9	83,5	266,5	
Chacras	7,2	781	30,2	0,3	0	523,3	16,6	28,9	99,2	4,2	112,5	57,1	159,7	0,0	0,2	0,1	0,0	0,6	0,3	112,5	160,3	
Q Seca	7,1	2000	27,1	0,3	2	1340,0	24,0	5,1	376,6	6,2	245,0	191,6	347,6	0,1	0,3	0,1	0,0	0,7	1,3	245,0	83,3	
Pagua	6,8	210	26	0,2	0	140,7	13,6	11,6	6,4	0,4	61,7	12,1	8,5	0,02	0,2	0,6	0,0	0,5	0,2	61,7	83,3	
Arenillas	6,6	3910	28,9	1,8	0	2619,7	169,4	244,8	172,8	3,1	181,5	63,6	960,1	0,19	0,4	4,2	0,0	0,8	0,4	181,5	1448,8	
Manabi de Oro	6,7	523	27,5	0,7	1	350,4	32,0	56,7	114,1	3,5	275,9	165,5	95,8	0,2	0,4	0,1	0,0	0,7	2,3	275,9	320,6	

Del análisis e interpretación de la información obtenida en el laboratorio se realizó la caracterización hidrogeoquímica, para cada uno de los puntos, considerando la prevalencia del anión y catión de mayor concentración. De forma similar se estableció la categorización del agua para riego considerando la conductividad eléctrica (C) y la relación de adsorción de sodio (S), calculada para cada muestra analizada. Los resultados se presentan en el cuadro siguiente :

CLASIFICACION HIDROQUIMICA				
NOMBRE	COORDENADAS		TIPO	CLASE
	ESTE	NORTE		
Bananera Maria Rosario	636421	9659354	BICARBONATADA MAGNESICA	C1 S1
Pozo la Lira de Oro	626433	9634536	BICARBONATADA CALCICA	C2 S1
Pozo Bajo Alto	623660	9655388	BICARBONATADA SODICA	C3 S2
Pozo Arenillas	601909	9606296	CLORURADA MAGNESICA	C4 S1
Pozo Manabi el Oro	596934	9587710	BICARBONATADA SODICA	C2 S1
PP Chacras	588804	9607686	CLORURADA SODICA	C3 S1
PP La Mina	635350	9644778	BICARBONATADA CALCICA	C1 S1
Pozo la Victoria	626822	9627488	BICARBONATADA MAGNESICA	C2 S1
Pozo Palmales	599375	9594002	CLORURADA MAGNESICA	C2 S1
Quebrada Seca	590393	9594848	CLORURADA SODICA	C3 S3
Pozo el Paraiso	623826	9624796	SULFATADA CALCICA	C1 S1

3.11. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO PASTAZA

Introducción

La cuenca alta del río Pastaza se caracteriza por tener zonas con baja disponibilidad natural de agua y por una gran concentración poblacional, que se distribuye a lo largo del callejón interandino, entre las ciudades de Latacunga, Ambato y Riobamba.

Esta creciente población genera una importante presión por acceso a recursos hídricos para diferentes usos y aprovechamientos, lo que genera un escenario de conflictividad, situación que se agrava debido a que en los últimos años se han tenido intensas y prolongadas sequías, que han afectado el abastecimiento de agua en la cuenca alta del río Pastaza.

Ante esta problemática, es importante el desarrollo de programas y proyectos enfocados al manejo y uso eficiente del recurso hídrico. Para lograr lo anterior, es importante conocer la cantidad de agua en una determinada región, con el objetivo de satisfacer las necesidades de la población a la cual se beneficia.

En este sentido, el estudio del agua subterránea, tiene por objetivo presentar los resultados de la investigación hidrogeológica en la referida cuenca, suministrando las bases para la planificación y la gestión de este recurso hídrico.

Generalidades

La cuenca alta del río Pastaza considerada hasta su exutorio, la estación Pastaza en Baños, se halla situada en la zona central de la región interandina del país, abarcando principalmente las provincias de Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo. Su forma es alargada con dirección preferencial norte-sur.

Limita al norte con el Nudo de Tiopullo, al sur con el de Tío Cajas, al oeste con la Cordillera Occidental y al este con la Cordillera Real. La superficie aproximada del área estudiada de la cuenca alta del Pastaza, es de 7604 km².

Temperatura.- La temperatura dentro de la cuenca mantiene una relación inversa con la orografía, determinándose que la misma decrece con el incremento de la altura. La variación de la temperatura durante el año no es muy significativa y presenta una moderada fluctuación.

Se determina que la mínima temperatura de 1°C se registra en la estación M121-El Refugio, ubicada en el volcán Cotopaxi, a una altura de 4020 msnm y la máxima temperatura media anual, se registra en la estación M029- Baños, con un valor de 17.5°C, ubicada a una altura de 1800 msnm.

Precipitación.- Sobre la base de la información pluviométrica de varias estaciones consideradas representativas, se estableció que en la cuenca se presentan dos períodos en los que las lluvias tienen mayor incidencia : uno de diciembre a abril y un segundo, de septiembre a noviembre. Sin embargo, su distribución no es homogénea, notándose un incremento hacia la parte alta de los páramos.

Existe una diferencia entre las cuencas de la Cordillera Real, que tienen una marcada influencia amazónica con lluvias de abril a agosto y en las estribaciones orientales de la Cordillera Occidental, en donde se presentan dos estaciones lluviosas de febrero a abril y de octubre a diciembre.

Sinopsis geológica

Regionalmente esta zona corresponde a la denominada depresión Interandina, rasgo morfológico que se denomina a un hundimiento tectónico, limitado por fallas longitudinales de dirección general N – S, que posteriormente ha sido afectado por diferentes episodios volcánicos, originando facies acumulativas que luego han sido disectadas por la erosión fluvial.

El basamento de la cuenca está representado por rocas metamórficas de las series Llanganates y Paute, sobrepuestas por rocas volcano sedimentarias. En la zona se determinó la presencia de formaciones plio-cuaternarias, que cubren la casi totalidad de la cuenca, entre las que se destacan las rocas de origen fluvio lacustre de la formación Riobamba, volcánicos del Chimborazo, Igualata y sedimentos de origen laharítico, que litológicamente se componen de estratos dispuestos irregularmente, de limo, arena fina, toba y material conglomerático.

Caracterización hidrogeológica

El objetivo fundamental de realizar la caracterización hidrogeológica es poner de relieve los aspectos más significativos, que permitan definir objetivamente, la incidencia de la geología en la presencia de probables acuíferos.

La geomorfología del terreno, las características litoestructurales de las formaciones aflorantes en la zona de estudio, así como las condiciones climáticas imperantes y el grado de incidencia de los diferentes parámetros meteorológicos, que conforman el ciclo hidrológico, son los factores fundamentales que interactúan para permitir la infiltración, circulación y acumulación del agua en los estratos del subsuelo.

