



Universidad de Guayaquil

**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL
GRADO ACADÉMICO INGENIERO GEÓLOGO**

**PROSPECCIÓN GEOFÍSICA PARA LA DETERMINACIÓN DE
AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR “PARAÍSO 2” DEL
RECINTO COCHANCAY, CANTÓN LA TRONCAL, PROVINCIA
DE CAÑAR, ECUADOR**

AUTOR: DIEGO ARMANDO DUMES MENDOZA

TUTOR: HERNAN LARA SAAVEDRA Msc.

GUAYAQUIL, Agosto 2019



Universidad de Guayaquil

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

CERTIFICACIÓN

En calidad de Tutor de Titulación, certifico que el presente trabajo ha sido elaborado por el Sr. Diego Armando Dumes Mendoza, por lo que autorizo su presentación.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Hernan Lara Saavedra', is written over a horizontal line.

HERNAN LARA SAAVEDRA, M. Sc
TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN
CI: 0920218989



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 4

Guayaquil, 8 de agosto del 2019.

Señor ingeniero

M.SC. Richard Banda Gavilánez, Ph.D.

DIRECTOR (E) DE LA CARRERA INGENIERIA GEOLÓGICA

FACULTAD CIENCIAS NATURALES

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación **PROSPECCIÓN GEOFÍSICA PARA LA DETERMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR "PARAÍSO 2" DEL RECINTO COCHANCAJ, CANTÓN LA TRONCAL, PROVINCIA DE CAÑAR, ECUADOR** del estudiante **DIEGO ARMANDO DUMES MENDOZA**, indicando ha cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que el estudiante está apto para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,


HERNÁN LARA SHAVEDRA, M.Sc.
C.I. 0920218989

CC: Gestora de Titulación de la Carrera.





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 5

RÚBRICA DE EVALUACIÓN TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del Trabajo: PROSPECCIÓN GEOFÍSICA PARA LA DETERMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR "PARAÍSO 2" DEL RECINTO COCHANCA Y, CANTÓN LA TRONCAL, PROVINCIA DE CAÑAR, ECUADOR

Autor: DIEGO ARMANDO DUMES MENDOZA

ASPECTOS EVALUADOS	PUNTAJE MÁXIMO	CALF.
ESTRUCTURA ACADÉMICA Y PEDAGÓGICA	4.5	4.5
Propuesta integrada a Dominios, Misión y Visión de la Universidad de Guayaquil.	0.3	0.3
Relación de pertinencia con las líneas y sublíneas de investigación Universidad / Facultad/ Carrera	0.4	0.4
Base conceptual que cumple con las fases de comprensión, interpretación, explicación y sistematización en la resolución de un problema.	1	1
Coherencia en relación a los modelos de actuación profesional, problemática, tensiones y tendencias de la profesión, problemas a encarar, prevenir o solucionar de acuerdo al PND-BV	1	1
Evidencia el logro de capacidades cognitivas relacionadas al modelo educativo como resultados de aprendizaje que fortalecen el perfil de la profesión	1	1
Responde como propuesta innovadora de investigación al desarrollo social o tecnológico.	0.4	0.4
Responde a un proceso de investigación – acción, como parte de la propia experiencia educativa y de los aprendizajes adquiridos durante la carrera.	0.4	0.4
RIGOR CIENTÍFICO	4.5	4.5
El título identifica de forma correcta los objetivos de la investigación	1	1
El trabajo expresa los antecedentes del tema, su importancia dentro del contexto general, del conocimiento y de la sociedad, así como del campo al que pertenece, aportando significativamente a la investigación.	1	1
El objetivo general, los objetivos específicos y el marco metodológico están en correspondencia.	1	1
El análisis de la información se relaciona con datos obtenidos y permite expresar las conclusiones en correspondencia a los objetivos específicos.	0.8	0.8
Actualización y correspondencia con el tema, de las citas y referencia bibliográfica	0.7	0.7
PERTINENCIA E IMPACTO SOCIAL	1	1
Pertinencia de la investigación	0.5	0.5
Innovación de la propuesta proponiendo una solución a un problema relacionado con el perfil de egreso profesional	0.5	0.5
CALIFICACIÓN TOTAL *	10	10
* El resultado será promediado con la calificación del Tutor Revisor y con la calificación de obtenida en la Sustentación oral.		


