



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

**SEMINARIO DE GRADUACIÓN  
HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA EN ZONAS COSTERAS**

“Modelo Conceptual Del Acuífero Del Río De Olón”

**TESINA DE GRADUACIÓN**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO GEÓLOGO**

**Presentada por:**

Miguel Ángel Calderón Torres

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2010**

# AGRADECIMIENTO

A Dios Padre y a la Santísima Virgen María por la vida y por las bendiciones en el día a día con el objetivo de salir adelante a base de sacrificio y esfuerzo.

Un profundo agradecimiento a mis Padres por su gran amor, por haberme formado tanto en valores como en la fe y por haberme sabido guiar con sus sabios y acertados consejos para que sea una persona de bien. Y a mis hermanos por su apoyo incondicional.

A mis maestros que pusieron su granito de arena en mi formación académica, especialmente al ahora compañero de labores y amigo Ing. Carlos Martillo por sus valiosos consejos en mi formación profesional.

A mis amigos, compañeros de aula y colegas de trabajo que supieron darme su apoyo para la culminación de este trabajo.

A mi familia y de manera muy especial a mi leal compañera y esposa María Priscila Zambrano por su amor y comprensión, y por enseñarme que en esta vida lo que más sacrificio toma es lo que más dura y más regocijo produce en el corazón, TE AMO.

Y a todas las personas quienes de una u otra manera formaron parte para que este proyecto salga adelante y con especial consideración y reconocimiento a la Phd. Paola Romero Crespo, directora del Seminario de Graduación.

# DEDICATORIA

A MI FAMILIA  
A MIS PADRES  
A MIS HERMANOS  
A MI ESPOSA  
A MIS MAESTROS  
A MIS AMIGOS

# **TRIBUNAL DE GRADUACIÓN**

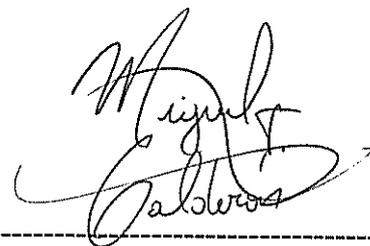
Ing. Edison Navarrete C.  
**SUB-DECANO ENCARGADO  
DE LA FICT**

Phd. Paola Romero C.  
**DIRECTORA DE TESINA**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesina de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Miguel Calderón Torres', written over a horizontal dashed line.

Miguel Ángel Calderón Torres.

## **RESUMEN**

El presente trabajo desarrolla el Modelo Conceptual del acuífero del Río Olón, tratando de ajustarlo a las condiciones litológicas e hidrogeológicas de la cuenca hidrográfica en estudio con el objetivo de aportar con ideas a un plan de explotación sostenible del acuífero en mención.

En su primera parte se recopila toda la información existente de la zona, con el propósito de crear una base de datos geológica-espacial. Una vez revisada, se convierten los datos a una proyección cartográfica para su posterior análisis y procesos respectivos con la ayuda de un sistema de información geográfico (SIG) y software especializado.

Luego se procede a modelar e interpretar los resultados con el objetivo de verificar si la ubicación actual de pozos y colectores es ideal para la explotación del acuífero y para tratar de identificar nuevas áreas de interés para la prospección y explotación del mismo.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	VII
ÍNDICE GENERAL .....	VIII
ABREVIATURAS .....	XII
SIMBOLOGÍA.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVI
ÍNDICE DE MAPAS.....	XVII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	XVIII
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

#### I. GENERALIDADES

1.1 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA DEL AGUA EN LA COMUNA OLÓN.....	3
1.2 OBJETIVOS .....	4
1.2.1 <i>Objetivo General</i> .....	4
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	5
1.3 ÁREA DE ESTUDIO .....	5
1.4 METODOLOGÍA A USARSE EN EL PRESENTE ESTUDIO .....	6
1.5 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN DE ESTUDIOS ANTERIORES .....	8

## CAPÍTULO II

### II. MARCO TEÓRICO

2.1	CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDROGEOLOGÍA .....	9
2.1.1	<i>Ciclo Hidrológico</i> .....	9
2.1.2	<i>Aguas Subterráneas</i> .....	12
2.2	ACUÍFEROS Y SUS PROPIEDADES.....	17
2.2.1	<i>Tipos de Acuíferos</i> .....	19
2.2.1.1	Acuífero Poroso-Libre-Interior.....	22
2.2.1.2	Acuífero Fisurado-Libre-Interior .....	23
2.2.1.3	Acuífero Poroso-Confinado-Interior .....	23
2.2.1.4	Acuífero Poroso-Libre-Costero .....	24
2.2.2	<i>Balance Hídrico de un Acuífero</i> .....	26
2.2.3	<i>Intrusión Marina</i> .....	28
2.3	PROSPECCIÓN GEOFÍSICA.....	32
2.3.1	<i>Definición y Generalidades</i> .....	32
2.3.2	<i>Métodos Geoeléctricos</i> .....	34
2.3.3	<i>Resistividad Eléctrica de Suelos</i> .....	37
2.3.4	<i>Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)</i> .....	42
2.3.4.1	Método Wenner .....	45
2.3.4.2	Método Schlumberger.....	46

## CAPÍTULO III

### III. MARCO GEOGRÁFICO REGIONAL

3.1	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	48
3.2	GEOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	50

3.3	ESTRATIGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	51
3.3.1	<i>Formación Cayo (Cretácico Superior)</i> .....	51
3.3.2	<i>Grupo Ancón (Eoceno Medio – Superior)</i> .....	52
3.3.3	<i>Formación Socorro (Eoceno Medio)</i> .....	52
3.3.4	<i>Formación Seca (Eoceno Superior)</i> .....	53
3.3.5	<i>Formación Zapotal (Eoceno Superior – Oligoceno Inferior)</i> .....	53
3.3.6	<i>Depósito Aluvial (Cuaternario)</i> .....	54
3.4	GEOMORFOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	55
3.4.1	<i>Colinas Sobre Sedimentos Terciarios</i> .....	56
3.4.2	<i>Cordilleras Costeras</i> .....	56
3.5	CLIMATOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	57
3.5.1	<i>Generalidades de la Zona Litoral y Zona de Estudio</i> .....	57
3.5.2	<i>Clasificación Climática según Köppen</i> .....	59
3.5.3	<i>Precipitaciones</i> .....	62
3.5.4	<i>Temperaturas e Irradiación Solar</i> .....	64
3.5.5	<i>Humedad</i> .....	67
3.6	RED HIDROGRÁFICA Y RECURSOS DE AGUA SUBTERRÁNEA.....	68

## CAPÍTULO IV

### IV. BASE DE DATOS GEOESPACIAL

4.1	CREACIÓN DE UNA BASE DE DATOS GEOLÓGICA–ESPACIAL Y VECTORIZACIÓN DE MAPAS.....	71
4.2	ANÁLISIS DE LA FUENTE DE DATOS .....	72
4.2.1	<i>Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)</i> .....	72
4.2.2	<i>Análisis de Pozos y Colectores de Agua</i> .....	77
4.2.3	<i>Características de las Muestras Tomadas</i> .....	80

**CAPÍTULO V**

**V. SÍNTESIS DE RESULTADOS**

5.1 INTERPRETACIÓN DE LOS RECURSOS EXISTENTES EN LA CUENCA DEL RÍO DE OLÓN ..... 84

    5.1.1 *Recursos Geográficos* ..... 84

    5.1.2 *Recursos Litológicos* ..... 86

    5.1.3 *Recursos Hidrogeológicos*..... 87

5.2 DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DE INTERÉS EN EL ACUÍFERO DE OLÓN.. 88

5.3 ANÁLISIS DE PERFILES..... 92

5.4 INVENTARIO DE LOS RECURSOS EXISTENTES EN EL SUBSUELO ..... 96

**CONCLUSIONES ..... 98**

**RECOMENDACIONES..... 99**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ABREVIATURAS

h	Altura
$\Delta V$	Diferencia de Potencial
$^{\circ}C$	Grado Centígrado
g	Gravedad
m	Metro
$m^3$	Metro Cúbico
mA	Mili amperios
mV	Mili voltios
mm	Milímetro
$\Omega$	Ohm
$\rho$	Resistividad
$\rho_a$	Resistividad Aparente
SEV	Sondeo Eléctrico Vertical

## SIMBOLOGÍA

$k$	Constante Geométrica
$\delta$	Densidad
$K$	Índice de Köppen
$I$	Intensidad de Corriente
$P$	Presión
$R$	Resistencia
$T$	Temperatura

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. II. 1.- CICLO HIDROLÓGICO DEL AGUA .....	10
FIG. II. 2.- DISTRIBUCIÓN MUNDIAL DEL AGUA.....	13
FIG. II. 3.- VOLÚMENES EQUIVALENTES DE LAS MASAS DE AGUA DULCE.....	14
FIG. II. 4.- ESQUEMA DE ACUÍFERO LIBRE Y CAUTIVO .....	19
FIG. II. 5.- COMBINACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE ACUÍFEROS.....	21
FIG. II. 6.- ACUÍFERO POROSO-LIBRE-INTERIOR.....	22
FIG. II. 7.- ACUÍFERO FISURADO-LIBRE-INTERIOR .....	23
FIG. II. 8.- ACUÍFERO POROSO-CONFINADO-INTERIOR.....	24
FIG. II. 9.- ACUÍFERO POROSO-LIBRE-COSTERO.....	25
FIG. II. 10.- CUÑA DE AGUA SALADA      FIG. II. 11.-DOMO DE AGUA SALADA.....	25
FIG. II. 12.- RELACIÓN GHYBEN-HERZBERG DE LA DISTRIBUCIÓN AGUA DULCE- SALADA.....	29
FIG. II. 13.- DISCREPANCIA ENTRE LA PROFUNDIDAD REAL DEL AGUA SALADA CON LA RELACIÓN GHYBEN-HERZBERG .....	30
FIG. II. 14.- CONTROL DE LA INTRUSIÓN SALINA POR MEDIO DE UN BOMBEO ADYACENTE A LA COSTA .....	31
FIG. II. 15.- CONTROL DE LA INTRUSIÓN DE AGUA SALADA INYECTANDO PRESIÓN PARALELAMENTE A LA COSTA .....	31
FIG. II. 16.- CONTROL DE LA INTRUSIÓN MARINA CON UNA BARRERA FÍSICA.....	32

FIG. II. 17.- VALORES DE RESISTIVIDAD DE DIFERENTES ROCAS Y MINERALES .....	38
FIG. II. 18.- GEOMETRÍA DE LOS ELECTRODOS PARA LA MEDIDA DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO .....	42
FIG. II. 19.- PRINCIPIO DEL SEV. A MEDIDA QUE A Y B SE SEPARAN, LA CORRIENTE VA PENETRANDO EN LAS CAPAS MÁS PROFUNDAS .....	43
FIG. II. 20.- DISPOSITIVO WENNER .....	45
FIG. II. 21.- SONDEO WENNER. LA DISTANCIA INTERELECTRÓDICA PASA DE (AMNB) A LA (A'M'N'B') .....	46
FIG. II. 22.- DISPOSICIÓN GEOMÉTRICA SCHLUMBERGER.....	46
FIG. II. 23.- SONDEO SCHLUMBERGER. LOS ELECTRODOS A Y B SE ABREN PROGRESIVAMENTE MIENTRAS M Y N ESTÁN FIJOS .....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA.1.- ASPECTOS COMPARADOS DE LOS RECURSOS DE AGUA SUBTERRÁNEA Y DE AGUA SUPERFICIAL .....	16
TABLA 2.- CLASIFICACIÓN DE LOS ACUÍFEROS .....	20
TABLA 3.- DEDUCCIÓN MATEMÁTICA DE LA RELACIÓN GHYBEN-HERZBERG.....	29
TABLA 4.- CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS GEOELÉCTRICOS.....	35
TABLA 5.- CLASIFICACIÓN DE LOS SEV SEGÚN SU LONGITUD .....	43
TABLA 6.- DATOS DE LA HOJA TOPOGRÁFICA DIGITAL OLÓN .....	49
TABLA 7.- DATOS DE LA HOJA TOPOGRÁFICA DIGITAL DELICIAS .....	49
TABLA 8.- COORDENADAS DE LOS SEV .....	73
TABLA 9.- RESISTIVIDADES Y LITOLOGÍAS DE LOS SEV .....	77
TABLA 10.- CARACTERÍSTICAS DE LOS POZOS DE EXTRACCIÓN DE LA JRAO .....	78
TABLA 11.- DATOS DE CONDUCTIVIDAD Y NIVELES DE AGUA DE LOS POZOS FUERA DE USO.....	80
TABLA 12.- DATOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS EN POZOS ACTIVOS Y COLECTORES ...	81
TABLA 13.- ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN POZOS Y COLECTORES .....	81
TABLA 14.- DATOS DE ANÁLISIS DE SALES DEL COLECTOR OLÓN.....	82
TABLA 15.- DATOS DE ANÁLISIS DE SALES DE OL-P2 Y OL-P7 .....	82
TABLA 16.- DATOS DE ANÁLISIS DE SALES DE OL-P9.....	83
TABLA 17.- DATOS DE ANÁLISIS DE SALES DEL RÍO OLÓN .....	83

## ÍNDICE DE MAPAS

MAPA 1.-UBICACIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	6
MAPA 2.- TOPOGRAFÍA DIGITAL DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	50
MAPA 3.- MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL ECUADOR .....	55
MAPA 4.- MAPA DE ISOYETAS .....	63
MAPA 5.-MAPA DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA.....	63
MAPA 6.- MAPA DE ISOTERMAS .....	65
MAPA 7.- MAPA DE TEMPERATURA MÁXIMA.....	65
MAPA 8.- MAPA DE TEMPERATURA MÍNIMA.....	66
MAPA 9.- MAPA DE IRRADIACIÓN SOLAR.....	66
MAPA 10.- MAPA DE EVOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL .....	67
MAPA 11.- MAPA HIDROGRÁFICO DEL ECUADOR.....	68
MAPA 12.- MAPA DE RECURSOS DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL ECUADOR.....	69
MAPA 13.- MAPA DE LA CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFEROS DEL PROYECTO ECU/8/026.....	85
MAPA 14.- MAPA DE PENDIENTES      MAPA 15.- CUENCA HIDROGRÁFICA OLÓN ACORDE AL MDT.....	85

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN V. 1.- MODELO DE CONDUCTIVIDAD DEL ACUÍFERO OLÓN.....	90
ILUSTRACIÓN V. 2.- SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA DEL ACUÍFERO OLÓN .....	90
ILUSTRACIÓN V. 3.- SUPERFICIES DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE INTERÉS DEL ACUÍFERO OLÓN .....	91
ILUSTRACIÓN V. 4.- VISTA DE LA UNIDAD ACUÍFERA .....	92
ILUSTRACIÓN V. 5.- CORTES HIDROGEOLÓGICOS EN LOS POZOS Y SEV DEL ACUÍFERO .....	93
ILUSTRACIÓN V. 6.- CORTES HIDROGEOLÓGICOS EN EL ACUÍFERO ALUVIAL .....	94
ILUSTRACIÓN V. 7.- MODELAMIENTO TRIDIMENSIONAL DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DEL ACUÍFERO OLÓN .....	95
ILUSTRACIÓN V. 8.- VISTA SW-NE DE LA UNIDAD ACUÍFERA DE LA CUENCA DEL RÍO OLÓN.....	97

## INTRODUCCIÓN

La Comuna Olón, como muchas comunidades de la Península de Santa Elena (**PSE**) no cuenta con un buen servicio de agua para el consumo humano, lo que las hace depender del agua subterránea teniendo que organizar Juntas para la administración del recurso. La Comuna Olón cuenta con sólo tres pozos que abastecen de agua a la comuna y están bajo la administración de la Junta Regional de Agua Olón (**JRAO**). Se presenta este proyecto de Modelo Conceptual del Acuífero del Río Olón.

En el marco de los proyectos internacionales **ECU/8/026**: “Caracterización de Acuíferos Costeros de la Península de Santa Elena” y **RLA/8/041**: “Caracterización Isotópica de Acuíferos Costeros”, ejecutados por Escuela Superior Politécnica del Litoral (**ESPOL**) y la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (**CEEA**); y financiados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (**OIEA**) se presenta la siguiente tesina de grado, mediante la cual se recolectan, analizan y filtran datos geológicos e hidrogeológicos obtenidos en estudios anteriores, así como ingresar nueva información cartográfica del área de estudio que contribuya a una base de datos geológica-espacial. De esta manera con el conocimiento geológico, geomorfológico e hidrogeológico respectivo que permitieron generar modelos tridimensionales para tener un mejor concepto del acuífero y con la ayuda de software especializados se procedió a caracterizar la formación acuífera en mención con el objetivo de tener un inventario de los recursos existentes y poder estimar reservas con mayor precisión que contribuyan a los planes de explotación y gestión conjunta y ambiental del acuífero Olón.

Con el análisis de los datos se comprueba la deposición de las unidades geológicas e hidrogeológicas, así como afectación del acuífero por intrusión salina. Por ende, los resultados aquí presentados nos permiten tener nuevas opciones dentro de la propuesta de exploración y explotación de agua subterránea.

# CAPÍTULO 1

## I. GENERALIDADES

### 1.1 Análisis de la Problemática del agua en la Comuna Olón

La Comuna de Olón, ubicada en Península de Santa Elena (**PSE**) tiene un problema desde hace muchos años sin una auténtica solución debido que en todo el sector correspondiente a la Península (**PSE**) es una zona árida a semiárida de clima tropical árido a semiárido con evotranspiraciones mayores que las precipitaciones (*Precipitaciones anuales inferiores a los 250 mm y en la época invernal de los últimos años las lluvias han sido escasas*) [11]. La zona no cuenta con ríos importantes o fuentes de agua superficial que abastezcan de agua a toda la comuna durante el año ya que los ríos son intermitentes y adicionalmente los acuíferos tienen afectación por intrusión marina. Por lo que genera un déficit del abastecimiento de agua y carencia del recurso hídrico.

El río más importante es el Río Olón, existe otra fuente afluyente hacia el este llamada Dos Ríos pero en época seca permanecen sin agua superficial. El acuífero de Olón se viene explotando desde hace 25 años y con un tratamiento previo se utiliza el agua para el abastecimiento en la

Comuna de Olón y es administrada por la **JUNTA REGIONAL DE AGUA DE OLÓN (JRAO)**.

La Península de Santa Elena tiene acuíferos que han sido caracterizados geofísica y geoelectricamente y a pesar que la intrusión marina genera un incremento en la salinidad del agua, se quiere evitar o prevenir que dentro de la Comuna de Olón el agua ya no sea apta para el consumo humano, y así poder dar usos alternativos de acuerdo al porcentaje de salinidad para cultivos y cría de animales. Por tanto es importante realizar el análisis a detalle de la Caracterización Geológica del Acuífero de Olón para cumplir con este propósito.

Con el presente trabajo se completa la interpretación geológica de estudios anteriores y recientes para tener una mejor comprensión del acuífero contribuyendo al desarrollo sostenible del mismo.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Definir el modelo hidroconceptual del acuífero Olón mediante la correlación de datos geológicos, estratigráficos e hidrogeológicos como los niveles piezométricos y conductividades; para aportar a un plan de explotación de aguas subterráneas.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Estimar reservas y potencial volumétrico del agua subterránea del acuífero de Olón.
- Identificar y seleccionar zonas potenciales de interés para la elaboración de nuevas campañas de prospección o para la explotación de agua subterránea que aporten con el plan de explotación y desarrollo sostenible de la comuna Olón, orientado al manejo eficaz del agua subterránea y que sirva para la continuación de futuros proyectos en este sector.

### 1.3 Área de Estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en la Provincia de Santa Elena a 55 Km. al Norte de la ciudad de Santa Elena y a 61 Km. de La Libertad (*Mapa 1*). La Comuna Olón pertenece a la parroquia Manglaralto que tiene una población aproximada de 30.503 habitantes según las proyecciones del VI Censo de Población y Vivienda del 2001 **[14]**.

## PROYECTO ECU/8/026 - CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFEROS COSTEROS DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA - ECUADOR



Mapa 1.-Ubicación General de la Zona de Estudio

**Fuente:** (ORGANIZACION INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, 2008)

### 1.4 Metodología a Usarse en el Presente Estudio

La metodología de este proyecto comprende tres etapas. A continuación se indica y se explica los pasos que se siguieron dentro de este trabajo:

- I. **FASE I (Información Preliminar).**- Comprende la investigación bibliográfica, información recabada de estudios anteriores y actuales de la zona.
  - 1) *Recopilación de información:* Estudios topográficos, geológicos, geomorfológicos, climatológicos, hidrogeológicos y de

prospección geoelectrica de aguas subterráneas, así como los datos de colector y pozos existentes.

2) *Verificación de información:* Verificación de los estudios geológicos-estratigráficos y estructurales realizados anteriormente.

**II. FASE II (*Análisis de los datos de Campo*).**- Comprende integrar toda la información recabada en una base de datos geográfica para realizar el análisis y correlación de la misma.

3) *Interpretación:* Con la ayuda de Sistemas de Información Geográfica (**SIG**) y programas especializados en geología del subsuelo se pretende filtrar, depurar y crear una base de datos geoespacial que nos ayude a definir áreas idóneas para la extracción o para nuevas prospecciones y cumplir de manera óptima y eficiente con los objetivos de este proyecto.

**III. FASE III (*Interpretación y Modelamiento de los Resultados*).**- Comprende la interpretación de los resultados y el modelamiento de los mismos para definir conceptualmente el acuífero y estimar las nuevas zonas de interés del mismo en aportación a los planes de explotación de aguas subterráneas; obteniendo como resultados diferentes mapas temáticos, cortes y secciones stratigráficas; así como los modelos conceptuales del acuífero donde se definen las unidades hidrogeológicas de interés a través de análisis espacial.

### 1.5 Recopilación de Información de Estudios Anteriores

Entre los estudios realizados anteriormente, y recabados como sustento para esta investigación, tenemos:

- Nota Explicativa de la elaboración del Mapa Hidrogeológico del Ecuador, realizado por la Dirección Nacional de Geología (**DINAGE**) y el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (**INAMHI**) en 1983.
- Guía geológica del Suroeste de la Costa Ecuatoriana, realizada en 1987 por la **ESPOL**. Este estudio da un conocimiento de la estratigrafía y tectónica de la Costa Ecuatoriana.
- Caracterización geofísica de acuíferos en el sector de Olón de la Península de Santa Elena – Ecuador. Este estudio muestra el comportamiento del acuífero realizando una proyección de sus reservas.
- Caracterización geoeléctrica del Acuífero de la Cuenca del Río Olón para propuesta del plan de explotación. Este estudio estima las reservas para desarrollar un plan de explotación de agua subterránea.
- Caracterización de los acuíferos costeros de la Península de Santa Elena (**Proyecto ECU/8/26**) y Caracterización Isotópica de Acuíferos Costeros (**Proyecto RLA/8/041**), auspiciados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (**OIEA**).

# CAPÍTULO 2

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Conceptos Básicos de Hidrogeología

#### 2.1.1 Ciclo Hidrológico

Uno de los recursos de vital importancia para la vida sobre la Tierra es el agua, esta fuente vital se encuentra en un volumen aproximado de 1.386 millones de  $\text{Km}^3$ . Solo una pequeña parte, es decir, aproximadamente un 2% de esta cantidad, es decir  $16.632 * 10^6 \text{ Km}^3$ , corresponde al agua dulce [19].

Dependiendo de parámetros como la presión y la temperatura, el agua puede cambiar a diferentes estados sea sólido, líquido o gaseoso. En otras palabras el agua se encuentra en un movimiento continuo de tipo cíclico por su constante participación sobre la corteza de la tierra, la atmosfera, biósfera, e hidrósfera. Dicho movimiento es lo que llamaremos Ciclo Hidrológico.



Fig. II. 1.- Ciclo Hidrológico del Agua

**Fuente:** ((USGS) UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2009)

La primera respuesta del agua de las precipitaciones al tocar el suelo es la INFILTRACIÓN, es decir, que el agua de lluvia al alcanzar la superficie del terreno, se distribuye recorriendo diferentes caminos.

El agua que llega al suelo, se evapora en mayor o menor medida, según sean las condiciones climáticas en cuanto a temperatura, vientos y grado de humedad de la atmósfera, lo que constituye la evaporación del agua. La evaporación también se da en la superficie de agua de los océanos, de los cuerpos de agua dulce y de las plantas. En las plantas, sus fuentes de agua provienen de las precipitaciones de lluvia o nieve y a través de sus raíces al absorber el agua del suelo, esta agua es llevada a las hojas que las transpiran. A todo este fenómeno se lo conoce como EVAPOTRANSPIRACIÓN [17].

Otra parte del agua de lluvia discurre sobre el suelo a favor de la pendiente del terreno, nutriendo los barrancos, arroyos y ríos. A esta agua se la denomina ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.

El agua que no discurre por la superficie del terreno y no es evapotranspirada por el suelo y las plantas, se infiltra en el terreno hasta llegar a una capa impermeable que la retiene, acumulándose por encima de esta y saturando los huecos del terreno. Esta agua circula en general muy lentamente por el subsuelo y reaparecen en superficie a través de manantiales, ríos o indirectamente en el mar y se las conoce como ESCORRENTÍA SUBTERRÁNEA.

El agua del subsuelo sólo representa una pequeña parte del ciclo hidrológico total. Hay que tomar en cuenta que no toda el agua que se infiltra al suelo puede ser definida como agua subterránea, porque la infiltración del agua de las precipitaciones produce:

- Humedad de suelo que se gasta por el consumo de la vegetación, evotranspiración y que se renueva con cada evento de precipitación.
- Escorrentía hipodérmica que entra al suelo pero que corre solo por poco tiempo y normalmente por poca distancia en el subterráneo hasta llegar a un río. Este tipo de escorrentía subsuperficial no renueva la reserva del agua subterránea, pero luego forma parte de la escorrentía superficial.
- Escorrentía subterránea, que es una parte del agua subterránea.

En una lluvia el agua se infiltrada en el suelo. La infiltración implica llenar el déficit de capacidad de campo en las zonas no saturadas del suelo; y cuando hay exceso de la capacidad de campo ocurre la INFILTRACIÓN EFECTIVA, que en otras palabras es la recarga de los acuíferos que ocurre por gravedad.

Cuando el agua infiltrada alcanza el nivel de agua subterránea, ocurren los procesos de almacenamiento y transmisión de agua subterránea [18].

### **2.1.2 Aguas Subterráneas**

Agua subterránea es aquella que se encuentra naturalmente por debajo de la superficie de la Tierra ocupando espacios vacíos de la roca o suelo. Antiguamente se creía que las aguas subterráneas procedían del mar y que habían perdido su salinidad al filtrarse por las rocas.

Del 2% correspondiente a la distribución de agua dulce sobre la Tierra, el 87% se encuentra en los glaciares y casquetes polares, 1% corresponde a ríos y lagos, y por último el 12% restante corresponde al agua subterránea, es decir, un volumen cerca de  $3.3264 \cdot 10^{12}$  m<sup>3</sup> o un porcentaje aproximado al 0.24% del total de agua sobre la Tierra [19].

Las aguas subterráneas forman grandes depósitos que en algunos lugares constituye la única fuente de agua potable disponible. Cuando circula bajo tierra, en ocasiones, forma grandes sistemas de cuevas y galerías. En algunos lugares regresa a la superficie, brotando en forma

de fuentes o manantiales; pero en otros, hay que ir a recogerla a distintas profundidades excavando pozos [18].

Existe una gran interrogante sobre si existe agua suficiente para cubrir la demanda creciente ya que solo una pequeña parte está disponible fácilmente. La respuesta a esa interrogante es que SI existen recursos para atender la demanda, solo hay que:

- 1) Establecer “usos” y conocer la “demanda” de cada uso en cada lugar.
- 2) Conocer cómo funcionan los acuíferos para gestionarlos de forma sustentable.

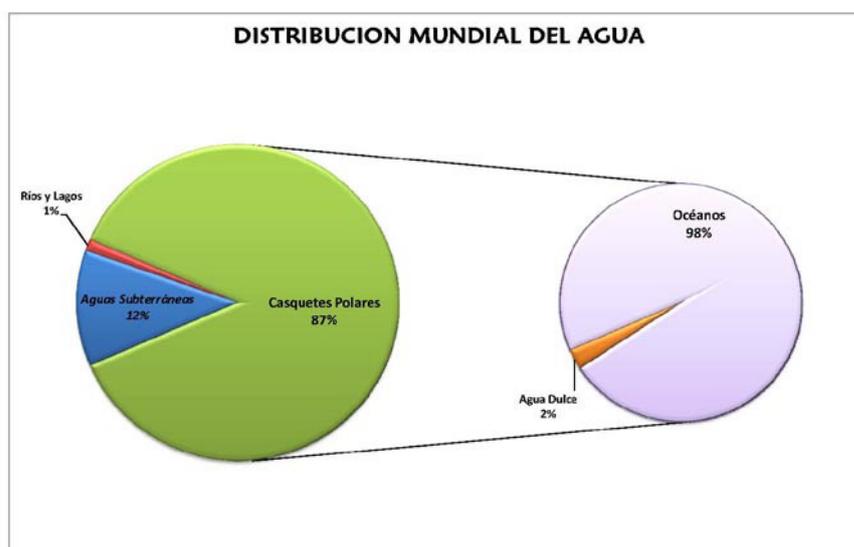


Fig. II. 2.- Distribución Mundial del Agua

**Fuente:** (ORGANIZACION INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, 2008)

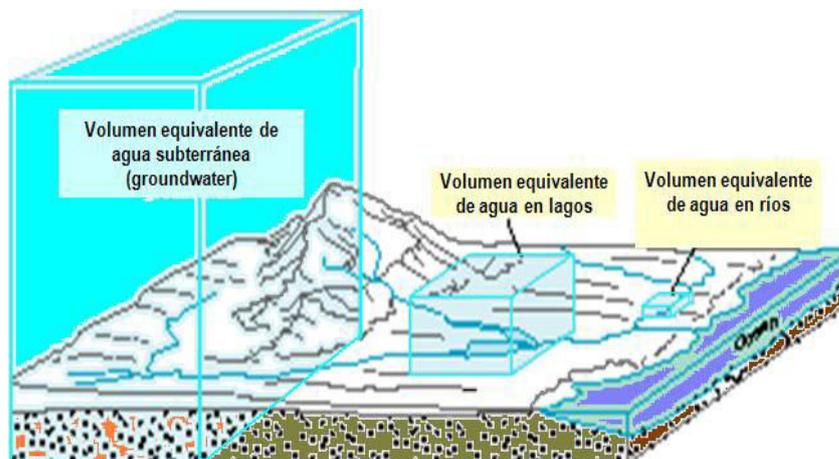


Fig. II. 3.- Volúmenes Equivalentes de las Masas de Agua Dulce

**Fuente:** (MANZANO ARELLANO, 2009)

La importancia del agua subterránea empieza por tener ciertas ventajas sobre el agua superficial como son:

- Las inversiones pueden hacerse escalonadas con la demanda, cerca de donde se necesitan. Reducen costos de conducción, de almacenamiento y tratamiento.
- Aunque es más dura y mineralizada, su calidad físico-química es más constante, y generalmente de calidad bacteriológica potable.
- Están más protegidas de la contaminación.
- Las variaciones en cantidad y disponibilidad en épocas de sequía y lluvia son pequeñas.

- Son una reserva estratégica importante en caso de epidemias, desastres naturales, guerras o accidentes nucleares.

Sin embargo, pueden ser deterioradas o contaminadas por sobreexplotación y otras actividades humanas, siendo su recuperación generalmente muy difícil y costosa [17].

El agua subterránea tiene características hidrológicas diferentes a las aguas superficiales, a continuación se dará detalle al siguiente cuadro comparativo donde se muestra también las diferencias en cuanto a los factores socioeconómicos (*Tabla 1*):

ASPECTO	Recursos de Agua Subterránea y Acuíferos	Recursos de Agua Superficial y Embalses
<i>Características Hidrológicas</i>		
Volúmenes de Almacenamiento	MUY GRANDES	PEQUEÑOS A MODERADOS
Zonas de Recursos	RELATIVAMENTE NO RESTRINGIDAS	RESTRINGIDAS A CUERPOS DE AGUA
Velocidades de Flujo	MUY BAJAS	MODERADAS A ALTAS
Tiempos de Residencia	GENERALMENTE DE DÉCADAS A SIGLOS	EN SU MAYORÍA DE SEMANAS A MESES
Propensión a Sequía	GENERALMENTE BAJA	GENERALMENTE ALTA
Pérdidas por Evaporación	BAJAS Y LOCALIZADAS	ALTAS EN LOS EMBALSES
Evaluación de Recursos	COSTO ALTO E INCERTIDUMBRE CONSIDERABLE	COSTO BAJO Y A MENUDO MENOS INCERTIDUMBRE
Impactos por Extracción	RETARDADOS Y DISPERSOS	INMEDIATOS
Calidad Natural	GENERALMENTE (PERO NO SIEMPRE) ALTA	VARIABLE
Vulnerabilidad a la Contaminación	PROTECCIÓN NATURAL VARIABLE	SIN PROTECCIÓN, EN GRAN MEDIDA
Persistencia de la Contaminación	A MENUDO EXTREMA	PRINCIPALMENTE TRANSITORIA
<i>Factores Socioeconómicos</i>		
Percepción del Público	RECURSO MÍTICO, IMPREDECIBLE	RECURSO ESTÉTICO, PREDECIBLE
Costo de Desarrollo	GENERALMENTE MODESTO	A MENUDO ALTO
Riesgo por Desarrollo	MENOS DEL QUE SE PERCIBE A MENUDO	MAS DEL QUE SE SUPONE A MENUDO
Estilo del Desarrollo	COMBINACIÓN DE PUBLICO Y PRIVADO	PUBLICO, EN GRAN MEDIDA

Tabla.1.- Aspectos Comparados de los Recursos de Agua Subterránea y de Agua Superficial

**Fuente:** (ORGANIZACION INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, 2008)

Procesos de almacenamiento como son depresiones, causes, lagos, embalse y humedad del suelo; así como procesos de transferencia tales como precipitación, infiltración, percolación, escurrimiento, escorrentía superficial y evapotranspiración forman parte del papel fundamental del agua subterránea en el ciclo hidrológico [27].