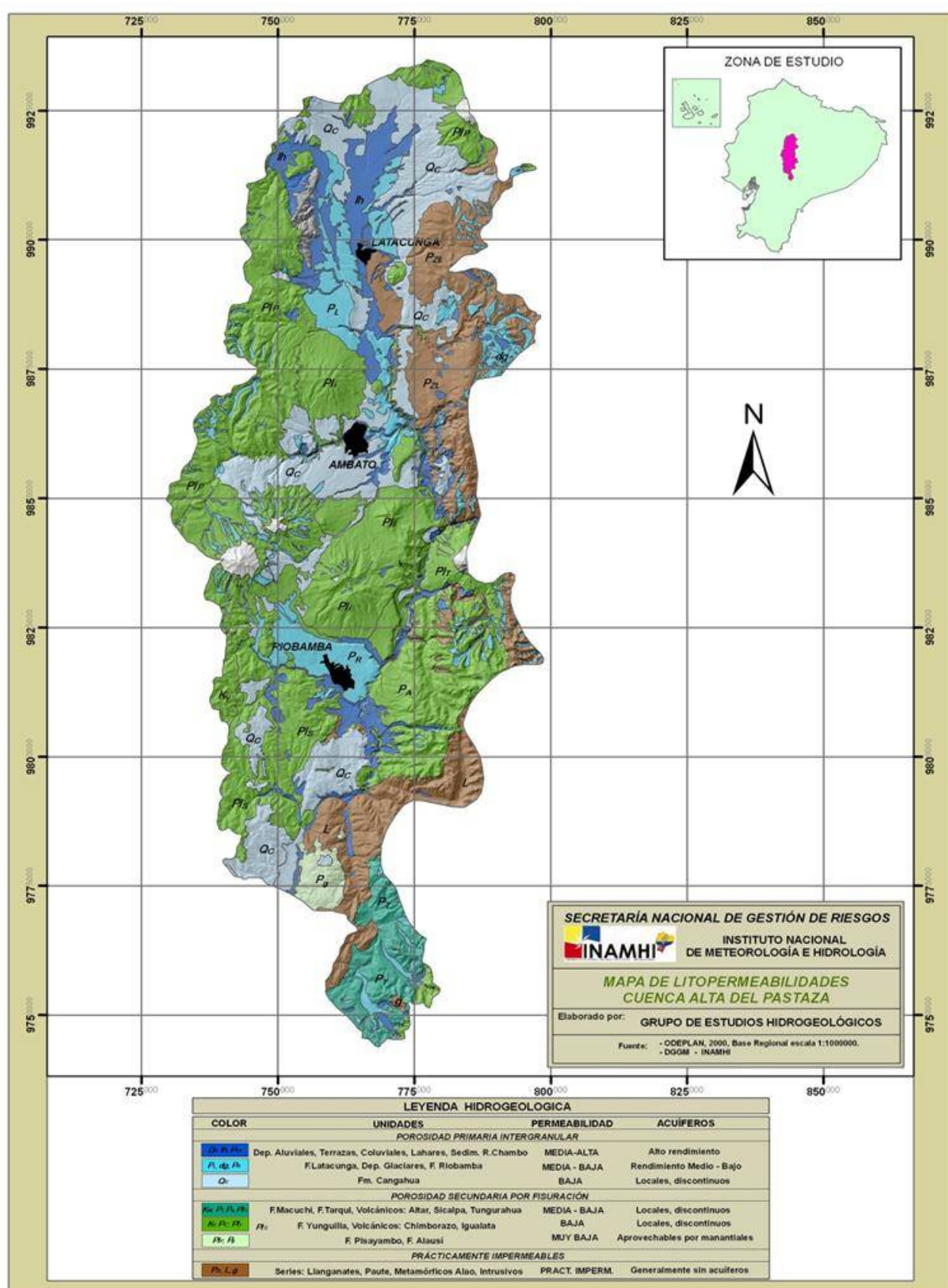
Para cumplir con el objetivo, se efectuaron las labores de geofísica aplicando las propiedades de resistividad eléctrica de las rocas, para lo cual se empleó la configuración Schlumberger. En la zona de estudio se realizaron ochenta y cuatro sondajes eléctricos verticales (SEV).

Hidrogeológicamente la zona se presenta constituida por materiales de porosidad intergranular, con permeabilidad variable de media a baja, que han dado lugar a la existencia de varios acuíferos locales y discontinuos.

La recarga principal está constituida por la infiltración de las aguas meteóricas, que se generan en las partes altas de los flancos orientales de la cordillera, así como por efecto de la acción natural de recarga de los principales drenajes y canales de riego no impermeabilizados.

Con la información obtenida en el reconocimiento que comprende el levantamiento hidrogeológico , inventario de puntos de agua e interpretación de la prospección geofísica, se realizó la identificación de las principales formaciones que afloran en la región, diferenciándolas y calificándolas cualitativamente en base al tipo de permeabilidad que presentan las litologías respectivas.

La representación gráfica de las diferentes unidades hidrogeológicas presentes en la cuenca alta del Pastaza, se visualizan en el mapa de litopermeabilidades, que se realizó fundamentado en la geología de la zona, la presencia de puntos de agua y las verificaciones y comprobaciones realizadas in situ. Mapa 51.



Mapa 51

Zonas de interés hidrogeológico

En la zona norte de la cuenca definida como la cuenca de río Cutuchi, existe un sector con condiciones favorables para la acumulación y explotación de agua subterránea, estableciéndose dos zonas específicas, que se describen a continuación :

Acuífero Mulaló

El acuífero de importancia se halla delimitado por el río Saquimala al norte y el río Yanayacu al sur; el límite oeste constituye la margen derecha del río Cutuchi y el oriental lo conforma las estribaciones occidentales del Cotopaxi.

La unidad se ubica entre las Cordilleras Occidental y Real de Los Andes, constituyéndose en graben originado por el hundimiento de los bloques centrales. La fisiografía actual está íntimamente ligada a la estructura y composición de las rocas.

Acuífero Pujilí

Se encuentra ubicado en la parte austral de la provincia del Cotopaxi, al este de la ciudad de Latacunga, en el cantón del mismo nombre, caracterizado por tener un clima templado, generalmente seco, una temperatura promedio anual de 12.4°C y con precipitaciones que presentan una media anual de 594 mm.

Hidrogeología

Los materiales de la formación Latacunga y los depósitos laharíticos que afloran mayoritariamente en la zona, han desarrollado un acuífero libre de porosidad intergranular, con permeabilidad variable de media a baja. En base al análisis e interpretación hidrogeológica, geofísica e hidroquímica, se determinó dos zonas con mejores posibilidades de aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo:

Sector sur de Pujilí (zonas de Tres de Mayo, San Juan e Isinche) en donde el estrato acuífero tiene un espesor entre 40 y 50 m, encontrándose el nivel estático (NE) aproximadamente a 65 m. bajo la superficie, profundidad que corresponde a la cota 2870 msnm.

Sector sur-este de Pujilí (zonas de Patoa de Quevedo y Perpetuo Socorro), en donde el espesor de la capa acuífera está comprendido entre 40 y 70 m, encontrándose el NE entre 45 y 60 m. de profundidad, lo cual corresponde aproximadamente a las cotas 2870 a 2880 msnm.

La recarga del embalse subterráneo está en función principalmente de las precipitaciones que se registran en las zonas laterales, localizadas en las partes altas de la Cordillera Occidental y sus estribaciones, que sirven de divisoria de aguas de las cuencas de los ríos Patoa, Isinche y Tingo, en menor grado incrementada por el aporte pluviométrico sobre el acuífero mismo.

La zona de descarga se localizó en el río Patoa, en el sitio de Isinche de Tobares Infantes, lugar en el que se identificó un grupo de vertientes, las cuales determinaron por aforamiento un caudal de 94 l/s.

Cuenca alta del río Ambato

La interpretación hidrogeológica y geofísica permite definir dos áreas potencialmente acuíferas: una ubicada sobre los 3500 msnm, que corresponde a la zona montañosa y de páramo, en donde casi la totalidad del recurso está explotado y otra que corresponde a las áreas bajas de valles y terrazas, donde se presentan afloramientos de buenos rendimientos y que en su mayor parte, son utilizados con fines de riego y abastecimiento de agua potable.