HERNÁN LARA SAAVEDRA
No. C.I. 0920218989

fecha: 08/08/2019

09/05/19
RECIBIDO



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 6

CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado HERNAN LARA SAAVEDRA, tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por DUMES MENDOZA DIEGO ARMANDO C.C.: 0931485627, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Geólogo.

Se informa que el trabajo de titulación: PROSPECCIÓN GEOFÍSICA PARA LA DETERMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR "PARAÍSO 2" DEL RECINTO COCHANCA Y, CANTÓN LA TRONCAL, PROVINCIA DE CAÑAR, ECUADOR ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio URKUND quedando el 6% de coincidencia.

URKUND

Documento: TESIS DUMES.docx (D55018104)
Presentado: 2019-08-25 21:35 (-05:00)
Presentado por: Javier Lara (hernan.laras@ug.edu.ec)
Recibido: hernan.laras.ug@analysis.urkund.com

6% de estas 79 paginas, se componen de texto presente en 10 fuentes.

Categoría	Enlace/nomb
	TESIS AVANC...
Fuentes alternativas	JAIRO GARAS...
	1442248439_...
	11 tesis FINAL

Fuente externa: https://resistividdeten...
las mediciones de resistividad depende...
y por el contrario, no dependen en forma...
dependen de la clase de contacto que se l...

Las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra.

Según Wenner, la profundidad teórica de investigación de un sondeo es igual a la distancia a...

CITATION Las89 (1958) (Lascano, 1958)

Con este método la resistividad está dada por:

$$P=2\pi \cdot a \cdot R (1)$$

Donde:

a: Separación entre los electrodos

R: Resistencia de terreno medida en la superficie

<https://secure.urkund.com/view/53543179-281430-896567#DcgxDgIxDETRu6T+QrGdcRKugijQCtAWbLMI4u6kmXn63/I5y/VmWMXWOhZYw4Ql1rGBTRyv uOELgTdcB13mtPULoiVCjgIItLxCRwNNkqykkU4GKXKVQU46vTKYd8q5v4/9tW+PY3uWa71UKSI0uTd6+y/Pw==>

Ing. Hernán Lara Saavedra, M.Sc.
C.I. 0020210000

096577
RECIBIDO
8 AGO 2019
Miriam V...



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



Guayaquil, 23 de agosto del 2019

ANEXO 7

Señor Ingeniero

Richard Banda Gavilanes, Ph.D.

DIRECTOR (E) DE LA CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA

FACULTAD CIENCIAS NATURALES

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la **REVISIÓN FINAL** del Trabajo de Titulación: **PROSPECCIÓN GEOFÍSICA PARA LA DETERMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR "PARAÍSO 2" DEL RECINTO COCHANCAJ, CANTÓN LA TRONCAL, PROVINCIA DE CAÑAR, ECUADOR** del estudiante **DIEGO ARMANDO DUMES MENDOZA**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

- El título tiene un máximo de 23 palabras.
- La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.
- El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.
- La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.
- Los soportes teóricos son de máximo 5 años.
- La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que el estudiante **DIEGO ARMANDO DUMES MENDOZA** está apto para continuar el proceso de titulación. Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

Glgo. César Fuentes Campuzano, M.Sc.