## **2.2 Acuíferos y sus Propiedades**

Un acuífero es una formación geológica subterránea compuesta por rocas de capacidad porosa y permeable como las gravas y arenas, capaces de almacenar y rendir agua. Las condiciones geológicas e hidrológicas determinan su tipo y su funcionamiento. Mientras mayor sea la porosidad de las rocas, más agua producirá el acuífero. Los acuíferos sirven como conductos de transmisión y como depósitos de almacenamiento.

Como conductos de transmisión transportan el agua subterránea de las áreas de recarga, hacia lagos, pantanos, manantiales, pozos y otras estructuras de captación. Como depósitos de almacenamiento, los acuíferos actúan suministrando agua de sus reservas para ser utilizada cuando la extracción exceda la recarga y, a la vez. Almacenando agua durante los períodos en que la recarga resulta mayor que la extracción [27].

Los acuíferos se recargan principalmente por:

- Lechos permeables de ríos influentes y lagos colgados que se encuentran arriba de los niveles freáticos.
- La percolación de otros acuíferos adyacentes lateral o verticalmente.
- La precipitación, en suelos de alta capacidad de infiltración o rocas superficiales permeables (Zona de Recarga).

Las áreas de recargas de los acuíferos pueden o no estar a grandes distancias de donde son explotados [18].

Junto a las formaciones acuíferas, aparecen otras formaciones NO ACUÍFERAS que reciben nombres de acuerdo con sus posibilidades de contener agua y de permitir su circulación, de esta manera tenemos:

- **Acuicludo:** Es una formación relativamente impermeable que puede almacenar agua pero no es capaz de transmitirla en cantidades significantes; por ejemplo la arcilla.
- **Acuifugo:** Es una formación impermeable que no almacena ni transmite agua; por ejemplo el granito.
- **Acuitardo:** Es una formación de baja a muy baja permeabilidad, está relacionada a los acuíferos adyacentes.
- **Acuicierre:** Capa prácticamente impermeable que se encuentra sobre o debajo de un acuífero.

- **Basamento Impermeable:** Capa o límite inferior impermeable de un acuífero.

### 2.2.1 Tipos de Acuíferos

En la naturaleza se presentan diferentes tipos de acuíferos y pueden utilizarse distintos tipos de clasificación:

- De acuerdo a la textura de los materiales que los constituyen.
- De acuerdo al grado de presión a que están sometidos los mantos o masas de agua que se encuentran saturando los poros o fisuras.
- De acuerdo a su situación geográfica.

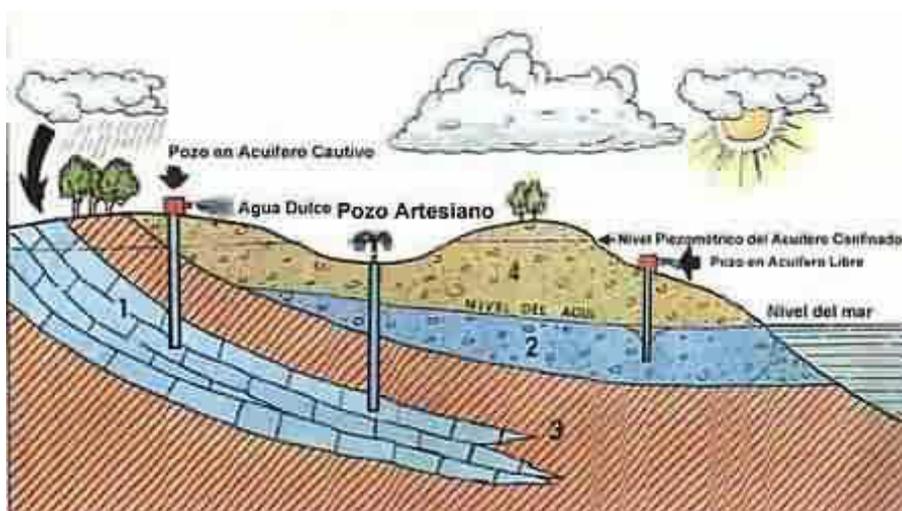


Fig. II. 4.- Esquema de Acuífero Libre y Cautivo

**Fuente:** (INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 2006)

		CRITERIO DE CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICA FUNDAMENTAL
<b>TIPOS DE ACUÍFEROS</b>	SEGÚN LA TEXTURA DE LOS MATERIALES QUE LOS CONSTITUYEN	Porosos <b>(P)</b>	El agua circula a través de los poros o espacios existentes entre los granos del terreno.
		Fisurados <b>(F)</b> o Karstificados	La circulación del agua se produce a través de fisuras, grietas u oquedades del terreno.
	SEGÚN EL GRADO DE PRESIÓN A QUE ESTÁN SOMETIDOS LOS MANTOS	Libres <b>(L)</b>	Al perforarlos con un pozo o sondeo, el nivel del agua queda a la misma altura a la que se corta.
		Confinados <b>(C)</b>	Cuando se hace un sondeo en los mismos, al cortar el agua el nivel sube.
	SEGÚN LA UBICACIÓN GEOGRÁFICA.	Costeros <b>(CO)</b>	Están en contacto hidráulico con el mar, y por tanto, tiene una zona invadida por agua salada
		Interiores <b>(I)</b> o Continentales	No tienen contacto alguno con el mar, pueden estar relacionados hidráulicamente o no, con ríos, lagos, etc.

Tabla 2.- Clasificación de los Acuíferos

**Fuente:** (INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 2006)

Haciendo una breve explicación acerca de la clasificación según el grado de presión a que están sometidos los mantos de la Tabla II.2, en los acuíferos confinados el agua está atrapada entre los estrato impermeable

de la roca o entre rendijas de la formación rocosa. Dicha agua se encuentra almacenada a presión, esta presión se llama artesiana. Al hacer un pozo dentro de un acuífero confinado, el nivel de agua en el pozo aumenta en proporción a la presión artesiana y fluye naturalmente sin necesidad de utilizar una bomba. El pozo también recibe el nombre de artesiano (*Fig. II.4*).

En cambio, en un acuífero libre el agua no está almacenada a presión por no estar encapsulada en la roca. Si se hace un pozo en él, el agua se tendría que bombear hasta la superficie.

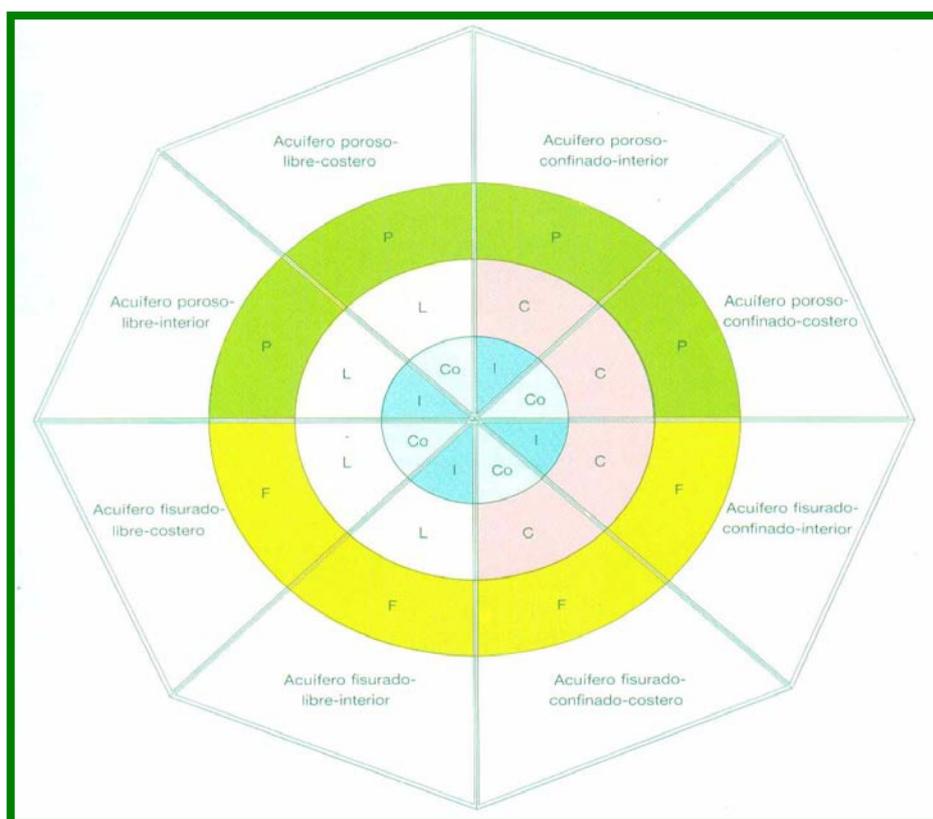


Fig. II. 5.- Combinación de los Diferentes Tipos de Acuíferos

Fuente: (INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 2006)

De acuerdo al criterio de clasificación de los acuíferos mostrados en la Tabla II.2, existen varios tipos de acuíferos tal como lo muestra la Fig. II.5, a continuación se dará una breve explicación de los acuíferos más importantes o existentes:

### 2.2.1.1 Acuífero Poroso-Libre-Interior

En este tipo de acuífero el agua circula a través de los poros de la roca o de los espacios existentes entre los granos del terreno. Al perforarlos con pozos o sondeos, el nivel de agua queda a la misma altura a la que se corta como lo muestra el sondeo 3 de la Fig. II.6.

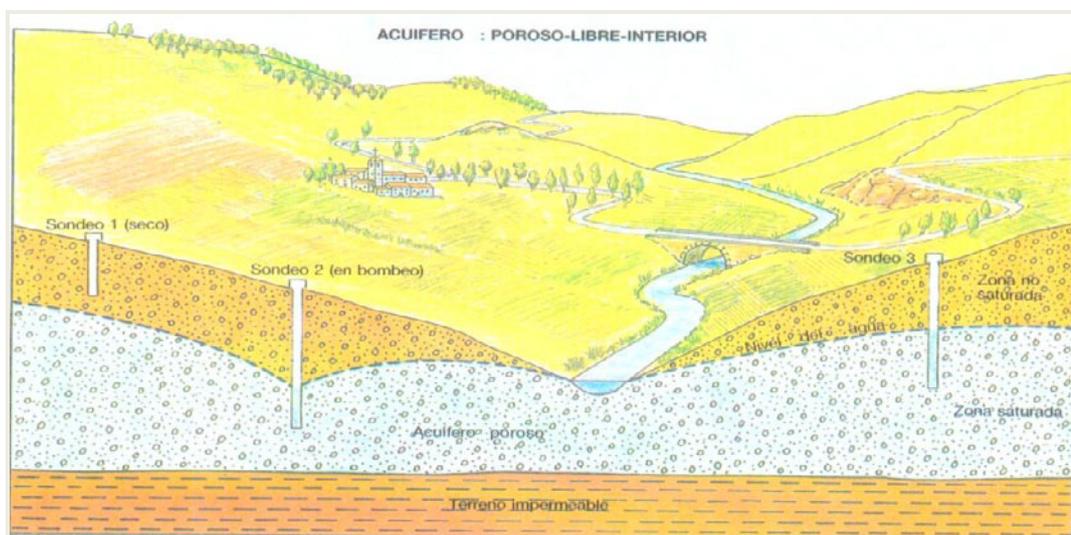


Fig. II. 6.- Acuífero Poroso-Libre-Interior

**Fuente:** (INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 2006)

### 2.2.1.2 Acuífero Fisurado-Libre-Interior

En este tipo de acuífero la zona saturada queda restringida a las grietas, fisuras, oquedades y conductos de todas las dimensiones existentes en el seno del macizo calcáreo. Por ello, es posible que un pozo no encuentre agua y resulte seco a muy escasa distancia de otro que haya interceptado alguna cavidad saturada y contenga agua circundante (Fig. II.7).



Fig. II. 7.- Acuífero Fisurado-Libre-Interior

**Fuente:** (INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 2006)

### 2.2.1.3 Acuífero Poroso-Confinado-Interior

El agua se encuentra en este tipo de acuífero a mayor presión que la atmosférica; por ello, al efectuar una perforación en los mismos, el agua asciende hasta un nivel superior al del techo del acuífero como se observa en el sondeo 1, o pudiendo ocurrir que el pozo sea surgente si su

emboquillado está por debajo del nivel piezométrico, como ocurre en el sondeo 2 de la Fig. II.8.

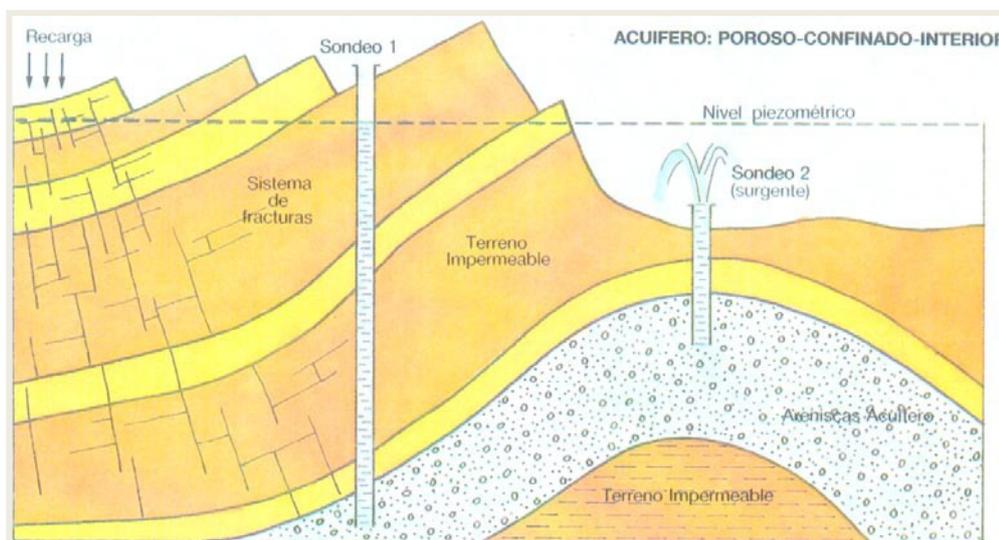


Fig. II. 8.- Acuífero Poroso-Confinado-Interior

Fuente: (INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 2006)

#### 2.2.1.4 Acuífero Poroso-Libre-Costero

En este tipo de acuífero interviene un factor que se denomina cuña de agua salada (*Fig. II.10*), que es una masa de agua de mar de gran longitud que limita con el agua dulce del acuífero. Esta apoyada sobre la base del mismo y con el vértice hacia adentro. No existe un contacto brusco entre el agua dulce y el agua salada, sino que pasa de un fluido a otro a través de una zona de mezcla llamada transición o interfase. Cuando se bombea excesivamente el agua dulce sobre el agua salada, se produce una protuberancia vertical de la masa de agua salada llamada cono de agua salada o domo de agua salada (*Fig. II.11*).

En la Fig. II.9 se representa tres sondeos, el número 1 no se contamina, el número 2 si debido a la formación del cono de agua salada debajo de la captación, y el número 3 se encuentra contaminado por haber penetrado la cuña de agua salada.

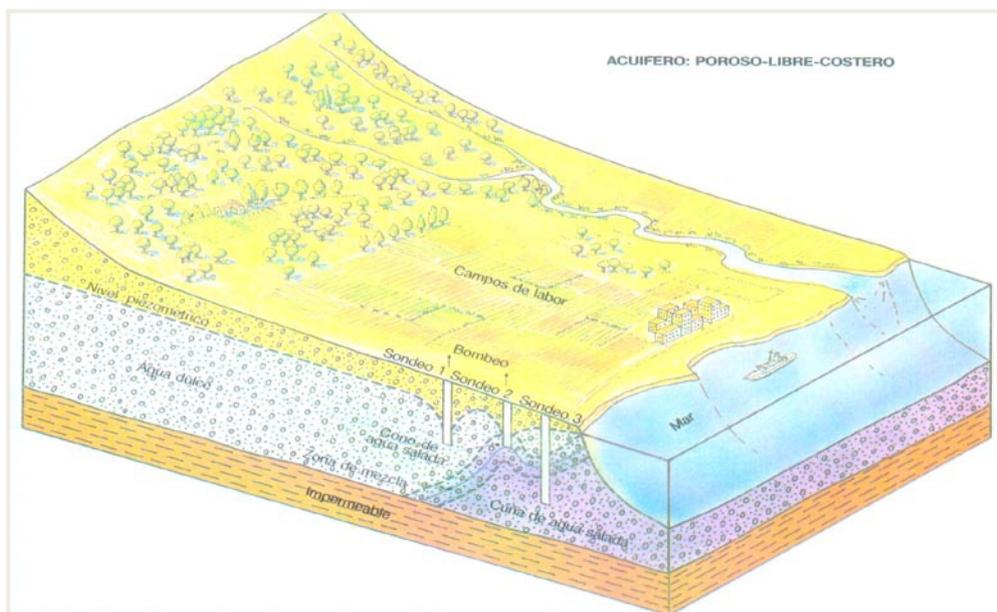


Fig. II. 9.- Acuífero Poroso-Libre-Costero

**Fuente:** (INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA, 2006)

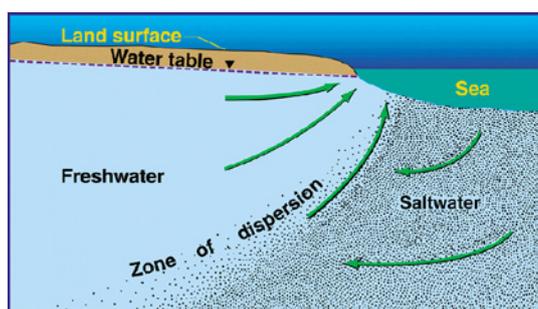


Fig. II. 10.- Cuña de Agua Salada

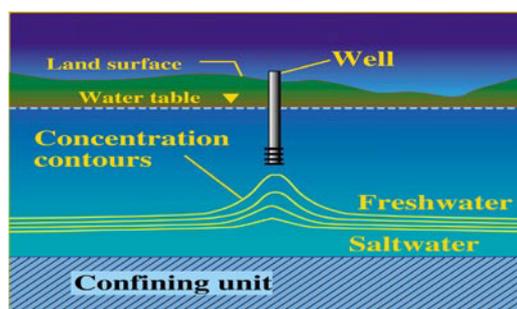


Fig. II. 11.-Domo de Agua Salada

**Fuente:** ((USGS) UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2009)

### 2.2.2 Balance Hídrico de un Acuífero

Obtener el balance hídrico de un acuífero o de un sistema acuífero consiste en comparar el total de todas las entradas de agua con el total de todas las salidas referidas a un período de tiempo. En periodos suficientemente largos, entradas y salidas deben ser iguales.

Las entradas de agua a un acuífero son:

- El agua de lluvia que llega a la zona saturada y los sobrantes de riego no retenidos por las plantas.
- El agua que ceden algunos tramos de río cuando los niveles y el terreno sobre el que se mueven lo permiten.
- El agua que recibe de otros acuíferos con los que se comunica.
- La recarga artificial.

Las salidas de agua de un acuífero se dan de forma natural cuando la topografía intercepta al mismo, por ejemplo:

- La salida de agua por manantiales.
- La descarga a ríos, lagos o embalses.
- La descarga al mar.

- La cesión de agua a otros acuíferos cuando hay comunicación.

También se da la salida de agua del acuífero de forma artificial mediante:

- Las extracciones mediante pozos.
- Galerías de infiltración, y
- Drenajes profundos.

El balance de un acuífero se estudia para un período determinado. Si en ese periodo el total de entradas de agua supera al de salidas el balance es positivo, esto significa que estamos aumentando la cantidad de agua almacenada; pero si el balance es negativo, quiere decir que estamos vaciando el acuífero.

Si explotamos el agua que se puede renovar se dice que explotamos los recursos. Si utilizamos más agua de la que puede renovarse, se dice que estamos explotando las reservas, y estamos produciendo sobreexplotación.

Mantener inalterado el balance hídrico de una región mantiene los ecosistemas en su estado natural, pero no nos permite evaluar la máxima explotación de los recursos hídricos sin llegar a la sobreexplotación **[17]**.

### 2.2.3 Intrusión Marina

En los acuíferos costeros que son los que están en contacto con el mar, existe un balance natural hidrodinámico entre el agua dulce y el agua salada. Este balance gobierna la forma y movimiento de la interfase donde están en contacto estos dos fluidos de diferente densidad, y puede verse alterado por el bombeo excesivo o por la ubicación de captaciones muy próximas al mar. Esto puede provocar la entrada de agua salada en estos acuíferos que son muy vulnerables a la contaminación por intrusión salina.

A medida que van aumentando los bombeos con sondeos mal ubicados, comienza un avance insipiente de la cuña de agua salada. Al principio, no afecta a los pozos y se mantiene en parte la salida de agua dulce al mar. Al aumentar más los bombeos se llegan a contaminar los pozos y deja de salir agua dulce. Una excesiva e incontrolada explotación de estas reservas de agua, puede provocar una inesperada y perjudicial intrusión marina que podría llegar a inutilizar totalmente el acuífero [17].

Existe una relación entre el agua dulce y el agua salada llamada relación de Ghyben-Herzberg. Estos investigadores encontraron que el agua salina no ocurría en el subsuelo al nivel del mar, sino que a una profundidad de alrededor de 40 veces la altura del agua dulce sobre el nivel del mar.

Esta distribución se atribuyó al equilibrio hidrostático existente entre los dos fluidos de diferente densidad (*Tabla 3*).

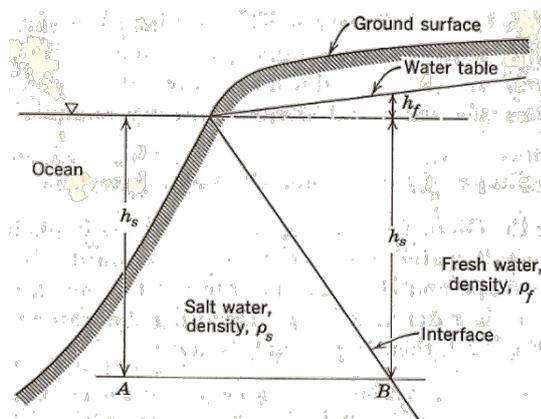


Fig. II. 12.- Relación Ghyben-Herzberg de la Distribución Agua Dulce-Salada

Fuente: (LOSILLA P., 2009)

$P_A = \delta_s g h_s$
$P_B = \delta_f g h_f + \delta_f g h_s$
$P_A = P_B \rightarrow h_s = (\delta_f / (\delta_s - \delta_f)) h_f$
Si $\delta_s = 1.025 \text{ g/cm}^3$ , y $\delta_f = 1.000 \text{ g/cm}^3$ , entonces,
$h_s = 40 h_f$

Tabla 3.- Deducción Matemática de la Relación Ghyben-Herzberg

Fuente: (LOSILLA P., 2009)

La relación de Ghyben-Herzberg, es una simplificación que, por derivarse de un supuesto equilibrio hidrostático, asume que no hay descarga de flujo de agua subterránea al mar. Sin embargo, esta descarga si existe, y un esquema más realista de intrusión y de interfase, se muestra con una red de líneas de flujo y equipotenciales que la profundidad de la interfase dada por la relación de Ghyben-Herzberg es menor que la real (Fig. II.13).

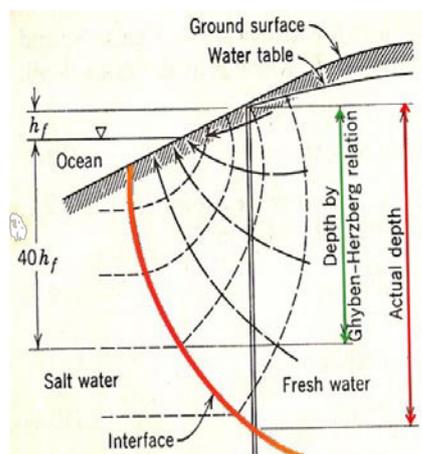


Fig. II. 13.- Discrepancia Entre la Profundidad Real del Agua Salada con la Relación Ghyben-Herzberg

**Fuente:** (LOSILLA P., 2009)

Actualmente el flujo de agua subterránea al mar ha disminuido y se ha revertido por la demanda del recurso [19].

De acuerdo a las razones mencionadas por las que puede ocurrir la intrusión marina dentro de un acuífero costero, se plantean algunas soluciones como las que se detallan a continuación:

- Planificar la ubicación y el caudal o régimen de las captaciones para prevenir la aparición de la intrusión de agua de mar. Esta prevención pasa en esencia por dejar siempre que algo de agua dulce descargue subterráneamente al mar.
- Así mismo, se puede recargar artificialmente el acuífero para aumentar la disponibilidad del mismo, mejorar la calidad del agua subterránea y para eliminar la sobreexplotación por medio de pozos de recarga o áreas de esparcimiento y percolación.

- Desarrollar una depresión de bombeo adyacente o paralela a la costa. Para este tipo de solución hay que saber determinar la cuña donde se produce la intrusión con métodos geofísicos, junto con pozos de exploración y calicatas (*Fig. II.14*).

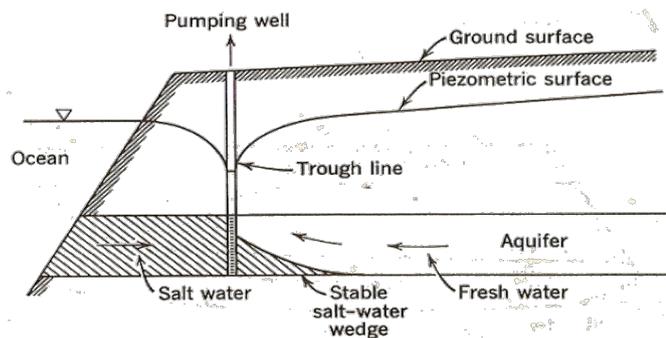


Fig. II. 14.- Control de la Intrusión Salina por medio de un Bombeo Adyacente a la Costa

**Fuente:** (LOSILLA P., 2009)

- Desarrollar un domo de presión paralelo a la costa, manteniendo una cresta de agua dulce sobre el nivel del mar. Esto se lo realiza inyectando agua bien tratada al acuifero, generando una barrera hidráulica teniendo en cuenta el nivel freático del acuifero (*Fig. II.15*).

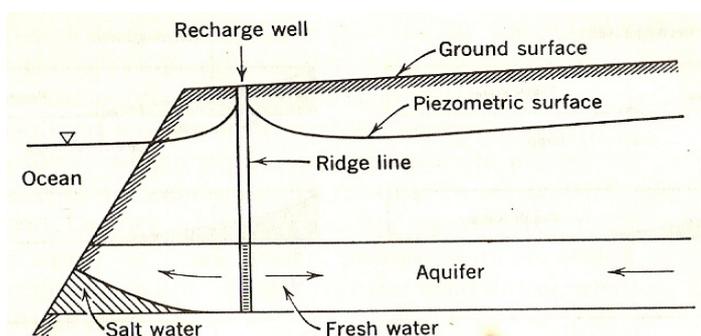


Fig. II. 15.- Control de la Intrusión de Agua Salada Inyectando Presión Paralelamente a la Costa

**Fuente:** (LOSILLA P., 2009)

- Desarrollar barreras subsuperficiales, es decir, construir barreras físicas subterráneas para reducir suficientemente la permeabilidad de un acuífero y prevenir el flujo del agua de mar (*Fig. II.16*).

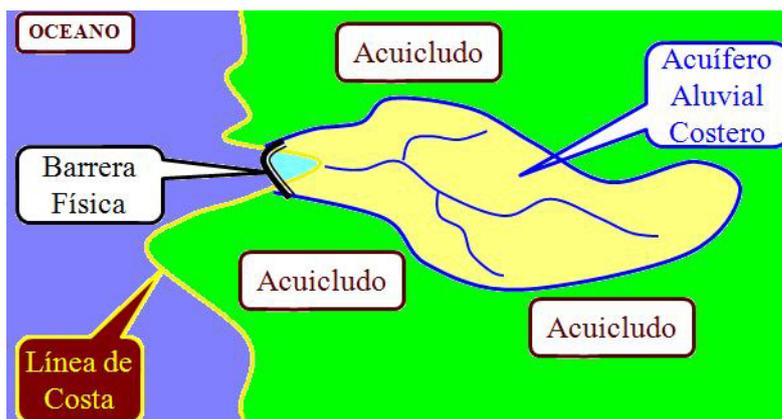


Fig. II. 16.- Control de la Intrusión Marina con una Barrera Física

Fuente: (LOSILLA P., 2009)

## 2.3 Prospección Geofísica

### 2.3.1 Definición y Generalidades

La geofísica es la ciencia que estudia los fenómenos físicos que se producen en nuestro planeta, destacando entre estos, el electromagnetismo, la propagación de ondas mecánicas en la corteza terrestre y la gravedad. Esta ciencia puede definirse como la aplicación de la física y la geología al estudio de los materiales que componen la corteza terrestre y de los campos de fuerza que surgen en ella y ejercen su influencia hacia el exterior.

La Prospección Geofísica constituye el conjunto de métodos a usar para la medición de las propiedades físicas de los elementos que componen el subsuelo, como las rocas, sedimentos, agua subterránea, cavidades, etc. y obtener los efectos producidos de los mismos, sobretodo en áreas donde sus propiedades físicas discrepan de las del medio que los rodea.

El mapeo de una anomalía geofísica puede significar el descubrimiento de una formación geológica apta para la explotación, dependiendo de lo que se esté buscando. Además, la información punto a punto entregada por una prospección permite caracterizar cuantitativamente el terreno de acuerdo con ciertos parámetros físicos, lo que es un valioso apoyo para tomar decisiones correctas relacionadas con el uso del suelo.

Dentro de la diversidad de métodos de prospección, los podemos clasificar en Prospecciones de Tipo Pasivas y Prospecciones de Tipo Activas. Los métodos de prospección pasiva son aquellos que se basan en la detección de las variaciones de los campos naturales asociados al planeta Tierra como el campo gravitatorio y el campo magnético. Mientras que los métodos de prospección activa son aquellos que estudian el comportamiento de los materiales del subsuelo mediante la creación de señales artificiales, y viendo como éstas interaccionan con dichos materiales. Así tenemos los métodos sísmico y eléctrico. Pueden establecerse relaciones de superioridad entre los métodos de prospección dependiendo de la naturaleza del problema propuesto [2].

### 2.3.2 Métodos Geoeléctricos

El método geoeléctrico de prospección es la rama de la geofísica que trata sobre el comportamiento de rocas y sedimentos en relación a la corriente eléctrica. Las propiedades físicas de un material de acuerdo con su comportamiento electromagnético son: la constante dieléctrica, la permeabilidad magnética y la resistividad.

Los métodos geoeléctricos se clasifican de acuerdo a varios criterios:

- Según el campo electromagnético que en ellos se estudia, sean estos de origen natural, o creados artificialmente para la prospección.
- Considerando si la información recogida se refiere a la vertical de un punto (*sondeo*) o se distribuye a lo largo de un perfil, dentro de un margen de profundidades aproximadamente constante (*calicata*).
- También se debe considerar si en un método determinado el campo electromagnético es constante (*corriente continua*) o varía en el transcurso del tiempo (*método de campo variable*).

En la mayoría de los casos lo que se obtiene es un corte geoeléctrico, que es la representación gráfica de la distribución de las resistividades en el subsuelo en forma de corte vertical [27].