La zona de interés hidrogeológico se localiza en el Callejón Interandino y conforma los nacientes del río Ambato, caracterizada por la presencia de los nevados Chimborazo y Carihuairazo, que debido a su gran altitud, definen los diferentes aspectos climatológicos, que influyen sobre la generación del escurrimiento superficial y subterráneo. Los deshielos provenientes de los nevados, inciden primordialmente en el aporte y recarga del recurso hídrico.

Hidrogeología

Existen dos zonas acuíferas fácilmente diferenciables: la zona de montañas y las áreas bajas de valles y terrazas.

La zona montañosa con presencia de páramos, áreas cenagosas y pequeñas lagunas, en donde afloran lavas basálticas y andesíticas fracturadas, sedimentos piroclásticos y glaciares, encontrándose vertientes de caudales variables.

La alimentación de esta zona proviene casi exclusivamente de los deshielos del Chimborazo y Carihuairazo, en menor porcentaje de la infiltración de aguas meteóricas y superficiales; el agua subterránea es captada por los sistemas hidrográficos en unos casos, o por los canales y acequias de riego.

La circulación del agua y la dirección del flujo se ven favorecidos por las características litoestructurales de las formaciones aflorantes; esta zona a pesar de tener un acuífero superficial se la puede considerar como área de recarga de los acuíferos ubicados en las partes bajas, zonas de Ambato y Totoras.

Las vertientes aflorantes en la margen izquierda del río Ambato, parecen pertenecer a un segundo sistema de alimentación o recarga, que estaría ubicado en la parte alta al noroeste de la cuenca, en el sector de los cerros Casahuala, Sombrero Urco, Mashua Pungu y Sagatoa.

Las áreas bajas de valles y terrazas en donde se ubican las zonas de Ambato y Totoras, se las puede definir como áreas potencialmente acuíferas, hipótesis sustentada por la presencia de vertientes y pozos excavados. El escurrimiento de agua subterránea se ve favorecido por las condiciones litoestratigráficas y estructurales de las formaciones geológicas.

Atención especial merece la zona del río Ambato, en la que afloran vertientes cuyo caudal acumulado es del orden de los 500 l/s, las que en su mayoría han sido captadas para el abastecimiento de agua potable de la ciudad de Ambato.

La circulación del agua y la dirección del flujo, se ven favorecidas por las características litoestructurales de las formaciones geológicas de la zona.

El aporte subterráneo a los cursos de los ríos Ambato y Pachanlica es considerable, pues se estima que el aporte al río Ambato estaría en el orden de los $120 \times 10^6 \text{ m}^3$ anuales y para el río Pachanlica, en el orden de los $36 \times 10^6 \text{ m}^3$ anuales.

Acuíferos en el sector de Riobamba

Regionalmente esta zona corresponde a la denominada depresión Interandina, rasgo morfológico con que se denomina a un hundimiento tectónico limitado por fallas longitudinales de dirección general N – S, que posteriormente ha sido afectada por diferentes episodios volcánicos, originando facies acumulativas, que luego han sido disectadas por la erosión fluvial.

Hidrogeología

Hidrogeológicamente la zona de estudio está constituida por materiales de porosidad intergranular, con permeabilidad media que ha dado lugar a la presencia de acuíferos heterogéneos profundos. La recarga principal está constituida por la infiltración de las aguas meteóricas, que se generan principalmente en las estribaciones del Nudo de Igualata, en el sector norte de la ciudad de Riobamba y para el acuífero de la ciudad, se asume que la recarga se genera tanto en las estribaciones de las cordilleras Oriental y Occidental.

De los resultados e interpretación de la información recopilada, se determinaron las siguientes zonas con potencial hidrogeológico:

Llio

La zona se encuentra localizada en el extremo norte de Riobamba. Geomorfológicamente se caracteriza por presentar un relieve ondulado con presencia de colinas redondeadas y valles en U; el drenaje es escaso y de bajo caudal.

Geológicamente en el área afloran sedimentos volcánicos del plio-cuaternario, litológicamente compuestos por capas de ceniza volcánica, arena fina a media y una toba arcillosa; subyaciendo a éstos, se encuentran materiales piroclásticos y roca efusiva procedentes de los volcanes Chimborazo e Igualata.

En forma general, y dependiendo de la topografía del terreno se estima que a una profundidad media de 23 metros se halla un estrato acuífero de importancia hasta los 70 metros. En el sector existen siete pozos perforados que abastecen de agua potable a Riobamba, con un caudal total aproximado de 330 l/s. Además a poca distancia en la Quebrada San Pablo existe una vertiente con un caudal de 280 l/s, que contribuye al sistema de agua potable de la ciudad.

Licto - San Jorge

En general la zona está cubierta por terrazas aluviales del río Chambo, depositados sobre los conglomerados de la formación Riobamba. De la interpretación geofísica y su correlación con la litología de las formaciones aflorantes en la zona, se desprende que bajo los 70 metros, existe un posible estrato que presenta características favorables para la acumulación de aguas subterráneas.

Pataño

La zona se encuentra sobre sedimentos que forman las terrazas aluviales del río Chibunga. A partir de la interpretación geofísica y su correlación con la litología aflorante en la zona, se desprende que bajo los 30 metros, existe un posible estrato que presenta características favorables para la acumulación de aguas subterráneas.

Pedregal (Yaruquies)

En el sector se realizó tres sondajes eléctricos verticales, interpretados los resultados, se determinó que el tercer horizonte geoelectrico (estrato C) por su resistividad y potencia, se comporta como un estrato con importancia hidrogeológica.

De la información recopilada se puede determinar que esta zona tiene una transmisibilidad= 99.9 m³/día/m.

San Juan - Nitiluisa

Es una zona caracterizada por presentar conjuntos colinados con variadas pendientes, en donde destacan áreas relativamente planas. En este sector se efectuaron actividades de prospección geofísica y se ubica aproximadamente a 12 Km hacia el oeste de Riobamba.

Geológicamente se asienta casi en el contacto entre la formación Riobamba, representada mayoritariamente por conglomerados y la Cangahua, representada por tobas de material generalmente fino. De la información hidrogeológica recopilada, se desprende que en la zona existe una posible zona acuífera explotable bajo los 100 m de profundidad, con una potencia máxima cercana a los 100 metros.

Langos - San Antonio

Es un sector ubicado al norte de Riobamba y geomorfológicamente corresponde a una zona de valles interandinos, con vertientes poco pronunciadas. La formación Riobamba, caracterizada por una litología de conglomerados, cubre toda el área con porosidad primaria – intergranular y permeabilidad media; el suelo es relativamente seco y arenoso. De la interpretación geofísica, podemos indicar que existe un posible acuífero bajo los 25 m. de profundidad.

Guano – Los Edenes

Esta zona se ubica al norte del sector Langos – San Antonio, sobre el límite que forma el inicio de pendiente en las estribaciones bajas del volcán Igualata, con relieves irregulares; el sector corresponde geológicamente a los depósitos aluviales de materiales sedimentarios, relativamente sueltos, formados en el río Guano.

La unidad sobreyace probablemente a la formación Riobamba y tiene una porosidad primaria – intergranular con permeabilidades media a alta; se estima que el acuífero se encuentra a una profundidad entre 45 y 70 metros.