DOCENTE TUTOR REVISOR

C.I. 0907591937





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 8

RÚBRICA DE EVALUACIÓN MEMORIA ESCRITA TRABAJO DE TITULACIÓN

ASPECTOS EVALUADOS	PUNTAJE MÁXIMO	CALF.	COMENTARIOS
Título del Trabajo: PROSPECCIÓN GEOFÍSICA PARA LA DETERMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR "PARAÍSO 2" DEL RECINTO COCHANCAY, CANTÓN LA TRONCAL, PROVINCIA DE CAÑAR, ECUADOR			
Autor: DIEGO ARMANDO DUMES MENDOZA.			
ESTRUCTURA Y REDACCIÓN DE LA MEMORIA	3	3	
Formato de presentación acorde a lo solicitado	0.6	0.6	
Tabla de contenidos, índice de tablas y figuras	0.6	0.6	
Redacción y ortografía	0.6	0.6	
Correspondencia con la normativa del trabajo de titulación	0.6	0.6	
Adecuada presentación de tablas y figuras	0.6	0.6	
RIGOR CIENTÍFICO	6	6	
El título identifica de forma correcta los objetivos de la investigación	0.5	0.5	
La introducción expresa los antecedentes del tema, su importancia dentro del contexto general, del conocimiento y de la sociedad, así como del campo al que pertenece	0.6	0.6	
El objetivo general está expresado en términos del trabajo a investigar	0.7	0.7	
Los objetivos específicos contribuyen al cumplimiento del objetivo general	0.7	0.7	
Los antecedentes teóricos y conceptuales complementan y aportan significativamente al desarrollo de la investigación	0.7	0.7	
Los métodos y herramientas se corresponden con los objetivos de la investigación	0.7	0.7	
El análisis de la información se relaciona con datos obtenidos	0.4	0.4	
Factibilidad de la propuesta	0.4	0.4	
Las conclusiones expresa el cumplimiento de los objetivos específicos	0.4	0.4	
Las recomendaciones son pertinentes, factibles y válidas	0.4	0.4	
Actualización y correspondencia con el tema, de las citas y referencia bibliográfica	0.5	0.5	
PERTINENCIA E IMPACTO SOCIAL	1	1	
Pertinencia de la investigación/ Innovación de la propuesta	0.4	0.4	
La investigación propone una solución a un problema relacionado con el perfil de egreso profesional	0.3	0.3	
Contribuye con las líneas / sublíneas de investigación de la Carrera/Escuela	0.3	0.3	
CALIFICACIÓN TOTAL*	10	10	
* El resultado será promediado con la calificación del Tutor y con la calificación de obtenida en la Sustentación oral.			

Glgo. César Fuentes Campuzano, M.Sc.
Docente Tutor / Revisor
No. C.I. 0907591937



fecha: 23/08/2019



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



ANEXO 10
SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	PROSPECCIÓN GEOFÍSICA PARA LA DETERMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR “PARAÍSO 2” DEL RECINTO COCHANCAY, CANTÓN LA TRONCAL, PROVINCIA DE CAÑAR, ECUADOR		
AUTOR	DIEGO ARMANDO DUMES MENDOZA		
REVISOR / TUTOR	ING. CÉSAR FUENTES CAMPÓZANO M.S.C. / ING HERNAN LARA SAAVEDRA M.S.C.		
INSTITUCIÓN:	UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL		
UNIDAD/FACULTAD:	CIENCIAS NATURALES		
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:			
GRADO OBTENIDO:	INGENIERO GEÓLOGO		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	SEPTIEMBRE DEL 2019	No. DE PÁGINAS:	120
ÁREAS TEMÁTICAS:	CIENCIAS GEOLÓGICAS		
PALABRAS CLAVES / KEYWORDS:	PROSPECCIÓN GEOFÍSICA, SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES, CONFIGURACIÓN WENNER, AGUA SUBTERRÁNEA / GEOPHYSICAL PROSPECTING, VERTICAL ELECTRICAL SURVEYS, WENNER CONFIGURATION, GROUNDWATER.		

RESUMEN

El presente trabajo de titulación corresponde al desarrollo de una campaña de prospección geofísica para la búsqueda de agua subterránea en el sector “Paraíso 2”, Recinto Cochancay - Cantón La troncal; los estudios se realizaron mediante Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) - Configuración Wenner. En el levantamiento geológico del área se identificó tres tipos de rocas: a) Corneanas - rocas metamórficas de contacto de bajo grado. b) Rocas ígneas efusivas (lavas) pertenecientes a la formación Pallatanga, c) Depósitos aluviales en la parte baja de la cordillera occidental. Se realizó el balance hidrológico local desde el año 2000 al 2015 demostrando que en los meses febrero a mayo existe un excedente hídrico de importancia y de junio a diciembre presentan un déficit hídrico. Referente a los SEV se realizaron 8 en total, dando como resultado que el SEV 1- SEV 2 y SEV 6, presentan mayor evidencia de reserva



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



ABSTRACT

The present titling work corresponds to the development of a geophysical prospecting campaign for the search for groundwater in the sector "Paraiso 2", Cochancay Campus – Canton La Troncal; the studies were carried out using Vertical Electrical Probes (SEV) - Wenner Configuration. In the geological survey of the area, three types of rocks were identified: a) Corneanas - low-grade metamorphic contact rocks. b) Effusive igneous rocks (lavas) belonging to the Pallatanga formation, c) Alluvial deposits in the lower part of the western mountain range. The local hydrological balance was carried out from 2000 to 2015 demonstrating that in February to May, there is a significant water surplus and from June to December they have a water deficit. Regarding the SEVs, 8 were carried out in total, resulting in SEV 1- SEV 2 and SEV 6, presenting greater evidence of groundwater reserve.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR:	Teléfono: 0999424471	E-mail: dumesdiego@gmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Facultad de Ciencias Naturales	
	Teléfono: 04-3080777	
	E-mail: info@fccnnugye.com	