En base a las consideraciones antes mencionadas, los métodos geoelectrónicos pueden clasificarse de la siguiente manera:

<b>I. Métodos de Campo Natural</b>	Método de Potencial Espontáneo
	Método de Corrientes Telúricas
	Método Magneto-Telúrico ( <i>Sondeos y Calicatas</i> )
	Método AFMAG ( <i>Audio Frecuencia Magnética</i> )
<b>II. Métodos de Campo Artificial</b>	Método de Líneas Equipotenciales
	Sondeos Eléctricos ( <i>Simétricos, Dipolares</i> )
	Calicatas Eléctricas
	ERT ( <i>Tomografía de Resistividad Eléctrica</i> )
	Geo Radar ( <i>Ground Penetrating Radar</i> )
	Sondeos de Frecuencia
	Sondeos Transitorios
	Calicatas Electromagnéticas
	Método Radio-KIP ( <i>Alta Frecuencia</i> )
	Método de Radiografía Hertiziana ( <i>Alta Frecuencia</i> )
	<b>C. Método de Polarización Inducida (IP)</b>

Tabla 4.- Clasificación de los Métodos Geoelectrónicos

**Fuente:** (Geotechnical Earthquake Engineering, 2009)

Los métodos geoelectrónicos más empleados se basan en la inyección artificial de una corriente eléctrica (*sondeos eléctricos verticales SEV* y *calicatas eclécticas CE*), tomografía de resistividad eléctrica (*ERT*), Geo Radar; de menor utilidad son la polarización inducida (*IP*) y el potencial espontáneo (*SP*), este último basado en la medición de campos eléctricos naturales.

La aplicación de los métodos de prospección puede darse de la siguiente manera:

- Determinando la presencia de zonas saturadas.
- Ayudando a conocer la geometría del acuífero.
- Caracterizando la litología de los materiales del subsuelo.
- Localizando estructuras, detección de cavernas y karst.
- Estimando cualitativamente la calidad del agua subterránea.
- Estimando indirectamente ciertos parámetros hidráulicos como la permeabilidad.
- Estimando parámetros físicos y químicos del suelo para el diseño de obras civiles en general.
- Zonificación de contaminantes.
- En estudios arqueológicos.

- En estudios geotérmicos.

### 2.3.3 Resistividad Eléctrica de Suelos

La resistividad es una de las propiedades físicas que más se estudia a la hora de determinar el comportamiento electromagnético de las rocas y sedimentos. La finalidad de su medida es detectar y localizar cuerpos y estructuras geológicas basándose en su contraste resistivo.

Los valores de la resistividad en una roca están determinados más que por su composición mineralógica, por el agua que contienen, fundamentalmente por la porosidad y por la salinidad del agua (*mayor salinidad implica mayor conductividad*) [28].

El método consiste en la inyección de corriente continua o de baja frecuencia en el terreno mediante un par de electrodos y la determinación, mediante otro par de electrodos, de la diferencia de potencial (*Fig. II.18*). La magnitud de esta medida depende, entre otras variables, de la distribución de resistividades de las estructuras del subsuelo, de las distancias entre los electrodos y de la corriente inyectada [27].

El valor de la resistividad también depende de otros factores como la temperatura, humedad o presión. Un descenso de la temperatura provoca un aumento de la resistividad y en el punto de congelación el agua pasa a ser un dieléctrico mal conductor. Por estas razones la resistividad es una de las magnitudes físicas con mayor amplitud de

variación para diversos materiales. Todo esto hace que la resistividad para cada tipo de roca presente una gran variabilidad.

### RESISTIVIDAD DE ALGUNAS ROCAS Y MINERALES

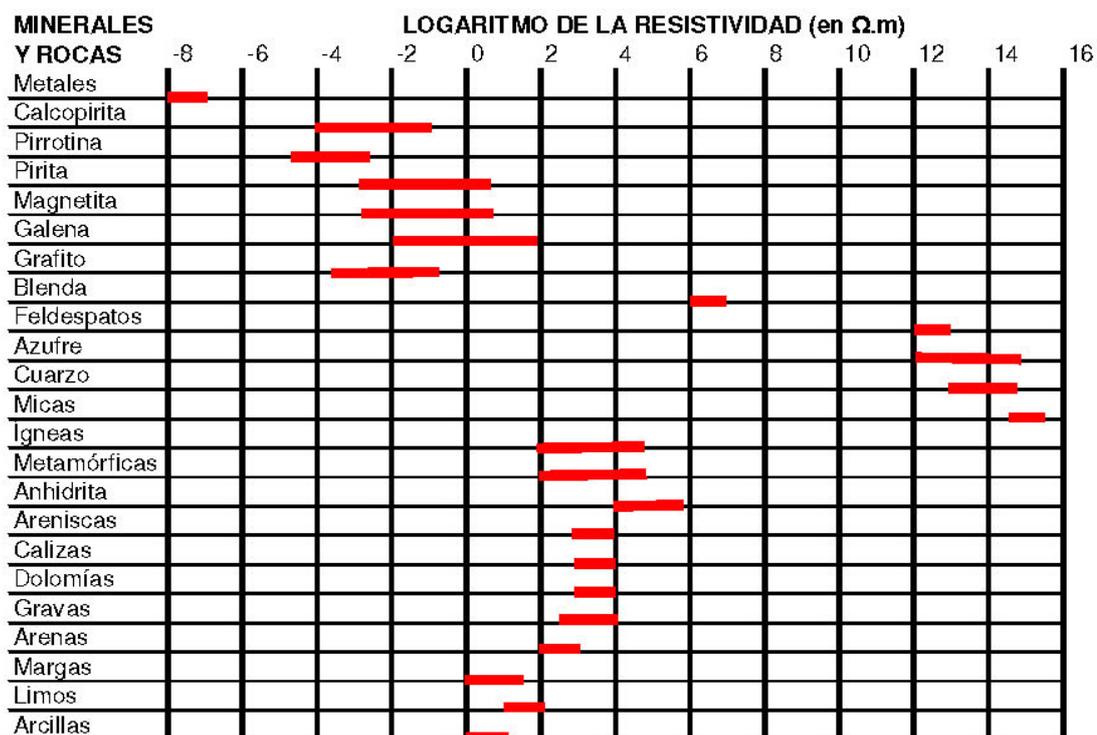


Fig. II. 17.- Valores de Resistividad de Diferentes Rocas y Minerales

Fuente: (AUGE, 2008)

La resistividad en los materiales naturales varía desde  $10^{-8}$  en los metales nativos (*oro, plata, cobre, estaño*) hasta  $10^{15}$  en micas (Fig. II.17). En general, en el campo encontraremos valores de este orden:

- Rocas ígneas y metamórficas inalteradas:  $> 1000 \Omega.m$

- Rocas ígneas y metamórficas alteradas, o fuertemente diaclasadas: 100 a 1000  $\Omega.m$
- Calizas y Areniscas: 100 a más de 1000  $\Omega.m$
- Arcillas: 1 a 10  $\Omega.m$
- Limos: 10 a 100  $\Omega.m$
- Arenas: 100 a 1000  $\Omega.m$
- Gravas: 200 a más de 1000  $\Omega.m$

Es importante que en materiales detríticos la resistividad aumente con el tamaño de los granos. Por tanto, en una investigación hidrogeológica en materiales detríticos, buscaremos resistividades elevadas que indican los materiales más gruesos, es decir, de mayor permeabilidad.

En rocas compactas, que en general deben su permeabilidad a la posible fisuración, buscaremos las resistividades más bajas, que indicarán las zonas en que la formación presenta la mayor fracturación o alteración. En este caso también puede que las zonas o niveles de menor conductividad tampoco sean permeables si los planos de fracturación han sido colmatados por arcillas de alteración.

En una región determinada, la experiencia nos indicará que valores concretos de resistividad presenta cada una de las formaciones. En otras ocasiones, estos valores pueden obtenerse de diagráfias o realizando

Sondeos Eléctricos Verticales en el mismo punto donde exista una perforación de la que se conozca la columna litológica (**SEV Paramétricos**) [28].

Los minerales semiconductores son muchos y de gran importancia práctica. Su resistividad depende de su contenido en impurezas, a veces en grado extremo. Además su conductividad aumenta con la temperatura. Por ello, no cabe esperar que la resistividad de una especie mineralógica determinada pueda representarse por un dato único, sino que puede variar dentro de límites amplios. En general los telurios y los arseniuros son conductores muy buenos. Los sulfuros suelen entrar también entre los conductores buenos, con excepciones como la blenda y el cinabrio. Los óxidos, y los compuestos de antimonio suelen ser malos conductores, con la excepción de la magnetita. Ahora bien, estos minerales no suelen aparecer en la naturaleza de forma individual, sino en asociaciones, y junto con una ganga frecuentemente aislante (*cuarzo, calcita, etc.*), por lo que la resistividad conjunta de un filón puede variar mucho de unos casos a otros.

En los cuerpos dieléctricos o aisladores, los electrones están fuertemente ligados a los átomos. Esto puede deberse a que existan enlaces covalentes o iónicos. En este último caso la red cristalina forma un electrolito sólido. La mayoría de los minerales pertenecen a este grupo. A temperaturas normales las resistividades son muy altas, generalmente superiores a  $10^7 \Omega.m$ . Son minerales dieléctricos el azufre, la blenda, la calcita, el cinabrio, el cuarzo, las micas y el petróleo entre otros. Entre estos minerales, además, figuran los más importantes constituyentes de las rocas, las cuales se comportarían como aisladoras si no fuera por la presencia de electrolitos.

El agua pura es muy poco conductora a causa de su muy reducida disociación. La resistividad del agua destilada es de unos  $10^5 \Omega.m$ , por lo que puede considerarse como aislante. Las aguas que se encuentran en la naturaleza presentan, sin embargo, conductividad apreciable, pues siempre tienen disuelta alguna sal, generalmente NaCl. Así las aguas de lagos y arroyos de alta montaña varían entre  $10^3 \Omega.m$  y  $3 \cdot 10^3 \Omega.m$ , las aguas subterráneas tienen resistividades de 1 a  $20 \Omega.m$ , y las aguas marinas tienen una resistividad de unos  $0,2 \Omega.m$ .

Si la resistividad de las rocas dependiese únicamente de los minerales constituyentes, habrían de considerarse como aislantes en la inmensa mayoría de los casos, puesto que el cuarzo, los silicatos, la calcita, las sales, etc., lo son prácticamente. Sólo en el caso de que la roca contuviese minerales semiconductores en cantidad apreciable, podría considerarse como conductora, es decir, sólo lo serían las menas metálicas. Afortunadamente, todas las rocas tienen poros en proporción mayor o menor, los cuales suelen estar ocupados total o parcialmente por electrolitos, de lo que resulta que, en conjunto, las rocas se comportan como conductores iónicos, de resistividad muy variable según los casos [22].

Una limitación del método resistivo es su alta sensibilidad a pequeñas variaciones de la conductividad cerca de la superficie, debido al contenido de humedad. Gracias a la humedad, un mismo suelo puede presentar diferentes resistividades con el tiempo, ya que se altera fácilmente mediante la lluvia o riego del suelo. Esto puede conducir a interpretaciones erróneas de los materiales constituyentes en el subsuelo.

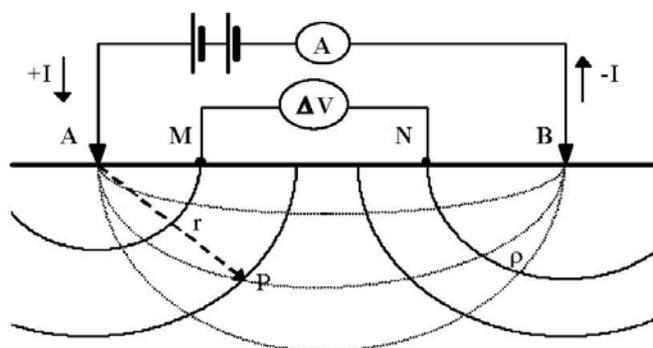


Fig. II. 18.- Geometría de los electrodos para la Medida de la Resistividad del Suelo

Fuente: (GASULLA, 1982)

#### 2.3.4 Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

El componente geológico natural no es isotrópico ni homogéneo, por lo que la resistividad de las rocas corresponde a una integración de valores medios, en los que inciden la anisotropía y la heterogeneidad del terreno y la posición relativa de los electrodos; a esta resistividad se la denomina aparente ( $\rho_a$ ).

Un sondeo eléctrico vertical consiste en un conjunto de determinaciones de la **resistividad aparente**, efectuadas con el mismo tipo de dispositivo lineal y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción en un mismo azimut. Dicho nombre será representado por la sigla SEV [4].

Los SEV se pueden clasificar en función de la separación final de sus electrodos externos (**A** y **B**) de la siguiente manera:

TIPO DE SEV	LONGITUD	PRINCIPAL APLICACIÓN
Corto	<b>AB</b> hasta 250 m	Geotecnia y Arqueología
Normal	250 m < <b>AB</b> < 2500 m	Hidrogeología
Largo	2500 m < <b>AB</b> < 25000 m	Prospección Petrolera
Muy Largo	<b>AB</b> hasta 1200 Km	Investigación Geofísica

Tabla 5.- Clasificación de los SEV según su Longitud

Fuente: (AUGE, 2008)

Para la realización de un SEV se colocan los 4 electrodos (**A**, **M**, **N**, **B**) configurados de acuerdo al método a utilizar (*Fig. II.19*). Se compensa el potencial natural del terreno y se lo energiza con una corriente continua de intensidad  $I$  en  $mA$  (*electrodos AB*) y se lee la diferencia de potencial  $\Delta V$  en  $mV$  (*electrodos MN*). Los valores se colocan en una tabla y se calcula la resistividad aparente ( $\rho_a$  en  $\Omega.m$ ).

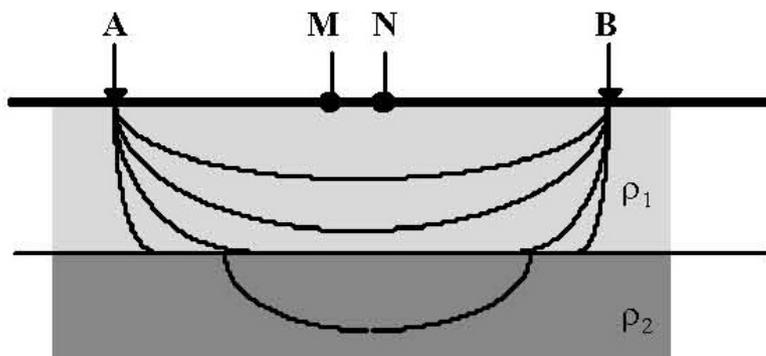


Fig. II. 19.- Principio del SEV. A medida que A y B se separan, la corriente va penetrando en las capas más profundas

Fuente: (GASULLA, 1982)

El objetivo de un SEV es la obtención de un modelo de variación de la resistividad aparente en función de la profundidad, a partir de mediciones realizadas en superficie. Se lo utiliza sobre todo para detectar y establecer los límites de capas horizontales de suelo estratificado.

La profundidad alcanzada por la corriente aumenta a medida que crece la distancia de los electrodos inyectoros AB, pero su densidad disminuye, aunque generalmente no existe una relación de profundidad entre ambas. Esto no resulta sencillo pues la profundidad de investigación no es igual a la profundidad alcanzada por la corriente debido a que depende de la geometría de los dispositivos y de los cambios de resistividades en el subsuelo, ya que la densidad de corriente disminuye de modo suave y gradual pero sin anularse nunca.

Cualquiera que sea la geometría de los electrodos, si conocemos la constante geométrica ( $k$ ), la corriente eléctrica  $I$  inyectada por los electrodos  $A$  y  $B$ , y la diferencia de potencial  $\Delta V$  entre los electrodos  $M$  y  $N$ , podemos calcular la resistividad aparente mediante:

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I}$$

Donde 
$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM}\right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN}\right)} \quad (\text{constante geométrica})$$

Las geometrías de electrodos más utilizados son el método Wenner y Schlumberger.

### 2.3.4.1 Método Wenner

En este método los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB, como se ilustra en la Fig. II.20.

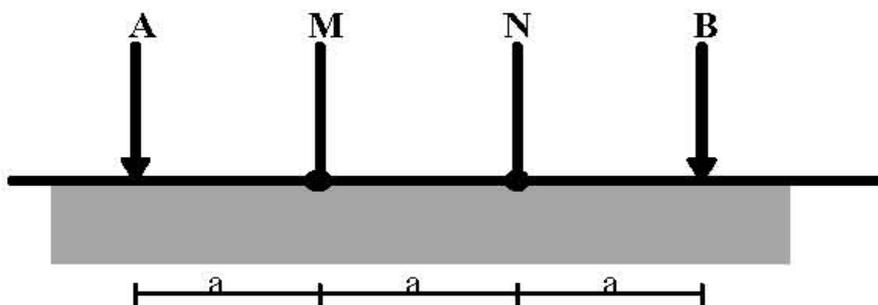


Fig. II. 20.- Dispositivo Wenner

Fuente: (GASULLA, 1982)

Donde la constante geométrica ( $k$ ) sería:  $k = 2\pi a$

Dado el dispositivo Wenner AMNB con separación interelectródica  $a$ , el sondeo consiste en el aumento progresivo del valor  $a$  manteniendo un punto central fijo **P** (Fig. II.21). Para la representación de los datos se muestra en ordenadas el valor de la resistividad aparente medida,  $\rho_a$ , en  $\Omega.m$ , y en abscisas el valor de  $a$  en metros para cada paso [9].

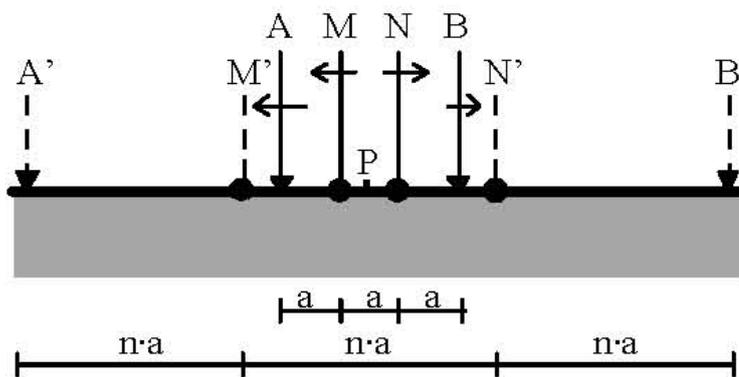


Fig. II. 21.- Sondeo Wenner. La distancia interelectrónica pasa de (AMNB) a la (A'M'N'B')

Fuente: (GASULLA, 1982)

### 2.3.4.2 Método Schlumberger

Se trata de una composición simétrica de los electrodos AMNB dispuestos en línea, donde la distancia de los electrodos detectores MN es mucho menor que la de los inyectores AB. En la práctica debe cumplir con la condición que  $AB > 5MN$ . (Fig. II.22).

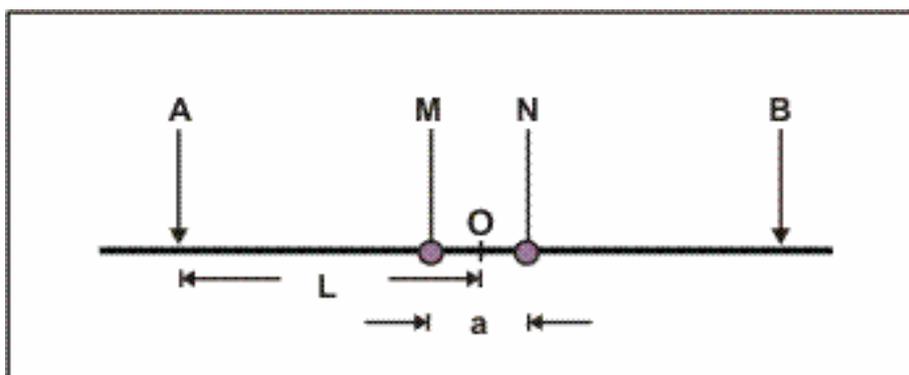


Fig. II. 22.- Disposición Geométrica Schlumberger

Fuente: (AUGE, 2008)

Donde la constante geométrica ( $k$ ) se deduce como:  $k \approx \pi \frac{L^2}{a}$

Dado el dispositivo Schlumberger AMNB con  $AB \gg MN$ , el sondeo consiste en separar progresivamente los electrodos inyectoros  $A$  y  $B$  dejando los electrodos detectores  $M$  y  $N$  fijos en torno a un punto central fijo  $P$  (Fig. II.23). La representación de este sondeo muestra en ordenadas la resistividad aparente  $\rho_a$  ( $\Omega \cdot m$ ) y en abscisas la distancia  $AB/2$  ( $m$ ). En este sondeo el efecto de las heterogeneidades irrelevantes es menor pues sólo se mueven el par de electrodos inyectoros  $A$  y  $B$  [9].

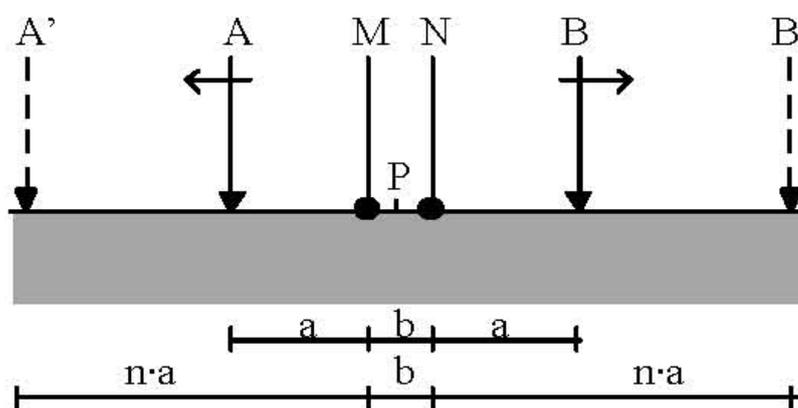


Fig. II. 23.- Sondeo Schlumberger. Los electrodos A y B se abren progresivamente mientras M y N están fijos

Fuente: (GASULLA, 1982)

# CAPÍTULO 3

## III. MARCO GEOGRÁFICO REGIONAL

### 3.1 Ubicación del Área de Estudio

El área de estudio se encuentra en una zona geográfica denominada “Península de Santa Elena” ubicada en la Provincia de Santa Elena – Ecuador, a aproximadamente 55 Km. de la ciudad de Santa Elena y a 61 Km. de La Libertad (*Mapa 1*). La comuna Olón pertenece a la Parroquia Manglaralto que tiene una población aproximada de 30.503 habitantes según las proyecciones del VI Censo de Población y Vivienda del 2001 [14].

Cartográficamente, la zona de estudio está plasmada en las hojas topográficas “**OLÓN**” y “**DELICIAS**” del Instituto Geográfico Militar (**IGM**). Se detalla a continuación (*Tabla 6* y *Tabla 7*) la información de las mismas se representa la información en el Mapa 1:

<b>Nombre: Olón</b>	
<b>Hoja:</b>	MIV-E1, 3488 IV
<b>Serie:</b>	J721
<b>Edición:</b>	3-IGM
<b>Escala:</b>	1 : 50.000
<b>Datum:</b>	WGS84, ELIPSOIDE WGS-1984
<b>Zona:</b>	18

Tabla 6.- Datos de la Hoja Topográfica Digital Olón

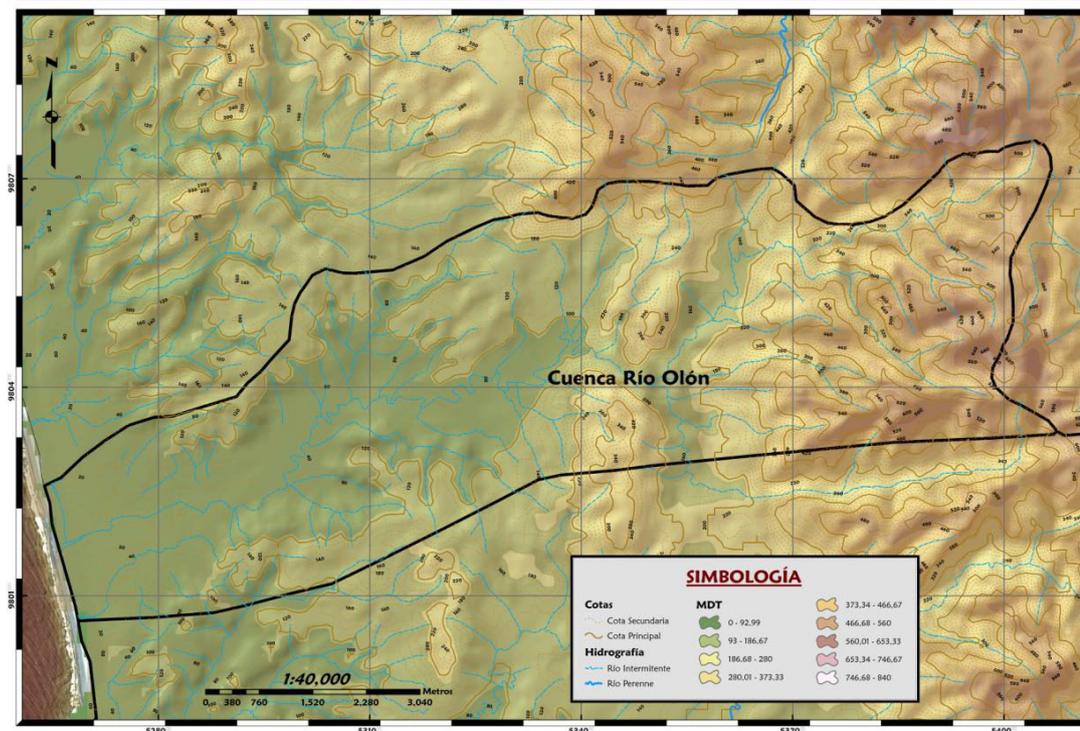
**Fuente:** (INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR, 2006)

<b>Nombre: Delicias</b>	
<b>Hoja:</b>	MIV-E2, 3488 I
<b>Serie:</b>	J721
<b>Edición:</b>	4-IGM
<b>Escala:</b>	1 : 50.000
<b>Datum:</b>	WGS84, ELIPSOIDE WGS-1984
<b>Zona:</b>	17

Tabla 7.- Datos de la Hoja Topográfica Digital Delicias

**Fuente:** (INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR, 2006)

## TOPOGRAFÍA Y MDT CUENCA HIDROGRÁFICA OLÓN



Mapa 2.- Topografía Digital del Área de Estudio

Fuente: (INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR, 2006)

### 3.2 Geología del Área de Estudio

El área de estudio, al estar dentro de la Península de Santa Elena, forma parte de una llanura costera donde la estructura principal es el arco montañoso Chongón-Colonche y tiene una dirección NW-SE, mismo que es límite Norte y Este de una gran cuenca sedimentaria; y parte de esta cuenca y de la cordillera en mención corresponde a nuestra zona de estudio. En la región afloran rocas que varían en edad desde el Cretácico Superior hasta el reciente y conforman una potente serie de rocas sedimentarias y volcánicas.

En la zona se encuentran importantes fallas que se orientan NW-SE o NNW-SSE en las que predomina el movimiento vertical. Existen sin embargo efectos de desplazamiento horizontales y de cizalla. Posiblemente están relacionados con la segunda fase de la Orogénesis Andina. Otras fallas importantes son las de dirección N-S y se las encuentra en el centro y este de la región donde se manifiesta una tectónica de plegamiento evidenciada por Anticlinales y Sinclinales de eje aproximadamente N-S que vienen desarrollándose desde el Norte [6].

Cabe mencionar que en el sector del valle de Olón la depositación secuencial de los estratos no ha sido afectada por la tectónica de la zona.

### **3.3 Estratigrafía del Área de Estudio**

#### **3.3.1 Formación Cayo (*Cretácico Superior*)**

Está representada por una alternancia de areniscas grawakicas de grano medio a grueso en banco métricos a decimétricos, abundantes elementos de rocas volcánicas básicas con matriz arcillosa (microbrechas, tobas) y argilitas grises o verdes silicificadas.

Aparte de la litología típica, presenta brechas intraformacionales que alcanzan potencias de hasta 20 metros, compuesta por fragmentos de argilitas, angulosos o ligeramente redondeados, encerrados en un matriz más fina. Bancos de chert aflorante corresponde a la parte superior de la

Formación. La potencia estimada es de 2.600 metros en la Cordillera Chongón-Colonche [6].

### **3.3.2 Grupo Ancón (*Eoceno Medio – Superior*)**

Comprende rocas silicoclásticas y debe su nombre al distrito petrolero Ancón. Comprende las Formaciones Socorro y Seca. Rocas correlacionables con el Grupo Ancón afloran más hacia el Norte desde Ballenita hasta Campo Paoa, y subafloran en el área de la Plataforma Continental adyacente. En la Cuenca Progreso aflora en el borde Oeste en el límite con el Alto Santa Elena y ha sido alcanzado en numerosas perforaciones petroleras [5].

### **3.3.3 Formación Socorro (*Eoceno Medio*)**

Esta Formación consiste de dos miembros:

**Miembro Caliza Javita (*Eoceno Medio, parte superior*)**.- En el borde Suroccidental de la Cordillera Chongón-Colonche afloran calizas arrecifales que cambian lateral y verticalmente en areniscas fosilíferas de grano medio a grueso, carbonatadas. Las calizas se presentan a veces con abundantes foraminíferos. Yace sobre la Cayo con un conglomerado basal y su potencia varía entre 0 – 90 m [6].

**Miembro Arenisca Dos Mangas (*Eoceno Medio*)**.- Yace con un conglomerado de base sobre la Caliza Javita y está cubierta en

discordancia por la Formación Zapotal. Litológicamente se presenta como limolitas y lutitas, con intercalaciones de areniscas y arcillas [6].

### **3.3.4 Formación Seca (*Eoceno Superior*)**

Consta de los siguientes miembros:

**Miembro Lutita Seca (*Eoceno Superior*).**- Es un flysch distal, con areniscas y lutitas que presentan facies de tipo nerítico, arrecifal y radiolaríticas [5]. El contacto es normal con la unidad suprayacente.

**Miembro Punta Ancón (*Eoceno Superior*).**- Se trata de un depósito de ambiente litoral, conformado por areniscas grawáquicas, arcillas, lentes calcáreas, conglomerados ligníticos y lutitas interestratificadas, suprayaciendo en disconformidad al Miembro Lutita Seca.

Para todo el conjunto del Grupo Ancón se estima una potencia alrededor de 2400 m [6].

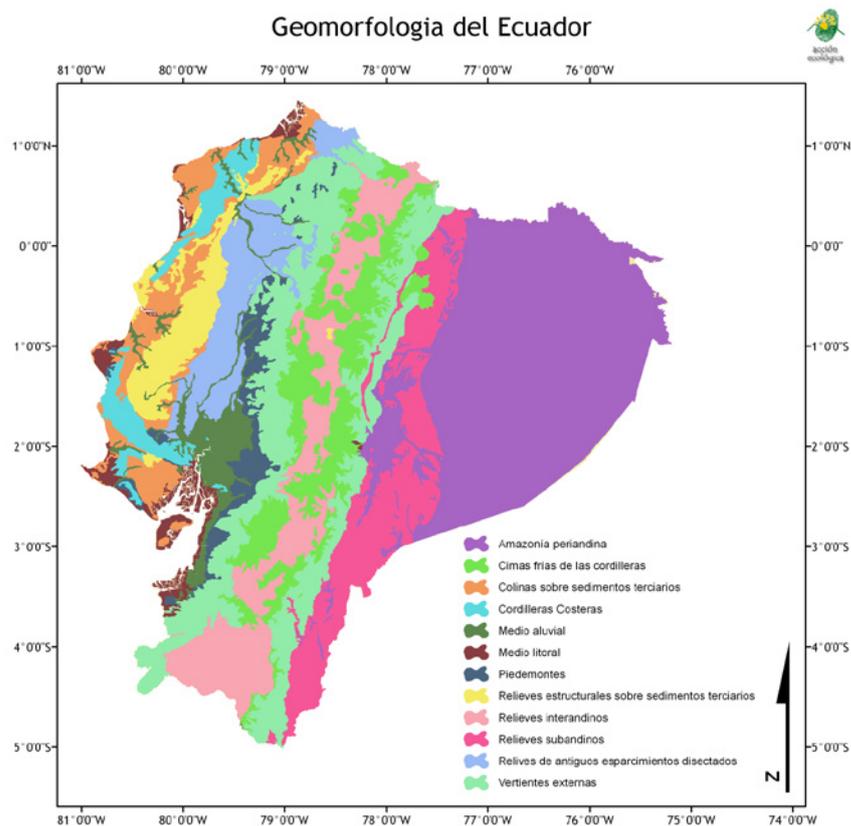
### **3.3.5 Formación Zapotal (*Eoceno Superior – Oligoceno Inferior*)**

Yace discordantemente sobre las formaciones antiguas. Se compone esencialmente de areniscas gruesas masivas y bancos de conglomerados de tipo turbidítico y lutitas intercaladas con moluscos y restos de plantas. Tiene una potencia estimada de 300 m [6].

### **3.3.6 Depósito Aluvial (*Cuaternario*)**

Se encuentran relleno los valles formados por los ríos que determinan el sistema hidrográfico actual. Su composición varía de acuerdo a los sitios de aporte. Se presentan como gravas y conglomerados algo brechosos, encerrados en una matriz limo-arenosa. Se desarrolla especialmente en los ríos Ayampe, Olón, Manglaralto y Valdivia donde su potencia alcanza a 20 m [6].