CAPÍTULO IV

AGUAS

TERMOMINERALES

EN EL ECUADOR

4.1. AGUAS TERMOMINERALES EN ECUADOR

Introducción

La ubicación del Ecuador dentro del Círculo de Fuego del Pacífico y su relación con los procesos de subducción, donde la Placa de Nazca desciende debajo de la Placa Sudamericana, incide para que la fuerte actividad magmática y elevados flujos térmicos generados en la corteza terrestre permitan que las aguas subterráneas que circulan a grandes profundidades, adquieran un grado geotérmico alto, que en superficie se manifiestan por surgencias de aguas calientes, ligadas especialmente a rocas volcánicas continentales de edad pliocuaternaria, así como depósitos glaciares, fluvio-glaciares y aluviales del cuaternario, asociados a un contexto estructural caracterizado por lineamientos y fallas activas.

Las aguas termales y minerales en el país, genéticamente están relacionadas con aparatos volcánicos jóvenes y sistemas de fallas y fisuras. Estas aguas proceden del interior de la tierra, en donde por procesos geodinámicos y termodinámicos, se encuentran a temperaturas muy elevadas y con un alto grado de mineralización. El agua, al llegar a una zona de fallamiento y/o diaclasamiento, asciende rápidamente.

Génesis de las aguas termominerales.

Se denominan aguas termales a las surgencias y/o captaciones de aguas subterráneas que salen del subsuelo, con un calor mayor a 5°C que la temperatura media del lugar.

El agua subterránea, al circular por zonas altamente fisuradas de la corteza terrestre, va aumentando su temperatura por el gradiente geotérmico, que se lo define como la profundidad de penetración en el suelo, expresada en metros, necesaria para que la temperatura aumente 1°C.

Su valor en término medio es de 30 a 35 metros, variando según las localidades y la profundidad; en las regiones volcánicas disminuye de 10 - 15 metros. En zonas de vulcanismo reciente, el agua puede verse afectada por el calor que el magma transfiere a las rocas adyacentes y por influencia de las aguas juveniles hipertermales.

Inventario nacional de fuentes termominerales

Ante la insuficiente disponibilidad de información actualizada, el Inamhi, a través del Grupo de Estudios Hidrogeológicos, consideró de importancia fundamental, realizar el inventario y monitoreo de fuentes termominerales del Ecuador, como un aporte al conocimiento de los recursos hídricos del país y específicamente en este campo.

Para el efecto inventarió y georeferenció alrededor de 120 fuentes de aguas termominerales y en cada una de las fuentes inventariadas, se determinó la temperatura, conductividad y pH. La distribución espacial en el territorio continental se visualiza en el Mapa 52.

Clasificación de las aguas por su temperatura.

La temperatura es la principal característica de las aguas termominerales, por lo que para su determinación fue necesario verificar en el origen de su nacimiento, la temperatura a la que emergía la fuente, empleándose para el efecto, una termocupla con precisión de décimas de grado.

Por lo general, se consideran termales en relación con la temperatura, aquellas aguas subterráneas que en su punto de emergencia, poseen una temperatura mayor que la temperatura media anual del ambiente. Esta diferencia debe ser superior a 5°C; de ello se obtiene la siguiente clasificación:

- **Frías:** menos de 20°C.
- **Hipotermales:** entre 20 y 30°C.

- **Termales:** entre 30 y 40°C.
- **Hipertermales:** de más de 40°C.

Esta clasificación es considerada universal y resulta la más aceptada, por lo que se la aplicó para el caso de este estudio y se la presenta en el Cuadro Resumen de Fuentes Termales Inventariadas por el Inamhi a Nivel Nacional - Año 2012.

Clasificación hidroquímica

El agua, al entrar en contacto con las rocas, adquiere su composición química mediante un proceso complejo, donde intervienen diferentes factores de tipo químico-físico, geológico, hidrogeológico, geomorfológico, pedológico, climático, antrópico y otros, que le dan las características de aguas minerales.

Los procesos físicos-químicos y termodinámicos, que condicionan la disolución de los minerales, desempeñan un papel importante en la forma en que las aguas naturales adquieren e incorporan en forma iónica, los diferentes elementos que definen su composición química.

Existen diversas clasificaciones de aguas termominerales, de acuerdo a su composición química, que en general tratan de dar importancia a los componentes principales, al ión predominante, a su salinidad, al carácter radioactivo, etc.

V.A. Souline (1946), clasifica las aguas termominerales de acuerdo a la relación existente entre la concentración de los iones Sodio (Na^+), Cloro (Cl^-), Sulfatos (SO_4^{2-}), y Magnesio (Mg^{++}), expresados en miliequivalentes por litro (meq/l),

Para conocer la composición química de cada una de las fuentes inventariadas y su variabilidad espacial, en los puntos seleccionados se tomó una muestra de agua, que fueron analizadas en el laboratorio del Inamhi.

El análisis e interpretación de los resultados permite la clasificación de acuerdo a la relación iónica, como se observa en el cuadro de relaciones ionicas y su distribución espacial, en el Mapa 54 Clasificación por su Relación Ionica.

Las características principales, como temperatura y conductividad del agua, se describen en el cuadro Resumen de fuentes termales inventariadas por el Inamhi a nivel nacional - Año 2012. Mapa 52 Clasificación por su salinidad y Mapa 53 Clasificación por su temperatura.

Cuadro de Relaciones Iónicas

RELACIÓN	CLASIFICACIÓN
$r \frac{\text{Na}^+ \text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{2-}} = 1$	Sulfatada-sódica
$r \frac{\text{Na}^+ \text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{2-}} < 1$	Bicarbonatada-sódica
$r \frac{\text{Cl}^- \text{Na}^+}{\text{Mg}^{++}} = 1$	Clorurada-magnésica
$r \frac{\text{Cl}^- \text{Na}^+}{\text{Mg}^{++}} < 1$	Clorurada-cálcica
r: miliequivalentes	

Aguas mineromedicinales

Se denominan mineromedicinales aquellas aguas, que por su composición y características propias, pueden ser utilizadas con fines terapéuticos (Armijo y San Martín, 1974).