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 11

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR REVISOR

Habiendo sido nombrado **CÉSAR FUENTES CAMPUZANO**, tutor revisor del trabajo de titulación **PROSPECCIÓN GEOFÍSICA PARA LA DETERMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR "PARAÍSO 2" DEL RECINTO COCHANCAY, CANTÓN LA TRONCAL, PROVINCIA DE CAÑAR, ECUADOR**, certifico que el presente Trabajo de Titulación, elaborado por **DIEGO ARMANDO DUMES MENDOZA**, con C.I. No.0931485627, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de **INGENIERO GEÓLOGO**, en la Carrera de Ingeniería Geológica /Facultad de Ciencias Naturales , ha sido **REVISADO Y APROBADO** en todas sus partes, encontrándose apto para su sustentación.

Guayaquil, 23 de agosto de 2019

Glgo. César Fuentes Campuzano, M.Sc.

C.I. No. 0907591937





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA GEOLÓGICA
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 12

**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y EXCLUSIVA PARA EL USO NO
COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES ACADÉMICOS**

Yo, **DIEGO ARMANDO DUMES MENDOZA** con C.I. No. 0931485627, certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es **PROSPECCIÓN GEOFÍSICA PARA LA DETERMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR "PARAÍSO 2" DEL RECINTO COCHANCAJ, CANTÓN LA TRONCAL, PROVINCIA DE CAÑAR, ECUADOR** son de mi absoluta propiedad y **responsabilidad Y SEGÚN EL Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN***, autorizo el uso de una licencia gratuita intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la presente obra con fines académicos, en favor de la Universidad de Guayaquil, para que haga uso del mismo, como fuera pertinente

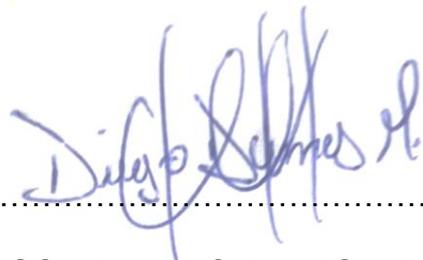


NOMBRES Y APELLIDOS DEL ESTUDIANTE (S)
C.I. No. 0931485627

*CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899 - Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.

© DERECHOS DE AUTOR

Según la ley de propiedad intelectual, Art. 5: “El derecho de autor nace y se protege por el solo hecho de la creación de la obra, independientemente de su mérito, destino o modo de expresión... El reconocimiento de los derechos de autor y de los derechos conexos no está sometido a registro, depósito, ni al cumplimiento de formalidad alguna”.



.....

DIEGO ARMANDO DUMES MENDOZA

2019

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios Todopoderoso por ser quien me ha guiado para llegar a cumplir esta meta.

A mis padres, Chucho y Charito que con cariño así los conocemos, que son el pilar fundamental en mi vida ellos me han alentado a luchar por conseguir mis sueños.

A mis hermanos Fiama, Roger y Alan por su apoyo incondicional.

A mi tía Mariana Mendoza por ser motor para impulsarme a seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

A la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad que Guayaquil que, a través de los docentes de la carrera de Ingeniería Geológica, en las aulas de clase supieron impartirme sus conocimientos y contribuir a mi formación profesional.

A mi tutor de tesis Hernán Lara Saavedra Msc. por el apoyo brindado en la elaboración de este proyecto de titulación.

Al Ing. Honorio Morán por su ayuda en la toma de lecturas Geofísicas.

Al Sr. Washington Anzules, por motivarme a seguir adelante en mis estudios y apoyarme en el trabajo en todo momento.

A los padres de mi enamorada Arturo y Patricia, sin olvidar a la Sra. Zoilita por su ayuda en todo momento en la etapa de elaboración de mi tesis.

A mi enamorada Johana Robles Calle por su apoyo y comprensión en todo momento.

A mi amigo Luis Sánchez por su colaboración y ayuda desinteresada para la culminación del trabajo de campo.

A cada uno de mis compañeros y amigos que de alguna manera contribuyeron para cumplir esta meta planteada en mi vida.