### 3.4 Geomorfología del Área de Estudio



**Fuente:** (ACCION ECOLOGICA, 2001)

Geomorfológicamente, la zona estudiada presenta relieves medios y bajos; la altura máxima dentro de la Cuenca Hidrográfica Olón no llega a los 680 m.s.n.m. Dentro de la descripción y detalle de la geomorfología del Ecuador, el área de estudio consta de dos zonas geomorfológicas claramente diferenciadas:

### **3.4.1 Colinas Sobre Sedimentos Terciarios**

Llamados así debido a encontrarse en las zonas bajas de la cuenca hidrográfica, la altura máxima en esta zona llega a los 140 m.s.n.m. presentando micro relieves y sus pendientes son evidentemente suaves sobre grandes extensiones de la cuenca.

Esta zona geomorfológica comprende desde la línea de costa, pasando por el Valle de Olón hasta llegar a la Cordillera Chongón-Colonche.

### **3.4.2 Cordilleras Costeras**

La Cordillera Chongón-Colonche se sitúa en dirección NW-SE, y una parte de la misma corresponde a la segunda zona geomorfológica de la cuenca hidrográfica en estudio.

Los relieves en esta zona son pronunciados y sus pendientes considerablemente fuertes, debido a que la altura en este sector comprende entre los 140 hasta sobre los 660 m.s.n.m.

Dentro de esta zona geomorfológica hay sectores aterrizados, es decir, de suaves pendientes y posiblemente de interés hidrogeológico al estar ubicados cerca de causes provenientes de aguas de escorrentías.

### 3.5 Climatología del Área de Estudio

#### 3.5.1 Generalidades de la Zona Litoral y Zona de Estudio

Debido a su posición geográfica y a la diversidad de alturas impuesta por la Cordillera de los Andes, el Ecuador presenta una gran variedad de climas y cambios considerables a cortas distancias. Ecuador está ubicado dentro del cinturón de bajas presiones atmosféricas donde se sitúa la Zona de Convergencia Intertropical (**ZCIT**), por esta razón, ciertas áreas del país reciben la influencia alternativa de masas de aire con diferentes características de temperatura y humedad como las que se detallan a continuación [12]:

- **Masas Tropicales Marítimas.-** Estas masas se originan en las extensiones oceánicas y se distinguen por su alta temperatura y gran contenido de humedad.
- **Masas Tropicales Continentales.-** Estas masas se caracterizan por bajas temperaturas y un contenido menor de humedad. Su lugar de origen son las planicies del Litoral y del Oriente, distinguiéndose éstas últimas por un mayor contenido de humedad.

El área de estudio se encuentra en la Región Litoral, donde el suelo es generalmente bajo, con pequeñas elevaciones que no pasan los 800 m de altura sobre el nivel del mar. El principal sistema montañoso de la región lo constituye la Cordillera Chongón-Colonche que divide el área de estudio en dos subregiones denominadas Costa Externa y Costa Interna.

Los factores que controlan las condiciones climáticas del área de estudio son:

- **Vegetación.-** Donde existe mayor vegetación, se produce mayor evaporación del suelo y de las plantas (*evapotranspiración*) lo que contribuye al aumento de las precipitaciones.
- **Acercamiento al Océano.-** La Región Litoral o Costa por estar cerca del Océano Pacífico recibe su acción térmica modificadora del clima.
- **Corrientes Marinas.-** Las llanuras de la región Litoral reciben la influencia de la Corriente Fría de Humboldt, la misma que hace disminuir la temperatura que le corresponde por estar en la Zona Tórrida, así como no permite el paso de los vientos cálidos y húmedos del Pacífico, haciendo que en esta zona las precipitaciones sean escasas, convirtiendo en estériles a los suelos de la Península de Santa Elena.

La Corriente Cálida de El Niño, en cambio, influye en el clima de la región Litoral desde el Norte, haciéndolo más cálido, aumentando grandemente el régimen de lluvias en este sector.

- **Vientos.-** Los vientos que soplan desde los Andes disminuyen la temperatura de los suelos bajos de la Costa. Además, al chocar con los vientos calientes y húmedos de estas regiones se producen las precipitaciones.

Conocemos que los vientos predominantes en el Ecuador son los alisios del Noreste en el Hemisferio Norte y los del Sudeste en el Hemisferio Sur, alterándose esta prevalencia por el comportamiento de las masas de aire y los desplazamientos del cinturón ecuatorial.

Lo expuesto anteriormente determina que en el Ecuador se forman masas de aire ora estáticas ora móviles con características propias. El papel de estas masas de aire puede resumir que la región costanera central (*Península de Santa Elena y Sur de Manabí*) la mayor parte del tiempo está bajo la influencia de la corriente fría de Humboldt [12].

En Salinas la temperatura de la superficie marítima disminuye entre los meses de Junio y Septiembre que corresponden al invierno austral. Masas de aire marítimo relativamente frío invaden la faja costanera dando lugar a neblinas y lloviznas con valores de precipitaciones muy débiles, determinando un clima seco. Sin embargo, tiene una influencia importante en las partes altas de los relieves (*Cordillera Costera*) donde son responsables de zonas notablemente más húmedas [12].

### **3.5.2 Clasificación Climática según Köppen**

Se han ensayado muchos sistemas de las clasificaciones climáticas, pero el elaborado por el climatólogo Köppen es el más conocido y se acomoda mejor a la realidad.

El gran mérito de este sistema es que básicamente utiliza datos de temperatura media y precipitaciones mensuales. Esto hace que sea fácil la obtención de datos para la mayor parte de la tierra.

Köppen empieza por definir el índice ( $K$ ) de la siguiente forma:

- $K = 2T$                       Precipitación máxima en invierno.
- $K = 2T + 14$                       Precipitación repartida uniformemente.
- $K = 2T + 28$                       Precipitación máxima en verano.

Donde " $T$ " es la temperatura media normal anual en grados centígrados.

Köppen emplea letras mayúsculas para distinguir las clasificaciones climáticas de la siguiente forma:

- **A:** Climas tropicales húmedos, cuya temperatura del mes más frío es superior a 18°C.
- **B:** Climas muy secos sin árboles, distinguiéndose dentro de esta clasificación las estepas y los desiertos.
- **C:** Climas templados, cuya temperatura media del mes más frío es superior a los 3°C.
- **D:** Climas fríos, la temperatura media del mes más frío es inferior a los 3°C.

- **E:** Climas polares o de altura.

Para mejor comprensión y detalle de estas grandes clasificaciones se añadió otras especificaciones, representadas con letras minúsculas:

- **f:** significa que no hay estación seca.
- **s:** no hay estación seca en verano.
- **w:** hay una estación seca en invierno.
- **m:** estación seca en verano o estación muy lluviosa en invierno

Acogiéndose a la clasificación climática de Köppen, podemos indicar que como resultado de la influencia de los distintos factores que modifican el clima, en la Región Litoral se considera cuatro diferentes zonas climáticas que son:

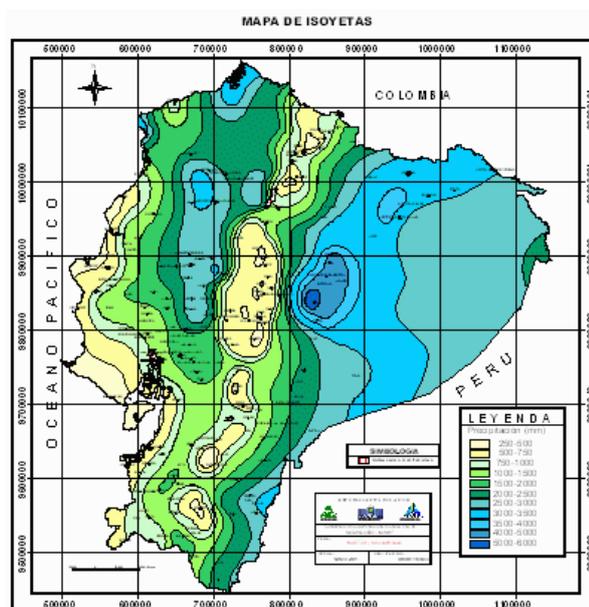
- Clima Tropical Húmedo (**Af**)
- Clima Tropical Monzón (**Am**)
- Clima Tropical Sabana (**Aw**)
- Clima Tropical Seco (**B**)

De estas cuatro diferentes zonas climáticas, las que se presentan en el área de estudio son Clima Tropical Húmedo (**Af**), característico en la Cordillera Chongón-Colonche, y Clima Tropical Sabana (**Aw**) en las zonas bajas y cercanas a la cordillera, correspondiendo a cada uno de ellos una vegetación característica.

### **3.5.3 Precipitaciones**

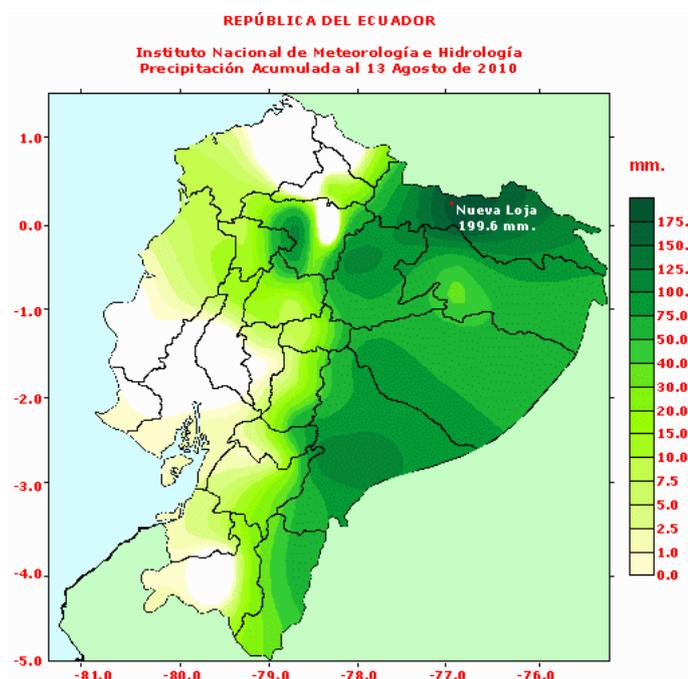
Se entiende por precipitaciones a la cantidad de agua procedente de la atmósfera. En la Región Litoral, las precipitaciones anuales aumentan de Oeste a Este. Los valores más bajos se registran en el sector comprendido entre Manta y la Península de Santa Elena cuyos registros alcanzan los 250 mm, mientras que los valores más altos de las precipitaciones anuales son superiores a los 3000 mm.

Las precipitaciones anuales en el área de estudio se encuentran aproximadamente entre 500 mm. a 750 mm. En los últimos años la Península de Santa Elena ha sido afectada por la sequía donde las precipitaciones han sido menores a los establecidos en la Región Litoral. Recientemente el litoral ecuatoriano atravesó un invierno con precipitaciones entre 11.7 y 13.7 mm/día **[11]**.



Mapa 4.- Mapa de Isoyetas

Fuente y Elaboración: (INAMHI, 2010)



Mapa 5.-Mapa de Precipitación Acumulada

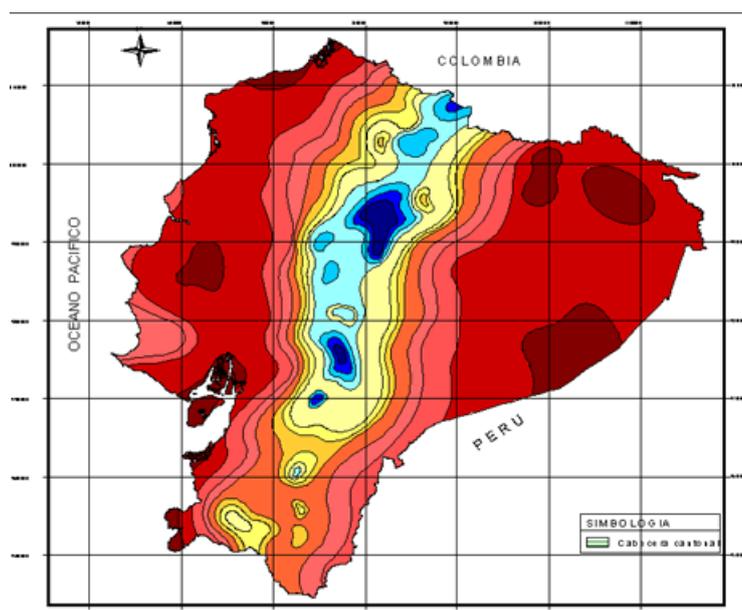
Fuente y Elaboración: (INAMHI, 2010)

### 3.5.4 Temperaturas e Irradiación Solar

La temperatura es el grado de calor o de frío de la atmósfera; y es uno de los factores que más contribuye a modificar el clima en el país, y por ende, en la región de estudio. Si se considera que partiendo del nivel del mar la temperatura desciende un grado por cada 200 metros de altura, nuestro clima tiene una fluctuación de aproximadamente 31°C, ya que el nivel de sus tierras va desde 0 metros al nivel del mar hasta 6310 metros que es su máxima altura en las cumbres del Chimborazo. Esto ha hecho que el Ecuador goce del privilegio de poseer todos los tipos de clima, desde el cálido del Litoral hasta el glacial de las alturas andinas (INAMHI, 2010).

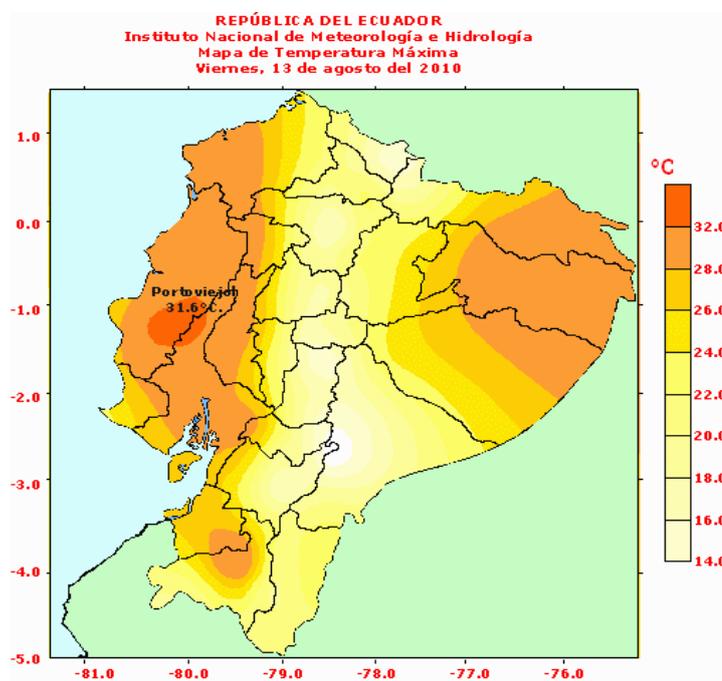
En la Región Litoral, así como en la Región Oriental e Islas Galápagos, la media anual se establece entre los 24°C y 26°C, con extremos que raramente sobrepasan los 36°C o bajan a menos de 14°C.

La temperatura máxima promedio anual en la zona de estudio es de 27.5°C y la mínima promedio anual es de 18°C [12].



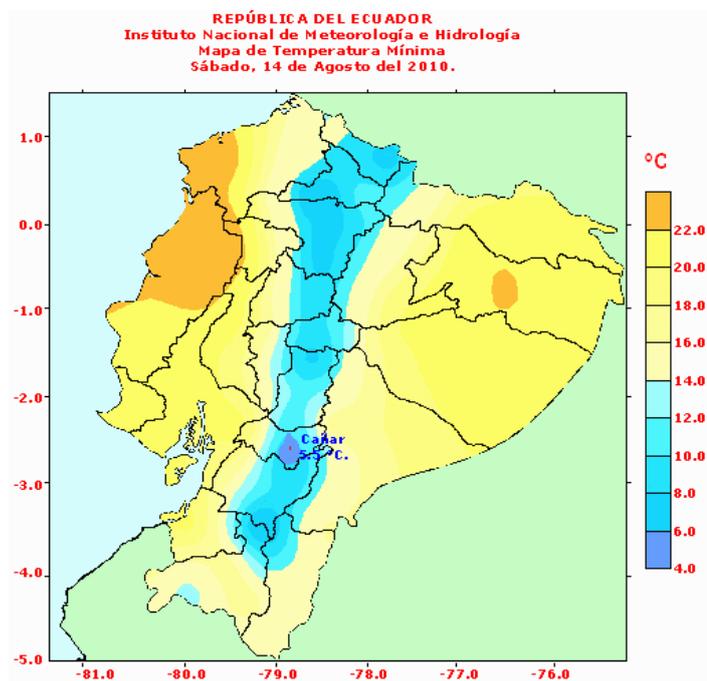
Mapa 6.- Mapa de Isothermas

Fuente y Elaboración: (INAMHI, 2010)



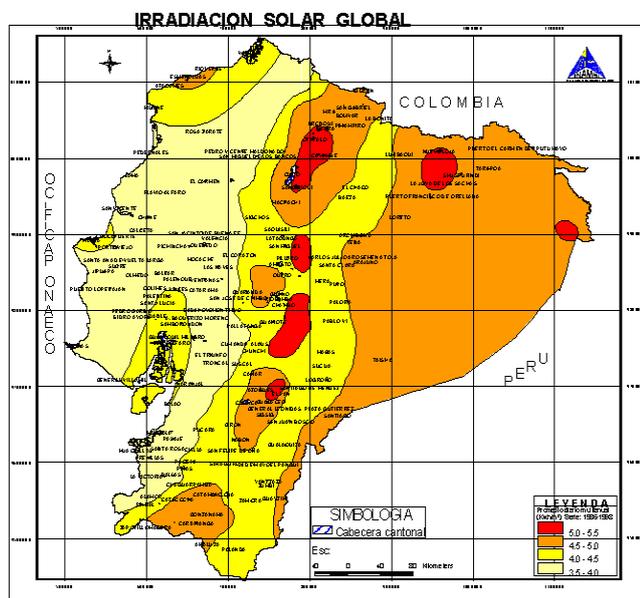
Mapa 7.- Mapa de Temperatura Máxima

Fuente y Elaboración: (INAMHI, 2010)



Mapa 8.- Mapa de Temperatura Mínima

Fuente y Elaboración: (INAMHI, 2010)



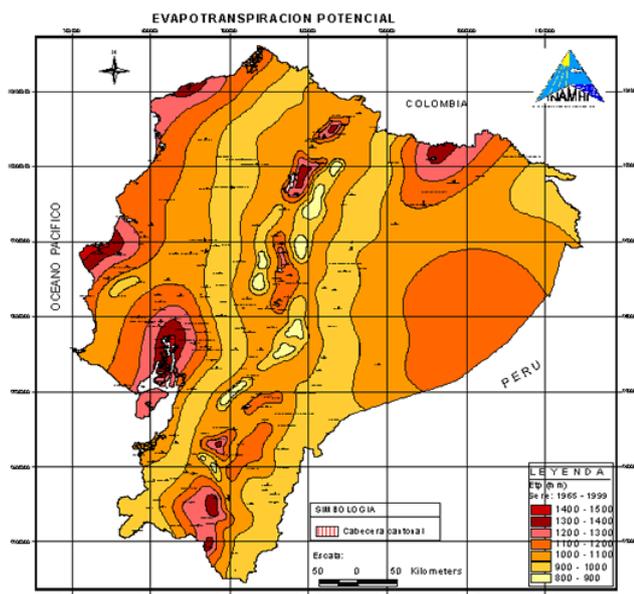
Mapa 9.- Mapa de Irradiación Solar

Fuente y Elaboración: (INAMHI, 2010)

Se entiende por heliofanía (*insolación*), al número de horas en que el sol se hace presente en un lugar determinado. En toda la llanura litoral hasta una altura de 500 metros en la ladera de la Cordillera Occidental, el promedio anual de horas de brillo solar fluctúa entre las 600 y 1700 horas, siendo las más favorables de este número las zonas más secas [12].

### 3.5.5 Humedad

En meteorología el término humedad corresponde a la cantidad de vapor de agua que se encuentra contenida en la atmósfera [11]. Para la zona de estudio la humedad relativa media es de 81%.

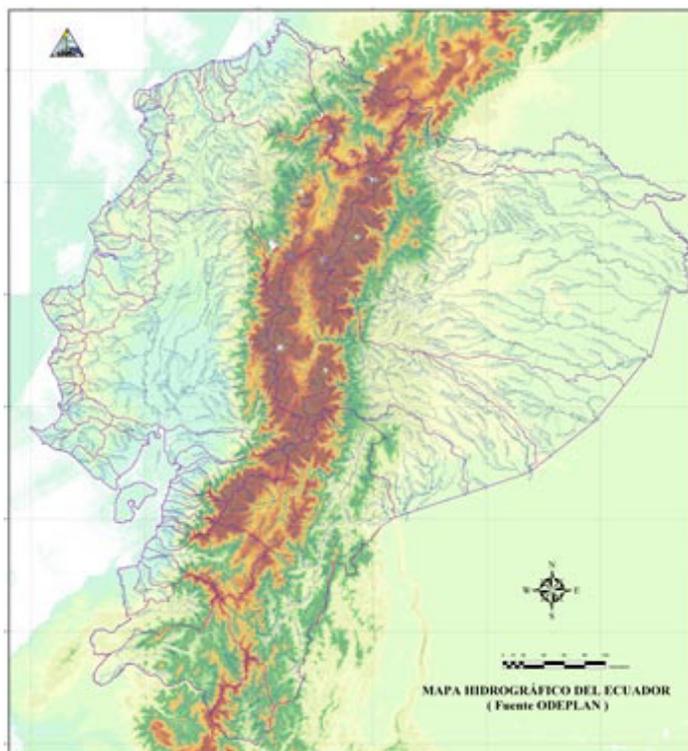


Mapa 10.- Mapa de Evotranspiración Potencial

Fuente y Elaboración: (INAMHI, 2010)

### 3.6 Red Hidrográfica y Recursos de Agua Subterránea

La zona de estudio se encuentra en la subcuenca del Río Olón, la misma que está dentro de la Cuenca Hidrográfica Manglaralto.

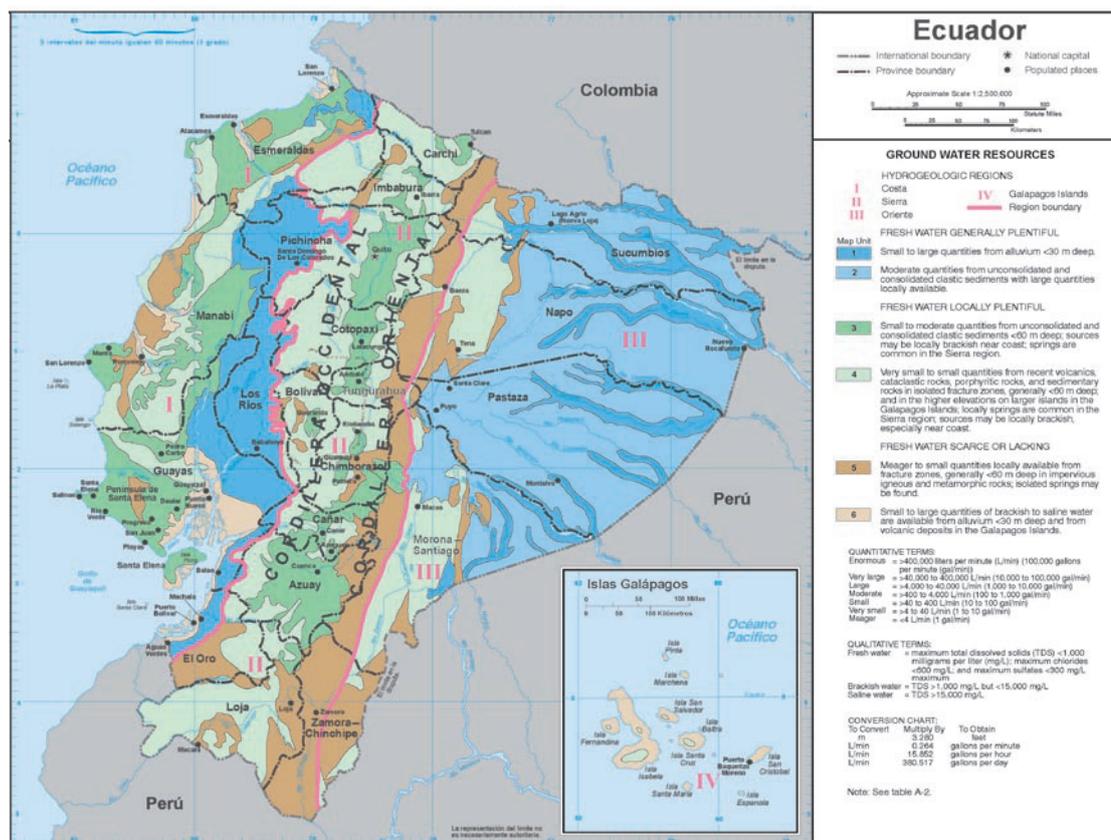


Mapa 11.- Mapa Hidrográfico del Ecuador

**Fuente y Elaboración:** (INAMHI, 2010)

Dentro de la red hidrográfica, el Río Olón es INTERMITENTE, es decir, depende de las épocas de lluvias y estiaje. Este río nace en la parte alta de la Cordillera Chongón-Colonche, donde las precipitaciones anuales están por encima de la media de las estaciones meteorológicas del sector [21]. Una antigua pluviosidad abundante, depositó sobre los valles su aporte detrítico en forma de aluviones.

Dichos aluviales pasaron a ser depósitos con condiciones de porosidad y permeabilidad adecuadas para la acumulación de agua subterránea. Esto se da debido a que el río atraviesa el aluvial, transformándolo en la roca reservorio donde se encuentra el recurso [6].



Mapa 12.- Mapa de Recursos de Agua Subterránea del Ecuador

**Fuente:** ((USGS) UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2009)

Dentro de esta cuenca hidrográfica, el agua subterránea como recurso se encuentra en la categoría de “*Localmente Abundante*”, esto quiere decir, que en las partes de bajos relieves se encuentran cantidades pequeñas a moderadas disponibles en sedimentos clásticos consolidados y no

consolidados a profundidades <60 m y salobre en ciertas localidades costeras. Y en las zonas de alto relieve encontramos pequeñas a muy pequeñas cantidades disponibles en volcánicos recientes, rocas cataclásticas, y sedimentarias localizadas en fracturas aisladas, a profundidades generalmente <60 m y salobre en ciertas localidades.

# CAPÍTULO 4

## IV. BASE DE DATOS GEOESPACIAL

### 4.1 Creación de una Base de Datos Geológica–Espacial y Vectorización de Mapas

Con las hojas topográficas digitales OLÓN y DELICIAS en formato “.dwg” para Auto-CAD a escala 1:50.000 [15], se creó un Modelo Digital de Elevación con sus respectivas cotas y red hidrográfica en ArcGIS 9.3.1 (Mapa 2).

Sabiendo que la Topografía es la base de todo trabajo en el campo, a partir de ahí se procedió a vectorizar toda la información geológica de la Hoja Manglaralto con sus formaciones y estructuras [6], (Ver Mapa Geológico de la Cuenca Olón en Anexo 1).

La geomorfología de la zona se la realizó mediante la correlación del Mapa Geomorfológico del Ecuador (Mapa 3) con el análisis de pendientes y formas de la cuenca hidrográfica en estudio (Ver Mapa Geomorfológico de la Cuenca Olón en Anexo 1).

La vectorización de la información hidrogeológica corresponde a la red hidrográfica [16] junto a información general de recursos de aguas subterráneas del Ecuador (Mapa 12), (Ver Mapa en Anexo 1).

Cabe recalcar que gran parte de la información obtenida no tenía referencia cartográfica, por lo que se procedió a estandarizar toda la información y productos en una base de datos geoespacial con datum de proyección WGS-84 zona 17S.

## **4.2 Análisis de la Fuente de Datos**

### **4.2.1 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)**

El análisis de los SEV (Tabla 8 y Tabla 9) se los realizó utilizando los softwares RockWorks14 y ArcGIS 9.3.1. Estos datos pasaron a formar parte de la base de datos geoespacial al igual que la información geológica, geomorfológica e hidrogeológica del sector.

Se realizaron cortes y secciones geológicas en el sector en base a la interpretación de los programas antes mencionados para modelar el acuífero y determinar las unidades hidrogeológicas de interés.