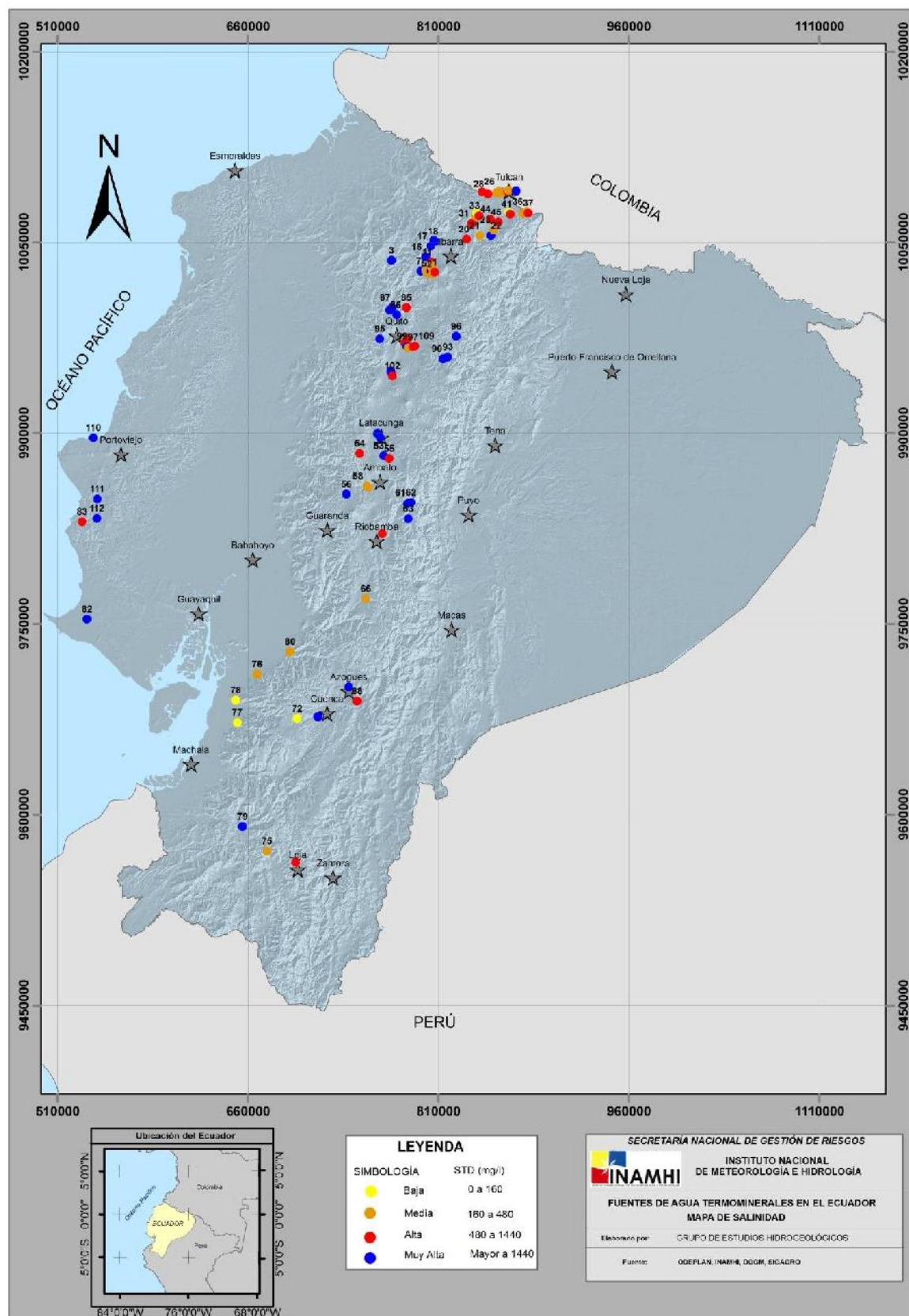
La historia del agua, como agente terapéutico, se remonta a las antiguas tribus que habitaban en las cavernas. Sin ningún tipo de conocimiento, tan sólo por la capacidad de observación que tiene el hombre, consiguieron iniciar una técnica terapéutica que se mantiene vigente hasta hoy en día.

En el Ecuador, a las fuentes de aguas con características termominerales, se les atribuye desde tiempos pasados propiedades curativas y relajantes. Desde la cosmovisión andina, se las asocia siempre con el misticismo y la leyenda.

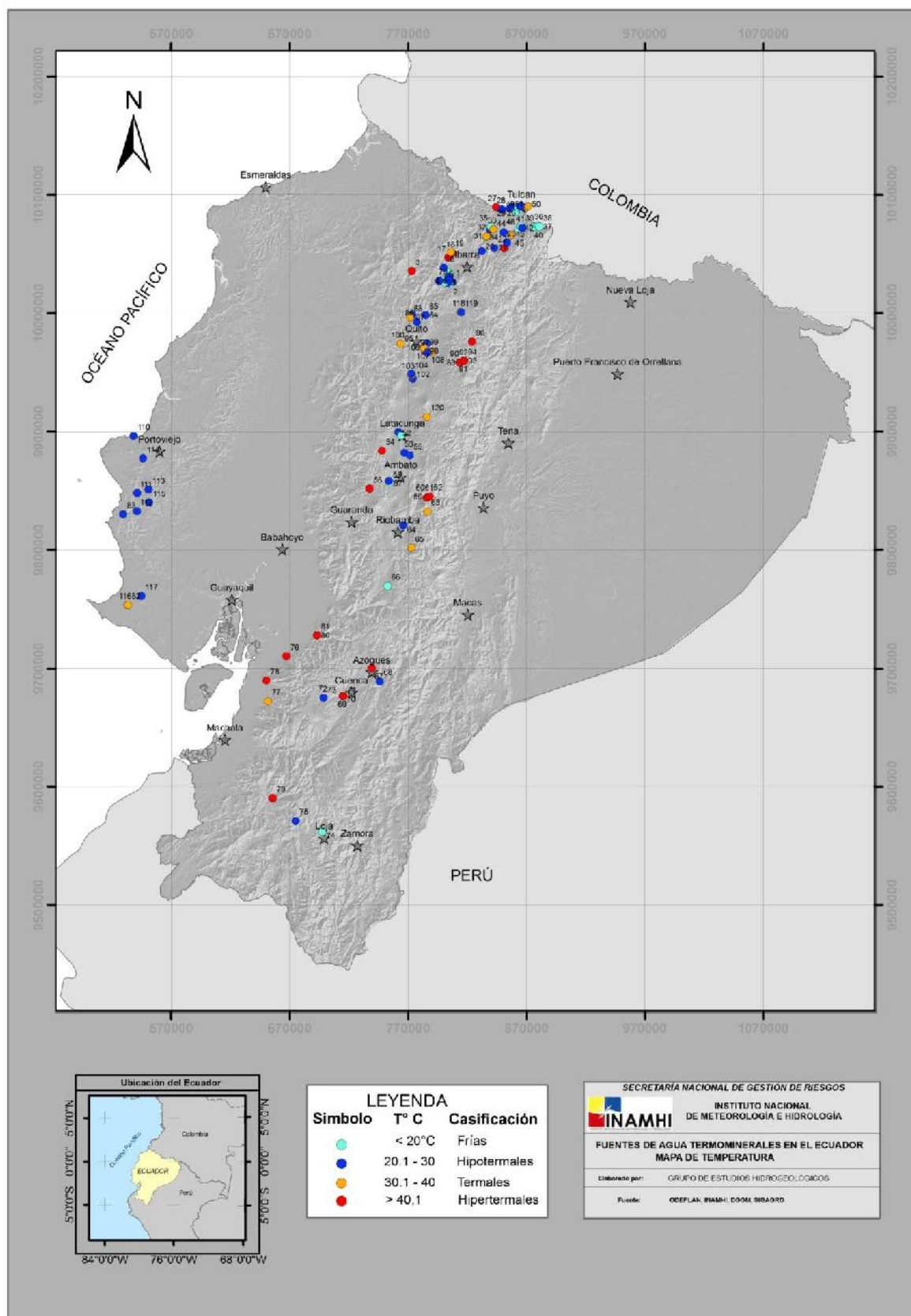
CUADRO RESUMEN DE FUENTES TERMALES INVENTARIADAS POR EL INAMHI A NIVEL NACIONAL- AÑO 2012