Muchas Gracias



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA GEOLÓGICA



UNIDAD DE TITULACIÓN

ANEXO 13

**PROSPECCIÓN GEOFÍSICA PARA LA DETERMINACIÓN DE AGUA
SUBTERRÁNEA EN EL SECTOR "PARAÍSO 2" DEL RECINTO COCHANCAY,
CANTÓN LA TRONCAL, PROVINCIA DE CAÑAR, ECUADOR**

Autor: Diego Armando Dumes Mendoza

Tutor: Hernán Lara Saavedra MSc.

Resumen

El presente trabajo de titulación corresponde al desarrollo de una campaña de prospección geofísica para la búsqueda de agua subterránea en el sector "Paraíso 2", Recinto Cochancay - Cantón La troncal; los estudios se realizaron mediante Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) - Configuración Wenner. En el levantamiento geológico del área se identificó tres tipos de rocas: a) Corneanas - rocas metamórficas de contacto de bajo grado. b) Rocas ígneas efusivas (lavas) pertenecientes a la formación Pallatanga, c) Depósitos aluviales en la parte baja de la cordillera occidental. Se realizó el balance hidrológico local desde el año 2000 al 2015 demostrando que en los meses febrero a mayo existe un excedente hídrico de importancia y de junio a diciembre presentan un déficit hídrico. Referente a los SEV se realizaron 8 en total, dando como resultado que el SEV 1- SEV 2 y SEV 6, presentan mayor evidencia de reserva de agua subterránea.

Palabras Claves: *prospección geofísica, sondeos eléctricos verticales, configuración Wenner, agua subterránea.*



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD CIENCIAS NATURALES
CARRERA INGENIERIA GEOLÓGICA



UNIDAD DE TITULACIÓN

ANEXO 14

GEOPHYSICAL PROSPECTION FOR THE DETERMINATION OF
GROUNDWATER IN THE "PARAISO 2" SECTOR OF THE COCHANCAY,
CANTÓN LA TRONCAL, PROVINCE OF CAÑAR, ECUADOR

Author: *Diego Armando Dumes Mendoza*

Advisor: *Hernan Lara Saavedra MSc.*

Abstract

The present study corresponds to the development of a geophysical exploration campaign for groundwater search in the "Paraiso 2" area, Recinto Cochancay – Canton La Troncal. Data was collected using Vertical Electrical Sounding (VES) - Wenner Configuration. Based on the geophysical survey of the area, three rock types were identified: a) Hornfels - low-grade metamorphic contact rocks. b) Effusive igneous rocks (lavas) belonging to the Pallatanga Formation, c) Alluvial deposits in the lower part of the western mountain range. The local hydrological balance was conducted from 2000 to 2015 showing that from February to May there is a significant water surplus, whereas from June to December there is a water deficit. Regarding the VESs, 8 were carried out in total, resulting in SEV 1-SEV 2 and SEV 6 with greater evidence of groundwater reserve.

Keywords: *geophysical exploration, vertical electrical sounding, Wenner configuration, groundwater.*

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE CUADROS	XIII
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES	2
3. ESTUDIOS ANTERIORES	3
4. JUSTIFICACIÓN	4
5. HIPÓTESIS	5
6. OBJETIVOS	6
6.1 OBJETIVO GENERAL	6
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
7. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	7
7.1 LOCALIZACIÓN.....	7
7.2 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	8
7.4 TOPOGRAFÍA.....	9
7.5 CLIMA LOCAL	9
7.6 GEOLOGÍA REGIONAL.....	10
7.7 METAMORFISMO.....	13
7.8 GEOLOGÍA HISTÓRICA.....	13
7.9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	14
7.10 GEOLOGÍA LOCAL.....	15
CAPÍTULO II	18
8. MARCO TEÓRICO	18