SEV	X	Y	Z	Profundidad
OL-01	527471.41802	9801551.31465	14.70	80.00
OL-02	527662.41644	9801449.31544	11.10	120.00
OL-03	527782.41551	9801617.31403	16.90	180.00
OL-04	528630.40873	9802045.31029	21.10	80.00
OL-05	529400.40249	9802093.30967	10.50	140.00
OL-06	530124.39679	9802707.30444	37.10	470.00
OL-07	530726.39207	9803253.29979	48.30	100.00
OL-08	531527.38562	9803441.29801	33.80	200.00
OL-09	532288.37949	9803567.29674	45.80	20.00
OL-10	532795.37541	9803673.29571	74.00	70.00
OL-11	532463.37813	9803755.29514	58.10	70.00
OL-12	532418.37848	9803713.29550	55.90	110.00
OL-13	532645.37668	9803851.29430	55.30	90.00
OL-14	532536.37745	9803489.29729	56.80	70.00
OL-15	527570.41732	9801925.31157	34.80	90.00
OL-16	527191.42039	9801903.31185	11.30	30.00
OL-17	527196.42037	9801953.31144	10.20	80.00
OL-18	527358.41909	9802115.31007	23.00	40.00
OL-19	527531.41773	9802281.30866	28.00	70.00
OL-20	527566.41753	9802603.30602	22.80	50.00
OL-21	527665.41682	9802913.30346	31.10	80.00
OL-22	527245.20086	9802399.30778	30.00	30.00
OL-23	526879.42301	9802195.30954	6.90	200.00
OL-24	526822.42350	9802323.30851	10.20	20.00
OL-25	526772.42393	9802392.30796	16.10	90.00
OL-26	526773.42420	9802539.30677	18.70	130.00
OL-27	526855.42311	9801837.31248	14.80	30.00
OL-28	526475.42657	9803259.30095	4.20	110.00
OL-29	526586.42558	9802925.30365	8.70	100.00
OL-30	527030.42158	9801461.31551	10.20	80.00
OL-31	527845.41508	9801931.31144	17.00	130.00
OL-32	527874.41484	9801897.31171	17.00	20.00
OL-33	527389.41879	9801915.31170	17.00	65.00
OL-34	527333.41921	9801815.31253	15.03	100.00
OL-35	527680.41650	9802193.30934	18.60	110.00
OL-36	527333.41926	9801993.31107	7.70	150.00
OL-37	527755.41581	9801899.31173	12.00	130.00
OL-38	527991.41387	9801845.31210	16.71	120.00
OL-39	527658.41666	9802135.30982	19.50	70.00

Tabla 8.- Coordenadas de los SEV

Fuente: (MONTALVAN TOALA, 2008)

SEV	TOPE	BASE	ESPESOR	RESISTIVIDAD	LITOLOGÍA
OL-01	0.00	0.71	0.71	4.00	Arcilla
OL-01	0.71	5.70	4.99	16.00	Arena
OL-01	5.70	20.00	14.30	4.10	Arena
OL-01	20.00	64.00	44.00	6.10	Arena
OL-01	64.00			2.70	Arcilla
OL-02	0.00	2.00	2.00	5.00	Arena
OL-02	2.00	6.90	4.90	4.30	Arena
OL-02	6.90	31.00	24.10	5.70	Arena
OL-02	31.00	100.00	69.00	4.00	Arcilla
OL-02	100.00			24.00	Arena y Grava
OL-03	0.00	0.84	0.84	4.00	Arcilla
OL-03	0.84	3.20	2.36	5.60	Arena
OL-03	3.20	4.80	1.60	4.50	Arena
OL-03	4.80	154.00	149.20	2.60	Arcilla
OL-03	154.00			2.30	Arcilla
OL-04	0.00	0.76	0.76	4.10	Arena
OL-04	0.76	3.10	2.34	12.00	Arena
OL-04	3.10	11.00	7.90	2.60	Arcilla
OL-04	11.00	69.00	58.00	0.84	Arcilla
OL-04	69.00			0.03	Arcilla
OL-05	0.00	0.35	0.35	11.00	Arena
OL-05	0.35	3.20	2.85	2.00	Arcilla
OL-05	3.20	124.00	120.80	4.00	Arcilla
OL-05	124.00			0.001	Arcilla
OL-06	0.00	0.72	0.72	1.90	Arcilla
OL-06	0.72	4.30	3.58	1.20	Arcilla
OL-06	4.30	9.80	5.50	2.40	Arcilla
OL-06	9.80	132.00	122.20	1.40	Arcilla
OL-06	132.00	462.00	330.00	1.80	Arcilla
OL-06	462.00			1.00	Arcilla
OL-07	0.00	2.50	2.50	4.40	Arena
OL-07	2.50	5.00	2.50	0.96	Arcilla
OL-07	5.00	61.00	56.00	1.80	Arcilla
OL-07	61.00	87.00	26.00	2.50	Arcilla
OL-07	87.00			4.00	Arcilla
OL-08	0.00	4.10	4.10	7.70	Arena
OL-08	4.10	181.00	176.90	2.10	Arcilla
OL-08	181.00			0.001	Arcilla
OL-09	0.00	0.97	0.97	2.70	Arcilla
OL-09	0.97	1.30	0.33	1.70	Arcilla
OL-09	1.30	8.40	7.10	6.60	Arena
OL-09	8.40			2.00	Arcilla
OL-10	0.00	6.70	6.70	2.90	Arcilla
OL-10	6.70	52.00	45.30	1.80	Arcilla
OL-10	52.00	54.00	2.00	23.00	Arena y Grava
OL-10	54.00			8.50	Arena
OL-11	0.00	0.41	0.41	2.60	Arcilla

SEV	TOPE	BASE	ESPESOR	RESISTIVIDAD	LITOLOGÍA
OL-11	0.41	0.80	0.39	4.20	Arena
OL-11	0.80	3.10	2.30	5.30	Arena
OL-11	3.10	7.80	4.70	5.90	Arena
OL-11	7.80	49.00	41.20	2.80	Arcilla
OL-11	49.00			22.00	Arena y Grava
OL-12	0.00	3.80	3.80	11.00	Arena
OL-12	3.80	4.70	0.90	14.00	Arena
OL-12	4.70	15.00	10.30	6.80	Arena
OL-12	15.00	94.00	79.00	1.70	Arcilla
OL-12	94.00			49.00	Arena y Grava
OL-13	0.00	0.60	0.60	3.10	Arcilla
OL-13	0.60	3.80	3.20	5.40	Arena
OL-13	3.80	74.00	70.20	3.00	Arcilla
OL-13	74.00			0.57	Arcilla
OL-14	0.00	1.20	1.20	5.10	Arena
OL-14	1.20	2.00	0.80	9.90	Arena
OL-14	2.00	3.30	1.30	3.60	Arcilla
OL-14	3.30	23.00	19.70	1.40	Arcilla
OL-14	23.00	47.00	24.00	4.00	Arcilla
OL-14	47.00			1.00	Arcilla
OL-15	0.00	27.00	27.00	5.20	Arena
OL-15	27.00	32.00	5.00	11.00	Arena
OL-15	32.00	71.00	39.00	4.00	Arcilla
OL-15	71.00			0.001	Arcilla
OL-16	0.00	1.10	1.10	3.40	Arcilla
OL-16	1.10	1.90	0.80	3.80	Arcilla
OL-16	1.90	18.00	16.10	2.60	Arcilla
OL-16	18.00			2.50	Arcilla
OL-17	0.00	2.20	2.20	6.40	Arena
OL-17	2.20	15.00	12.80	2.30	Arcilla
OL-17	15.00	63.00	48.00	3.50	Arcilla
OL-17	63.00			0.71	Arcilla
OL-18	0.00	0.19	0.19	4.20	Arena
OL-18	0.19	4.20	4.01	4.90	Arena
OL-18	4.20	12.00	7.80	1.50	Arcilla
OL-18	12.00			9.10	Arena
OL-19	0.00	5.10	5.10	4.10	Arena
OL-19	5.10	28.00	22.90	1.50	Arcilla
OL-19	28.00	50.00	22.00	2.40	Arcilla
OL-19	50.00			5.00	Arena
OL-20	0.00	0.88	0.88	5.80	Arena
OL-20	0.88	1.60	0.72	4.30	Arena
OL-20	1.60	5.70	4.10	3.70	Arcilla
OL-20	5.70	31.00	25.30	2.10	Arcilla
OL-20	31.00			2.30	Arcilla
OL-21	0.00	2.80	2.80	6.00	Arena
OL-21	2.80	64.00	61.20	1.90	Arcilla

SEV	TOPE	BASE	ESPESOR	RESISTIVIDAD	LITOLOGÍA
OL-21	64.00			16.00	Arena
OL-22	0.00	0.48	0.48	5.80	Arena
OL-22	0.48	2.80	2.32	2.50	Arcilla
OL-22	2.80	12.00	9.20	1.80	Arcilla
OL-22	12.00			2.10	Arcilla
OL-23	0.00	1.10	1.10	5.20	Arena
OL-23	1.10	112.00	110.90	3.20	Arcilla
OL-23	112.00	127.00	15.00	3.70	Arcilla
OL-23	127.00	138.00	11.00	2.90	Arcilla
OL-23	138.00	182.00	44.00	8.00	Arena
OL-23	182.00			39.00	Arena y Grava
OL-24	0.00	0.77	0.77	5.00	Arena
OL-24	0.77	2.90	2.13	25.00	Arena y Grava
OL-24	2.90	4.20	1.30	22.00	Arena y Grava
OL-24	4.20			2.80	Arcilla
OL-25	0.00	3.10	3.10	8.40	Arena
OL-25	3.10	3.70	0.60	5.10	Arena
OL-25	3.70	24.00	20.30	2.20	Arcilla
OL-25	24.00	72.00	48.00	1.20	Arcilla
OL-25	72.00			44.00	Arena y Grava
OL-26	0.00	0.92	0.92	15.00	Arena
OL-26	0.92	1.90	0.98	2.60	Arcilla
OL-26	1.90	101.00	99.10	0.95	Arcilla
OL-26	101.00	113.00	12.00	10.00	Arena
OL-26	113.00			66.00	Arena y Grava
OL-27	0.00	3.50	3.50	2.80	Arcilla
OL-27	3.50	8.70	5.20	1.00	Arcilla
OL-27	8.70	20.00	11.30	2.00	Arcilla
OL-27	20.00			4.00	Arcilla
OL-28	0.00	1.50	1.50	7.60	Arena
OL-28	1.50	12.00	10.50	15.00	Arena
OL-28	12.00	90.00	78.00	0.97	Arcilla
OL-28	90.00			13.00	Arena
OL-29	0.00	0.78	0.78	12.00	Arena
OL-29	0.78	11.00	10.22	2.10	Arcilla
OL-29	11.00	77.00	66.00	1.60	Arcilla
OL-29	77.00			0.008	Arcilla
OL-30	0.00	0.83	0.83	8.00	Arena
OL-30	0.83	3.10	2.27	3.00	Arcilla
OL-30	3.10	59.00	55.90	2.50	Arcilla
OL-30	59.00			4.50	Arena
OL-31	0.00	1.20	1.20	18.00	Arena
OL-31	1.20	6.30	5.10	35.00	Arena y Grava
OL-31	6.30	7.90	1.60	14.00	Arena
OL-31	7.90	57.00	49.10	7.60	Arena
OL-31	57.00	113.00	56.00	4.00	Arcilla
OL-31	113.00			72.00	Arena y Grava

SEV	TOPE	BASE	ESPESOR	RESISTIVIDAD	LITOLOGÍA
OL-32	0.00	1.80	1.80	15.00	Arena
OL-32	1.80	4.30	2.50	34.00	Arena y Grava
OL-32	4.30	7.60	3.30	22.00	Arena y Grava
OL-32	7.60			5.00	Arena
OL-33	0.00	2.70	2.70	8.80	Arena
OL-33	2.70	41.00	38.30	5.70	Arena
OL-33	41.00			3.00	Arcilla
OL-34	0.00	2.60	2.60	14.00	Arena
OL-34	2.60	71.00	68.40	60.00	Arena y Grava
OL-34	71.00	80.00	9.00	24.00	Arena y Grava
OL-34	80.00			4.00	Arcilla
OL-35	0.00	0.82	0.82	8.10	Arena
OL-35	0.82	5.80	4.98	4.70	Arena
OL-35	5.80	51.00	45.20	3.90	Arcilla
OL-35	51.00			6.00	Arena
OL-36	0.00	1.20	1.20	22.00	Arena y Grava
OL-36	1.20	1.40	0.20	4.80	Arena
OL-36	1.40	43.00	41.60	8.80	Arena
OL-36	43.00	67.00	24.00	6.60	Arena
OL-36	67.00	127.00	60.00	3.80	Arcilla
OL-36	127.00			0.004	Arcilla
OL-37	0.00	3.40	3.40	27.00	Arena y Grava
OL-37	3.40	50.00	46.60	15.00	Arena
OL-37	50.00	116.00	66.00	3.10	Arcilla
OL-37	116.00			0.002	Arcilla
OL-38	0.00	40.00	40.00	14.00	Arena
OL-38	40.00	106.00	66.00	4.00	Arcilla
OL-38	106.00			1.70	Arcilla
OL-39	0.00	1.72	1.72	25.00	Arena y Grava
OL-39	1.72	11.00	9.28	13.00	Arena
OL-39	11.00	52.00	41.00	3.20	Arcilla
OL-39	52.00			7.50	Arena

Tabla 9.- Resistividades y Litologías de los SEV

Fuente: (MONTALVAN TOALA, 2008)

#### 4.2.2 Análisis de Pozos y Colectores de Agua

Para este análisis se utilizaron datos de calidad de agua y datos de conductividad eléctrica tomados a partir del mes de mayo del 2008 (*Tabla 10* y *Tabla 11*) en los pozos y colector de agua del sector.

Estos datos fueron modelados e interpretados en el software RockWorks14 donde se representa la variabilidad del acuífero y sus zonas de mayor interés para la explotación del mismo.

POZO	X	Y	Elaboración	Q (Lt/s)	Profund. (m)	Diámetro (pulg)	Pot_Bomba (HP)	ACTIVIDAD
1	528088	9802470				8		Pozo Fuera de Uso
2	528079	9802274	1989	5	23	8	5	Pozo de Extracción
3-	528088	9802470	1991	5	23	8	5	Pozo de Extracción
4-	528215	9802242	1997			8		Pozo Fuera de Uso
5	528132	9802356	1996			8		Pozo Fuera de Uso
6	528079	9802274	2006		24	10		Pozo Fuera de Uso
7	527608	9802324	2006	12	27	8	15	Pozo de Extracción
8-	527985	9802296	1994	6	19	6		

Tabla 10.- Características de los Pozos de Extracción de la JRAO

Fuente: (MONTALVAN TOALA, 2008)

Cod - pozo	X	Y	Z	Aug-08					Sep-08					Oct-08				
				Prof (m)	NE (m)	Prof (m)	Cond (us/cm)	T (°C)	Prof (m)	NE (m)	Prof (m)	Cond (us/cm)	T (°C)	Prof (m)	NE (m)	Prof (m)	Cond (us/cm)	T (°C)
Pozo Olón 4	528215	9802238	17	13.95	10.1	10.0	1350	25.2	13.90	9.95	10.0	1062	25.5	13.98	10.16	10.5	1654	25.4
						11.0	1350	25.2			11.0	1062	25.5			11.0	1654	25.4
						12.0	1321	25.2			12.0	1062	25.5			12.0	1654	25.4
						13.0	1320	25.2			13.0	1063	25.5			13.0	1656	25.4
						13.5	1320	25.2			13.9	1069	25.5			13.5	1657	25.4
Pozo Olón 5	528130	9802354	18	20.40	8.45	9.0	1890	25.3	20.53	8.53	9.00	1095	25.7	20.38	8.30	9.00	1092	25.7
						10.0	1890	25.3			10.0	1094	25.7			10.0	1092	25.7
						11.0	1875	25.3			11.0	1095	25.7			11.0	1093	25.7
						12.0	1874	25.4			12.0	1095	25.6			12.0	1094	25.7
						13.0	1874	25.5			13.0	1096	25.6			13.0	1094	25.7
						14.0	1874	25.5			14.0	1108	25.5			14.0	1112	25.3
						15.0	1540	25.5			15.0	1187	25.4			15.0	1230	25.3
						16.0	1535	25.5			16.0	1268	25.4			16.0	1350	25.3
						17.0	1480	25.5			17.0	1403	25.4			17.0	1457	25.3
						18.0	1320	25.5			18.0	1632	25.3			18.0	1842	25.4
19.0	1318	25.5	19.0	1932	25.3	19.0	2013	25.3										
20.0	1310	25.5	20.0	2012	25.3	20.0	2042	25.2										
Pozo Olón 6	528079	9802274												25.11	8.58	5.00	1108	25.4
											9.00	1103	25.4			9.00	1103	25.4
											10.00	1103	25.4			10.00	1104	25.4
											11.00	1104	25.4			11.00	1104	25.4
											12.00	1104	25.4			12.00	1104	25.4
											13.00	1105	25.4			13.00	1105	25.4
											20.00	1108	25.4			20.00	1108	25.4
			25.00	1108	25.4	25.00	1108	25.4										

Cod - pozo	X	Y	Z	Nov-08					Dec- 08					Jan-09														
				Prof (m)	NE (m)	Prof (m)	Cond (us/cm)	T (°C)	Prof (m)	NE (m)	Prof (m)	Cond (us/cm)	T (°C)	Prof (m)	NE (m)	Prof (m)	Cond (us/cm)	T (°C)										
Pozo Olón 4	528215	9802238	17	13.95	10.0	10.0	1500	25.1	13.80	10.20	11.0	1876	25.6	13.95	10.40	11.0	1915	25.7										
11.0						1500	25.1	12.0				1876	25.6			12.0	1920	25.6										
12.0						1502	25.1	13.0				1883	28.5			13.0	1925	25.6										
13.0						1507	25.1									13.5	1938	25.6										
13.5						1507	25.2																					
Pozo Olón 5	528130	9802354	18	20.38	8.30	9.0	1067	25.1	20.40	8.45	9.00	1325	25.3	20.35	9.10	9.00	2475	25.3										
10.0						1068	25.1	10.00				1348	25.3			10.00	2561	25.3										
11.0						1079	25.1	11.00				1486	25.3			11.00	2562	25.3										
12.0						1079	25.1	12.00				1548	25.2			12.00	2754	25.2										
13.0						1080	25.1	13.00				1821	25.2			13.00	2841	25.2										
14.0						1102	25.2	14.00				2015	25.2			14.00	2846	25.2										
15.0						1542	25.2	15.00				2345	25.2			15.00	2942	25.2										
16.0						1671	25.2	16.00				2415	25.1			16.00	2984	25.1										
17.0						1989	25.2	17.00				2543	25.1			17.00	3154	25.1										
18.0						2047	25.2	18.00				2548	25.1			18.00	3542	25.1										
19.0						2080	25.2	19.00				2458	25.1			19.00	3542	25.0										
20.0						2100	25.2	20.00				2420	25.1			20.00	3593	25.0										
Pozo Olón 6						528079	9802274					25.10	8.60			5.0	1090	25.3	25.00	8.50	9.00	1025	25.6	24.90	8.30	9.00	1023	25.3
9.0																1056	25.1	10.00				1029	25.6			10.00	1056	25.3
10.0																1056	25.1	15.00				1193	25.5			15.00	1098	25.3
11.0	1056	25.3	16.00	1269	25.6				20.00	1098	25.3																	
12.0	1056	25.3	18.00	1296	25.4				21.00	1153	25.3																	
13.0	1056	25.3	20.00	1345	25.4				22.00	1163	25.3																	
20.0	1100	25.3	22.00	1398	25.4				23.00	1256	25.3																	
25.0	1102	25.3	24.00	1452	25.4				24.00	1320	25.2																	
			25.00	1456	25.4	25.00	1320	25.2																				

Cod - pozo	X	Y	Z	Feb-09					Mar-09					Apr-09				
				Prof (m)	NE (m)	Prof (m)	Cond (us/cm)	T (°C)	Prof (m)	NE (m)	Prof (m)	Cond (us/cm)	T (°C)	Prof (m)	NE (m)	Prof (m)	Cond (us/cm)	T (°C)
Pozo Olón 4	528215	9802238	17	14.00	10.3	11.00	1892	25.6	14.03	10.44	11.00	1900	25.8	13.50	10.50	11.00	1862	25.6
12.00						1892	25.6	12.00				1911	25.7			12.00	1862	25.6
13.00						1921	25.5	13.00				1914	25.7			13.00	1853	25.6
								14.00				1915	25.7					
Pozo Olón 5	528130	9802354	18	20.45	8.9	9.00	1546	25.4	20.40	9.22	10.00	1041	25.4	20.35	9.50	10.00	1162	25.3
10.00						1762	25.4	11.00				1041	25.3			11.00	1162	25.3
11.00						1823	25.4	12.00				1041	25.2			12.00	1162	25.3
12.00						1853	25.3	13.00				1044	25.2			13.00	1162	25.3
13.00						1956	25.3	14.00				1152	25.2			14.00	1263	25.2
14.00						1956	25.2	15.00				2110	25.3			15.00	1325	25.2
15.00						1968	25.2	16.00				2590	25.3			16.00	1423	25.2
16.00						1989	25.2	17.00				3100	25.4			17.00	2653	25.2
17.00						2059	25.2	18.00				3650	25.4			18.00	3120	25.2
18.00						2092	25.2	19.00				4120	25.4			19.00	3658	25.2
19.00						2150	25.2	20.00				4320	25.4			20.00	4012	25.2
20.00						2153	25.1											
Pozo Olón 6	528079	9802274		18.60	9.20	10.00	1231	25.2	18.50	9.97	10.00	1285	25.3	18.60	9.80	10.00	1321	25.1
11.00						1263	25.2	11.00				1280	25.5			11.00	1322	25.1
12.00						1285	25.2	12.00				1313	25.5			12.00	1343	25.1
13.00						1297	25.1	13.00				1330	25.4			13.00	1350	25.1
14.00						1302	25.1	15.00				1340	25.4			14.00	1368	25.1
15.00						1342	25.1	18.00				1353	25.4			15.00	1375	25.1
16.00						1365	25.1									18.00	1362	25.1
17.00						1423	25.0											
18.00						1464	25.0											

Cod - pozo	X	Y	Z	May-09				
				Prof (m)	NE(m)	Prof(m)	Conduct (us/cm)	T (°C)
Pozo Olón 4	528215	9802238	17	13.80	10.80	11.00 12.00	1932 1942	25.5 25.5
Pozo Olón 5	528130	9802354	18	20.40	9.45	10.00	1035	25.3
						11.00	1035	25.3
						12.00	1132	25.3
						13.00	1132	25.3
						14.00	1689	25.3
						15.00	2463	25.3
						16.00	3154	25.3
						17.00	3256	25.2
						18.00	3652	25.2
						19.00	4120	25.2
20.00	4120	25.2						
Pozo Olón 6	528079	9802274		18.65	9.75	10.00	1302	25.0
						12.00	1325	25.0
						13.00	1325	25.1
						15.00	1386	25.1
						16.00	1378	25.2
						18.00	1386	25.2

Tabla 11.- Datos de Conductividad y Niveles de Agua de los Pozos Fuera de Uso

**Fuente:** (ORGANIZACION INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, 2008)

#### 4.2.3 Características de las Muestras Tomadas

Se tomaron cinco muestras de agua de las cuales tres pertenecen a los pozos de la JRAO, una muestra pertenece al colector de agua ubicado en San Vicente de Loja y la última muestra se la tomó directamente del Río Olón (*Tabla 12*). Todos estos lugares abastecen a la Comuna Olón.

Los análisis dieron como resultado que el porcentaje de salinidad del agua es moderadamente bajo, lo que significa, que el agua que se distribuye para uso doméstico es de buena calidad (*Tabla 13, Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17*).

Nombre	X	Y	Z	Depth	pH	Cond	TDS	Na	K	Mg	Ca	Cl	SO4	HCO3
Colector	532690	9803952	69	20	6.6	36	23	6.9		12.88	8	35.45	15.36	24.4
OL-CL-01	532703	9803964	60	20	6.7	32	20	1.61	2.74	0.97	4	4.25	2.88	14.64
Pozo_OL7	527583	9802298	15	20	7.4	1270	813	116.4	4.3	42.28	116	220.14	162.2	296.46
Pozo_OL9	532771	9804292	60	20	7.7	920	589	135.7	7.82	40.1	80	154.21	194.9	301.95
Río_OL	527052	9802222	17	1	8.3	7000	4480	144.3	5.87	205.3	98	2268.8	81.6	347.7

Tabla 12.- Datos de Análisis Químicos en Pozos Activos y Colectores

Fuente: (ORGANIZACION INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA,  
2008)

Dr. Jorge E. Fuentes C.

Laboratorio de Análisis Agrícola / R.U.C.: 1700811134001

Urdesa Norte Av. 4ta. #203  
Teléfono: 2387310 / 088675672  
Guayaquil-Ecuador

## Reporte de calidad del agua

Propietario: ESPOL  
Propiedad:  
Localidad: Península de Santa Elena  
Solicitado por: Paúl Carrión Mero

Uso: Doméstico y Agrícola  
Profundidad:  
Ingreso: 26 de abril/2008  
Reporte: 30 de abril/2008

CODIGOS		OLON		RIO		COLECTOR		OLON	OLON
Param	Unidad	P9		OLON		OLON		2	7
pH	u.	7.7		8.3		6.6		7.4	7.4
CE	umhos	920		7000		36		150	1270
SDT	mg/l	889		4480		23		96	813
Ca	meq/l	4.00		4.90		0.40		2.90	5.80
Mg		3.30		16.90		1.06		3.94	3.48
Na		5.90		49.75		0.30		4.35	5.06
K		0.20		0.15				0.16	0.11
Suma		13.40		71.70		1.76		11.38	14.45
Ca	%	29.85		6.83		22.73		25.58	40.14
Mg		24.63		23.57		60.23		34.71	24.08
Na		44.03		69.39		17.05		38.33	35.02
K		1.49		0.21				1.41	0.76
Ca	mg/l	80.00		98.00		8.00		58.00	116.00
Mg		40.10		205.34		12.88		47.87	42.28
Na		135.70		1144.25		6.90		100.05	116.38
K		7.82		5.87				6.26	4.30
CO3	meq/l			0.30					
CO3H		4.95		5.70		0.40		4.22	4.86
SO4		4.06		1.70		0.32		3.88	3.38
Cl		4.35		64.00		1.00		3.25	6.21
Suma		13.36		71.70		1.72		11.38	14.45
CO3	%			0.42					
CO3H		37.05		7.95		23.26		37.18	33.63
SO4		30.39		2.37		18.60		34.19	23.39
Cl		32.56		89.36		58.14		28.63	42.98
CO3	mg/l			9.00					
CO3H		301.95		347.70		24.40		257.42	296.46
SO4		194.88		81.60		15.36		186.24	162.24
Cl		154.21		2268.80		35.45		115.21	220.14
N-NO2	mg/l					0.066		0.003	
N-NH4									
P r.				0.160				0.153	0.130
SE		8.41		65.70		1.32		7.13	8.64
SP		6.38		64.90		1.16		5.19	7.89
PSP		72.50		75.50		22.70		63.30	59.70
RAS		3.20		15.00		0.35		2.44	2.40
PSI		3.30		17.00				2.20	2.20
CARSOR		-		-				-	-
DIT (CaCO3)		366		1090		73		342	464
DIA (CaCO3)		248		300		20		211	243
Clase RiverS.		C3S1		> C6S4		C1S1		C3S1	C3S1

Tabla 13.- Análisis de la Calidad del Agua en Pozos y Colectores

Fuente: (ORGANIZACION INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA,  
2008)

Dr. Jorge E. Fuentes C.  
Laboratorio de Análisis Agrícola / R.U.C.: 1700811134001

Urdesa norte Av. 4ta. #203 y calle 2da.  
Telefono: 2387310 / 088675672  
Guayaquil - Ecuador

#### Distribucion de sales posibles

Propietario: ESPOL Uso: Agrícola  
Propiedad: Profundidad:  
Localidad: Península Santa Elena Ingreso: 26 de junio/2008  
Solicitado por: Ing. Xavier Montalvan Reporte: 30 de junio/2008

Sales Posibles	Unid.	2008039	2008040	2008041	2008042	2008043	2008044	2008045	2008046	2008047	2008048
							Colector Olón	C - F 1	FC 1	FC 2	LA 1
CO3Ca	meq/1						0.40				
(CO3H)2Ca											
(CO3H)2Mg											
CO3HNa											
SO4Ca											
SO4Mg							0.32				
SO4Na2											
Cl2Ca											
Cl2Mg							0.74				
ClNa							0.26				
ClK											
Otras sales							0.04				
SUMA							1.76				
CO3Ca	% r										
(CO3H)2Ca							22.73				
(CO3H)2Mg											
CO3HNa											
SO4Ca											
SO4Mg							18.18				
SO4Na2											
Cl2Ca											
Cl2Mg							42.05				
ClNa							14.77				
ClK											
Otras sales							2.27				
SUMA							100.00				

Tabla 14.- Datos de Análisis de Sales del Colector Olón

Fuente: (ORGANIZACION INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA,  
2008)

Dr. Jorge E. Fuentes C.  
Laboratorio de Análisis Agrícola / R.U.C.: 1700811134001

Urdesa norte Av. 4ta. #203 y calle 2da.  
Telefono: 2387310 / 088675672  
Guayaquil - Ecuador

#### Distribucion de sales posibles

Propietario: ESPOL Uso: Agrícola  
Propiedad: Profundidad:  
Localidad: Península Santa Elena Ingreso: 26 de junio/2008  
Solicitado por: Ing. Xavier Montalvan Reporte: 30 de junio/2008

Sales Posibles	Unid.	2008049	2008050	2008051	2008052	2008053	2008054	2008055	2008056	2008057	2008058
		LA 2	M 1	MO 2	MG 2	MG 1	MG 4	MG 5	MG 7	OL P2	OL P7
CO3Ca	meq/1									2.90	4.86
(CO3H)2Ca										1.32	
(CO3H)2Mg											
CO3HNa											0.94
SO4Ca										2.62	2.44
SO4Mg										1.26	
SO4Na2											1.04
Cl2Ca										3.09	5.06
Cl2Mg										0.16	0.11
ClNa											0.09
ClK											
Otras sales										11.35	14.54
SUMA											
CO3Ca	% r										
(CO3H)2Ca										25.55	33.43
(CO3H)2Mg										11.63	
CO3HNa											6.46
SO4Ca										23.08	16.78
SO4Mg										11.10	
SO4Na2											7.15
Cl2Ca										27.22	34.80
Cl2Mg										1.41	0.76
ClNa											0.62
ClK											
Otras sales										100.00	100.00
SUMA											

Tabla 15.- Datos de Análisis de Sales de OL-P2 y OL-P7

Fuente: (ORGANIZACION INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA,  
2008)



# CAPÍTULO 5

## V. SÍNTESIS DE RESULTADOS

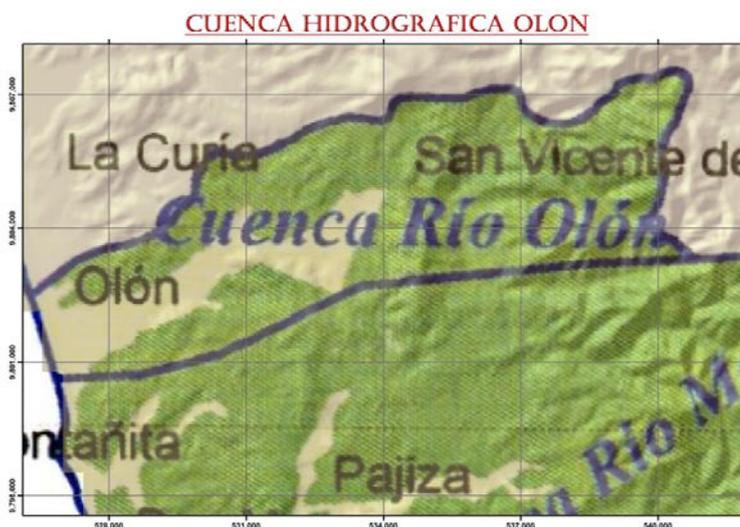
### 5.1 Interpretación de los Recursos Existentes en la Cuenca del Río de Olón

Después de haber analizado los datos correspondientes a campañas y estudios anteriores, de haber recopilado y actualizado toda la información topográfica, geológica, geomorfológica e hidrogeológica del sector, y de ingresar nuevos datos al análisis e integrar toda esta información a una base de datos geoespacial. Se detalla a continuación la interpretación de los recursos existentes en el suelo y subsuelo de la Cuenca Hidrográfica Olón:

#### 5.1.1 Recursos Geográficos

Analizando la topografía e hidrografía actualizada de la zona [15], en el Sistema de Información Geográfico ArcGIS 9.3.1 se procedió a diseñar un mapa de pendientes con la herramienta *Spatial Analyst*. Gracias a este análisis de pendientes se pudo re-definir los límites de la Cuenca

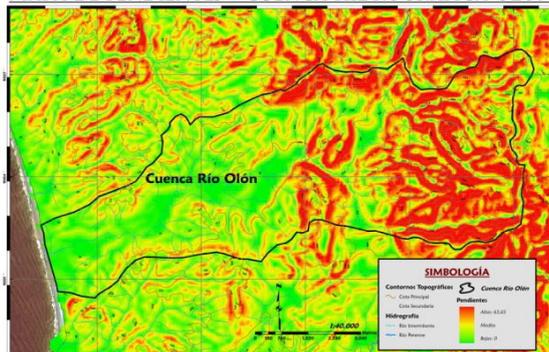
Hidrográfica Olón, según el proyecto “**ECU/8/026: CARACTERIZACIÓN DE LOS ACUÍFEROS COSTEROS DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA – ECUADOR**” [23].



Mapa 13.- Mapa de la Caracterización de Acuíferos del Proyecto ECU/8/026

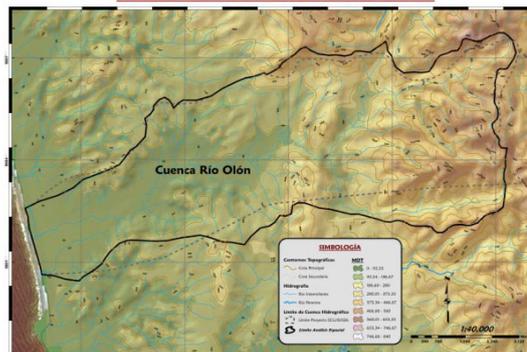
Fuente: (ORGANIZACION INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA, 2008)

MAPA DE PENDIENTES - CUENCA HIDROGRÁFICA OLÓN



Mapa 14.- Mapa de Pendientes

CUENCA HIDROGRÁFICA OLÓN



Mapa 15.- Cuenca Hidrográfica Olón acorde al MDT

Fuente y Elaboración: Mapas elaborados en ArcGIS 9.3.1, (CALDERON TORRES, 2010)

Como se puede observar en los mapas (*Ver Mapa de Pendientes y MDT en Anexo 1*), la Cuenca Hidrográfica Olón limita al sur con la cuenca del Río Manglaralto, pero gracias al análisis espacial el borde sur y el borde este de la Cuenca Olón han variado considerablemente. El resultado de dicho análisis ha permitido calcular el área de la cuenca con un valor aproximado de 56.04 Km<sup>2</sup> y el perímetro de la misma es de 40.33 Km.

### **5.1.2 Recursos Litológicos**

El modelo de Litología está correlacionado de acuerdo a los sondeos eléctricos verticales, pozos y colectores de agua y pozos de la JRAO [21]. El modelamiento de los mismos se la realizó con el programa RockWorks14.

Analizando exhaustivamente se puede decir que las unidades litológicas en el modelo presentado se encuentran bien definidas y diferenciadas. Las zonas en tonalidades de color amarillo representan las arenas y gravas. En la parte superior del modelo se puede apreciar interesantes unidades de arena, que gracias a encontrarse a escasos metros de profundidad, se podría definir una unidad hidrogeológica probada gracias a nivel de agua medido en los pozos y colectores. La parte inferior representa a paquetes rocosos porosos y permeables de grava y arenisca capaces de receptor agua en sus poros e intersticios, los cuales se puede definir como una unidad hidrogeológica probable ya que no se cuenta con una medición directa que nos ayude a verificar dicha información. Se considera a estos dos sectores litológicos como zonas potenciales y de interés hidrogeológico para la captación de aguas subterráneas.

Las zonas en color naranja corresponden a las litologías arcillosas, que como se puede apreciar están en la superficie del modelo y en forma de lentes entre los paquetes de arena, pero así mismo están presentes en el centro del modelo litológico formando una barrera o límite entre las unidades hidrogeológicas de interés (*Ver Modelo en Anexo 3*).

Este modelamiento Litológico, permite apreciar de una forma clara como se puede encontrar caracterizado el acuífero de la Cuenca Hidrográfica Olón.

### **5.1.3 Recursos Hidrogeológicos**

Gracias al modelamiento de litologías de los SEV, Pozos y Colectores de Agua, se pudo definir y modelar las siguientes unidades a nivel hidrogeológico:

Las unidades litológicas caracterizadas por arenas, gravas y areniscas ubicadas en la parte superior e inferior del modelo litológico se definen como Acuífero Aluvial y Unidad Hidrogeológica Probable respectivamente gracias a sus propiedades de porosidad y permeabilidad que permiten el almacenamiento de agua. Ambas unidades representan zonas de interés para un plan de explotación sostenible del acuífero.