Nº	FECHA	LOCALIDAD	COORDENADAS		COTA	PARAMETROS FISICOS			CLASIFICACION POR TEMPERATURA	CLASIFICACION POR CONDUCTIVIDAD
			LONG.	LATI.		pH	CE mS/cm	T °C		
1	09/04/2012	Peguchi	807200	10026536	2604	7,7	1827	22,3	HIPOTERMAL	ALTA
2	09/04/2012	El Neptuno	805055	10025039	2603	7,7	272	16,1	FRIA	MEDIA
3	10/04/2012	Nangulví	773106	10035814	2584	7,7	4330	47,6	HIPERTERMAL	MUY ALTA
4	10/04/2012	Gualsaquí- La Santísima	800160	10028263	2608	8,4	355	19,3	FRIA	MEDIA
5	10/04/2012	Lajartijas	803768	10025719	2595	6,4	464	21,0	HIPOTERMAL	MEDIA
6	11/04/2012	Quichinche	801066	10026041	2630	6,7	334	17,0	FRIA	MEDIA
7	11/04/2012	Ingachaca #1	796334	10027408	2664	7,0	2800	25,0	HIPOTERMAL	MUY ALTA
10	11/04/2012	La Gruta Pta. Elec.	805372	10031875	2375	7,2	715	23,0	HIPOTERMAL	MEDIA
11	11/04/2012	Yanayacu	804776	10034555	2448	6,9	2010	19,6	FRIA	ALTA
12	11/04/2012	Sucusyacu	804335	10030549	2449	7,9	678	18,4	FRIA	MEDIA
13	11/04/2012	Quebrada de Lavar	804216	10030468	2473	6,9	822	19,2	FRIA	ALTA
14	11/04/2012	Tung Tung	804203	10030340	2427	6,7	1570	22,0	HIPOTERMAL	ALTA
15	12/04/2012	R. Ambí (La Salud)	803839	10028023	2480	7,1	4620	27,5	HIPOTERMAL	MUY ALTA
16	12/04/2012	San José	800007	10038566	2207	7,6	3990	22,2	HIPOTERMAL	MUY ALTA
17	12/04/2012	Timbuyacu	804018	10047196	2736	7,3	4790	41,0	HIPERTERMAL	MUY ALTA
18	12/04/2012	Chachimbiro	807320	10050833	2672	7,6	6650	55,0	HIPERTERMAL	MUY ALTA
19	12/04/2012	Hda. Chachimbiro	806400	10051732	2600	7,2	3790	40,8	HIPERTERMAL	MUY ALTA
21	13/04/2012	Bolívar (El Aguacate)	174795	10055262	2458	7,16	337	20,4	HIPOTERMAL	MEDIA
22	13/04/2012	Gruta de La Paz	183391	10055243	2458	7,07	2520	50,0	HIPERTERMAL	MUY ALTA
23	13/04/2012	Canchaguanó	185653	10059790	2714	6,55	505	22,0	HIPOTERMAL	MEDIA
24	14/04/2012	El Neptuno	197286	10090873	2879	7,16	626	22,2	HIPOTERMAL	MEDIA
24-	14/04/2012	El Neptuno	197286	10090873	2879	6,6	418	22,3	HIPOTERMAL	MEDIA
25	14/04/2012	El Marínez	196662	10090267	2847	6,68	1943	28,2	HIPOTERMAL	ALTA
26	14/04/2012	La Joya	189681	10090033	2972	7,4	372	22,5	HIPOTERMAL	MEDIA
27	14/04/2012	Aguas Hediondas	176535	10089617	3612	5,65	1773	51,0	HIPERTERMAL	ALTA
28	14/04/2012	Aguas Verdes (Tufiño)	181298	10087963	3293	8,17	759	22,6	HIPOTERMAL	ALTA
29	14/04/2012	San Miguel De Car	188045	10088896	2998	6,74	407	22,5	HIPOTERMAL	MEDIA
30	15/04/2012	La Calera # 1	168338	10064839	2525	6,57	1263	34,6	TERMAL	ALTA
31	15/04/2012	La Calera # 2	168364	10065066	2631	6,98	1074	31,5	TERMAL	ALTA
32	15/04/2012	Puente Ayora	171395	10070533	2620	6,83	423	22,4	HIPOTERMAL	MEDIA
33	15/04/2012	Chabayan # 1	174128	10070957	3138	8,31	858	30,5	TERMAL	ALTA
34	15/04/2012	Chabayan # 2	174074	10070982	3132	7,78	837	33,0	TERMAL	ALTA
35	15/04/2012	Aguas Calientes (Libertad)	172210	10073042	3090	8,14	198	19,0	FRIA	BAJA
36	16/04/2012	El Carmelo	211908	10074091	2805	6,78	432	15,1	FRIA	MEDIA
37	16/04/2012	La Florida Baja	212827	10073094	2780	5,9	1008	16,0	FRIA	ALTA
39	16/04/2012	Agua Fuerte	208587	10072936	2982	7,05	701	15,0	FRIA	MEDIA
40	17/04/2012	Ajun	208252	10072772	2965	5,2	480	15,0	FRIA	MEDIA
41	16/04/2012	Santa Teresita (J. Andrade)	198732	10072152	2899	7,13	1594	21,0	HIPOTERMAL	ALTA
42	16/04/2012	Cucacho # 2	197426	10073766	2894	7,89	98	14,4	FRIA	BAJA
43	17/04/2012	Cucacho # 1	197371	10073664	2932	6,96	159	14,6	FRIA	BAJA
44	16/04/2012	Paluz	182904	10068364	2965	7,63	1002	22,0	HIPOTERMAL	ALTA
45	16/04/2012	El Sixsal	189308	10066005	2717	6,95	1904	35,0	TERMAL	ALTA
46	17/04/2012	El Proyecto	195826	10071230	2811	6,8	164	15,5	FRIA	BAJA
47	17/04/2012	La Ovejera	190885	10088733	2933	7,75	567	29,5	HIPOTERMAL	MEDIA
48	18/04/2012	El Chita	192997	10085575	2975	7,5	122	16,8	FRIA	BAJA
49	19/04/2012	El Puetate	195462	10089447	2945	6,7	148	18,0	FRIA	BAJA
50	18/04/2012	Rumichaca # 1	203343	10090202	2779	7,49	2840	39,0	TERMAL	MUY ALTA
51	13/04/2012	Tumbatú	832239	10052581	1596	7,79	750	22,5	HIPOTERMAL	ALTA
52	18/04/2012	Rumichaca (La Olla)	203291	10090479	2778	7,81	2980	33,0	TERMAL	MUY ALTA
52	18/07/2012	Pitigua	761955	9899700	2832	7,47	4100	22,50	HIPOTERMAL	MUY ALTA
53	18/07/2012	Panzaleo	766866	9882158	2645	8,64	3130	22,5	HIPOTERMAL	MUY ALTA
54	18/07/2012	Cusubamba	748059	9883960	3527	8,2	1269	44,8	HIPERTERMAL	ALTA
55	19/07/2012	Guapante	771351	9880026	2580	7,66	1000	25,0	HIPOTERMAL	ALTA
56	19/07/2012	Cununyacu	737474	9851982	3683	8,14	4530	40,3	HIPERTERMAL	MUY ALTA
57	19/07/2012	Aguañan # 1	754726	9857218	2670	7,51	531	14,7	FRIA	MEDIA
58	19/07/2012	Aguañan # 2	753915	9858370	2806	8,38	499	20,8	HIPOTERMAL	MEDIA
59	20/07/2012	Baños (salado)	785653	9844452	1929	7,3	6560	55,0	HIPERTERMAL	MUY ALTA
60	20/07/2012	Baños (La Virgen) #1	787400	9845225	1832	7,49	5090	52,8	HIPERTERMAL	MUY ALTA
61	20/07/2012	Baños (La Virgen) # 2	787400	9845225	1832	7,16	5090	50,7	HIPERTERMAL	MUY ALTA