La capa superior de arcilla, por su muy baja permeabilidad y al estar relacionada de forma adyacente con el Acuífero Aluvial se define como Acuitardo. Dicho Acuitardo se encuentra ausente en algunos sectores donde se tiene contacto de forma directa con el Acuífero Aluvial. Se debe

tomar en consideración que el acuífero del Río Olón es de tipo Poroso-Libre-Costero.

El gran volumen de arcilla ubicado bajo la formación acuífera es relativamente impermeable, puede almacenar agua pero no es capaz de transmitirla gracias a su deficiencia de porosidad y es denominado Acuicludo (*Ver Modelo en Anexo 3*).

## **5.2 Determinación de las Zonas de Interés en el Acuífero de Olón**

Fuera de los modelamientos Litológicos e Hidrogeológicos, se realiza otro análisis espacial para determinar las zonas de acumulación de agua en superficie que puedan ser de interés hidrogeológico para nuevas prospecciones o para la explotación del acuífero. Esto pudo ser posible gracias a la herramienta *Flow Accumulation* de *Hidrology* del *Spatial Analyst*. Dicha herramienta hace un análisis de la cuenca en base a su modelo digital de elevación.

Los resultados del análisis espacial fueron que las zonas de interés en superficie están muy relacionadas a la red hidrográfica y geomorfología de la cuenca. Geológica e hidrogeológicamente la mayor zona potencial se encuentra en el depósito aluvial, es decir, en la zona geomorfológica conocida como Colinas sobre Sedimentos Terciarios.

Existen otros lugares de interés que geomorfológicamente corresponden a las Cordilleras Costeras. Hay que tener en cuenta que los relieves en estas partes corresponden a alturas entre los 140 y 660 m.s.n.m. por ende es importante comprender que estos sectores pueden corresponder

a posibles manantiales u otra fuente superficial del recurso hídrico, que de una u otra manera serían zonas de recarga del acuífero en estudio, como ocurre al Noreste de esta zona geomorfológica.

En cambio, en la parte Suroeste de esta zona geomorfológica también existe un lugar de interés menos prominente que al Noreste de la misma donde las elevaciones no llegan a los 200 m.s.n.m. y geológicamente se encuentran remanentes del depósito aluvial. Se podría escoger este sector como nuevas áreas de interés para la prospección (*Ver Mapa en Anexo 1*).

También se realizó otro modelamiento en subsuelo del Acuífero Olón de acuerdo a los resultados de conductividad, análisis de sales y calidad de agua de los análisis de las muestras tomadas en el colector y pozos de la JRAO (*Tabla V.3, Tabla V.4, Tabla V.5, Tabla V.6, Tabla V.7, Tabla V.8, Tabla V.9 y Tabla V.10*).

El modelo, dio como resultado que en dirección E-W la conductividad del agua aumenta gradual y proporcionalmente, es decir que cerca de la línea de costa la conductividad es muy alta debido a la cercanía con el océano, por ende se debe tener cuidado en evitar la intrusión salina dentro del acuífero Olón (*Ilustración V.1*).

Particularmente, se extrajo del modelo la superficie piezométrica del acuífero según los niveles de agua en los pozos pertenecientes a la JRAO y de pozos conectados a la red de distribución de la Junta. Dicha superficie piezométrica se encuentra aproximadamente a los 9 m. de profundidad de los pozos (*Ilustración V.2*).

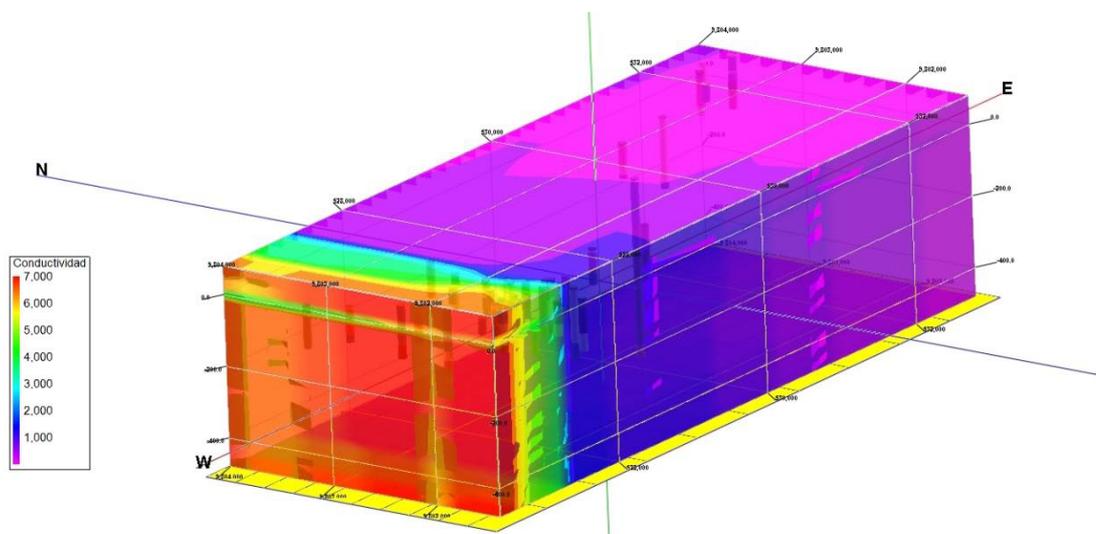


Ilustración V. 1.- Modelo de Conductividad del Acuífero Olón

**Fuente y Elaboración:** Modelo elaborado en RockWorks14, (CALDERON TORRES, 2010)

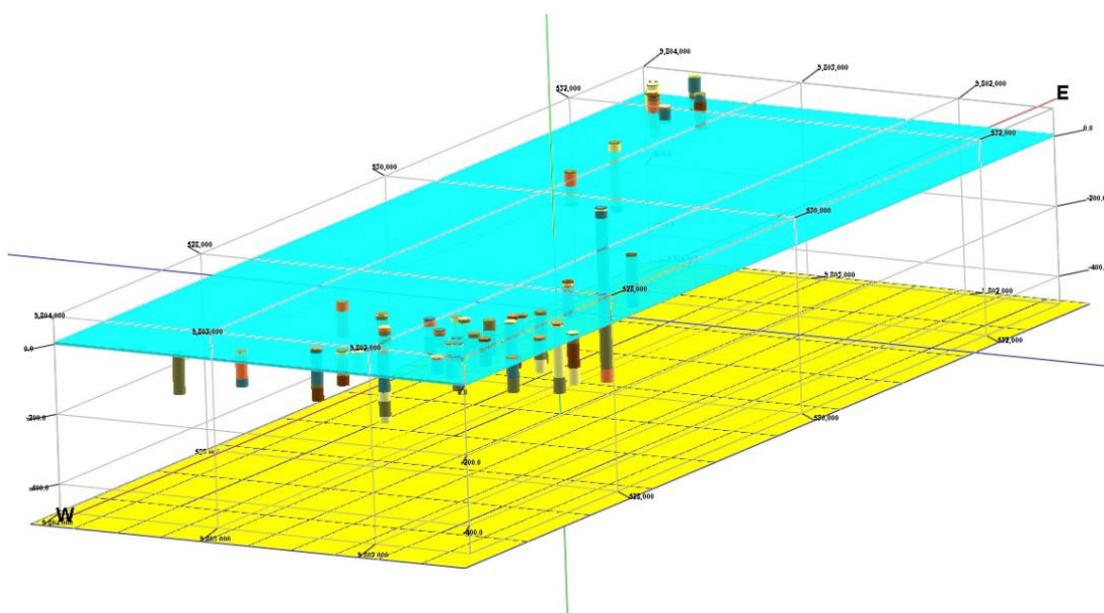


Ilustración V. 2.- Superficie Piezométrica del Acuífero Olón

**Fuente y Elaboración:** Modelo elaborado en RockWorks14, (CALDERON TORRES, 2010)

Con toda la interpretación conjunta realizada, el lugar donde se ubican los pozos sigue siendo aceptable e idóneo para la explotación, ya que se ahí se ubica el estrato de interés hidrogeológico con una potencia aproximada de 15 m. Aunque, para contribuir a los planes de explotación sostenible del acuífero, sería muy idóneo buscar nuevos sitios de perforación hacia el este de la cuenca dentro de los relieves bajos descritos geomorfológicamente, es decir, al Suroeste de la zona conocida como Cordilleras Costeras.

A continuación se presenta el modelo del estrato de interés hidrogeológico dentro del acuífero Olón (*Ilustración V.3 e Ilustración V.4 o Ver Modelo en Anexo 3*).

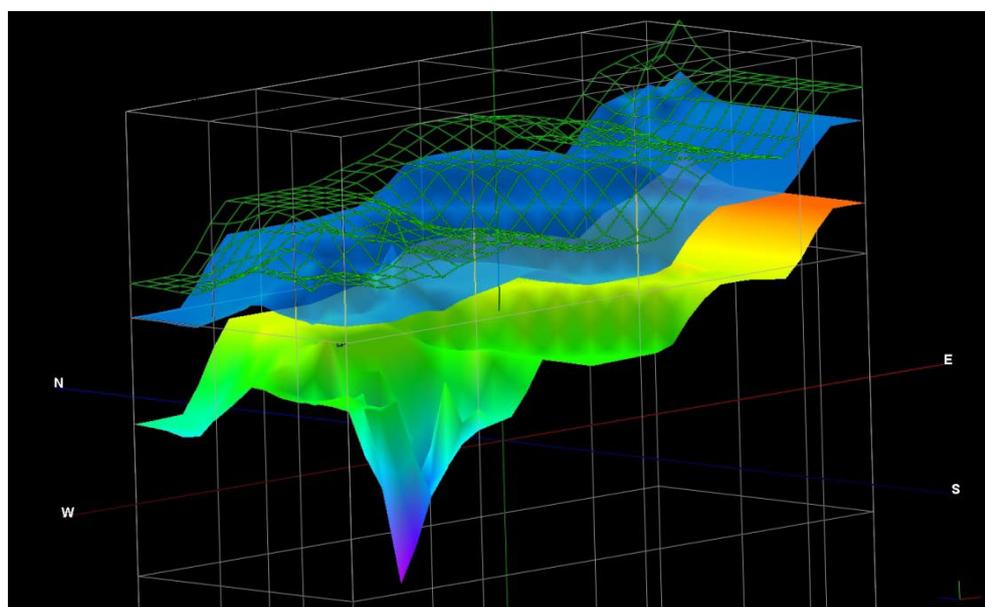


Ilustración V. 3.- Superficies de las Unidades Hidrogeológicas de Interés del Acuífero Olón

**Fuente y Elaboración:** Modelo elaborado en RockWorks14, (CALDERON TORRES, 2010)

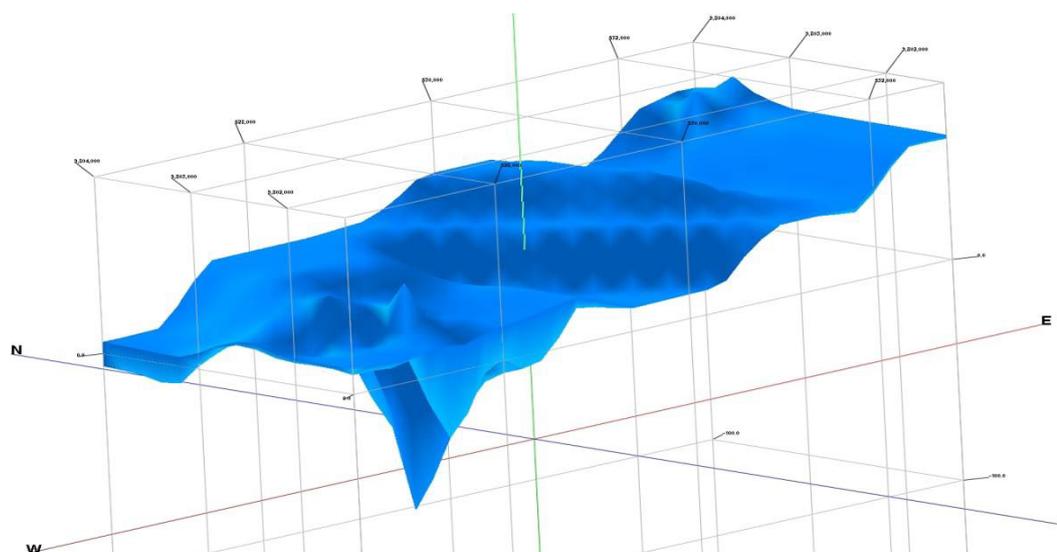


Ilustración V. 4.- Vista de la Unidad Acuífera

**Fuente y Elaboración:** Modelo elaborado en RockWorks14, (CALDERON TORRES, 2010)

### 5.3 Análisis de Perfiles

El análisis de perfiles tiene por objetivo complementar y afianzar este proyecto de Modelamiento Conceptual del Acuífero del Río Olón. Para lograr este cometido, se realizaron análisis 3D con módulos y herramientas del ArcGIS 9.3.1 como el ArcScene, 3D Analyst y Profile Tool y herramientas del RockWorks14 como el Stratigraphy Fence y Stratigraphy Fence for ESRI.

Primeramente se seleccionaron los perfiles de una manera tal, que se aproximen a la mayor cantidad de pozos y sondeos eléctricos verticales en el área de estudio (*Ver Mapa de Perfiles en Anexo 1*). Luego con el uso de la herramienta Profile Tool de ArcGIS 9.3.1, se procedió a hacer el

diseño de los perfiles desde el punto de vista litológico y correlacionando la información con la geología y la geomorfología regional. Una vez realizados los perfiles se procedió a analizar y correlacionar las columnas para encontrar el o los estratos de interés hidrogeológico (*Perfil 01, Perfil 02, Perfil 03, Perfil 04 y Perfil 05 en Anexo 2*).

En el RockWorks14 se utilizó la herramienta “Modelo de Superficie Interpolado” del Stratygraphy Fence for ESRI, donde se escogieron los perfiles diseñados en ArcGIS 9.3.1 y se escogieron otros perfiles que abarquen la mayor área del acuífero de la cuenca, posteriormente el programa diseñó y correlacionó los perfiles acorde al modelo hidrogeológico propuesto por el ArcGIS 9.3.1 (*Ilustración V.5 e Ilustración V.6*).

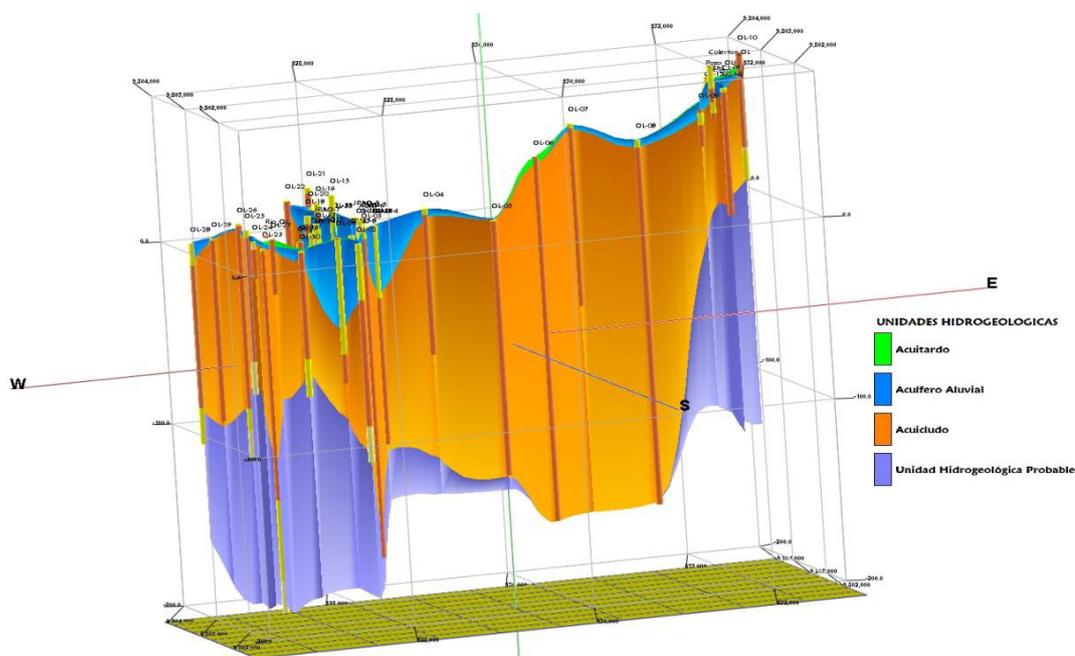


Ilustración V. 5.- Cortes Hidrogeológicos en los Pozos y SEV del Acuífero

**Fuente y Elaboración:** Modelo elaborado en RockWorks14, (CALDERON TORRES, 2010)

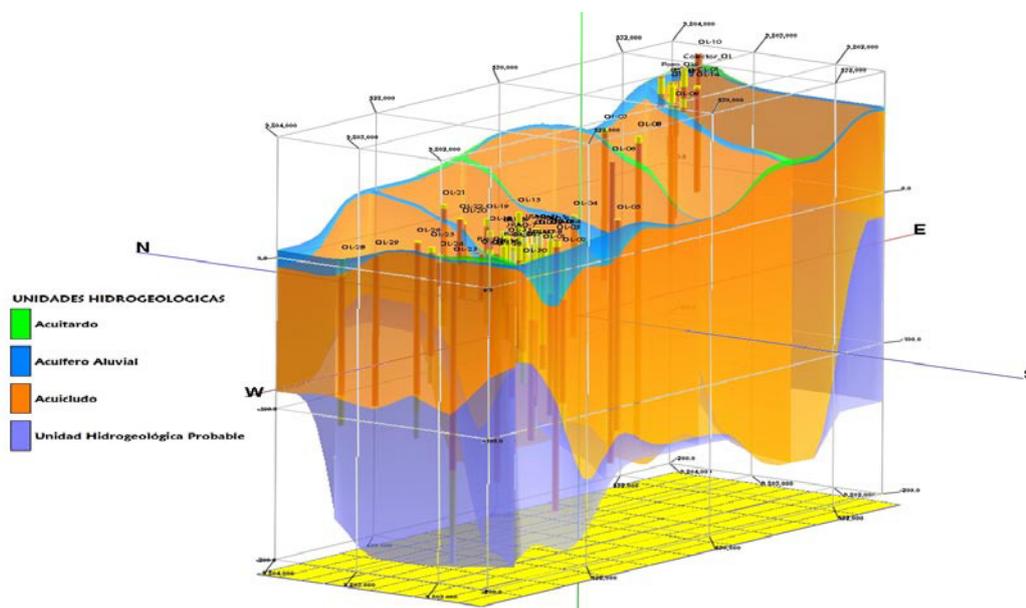


Ilustración V. 6.- Cortes Hidrogeológicos en el Acuífero Aluvial

**Fuente y Elaboración:** Modelo elaborado en RockWorks14, (CALDERON TORRES, 2010)

Finalmente con el ArcScene se ponen en conjunto todos los resultados y datos conseguidos en este análisis tanto en superficie como en subsuelo para tener un modelamiento completo del sistema acuífero de la Cuenca Hidrográfica Olón.

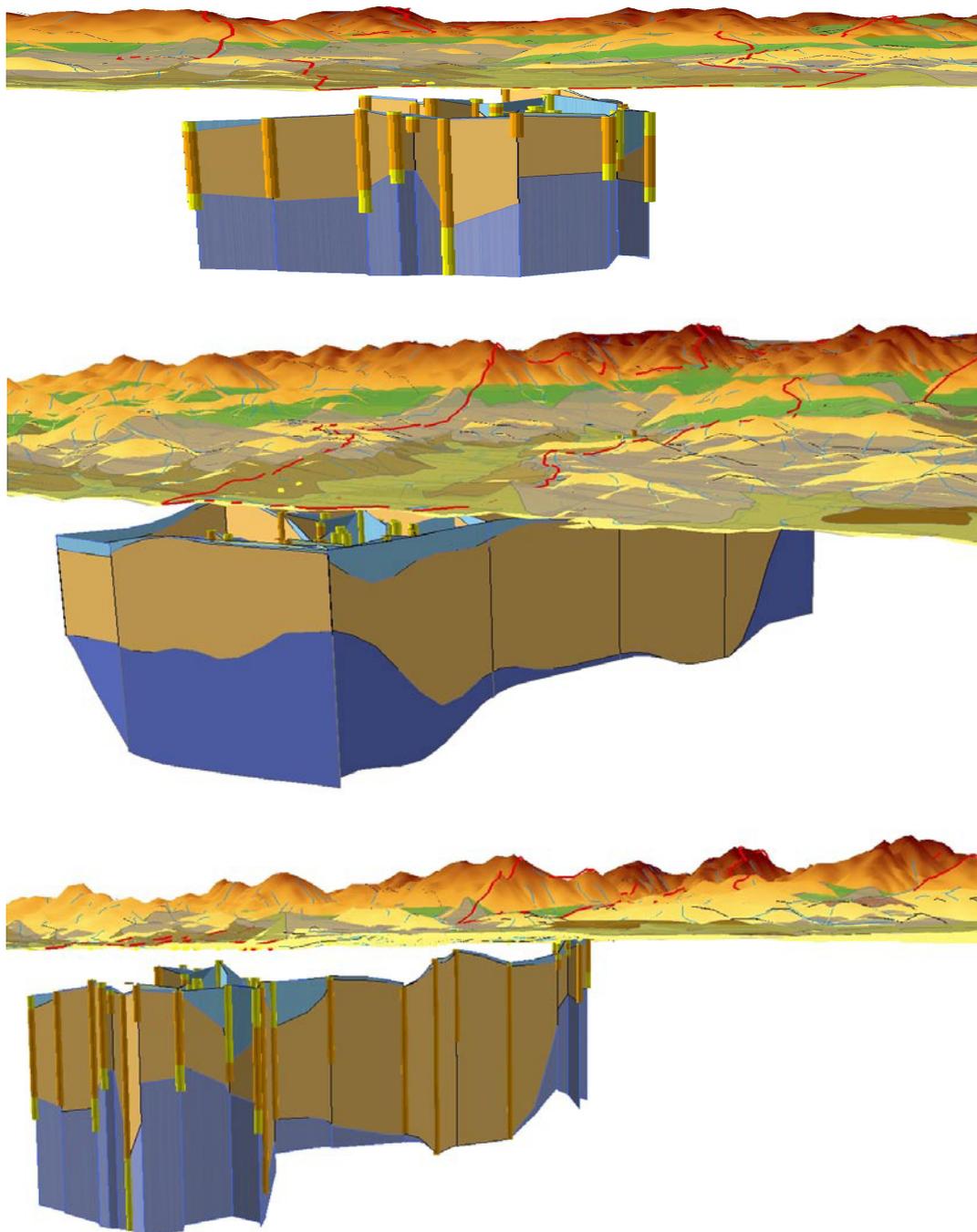


Ilustración V. 7.- Modelamiento Tridimensional de las Unidades Hidrogeológicas del Acuífero Olón

**Fuente y Elaboración:** Modelo elaborado en ArcGIS 9.3.1, (CALDERON TORRES, 2010)

El resultado de este análisis fue tener una mejor apreciación del modelo hidrogeológico. Las unidades hidrogeológicas de interés están claramente diferenciadas de las demás gracias a su considerable potencia o espesor. A lo largo de la cuenca ambas unidades hidrogeológicas se ven separadas por una potente unidad de composición arcillosa correspondiente al Acuicludo (*Ilustración V.7*).

#### **5.4 Inventario de los Recursos Existentes en el Subsuelo**

Para obtener el inventario y reservas de los recursos existentes en la Cuenca Hidrográfica Olón se realizaron todos los análisis de interpretación y determinación de los recursos en esta síntesis de resultados.

Se aplicaron los métodos de perfiles en los cortes antes mencionados y cálculo de volúmenes de las unidades hidrogeológicas a través del modelo hidrogeológico y superficie piezométrica del modelo de conductividades, sabiendo las profundidades de los pozos de perforación.

Se conoce que el área de la cuenca hidrográfica es de aproximadamente 56 Km<sup>2</sup> y que la máxima perforación en los pozos es de 27 m. Además la porosidad de la roca perteneciente al Acuífero Aluvial es del 20%. Filtrando y correlacionando esta información en los modelos construidos, se estima que las reservas para este sistema acuífero supera los 1.7 millones de metros cúbicos.

La potencia máxima de la unidad acuífera calculada en el modelo hidrogeológico es aproximadamente de 30 m.

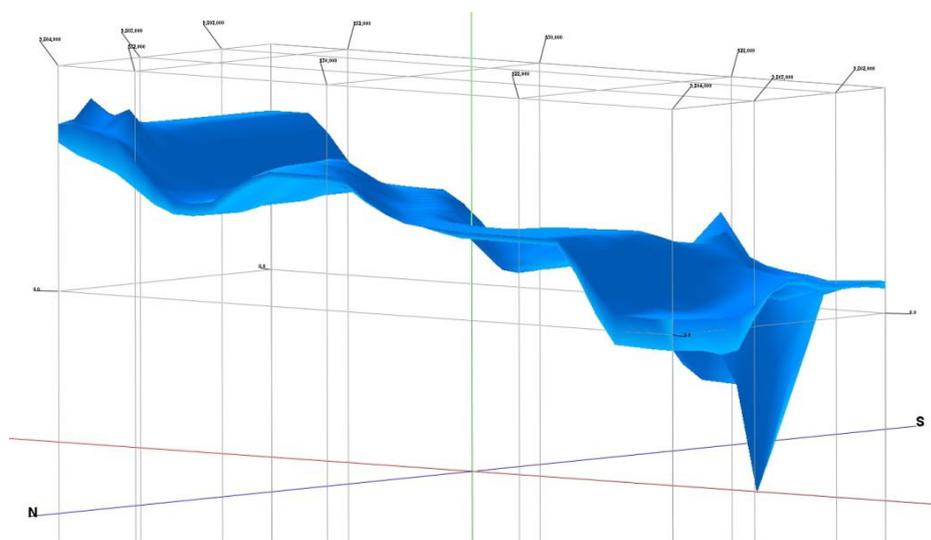


Ilustración V. 8.- Vista SW-NE de la Unidad Acuífera de la Cuenca del Río Olón

**Fuente y Elaboración:** Modelo elaborado en RockWorks14, (CALDERON TORRES, 2010)

## CONCLUSIONES

1. Gracias a los Sondeos Eléctricos Verticales, Pozos y Colectores de agua se modeló conceptualmente el Acuífero del Río Olón, mismo que consta de una unidad acuífera probada y una posible unidad hidrogeológica de interés, separadas por un potente espesor arcilloso denominado Acuicludo. Las reservas dentro del inventario de recursos de la cuenca se estimaron alrededor de 1.8 millones de m<sup>3</sup>.
2. Con la toma de muestras de agua en pozos y río y con el registro de niveles agua de los pozos y colectores se definió un modelo de conductividad que muestra la presencia de la intrusión salina dentro del acuífero y se modeló la superficie piezométrica del acuífero, la que se encuentra a 9 metros de profundidad desde la superficie.
3. Dentro de las clasificaciones, podemos mencionar que el acuífero Olón es Poroso-Libre-Costero.
4. La zona de bombeo en Olón se considera de gran interés hidrogeológico debido a las reservas y calidad de agua subterránea en el sector. La potencia máxima estimada es de 30 metros aproximadamente de acuerdo a los modelamientos realizados.

## RECOMENDACIONES

1. Para contribuir a un plan de explotación sostenible del acuífero, sería muy recomendable buscar nuevos sitios de prospección hacia el este de la cuenca dentro de los relieves bajos descritos geomorfológicamente, es decir, dentro de la zona conocida como Cordilleras Costeras.
2. Seguir con el monitoreo de datos de niveles de agua, conductividad eléctrica y temperatura para llevar control de la contaminación por intrusión salina.
3. Estimar el balance hídrico del sistema acuífero, para mejorar la gestión del mismo.
4. Tener mejor observación y control de la superficie piezométrica y su morfología para estudiar la variación de las reservas para la conservación de los recursos de aguas subterráneas, así como el movimiento de las mismas, aprovechando que es un método de análisis directo.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1]. (USGS) UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. (2009). *Ciclo del Agua*. <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclespanish.html>
- [2]. A.G. & C.S. (2006). *Aplicaciones Geofísicas y Ciencias del Subsuelo*. A.G. & C.S.
- [3]. ACCION ECOLOGICA. (2001). *Geomorfología del Ecuador*. Guayaquil.
- [4]. AUGÉ, M. P. (2008). *Hidrogeología. Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Aguas Subterráneas*.
- [5]. BRISTOW, C. R., & HOFFSTETTER, R. (1977). *Lexique Stratigraphique International*. París: Centre National de la Recherche Scientifique.
- [6]. DINAGE. (1974). *Carta Geológica "Manglaralto"*. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Energía y Minas.
- [7]. DIRECCION NACIONAL DE GEOLOGIA. (1983). Nota Explicativa de la Elaboración del Mapa Hidrogeológico. En DINAGE, & INAMHI.

- [8]. ESPOL. (1987). Guía Geológica del Suroeste de la Costa Ecuatoriana.
- [9]. GASULLA, M. (1982). *Obtención de Imágenes de la Distribución de Impedancia Eléctrica en el Subsuelo. Aplicación a la Detección de Objetos Locales*. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- [10]. Geotechnical Earthquake Engineering. (2009). *Métodos de Prospección Geoeléctrica*. <http://geotechnical-eng.blogspot.com/2009/07/metodos-geoelectricos-de-prospeccion.html>
- [11]. INAMHI. (2001). *Cambio y Variabilidad Climática en el Ecuador*. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA: <http://www.inamhi.gov.ec>
- [12]. INAMHI. (2010). *Estudios Climatológicos - Características Generales del Clima en el Ecuador*. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA: <http://www.inamhi.gov.ec>
- [13]. INAMHI. (2010). *INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA*. INAMHI: <http://www.inamhi.gov.ec>
- [14]. INEC. (2010). *INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICAS Y CENSOS*. INEC: <http://www.inec.gov.ec>
- [15]. INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR. (2006). *Carta Topográfica Digital "Delicias"*. IGM.
- [16]. INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR. (2006). *Carta Topográfica Digital "Olón"*. IGM.

- [17]. INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA. (2006). *Uso Sostenible del Agua Subterránea*. (MINISTERIO DE EDUCACION Y CIENCIA)
- [18]. LOSILLA P., M. (2009). Hidrogeología en Zonas Costeras. *Hidráulica e Hidrología Clásica*. Guayaquil: Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).
- [19]. MANZANO ARELLANO, M. (2009). Hidrogeología en Zonas Costeras. *Hidroquímica de Aguas Subterráneas*. Guayaquil: Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).
- [20]. MINISTERIO DE URBANIZACION Y VIVIENDA. (1997). *Informe Técnico de los Estudios de Prospección Geofísica efectuado en el Valle de Olón perteneciente al Cantón Santa Elena*. Olón: MIDUVI.
- [21]. MONTALVAN TOALA, F. J. (2008). *Caracterización Geoeléctrica del Acuífero de la Cuenca del Río Olón para Propuesta de Plan de Explotación*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: ESPOL-FICT.
- [22]. ORELLANA, E. (1982). *Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua*. PARANINFO.
- [23]. ORGANIZACION INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA. (2008). *Proyecto ECU/8/26: Caracterización de los Acuíferos Costeros de la Península de Santa Elena*. IOEA.