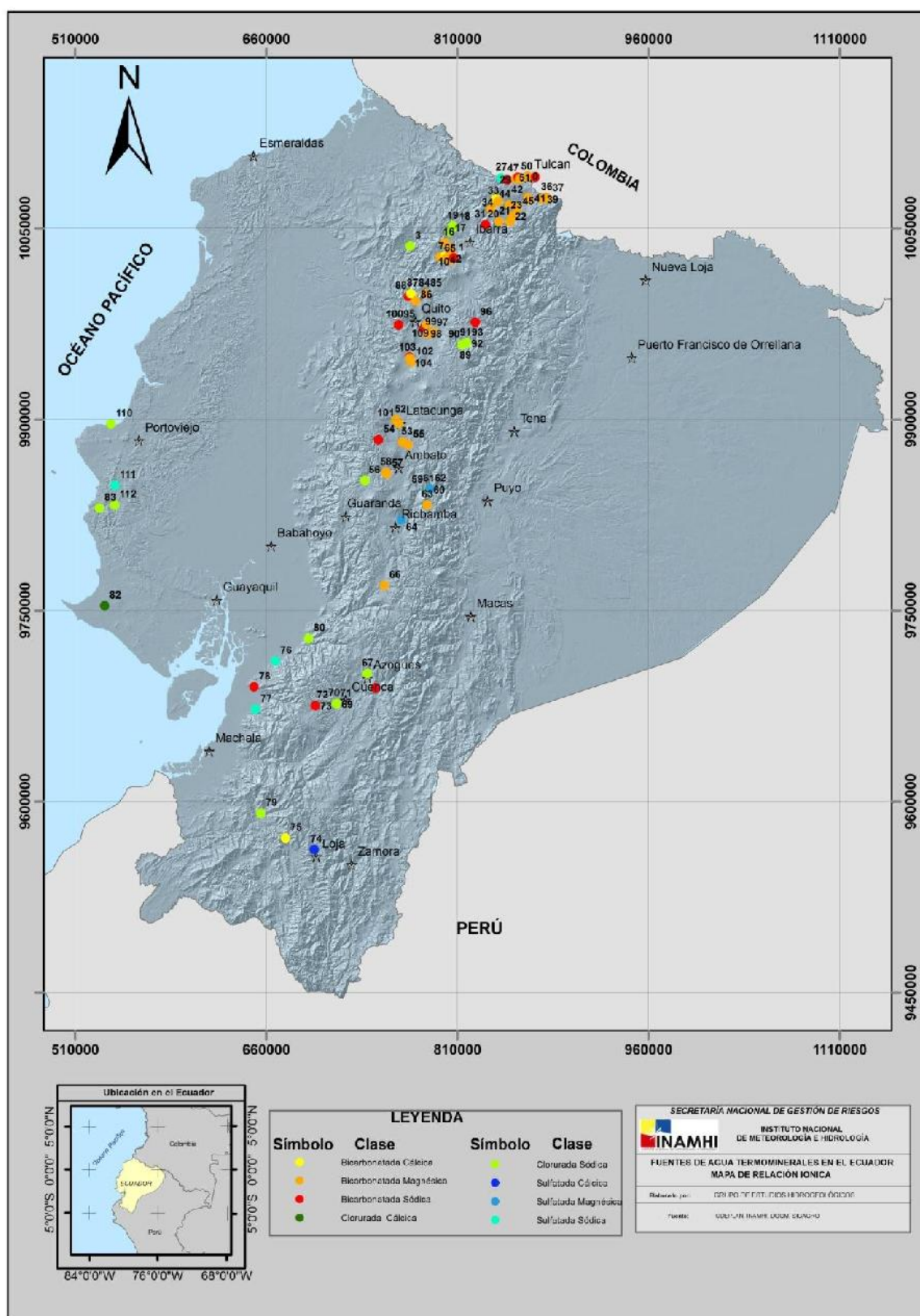
CUADRO RESUMEN DE FUENTES TERMALES INVENTARIADAS POR EL INAMHI A NIVEL NACIONAL- AÑO 2012										
N°	FECHA	LOCALIDAD	COORDENADAS		COTA	PARAMETROS FISICOS			CLASIFICACION POR TEMPERATURA	CLASIFICACION POR CONDUCTIVIDAD
			LONG.	LATI.		pH	CE mS/cm	T °C		
62	20/07/2012	Baños (Santa Ana)	788477	9845442	1904	7,31	4810	44,8	HIPERTERMAL	MUY ALTA
63	21/07/2012	Palictahua	786182	9832735	2830	6,99	3000	40,0	HIPERTERMAL	MUY ALTA
64	21/07/2012	Los Elenes	765919	9820912	2590	7,75	1938	22,7	HIPOTERMAL	ALTA
66	21/07/2012	Palмира	752709	9769720	3227	8,07	382	14,8	FRIA	MEDIA
67	22/07/2012	Guapan	739369	9700312	2680	7,46	16440	55,0	HIPERTERMAL	MUY ALTA
68	22/07/2012	Shumir (Huacas)	746049	9689232	2314	7,67	1126	21,2	HIPOTERMAL	ALTA
69	22/07/2012	Baños (Comp. Piedra de Agua)	715229	9676860	2706	6,99	4130	49,3	HIPERTERMAL	MUY ALTA
70	23/07/2012	Baños (Complejo Rodas)	714918	9676962	2695	7,24	4240	42,0	HIPERTERMAL	MUY ALTA
71	23/07/2012	Baños (Comp. Duran (El Riñón))	715437	9676796	2705	7,11	3900	71,6	HIPERTERMAL	MUY ALTA
72	23/07/2012	Soldados Chico (El Calabozo)	698686	9675373	2694	9,27	233	35,8	TERMAL	BAJA
73	23/07/2012	Soldados Chico (El Calabozo)	698685	9675368	2694	9,09	262	25,5	HIPOTERMAL	MEDIA
74	23/07/2012	Aguas Hediondas (Loja)	697669	9562294	2030	7,34	1568	19,5	FRIA	ALTA
75	24/07/2012	Agua del Milagro (El Cisne)	675118	9571278	2032	7,56	330	20,3	HIPOTERMAL	MEDIA
76	24/07/2012	Aguas Calientes (Baln. El Paraíso)	667285	9710332	123	9,59	415	41,5	HIPERTERMAL	MEDIA
77	25/07/2012	La Florida	651641	9672280	121	9,79	235	37,5	TERMAL	BAJA
78	25/07/2012	Comunidad Shuar	650434	9689890	109	9,83	165	41,8	HIPERTERMAL	BAJA
79	25/07/2012	Aguas Calientes (Portovelo)	655774	9590582	688	7,29	2900	45,1	HIPERTERMAL	MUY ALTA
80	26/07/2012	Yanayacu (Fuente de Salud)	693242	9728084	268	9,62	491	43,2	HIPERTERMAL	MEDIA
81	27/07/2012	Yanayacu (Fuente de Salud)	693177	9728058	268	9,49	485	44,1	HIPERTERMAL	MEDIA
82	27/09/2011	Baños San Vicente	533242	9753740	64	8,24	2270	37,3	TERMAL	MUY ALTA
83	25/09/2012	Aguas Blancas	529385	9830264	65	8,67	1561	27,7	HIPOTERMAL	ALTA
84	26/11/2012	San Antonio de Pichincha 1	784832	9998676	2360	7,50	1320	21,4	HIPOTERMAL	ALTA
85	26/11/2012	San Antonio de Pichincha 2	784876	9998630	2353	6,68	894	22,3	HIPOTERMAL	ALTA
86	26/11/2012	Pululahua	777391	9992843	2105	6,20	2550	26,4	HIPOTERMAL	MUY ALTA
87	26/11/2012	Calacalí 1	773604	9998625	2638	6,39	4100	26,9	HIPOTERMAL	MUY ALTA
88	26/11/2012	Calacalí-Nono 2	771697	9996642	2579	6,56	4370	30,5	TERMAL	MUY ALTA
89	27/11/2012	Jamanco 1	813549	9958541	3483	6,33	6920	61,6	HIPERTERMAL	MUY ALTA
90	27/11/2012	Jamanco 2	813654	9958472	3478	6,63	7730	74,0	HIPERTERMAL	MUY ALTA
91	27/11/2012	Termas de Papallacta 1	817134	9960000	3339	7,00	2880	53,0	HIPERTERMAL	MUY ALTA
92	27/11/2012	Termas de Papallacta 2	817162	9959818	3343	6,86	4500	61,2	HIPERTERMAL	MUY ALTA
93	27/11/2012	Termas de Papallacta 3	817346	9960000	3326	7,10	2360	56,7	HIPERTERMAL	MUY ALTA
95	28/11/2012	Lloa 1	763890	9974155	2773	6,66	2650	34,1	TERMAL	MUY ALTA
96	29/11/2012	Oyacachi	824152	9976140	3192	6,47	5010	50,1	HIPERTERMAL	MUY ALTA
97	30/11/2012	La Merced	790011	9967713	2595	6,58	1158	34,8	TERMAL	ALTA
98	30/11/2012	El Tingo 1	785065	9968295	2470	6,98	3230	43,8	HIPERTERMAL	MUY ALTA
99	30/11/2012	El Tingo 2	785065	9968295	2470	6,99	2960	42,8	HIPERTERMAL	MUY ALTA
100	28/11/2012	Lloa 2	763891	9974167	2773	6,38	3810	32,4	TERMAL	MUY ALTA



Mapa 52



Mapa 53



Mapa 54

GLOSARIO TÉCNICO

A

Acuífero.- Formación geológica que contiene agua y que la drena en cantidades considerables.

C

Cartografía.- Información sobre topografía, geodesia, fotogrametría.

Contacto.- Límite entre diferentes unidades litológicas.

Contaminación.- Introducción en un medio cualquiera de un contaminante.

Cuaternario.- También llamado neozoico, es el último o más reciente de los grandes períodos geológicos. Se desarrolla entre el final del período terciario y el comienzo de las glaciaciones como el límite inferior, hasta nuestros días como límite superior.

D

Depósito aluvial.- Estrato constituido por arena media a gruesa y gravas de granulometría gruesa a media y redondeadas.

Drenajes.- En geología, es cualquier medio por el que el agua contenida en una zona fluye a través de la superficie o de infiltraciones en el terreno.

E

Erosión.- Proceso de sustracción de roca al suelo, generalmente por acción de corrientes superficiales de agua o viento.

Estratificadas.- Disposición en capas paralelas de las rocas sedimentarias.

F

Fallamiento.- Rompimiento de alguna parte de las rocas acompañado de un desplazamiento, ya sea vertical, horizontal o ambos.

Facies.- Conjunto de caracteres petrográficos y paleontológicos que definen un depósito o una roca. La facies de un estrato permite reconstruir el medio en el que ha sido depositado.

Formación.- Unidades litoestratigráficas que están definidas por una litología primaria.

Fracturas.- Se define al desplazamiento producido de dos bloques adyacentes. El desplazamiento puede ser de milímetros, hasta centenas de metros.

G

Granulares.- La expresión material granular agrupa a todos los materiales compuestos exclusivamente por granos.

Granulometría.- La granulometría representa la distribución de los tamaños que posee un material.

Graben.- Depresión de forma alargada limitada por fallas.

H

Heterogeneidad.- Distinta naturaleza.

I

Impermeable.- Estrato que no permite la infiltración.

Intergranular.- Tipo de porosidad primaria, típica de areniscas, caracterizada por presentar buena interconectividad y permeabilidad.

Intrusión marina.- Es una fuente de contaminación del agua subterránea.

L

Litología.- Es la parte de la geología que trata de las rocas, especialmente de su tamaño de grano, del tamaño de las partículas y de sus características.

M

Método geoelectrico.- Es un método indirecto de prospección que consiste en hacer pasar una corriente de determinada intensidad eléctrica por medio de dos electrodos.

Monitoreo.- Sistema permanente para medir el nivel freático, EC, pH, temperatura

N

Nivel freático.- Nivel superior de la zona de saturación del agua subterránea en las rocas.

O

Omhm.- Unidad en que se mide la resistividad eléctrica.

P

Pluviosidad.- Cantidad de agua que cae sobre una determinada extensión de terreno.

Prospección geofísica.- Técnicas geofísicas que intentan distinguir o reconocer las formaciones geológicas.

R

Recarga.- Se trata de agua que se infiltra al terreno por las llamadas áreas de recarga.

Rendimiento.- Capacidad de extracción de agua de un pozo.

Reservas.- Referente a la cantidad de agua de un acuífero.

Resistividad.- Magnitud característica que mide la capacidad de un material para oponerse al flujo de una corriente eléctrica.

S

Salinidad.- Concentración de sales disueltas en el agua.

Salobre.- Agua que contiene sal en una proporción significativamente menor que el agua marina. El agua salobre no es potable.

Sondajes eléctricos.- Método para complementar la prospección hidrogeológica.

T

Terrazas.- Material depositado por un río en forma de bancos a diferentes niveles.

LITERATURA CONSULTADA

ASTIER, J.L. (1982): Geofísica Aplicada a la Hidrología. 2ª Edición. Paraninfo.
BENITEZ, A. (1972): Captación de Aguas Subterráneas. 2ª Edición. Dossat, S.A. Madrid.
CASTANI G. (1975) Prospección y Exploración de Aguas Subterráneas (2ª Edición).
CUSTODIO,E & LLAMAS,R. (1983) Hidrología Subterránea (2ª Edición).
DAVIS,S.D & De WIEST,R,J (1971) Hidrogeología.
GIBSON,U.P&SINGER R.D.(1974) Manual de los Pozos Pequeños (2ª Edición).
MARTINEZ-ALFARO,P.E.,MARTINEZ-SANTOS,P. (2005) Fundamentos de Hidrogeología .
STRUCKMEIER W.F & MARGAT. J. (V.17-1995) Hidrogeological Maps A Guide and a Standard Legend.

Curso Nacional de Aguas Subterráneas EPN-(1980).
Carta Hidrotermal del Ecuador INERHI- (Inventario de Fuentes Termales del Ecuador. 1984).
Mapa Hidrogeológico del Ecuador –INAMHI-DGGM, 1983.
Plan Nacional de Recursos Hidráulicos del Ecuador (Anexo2.- Recursos Subterráneos,-INERHI-1986).

PÁGINAS DESTACADAS DE LA INTERNET

www.unesco.org.uy/phi/libros
www.usgs.gov/ciencias/del_agua
<http://www.fortunecity.com/campus/carthage/1033/Pag2/acuif.htm>
<http://www.astromia.com/tierraluna/aguasubterraneas.htm> <http://www.sinia.cl/1292/articles->
http://aguas.igme.es/igme/publica/libro35/pdf/lib35/in_1.pdf30024_textomanual.pdf
http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/Conceptos_Hidrogeol.pdf
<http://web.usal.es/~javisan/hidro/hidro.htm>
<http://es.wikipedia.org/wiki/Hidrogeolog%C3%ADa>
<http://aguas.igme.es/igme/homeC.htm>
http://www.igme.es/internet/web_aguas/igme/homec.htm
<http://aguas.igme.es/igme/publica/libro20/lib20.htm>
<http://www.appliedhydrogeology.com/>
<http://tierra.rediris.es/hidrored/>