- [24]. ORGANIZACION INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA. (2008). *Proyecto RLA/8/041: Caracterización Isotópica de Acuíferos Costeros*. OIEA.
- [25]. Registro de Propiedad Intelectual # 148.917. (s.f.). Obtenido de Introducción a la Prospección Geofísica: <http://www.geofisica/cl>
- [26]. ROMERO CRESPO, P. L. (2008). Proceso de Intrusión Marina en Acuíferos Costeros. *Revista de Investigación y Desarrollo* .
- [27]. ROMERO CRESPO, P. L. (2002). *Estudio Geoeléctrico y Planeamiento de Explotación de Aguas Subterráneas en el sector de Santa Elena, Atahualpa, Ancón y Pechiche*. Guayaquil, Guayas, Ecuador: ESPOL-FICT.
- [28]. SANCHEZ SAN ROMAN, F. J. (1991). *Dpto. Geología - Universidad de Salamanca - España*. Obtenido de Prospección Geofísica: Sondeos Electricos Verticales: <http://web.usal.es/javisa/hidro>
- [29]. TRX CONSULTING. (2007). *Ingeniería & Ciencias de la Tierra*. Recuperado el Agosto de 2010, de Métodos de Resistividad - DC: <http://www.trxconsulting.com>

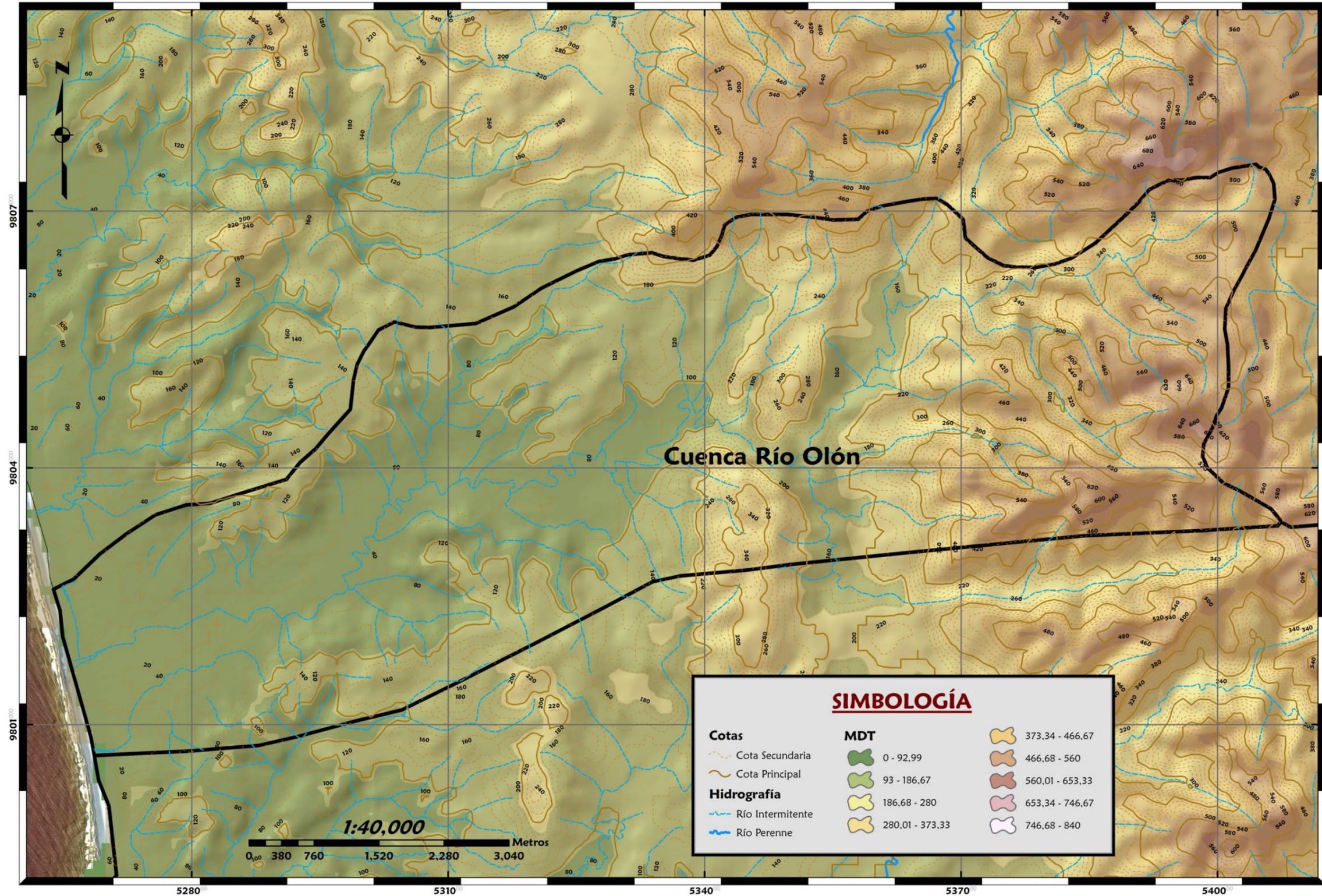
# **ANEXO A**

Mapas Temáticos

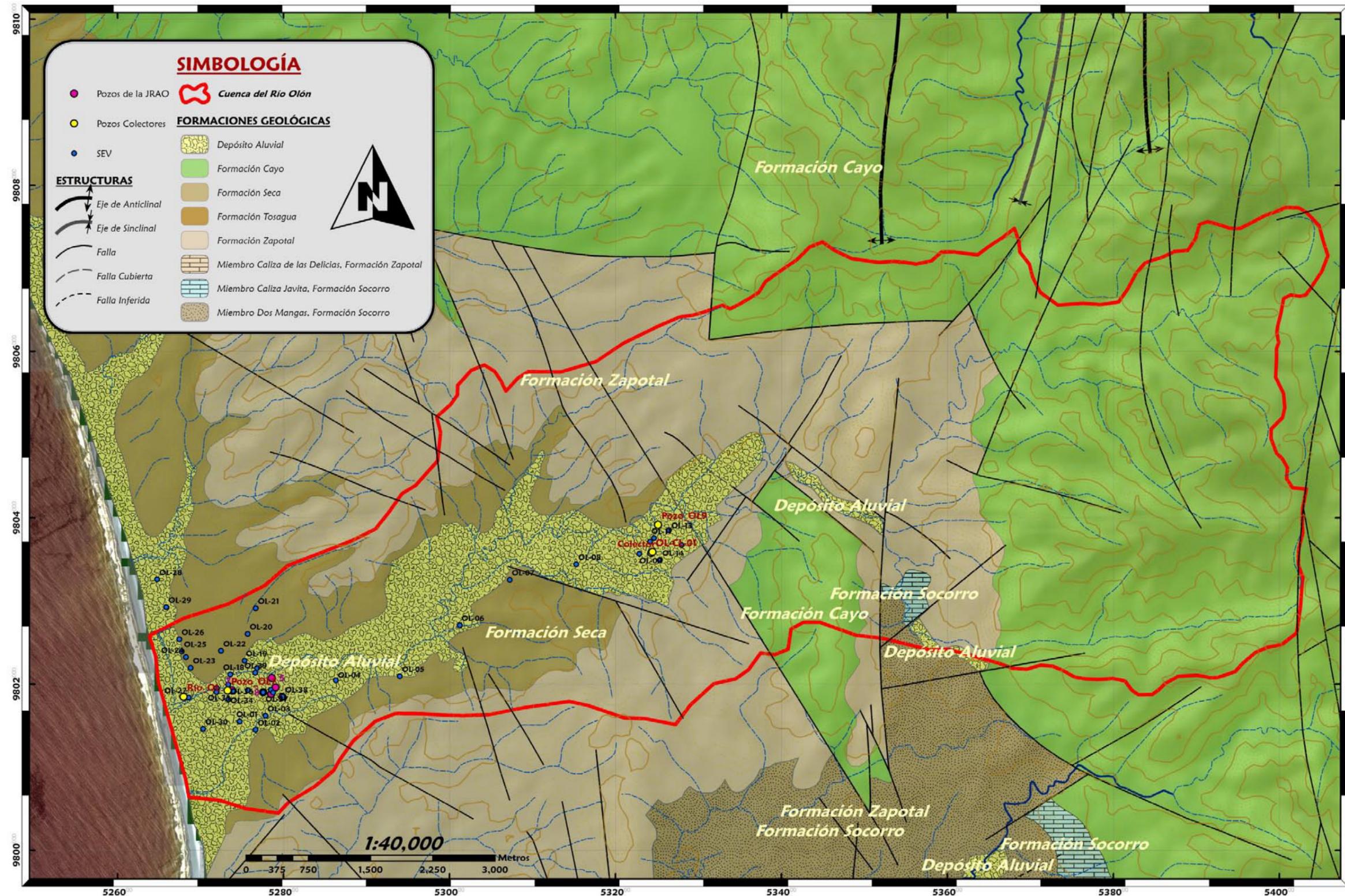
# PROYECTO ECU/8/026 - CARACTERIZACIÓN DE ACUÍFEROS COSTEROS DE LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA - ECUADOR



# TOPOGRAFÍA Y MDT CUENCA HIDROGRÁFICA OLÓN

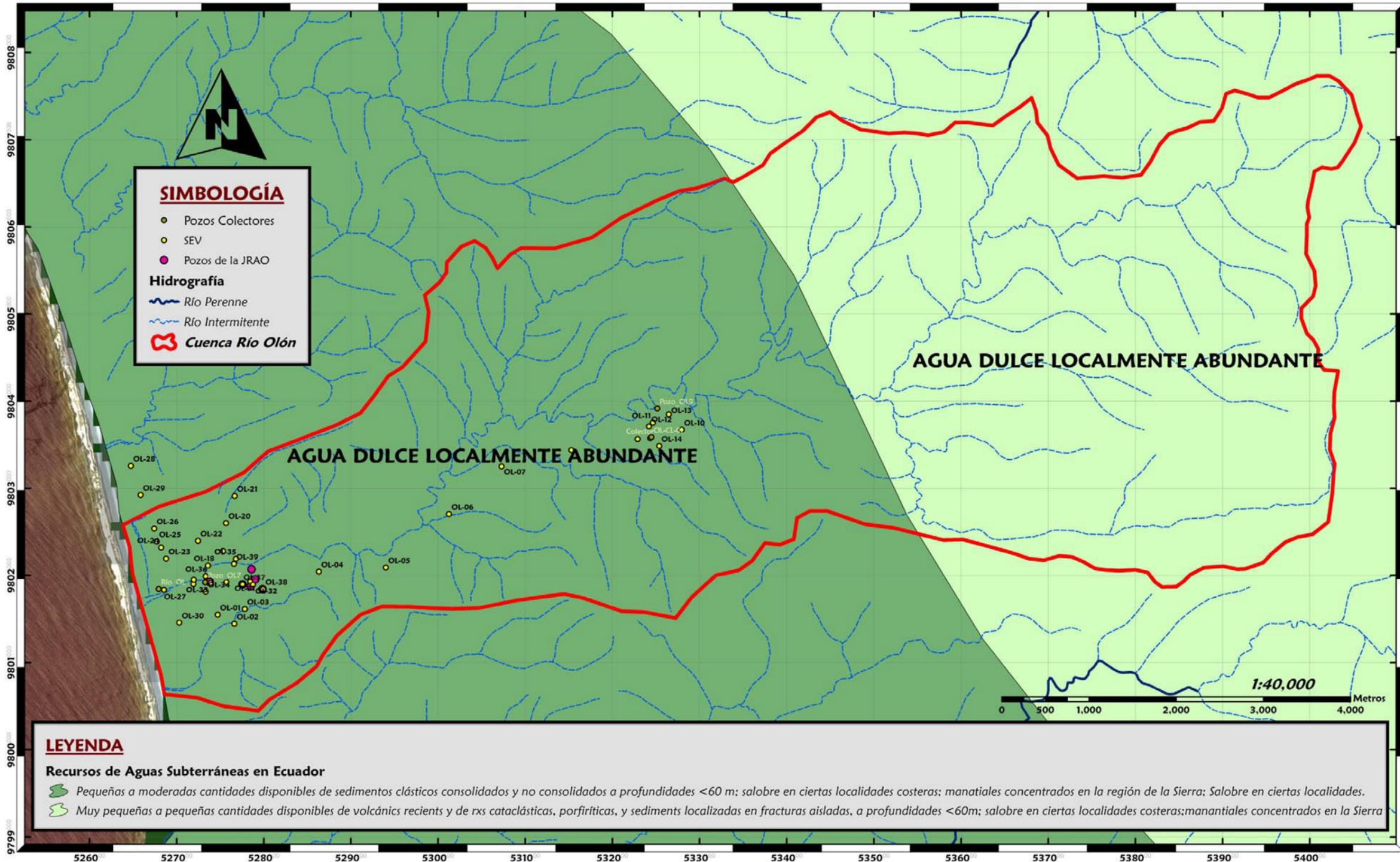


# MAPA GEOLÓGICO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DE OLÓN

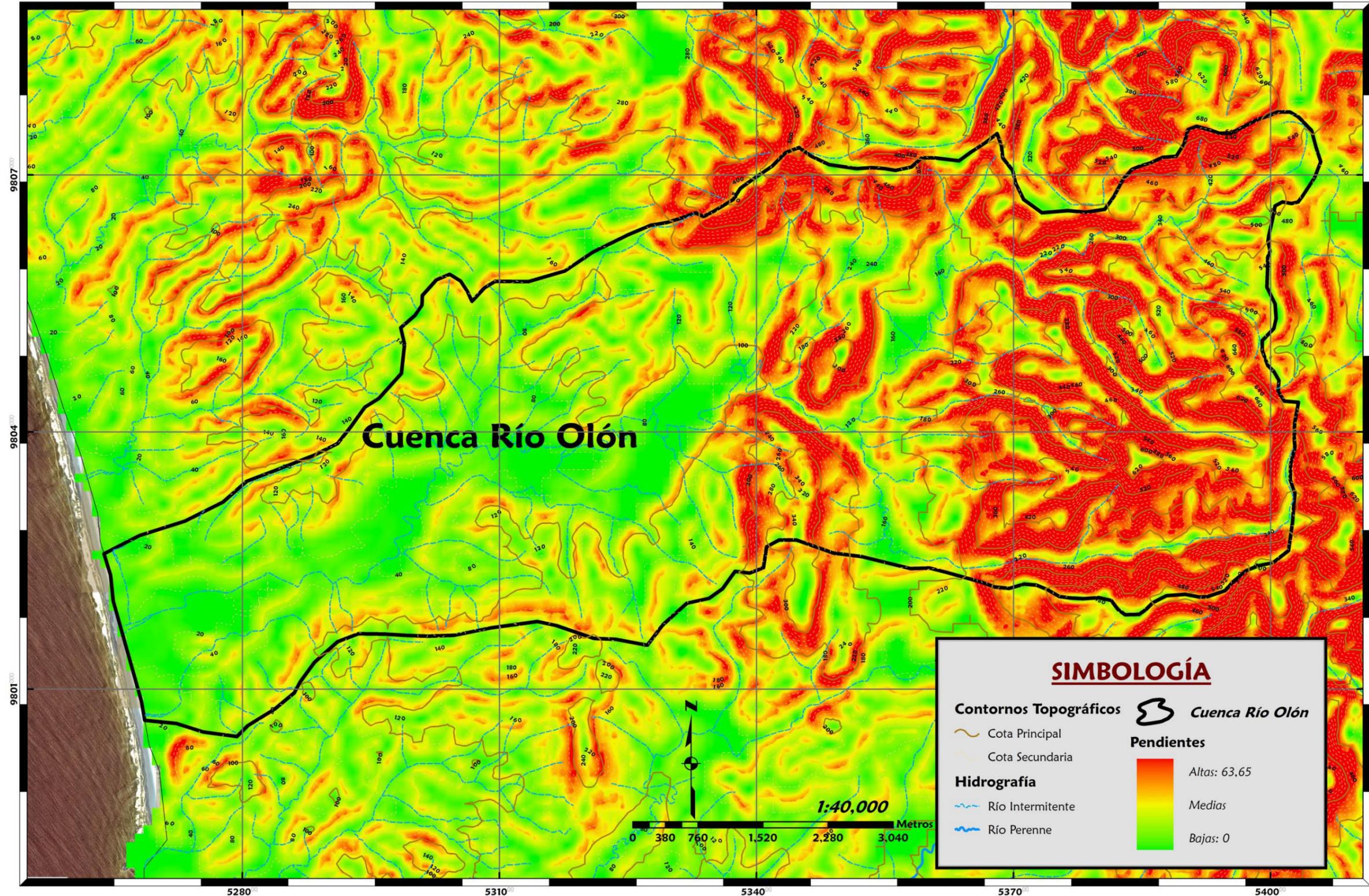




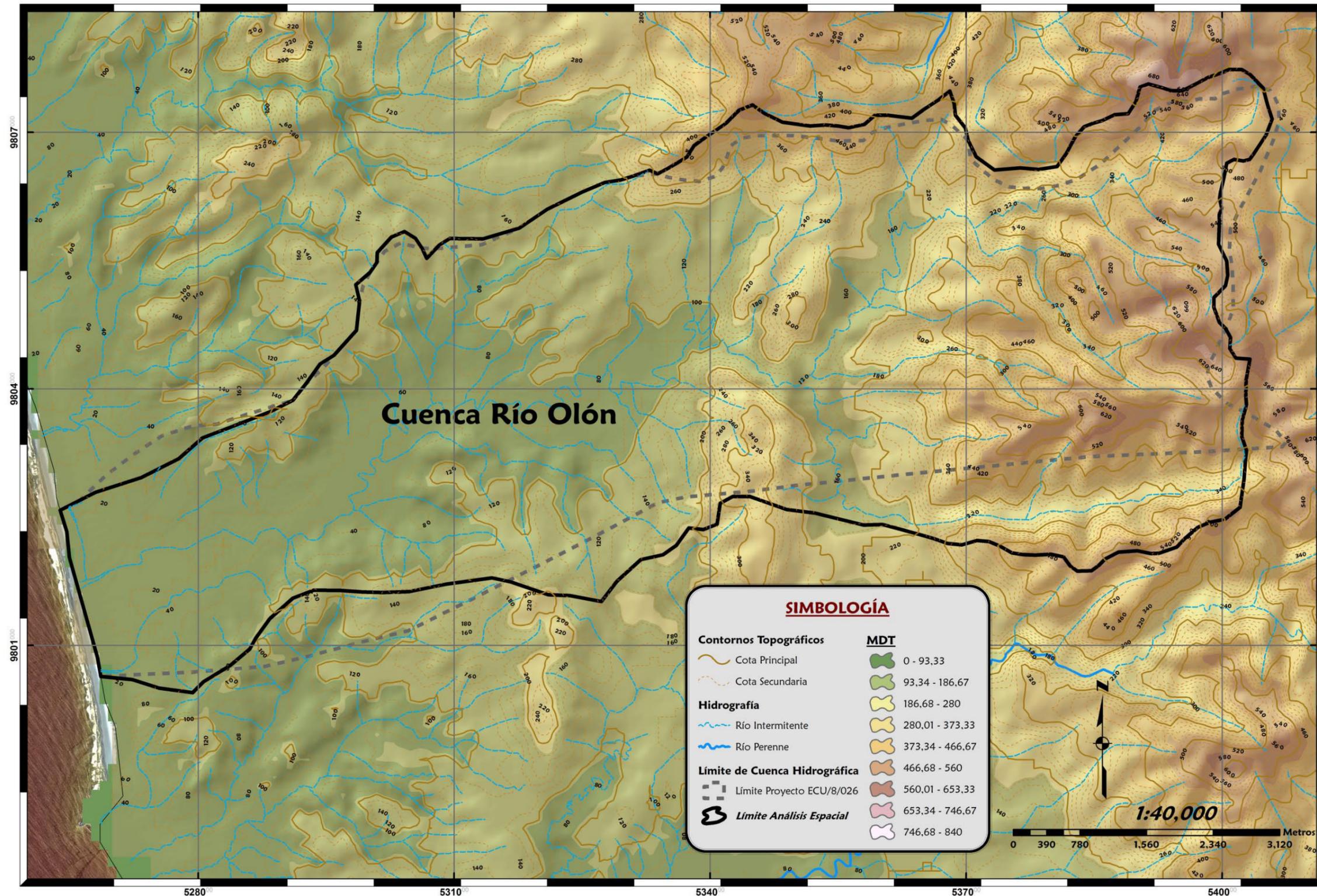
# RED HIDROGRÁFICA Y RECURSOS DE AGUA SUBTERRÁNEA DE LA CUENCA OLÓN



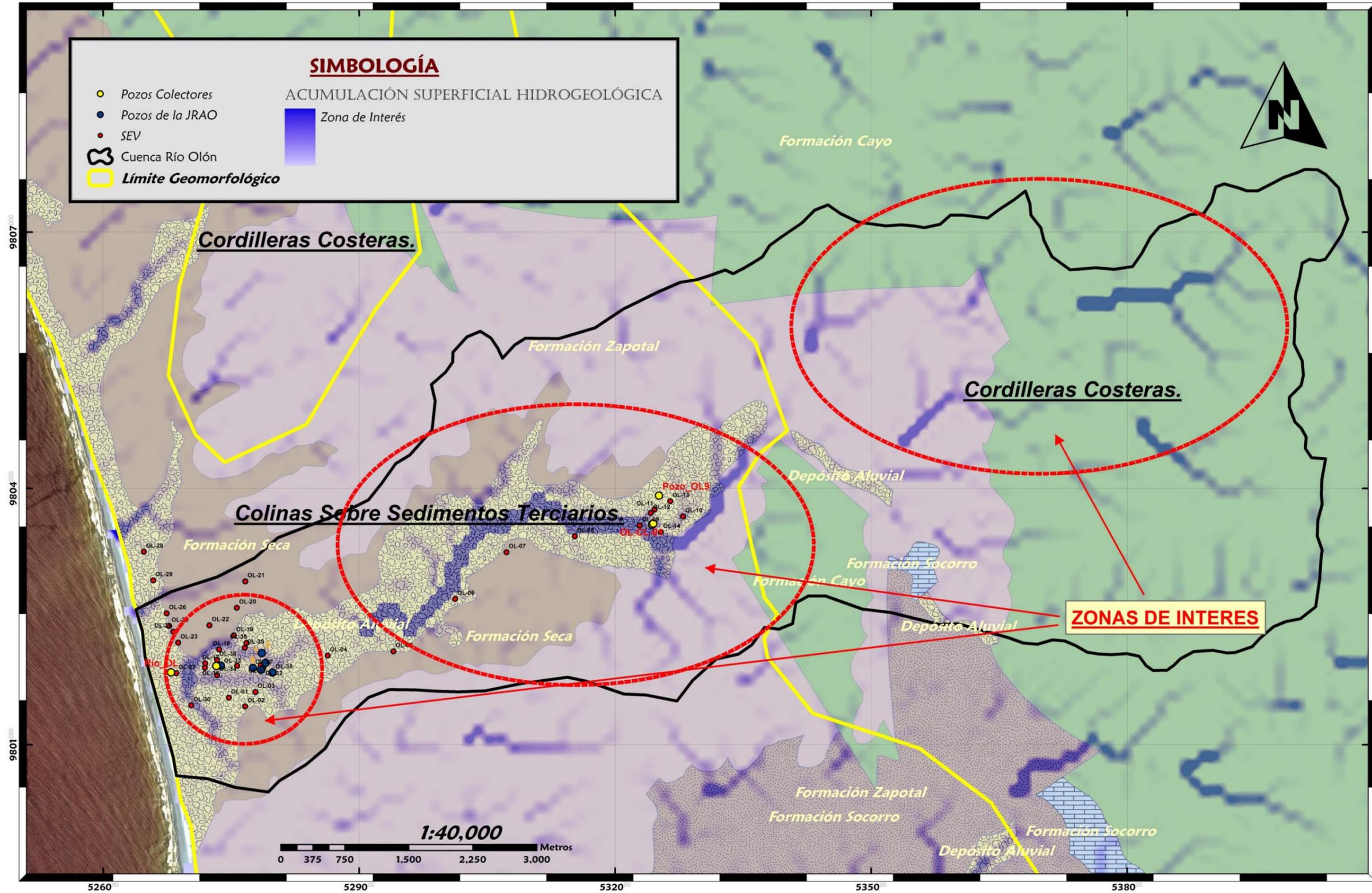
# MAPA DE PENDIENTES - CUENCA HIDROGRÁFICA OLÓN



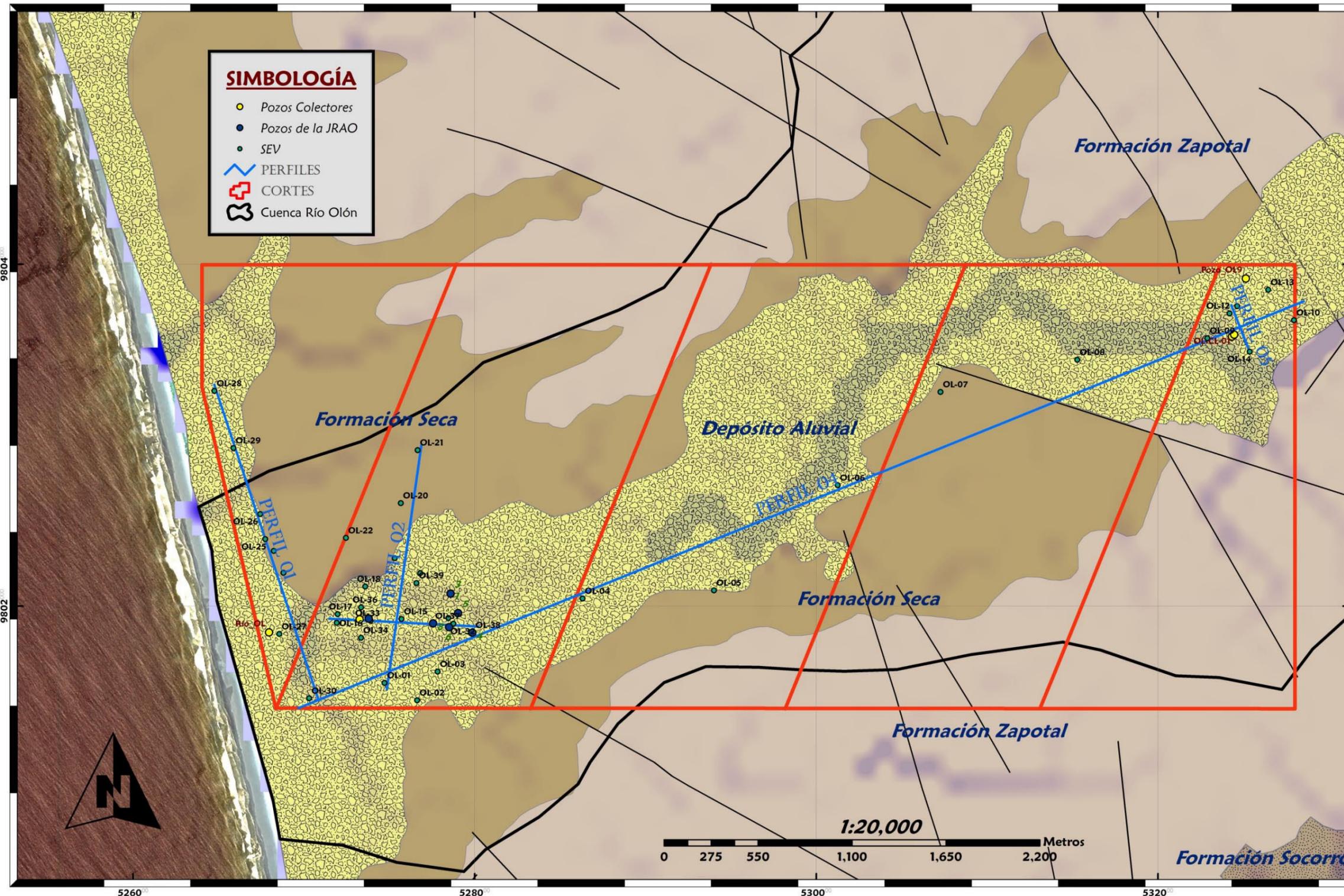
# CUENCA HIDROGRÁFICA OLÓN



# MAPA DE ZONIFICACIÓN SUPERFICIAL HIDROGEOLÓGICA

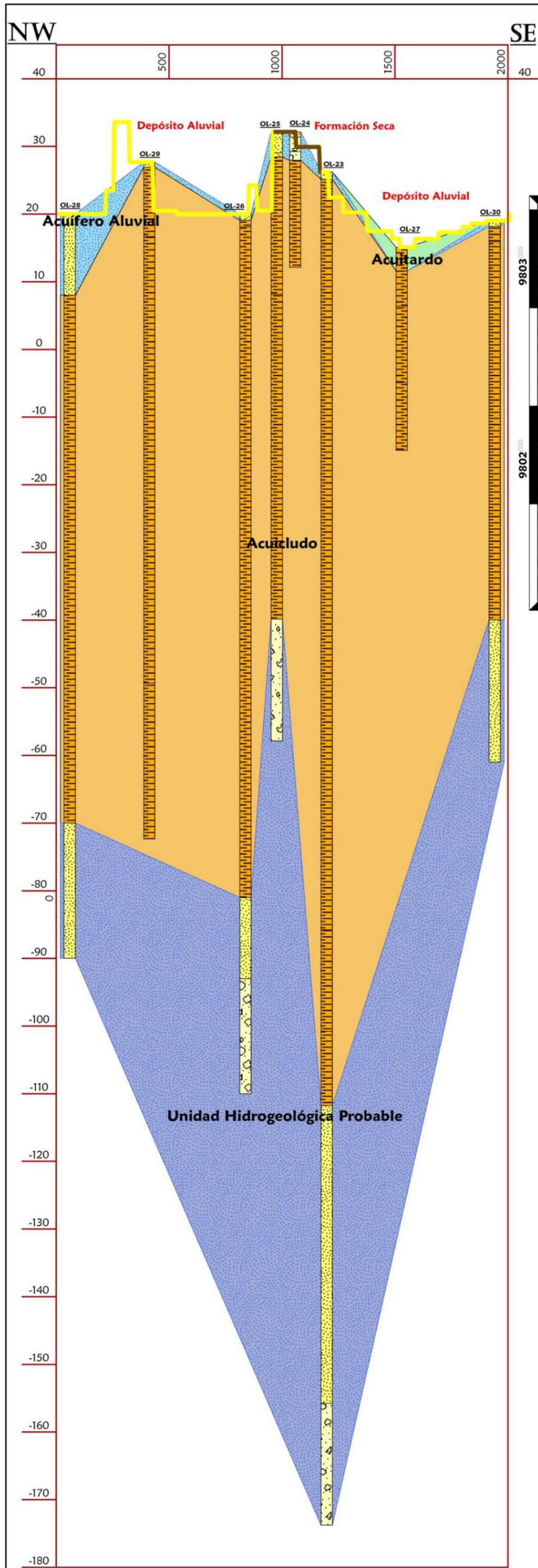


# MAPA DE DISTRIBUCIÓN DE PERFILES

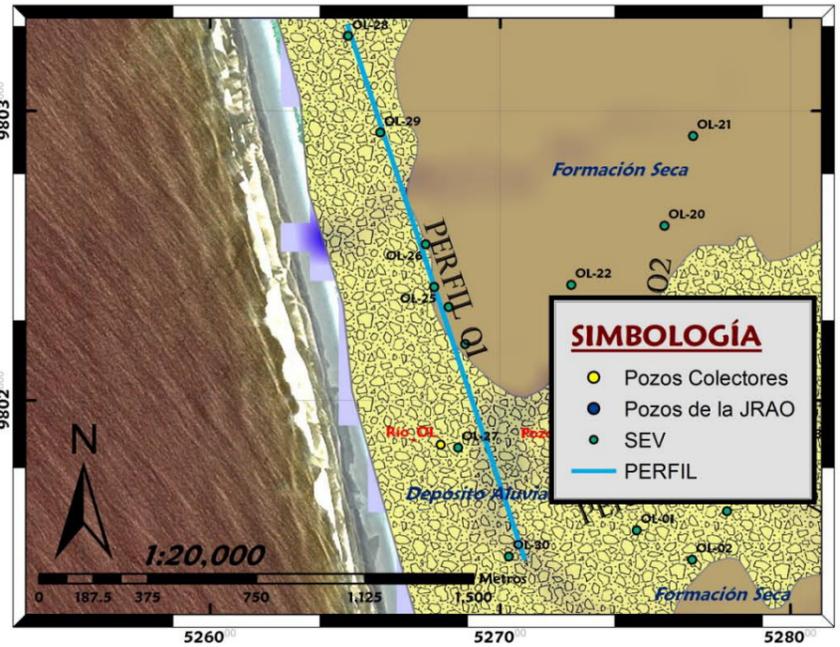


# **ANEXO B**

Perfiles



# PERFIL 01



## LEYENDA

### PERFIL 01

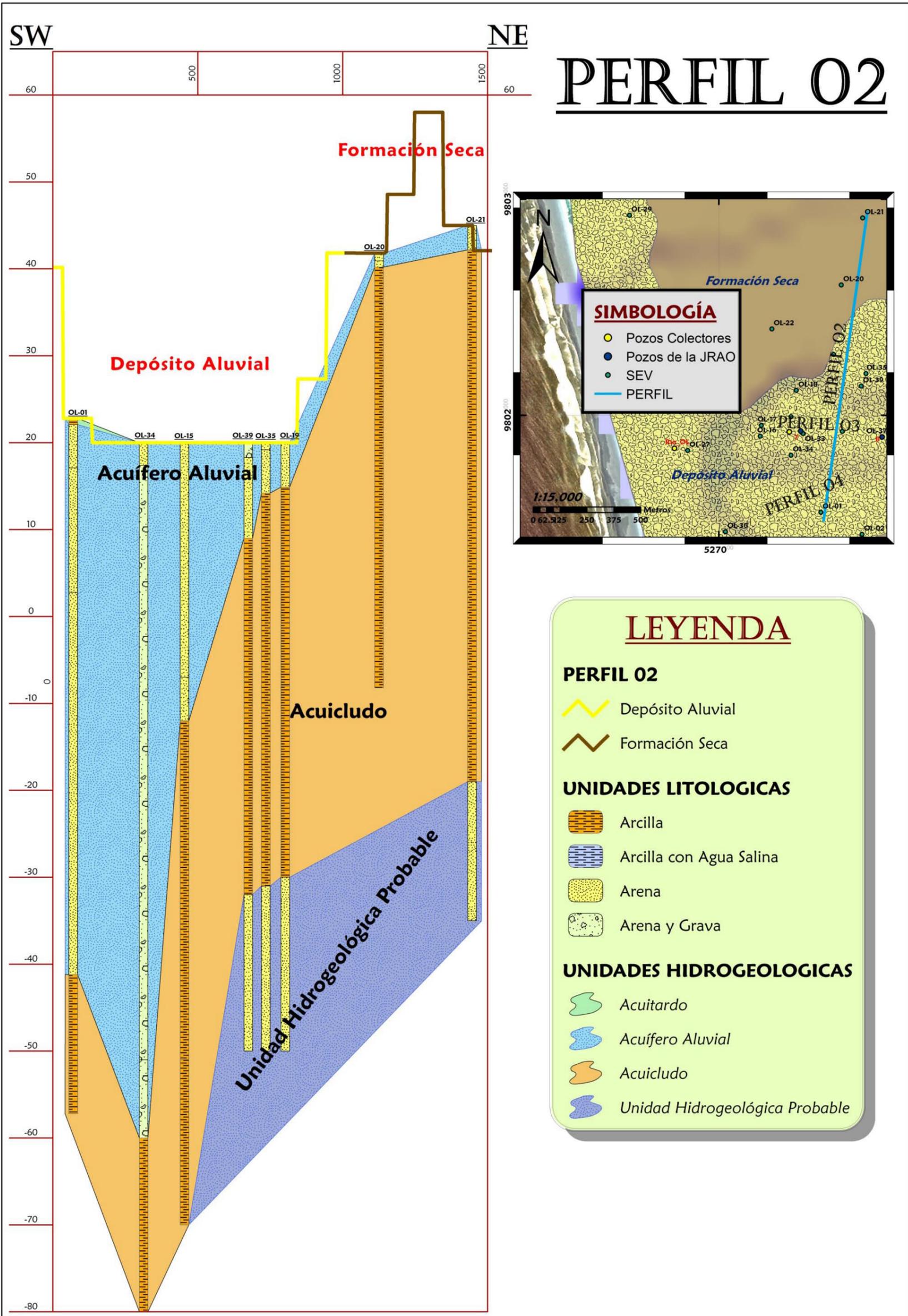
- Depósito Aluvial
- Formación Seca

### UNIDADES LITOLÓGICAS

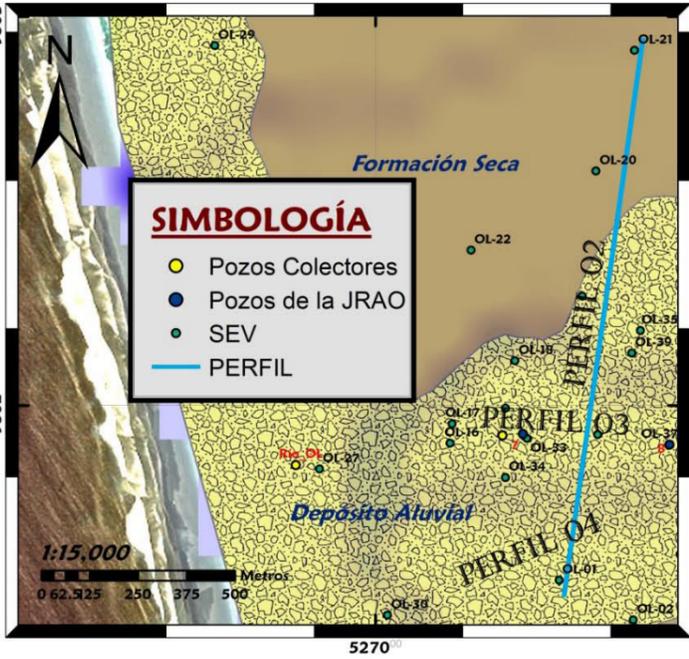
- Arcilla
- Arcilla con Agua Salina
- Arena
- Arena y Grava

### UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

- Acuitardo
- Acuífero Aluvial
- Acuícludo
- Unidad Hidrogeológica Probable



# PERFIL 02



**LEYENDA**

**PERFIL 02**

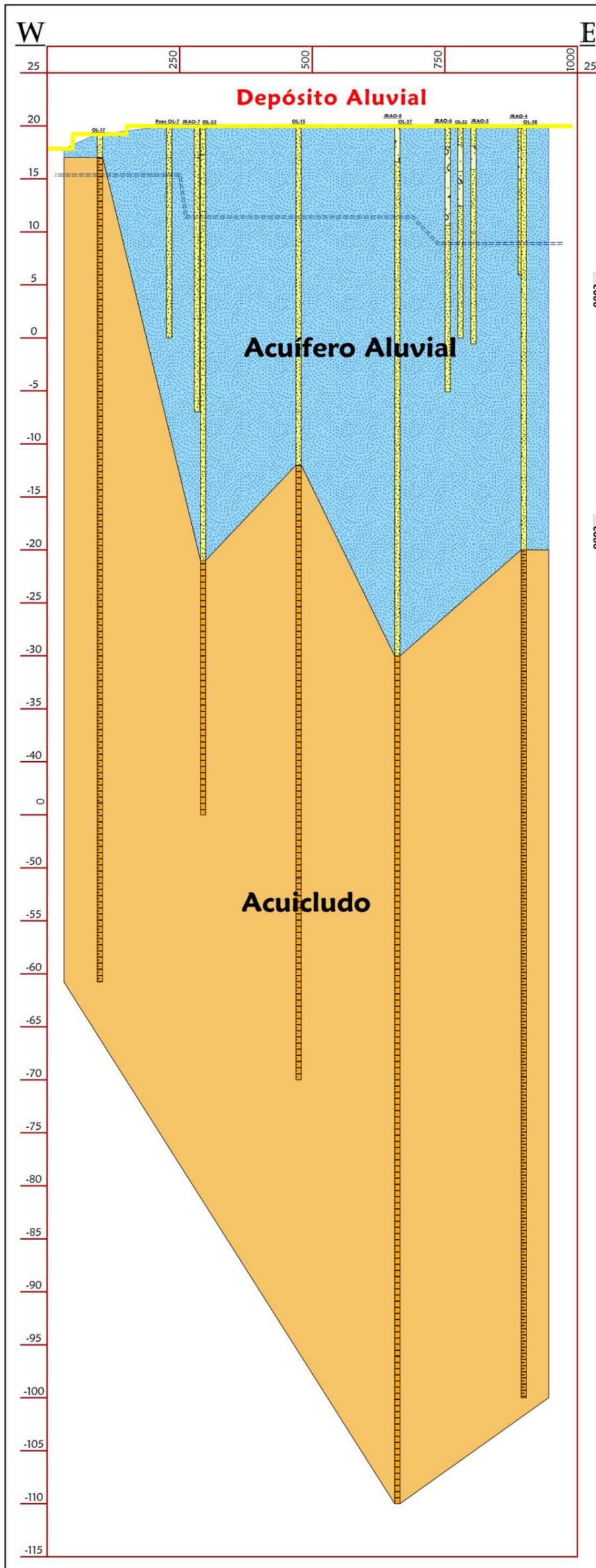
- Depósito Aluvial
- Formación Seca

**UNIDADES LITOLÓGICAS**

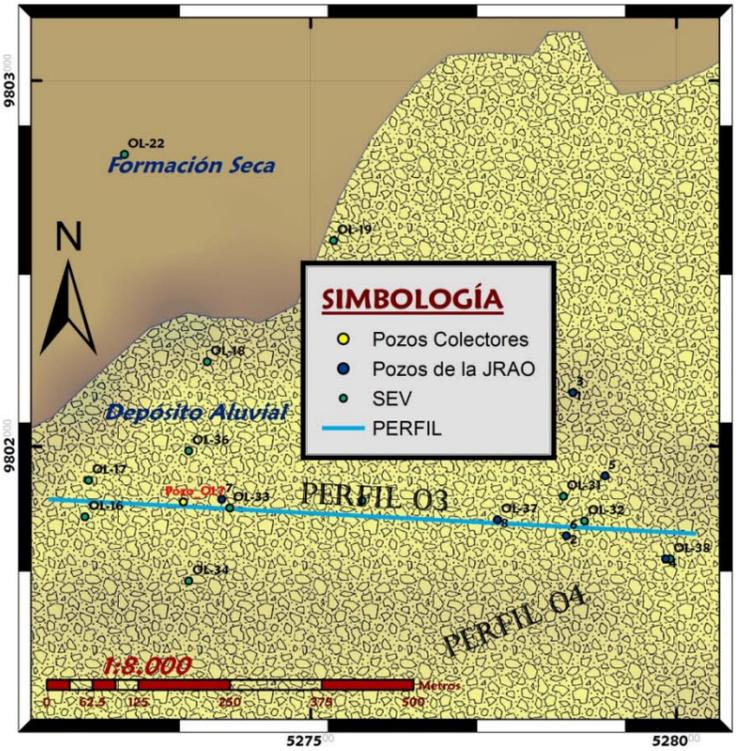
- Arcilla
- Arcilla con Agua Salina
- Arena
- Arena y Grava

**UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS**

- Acuitardo
- Acuífero Aluvial
- Acuicludo
- Unidad Hidrogeológica Probable



# PERFIL 03



## LEYENDA

### PERFIL 03

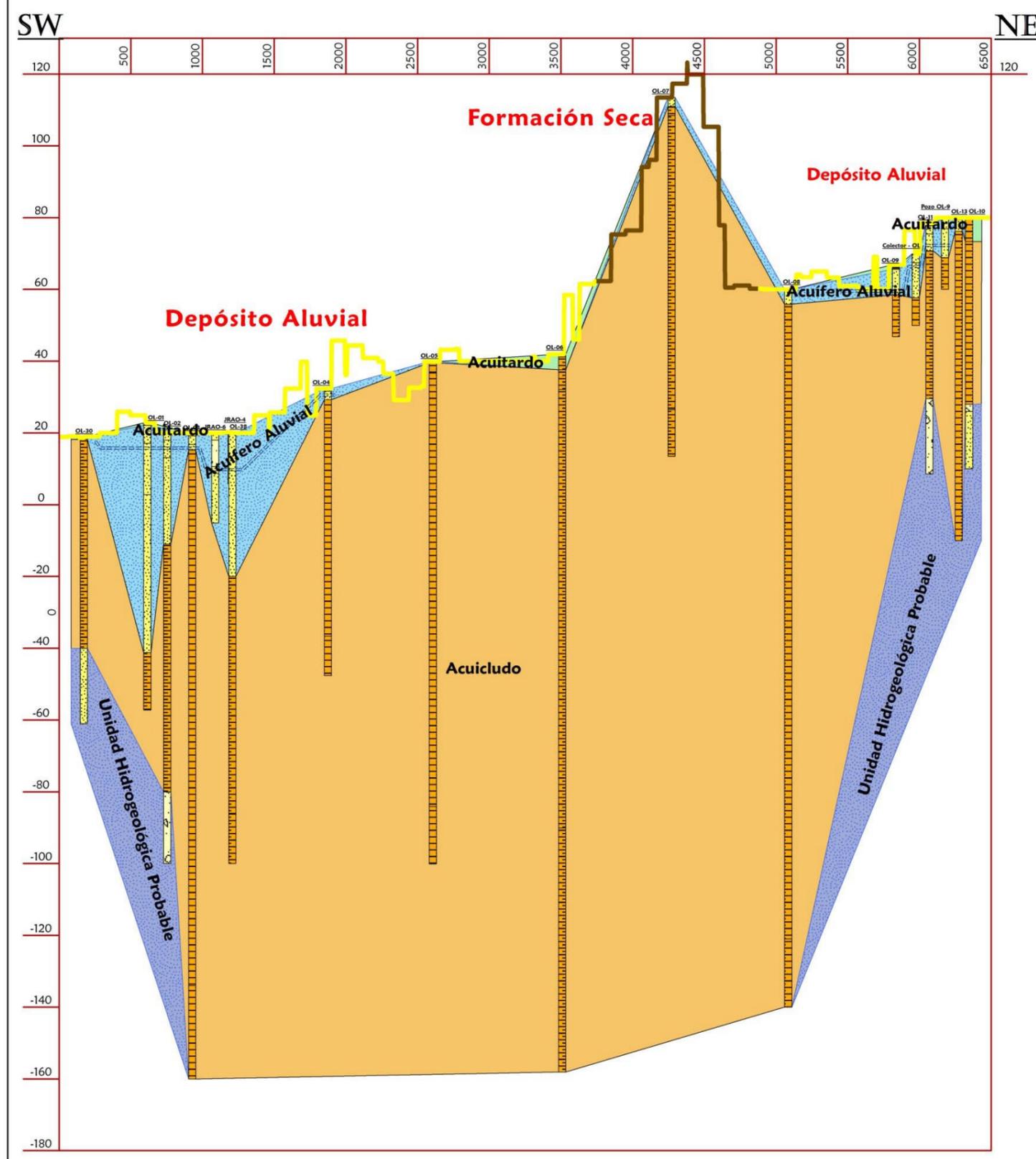
- Depósito Aluvial
- Nivel de Agua en los Pozos

### UNIDADES LITOLÓGICAS

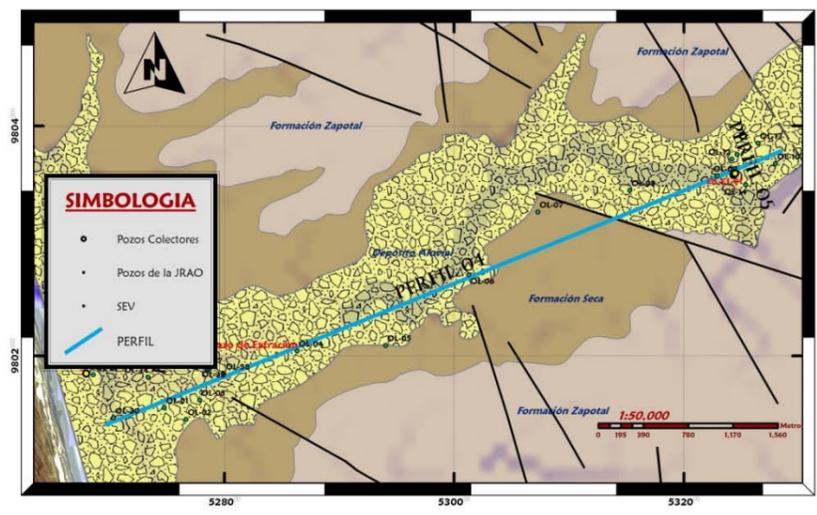
- Arcilla
- Arcilla con Agua Salina
- Arena
- Arena y Grava

### UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

- Acuífero Aluvial
- Acuícludo



# PERFIL 04



## LEYENDA

**PERFIL 04**

- Depósito Aluvial
- Formación Seca
- Nivel de Agua en los Pozos

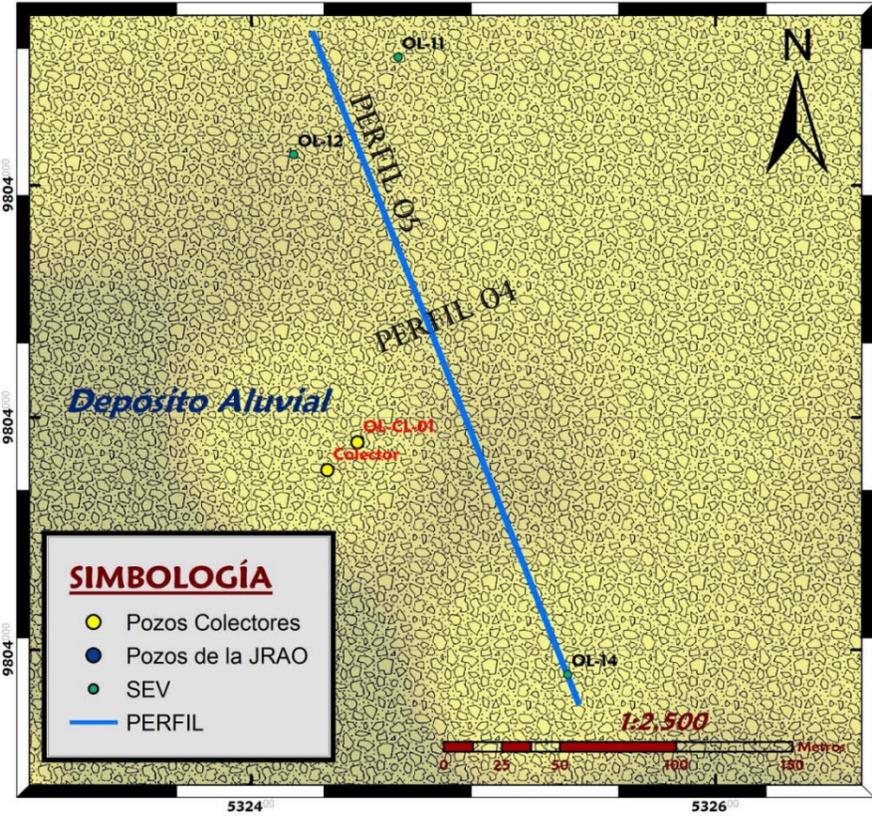
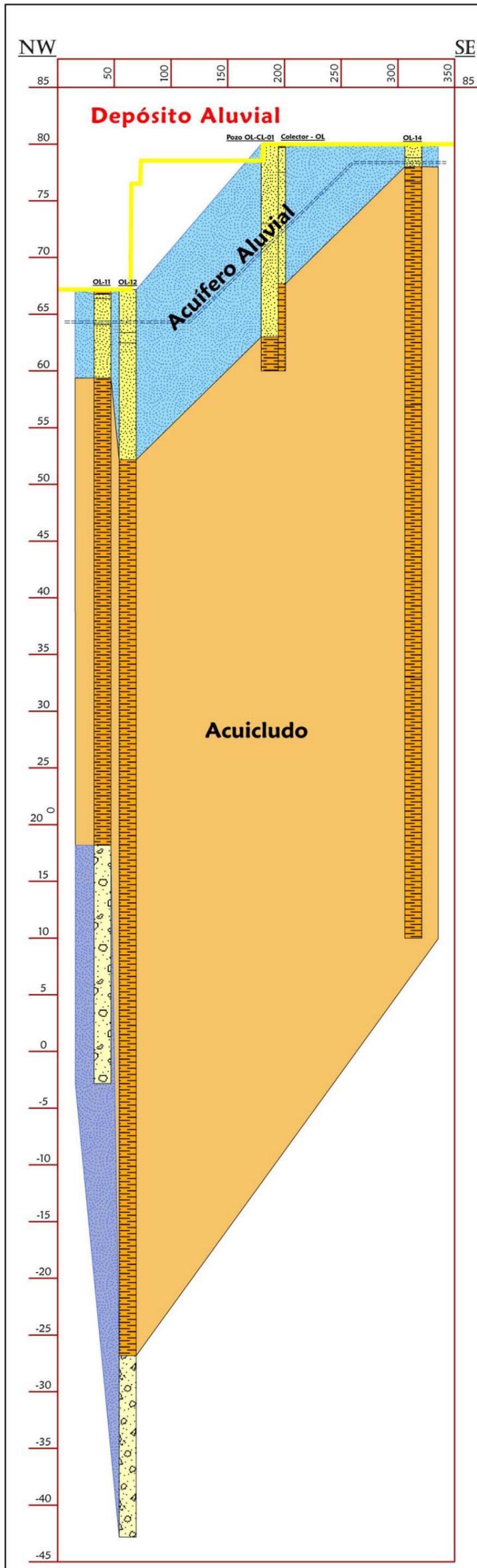
**UNIDADES LITOLÓGICAS**

- Arcilla
- Arcilla con Agua Salina
- Arena
- Arena y Grava

**UNIDADES HIDROGEOLOGICAS**

- Acuitardo
- Acuífero Aluvial
- Acuícludo
- Unidad Hidrogeológica Probable

# PERFIL 05



## SIMBOLOGÍA

- Pozos Colectores
- Pozos de la JRAO
- SEV
- PERFIL

## LEYENDA

### PERFIL 05

- Depósito Aluvial
- Nivel de Agua en los Pozos

### UNIDADES LITOLÓGICAS

- Arcilla
- Arena
- Arena y Grava

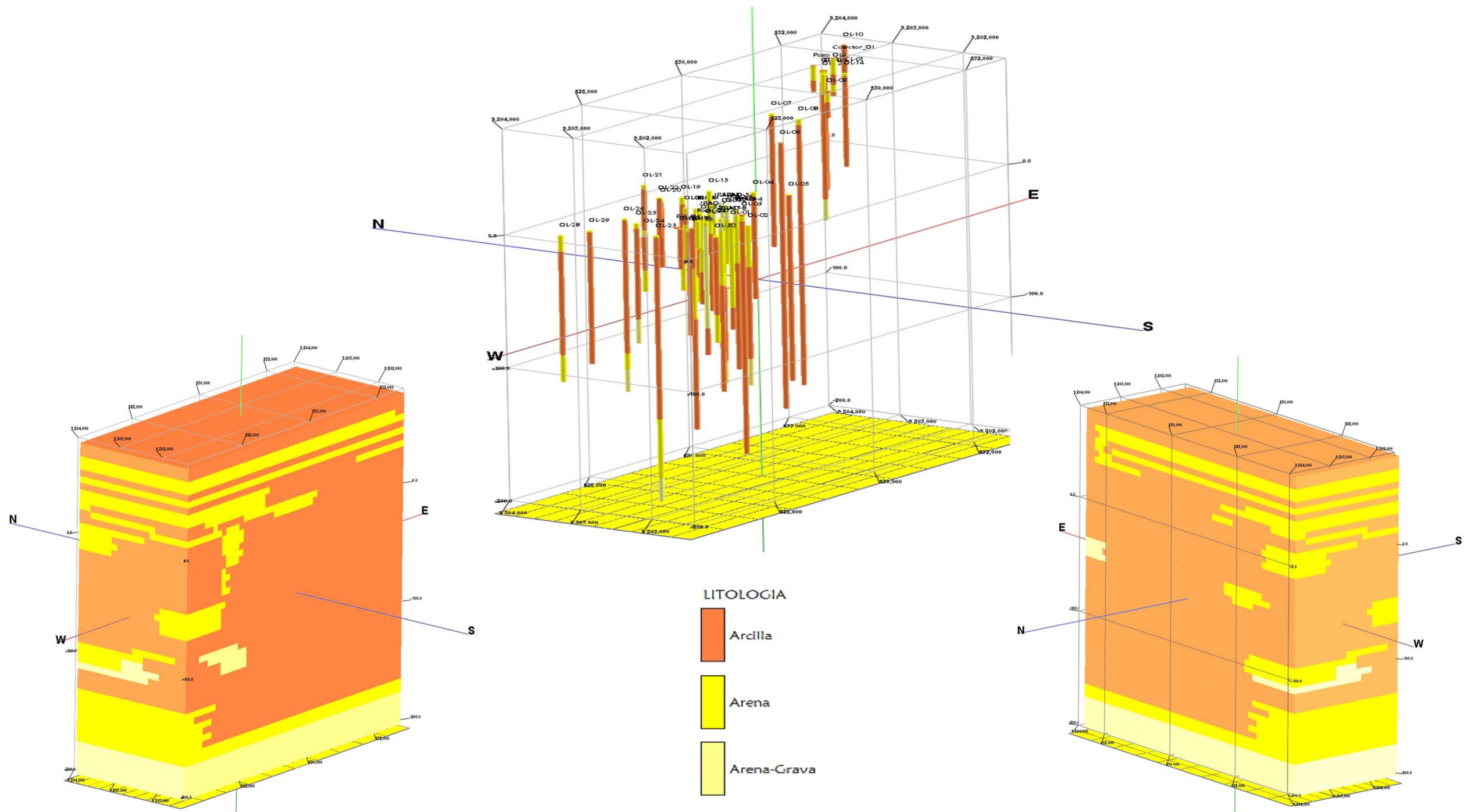
### UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

- Acuitardo
- Acuífero Aluvial
- Acuícludo
- Unidad Hidrogeológica Probable

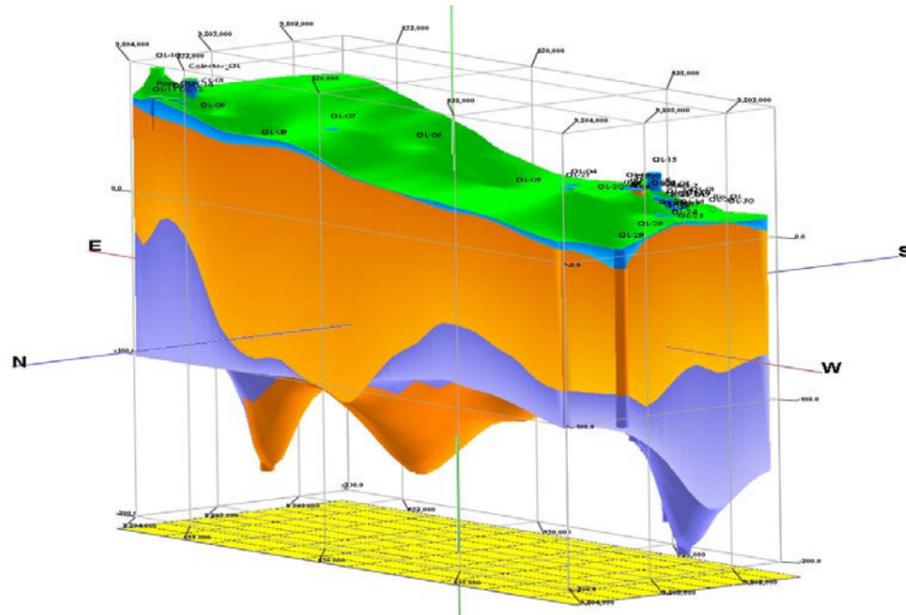
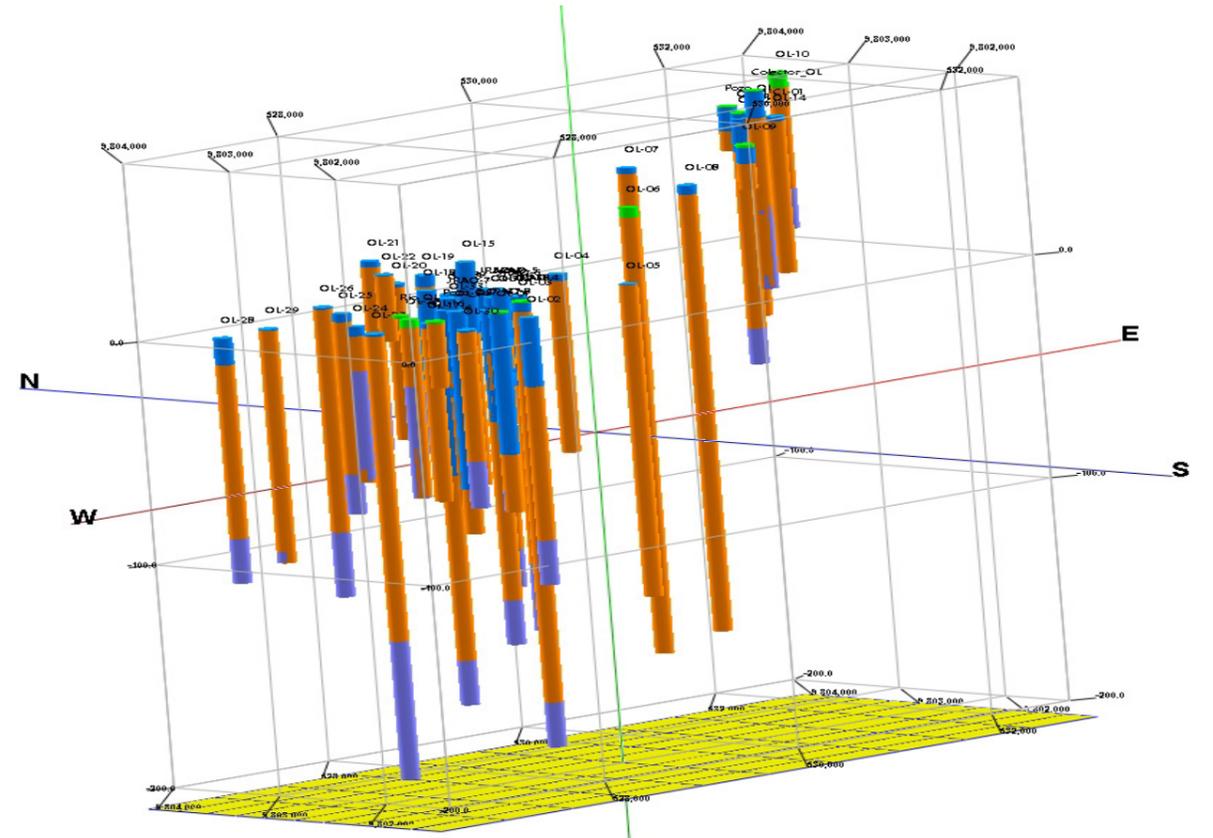
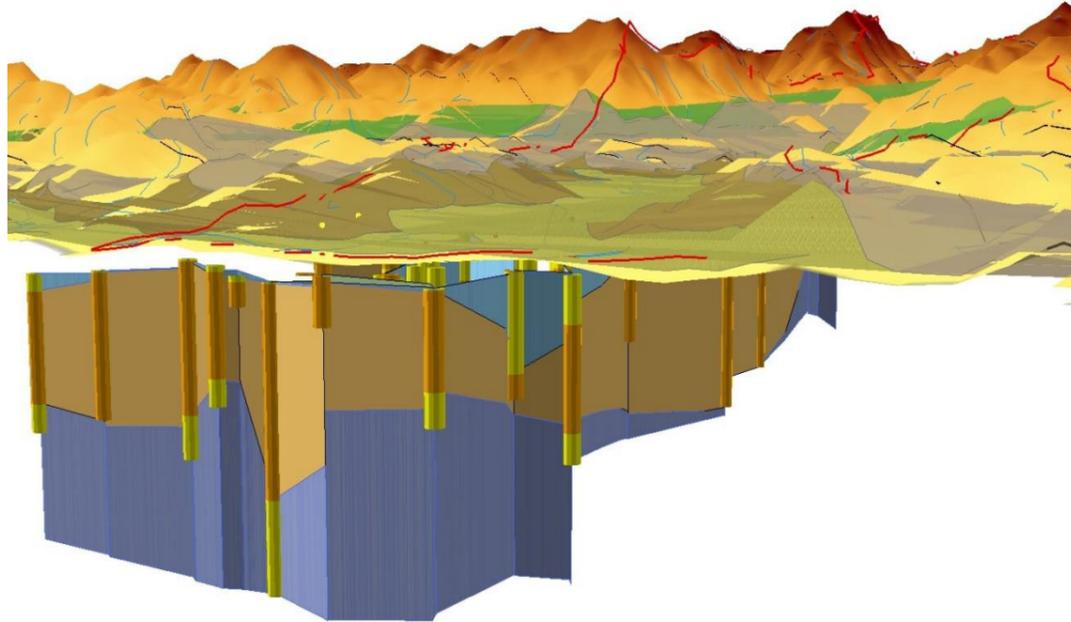
# **ANEXO C**

Modelos Digitales 3D

# MODELO LITOLÓGICO

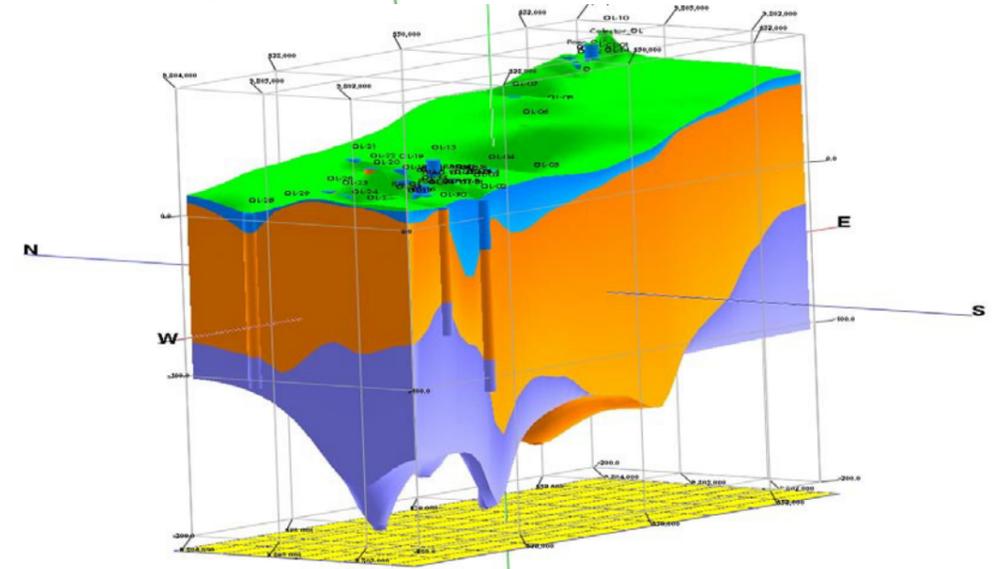


# MODELO HIDROGEOLÓGICO



## UNIDADES HIDROGEOLOGICAS

- Acuitardo
- Acuífero Aluvial
- Acuífudo
- Unidad Hidrogeológica Probable



# MODELO UNIDAD ACUÍFERA