8.2 EL CICLO HIDROLÓGICO	18
8.4 PRECIPITACIÓN	20
8.5 RECARGA DEL AGUA SUBTERRÁNEA POR PRECIPITACIÓN	20
8.6 ALMACENES EN EL CICLO HIDROLÓGICO	21
8.7 ACUÍFERO.....	21
8.8 ACUÍFEROS LIBRES.....	22
8.9 ACUÍFEROS CONFINADOS	22
8.10 ACUÍFEROS SEMICONFINADOS.....	22
8.11 ACUÍFEROS SEGÚN EL TIPO DE HUECO	23
8.12 ACUÍFEROS SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS.....	23
8.13 TIEMPO DE RESIDENCIA O PERMANENCIA.....	24
8.14 BALANCE HIDROLÓGICO	24
8.15 TRANSPIRACIÓN.....	25
8.16 EVAPORACIÓN.....	25
8.17 EVAPOTRANSPIRACIÓN	26
8.18 EVAPOTRANSPIRACIÓN (EVAPORACIÓN) REAL Y POTENCIAL	26
8.19 VARIACIÓN DE LAS RESERVAS DE HUMEDAD EN EL SUELO ...	27
8.20 RESERVA DE AGUA DISPONIBLE.....	27
8.21 EVAPOTRANSPIRACIÓN EFECTIVA.....	27
8.22 DÉFICIT O SEQUÍA.....	27
8.23 EXCEDENTE	28
8.24 UN MEDIO ($\frac{1}{2}$) EXCEDENTE	28
8.25 UN MEDIO ($\frac{1}{2}$) ESCORRENTÍA DEL MES ANTERIOR (MM).....	28
8.26 ESCORRENTÍA TOTAL.....	28
8.27 PROSPECCIÓN GEOFÍSICA	28
8.28 GRADO DE EXACTITUD DE LOS MÉTODOS GEOFÍSICOS	29
8.29 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES	29

CAPÍTULO III	39
9. METODOLOGÍA.....	39
9.1 RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	39
9.2 MATERIALES	39
9.3 MÉTODOS.....	40
CAPÍTULO IV	76
10. RESULTADOS.....	76
10.1 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL “SECTOR PARAÍSO 2”....	76
10.2 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN CLIMATOLÓGICA	77
10.3 SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES	78
CONCLUSIONES	97
RECOMENDACIONES	99
BIBLIOGRAFÍA	100
ANEXOS	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Ubicación sector "Paraíso 2"	8
Figura 2. Climograma del Cantón La Troncal	9
Figura 3. Mapa Geológico de Gualleturo	15
Figura 4. Mapa Geológico Local.....	17
Figura 5. Imagen del ciclo hidrogeológico	19
Figura 6. Formaciones Geológicas donde se encuentran los Acuíferos.....	21
Figura 7. Imagen de los tipos de acuíferos.....	22
Figura 8. Clasificación de los Acuíferos según las características litológicas..	24
Figura 9. Configuración SEV	31
Figura 10. Elementos de un equipo básico de prospección eléctrica (SEV) ...	32
Figura 11. Esquema del dispositivo Wenner	34
Figura 12. Levantamiento de información Geológica	40
Figura 13. Procesamientos de Información de Campo.....	41
Figura 14. Imagen de sedimentos volcánicos altamente meteorizados.	41
Figura 15. Imagen de sedimentos volcánicos.....	42
Figura 16. Afloramiento, Lavas pertenecientes a la Formación Pallatanga.	42
Figura 17. Planos de diaclasas pertenecientes a la formación Pallatanga.....	43
Figura 18. Rocas metamórficas con alto grado de meteorización.	43
Figura 19. Imagen de lavas, Formación Pallatanga	44
Figura 20. Contacto aparente entre la F. Pallatanga y Rx. Metamórficas.	44
Figura 21. Imagen de Rocas Metamórficas, Corneanas.	45
Figura 22. Terrazas Aluviales, presentes en el lugar de estudio.	46
Figura 23. Imagen de Rocas Metamórficas meteorizadas.	48
Figura 24. Temperaturas, Mínimas, Medias y Máximas del cantón la Troncal.	49
Figura 25. Temperaturas, Mínimas, Medias y Máximas del cantón la Troncal.	50
Figura 26. Balance Hidrológico determinado para el sector Paraíso 2.....	55
Figura 27. Mapa de ubicación de los SEV.....	57
Figura 28. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 1.....	58
Figura 29. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 2.....	60
Figura 30. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 3.....	62
Figura 31. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 4.....	64
Figura 32. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 5.....	66

Figura 33. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 6.....	68
Figura 34. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 7.....	70
Figura 35. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 8.....	72
Figura 36. Panel de ingreso de datos en el Software IPI2win	75
Figura 37. Ajuste de la curva de campo.	75
Figura 38. Balance Hidrológico - Sector Paraíso 2.....	77
Figura 39. Imagen de la interpretación SEV 1	79
Figura 40. Imagen de la interpretación SEV 2.....	81
Figura 41. Imagen de la interpretación SEV 3.....	83
Figura 42. Imagen de la interpretación SEV 4.....	85
Figura 43. Imagen de la interpretación SEV 5.....	87
Figura 44. Imagen de la interpretación SEV 6.....	89
Figura 45. Imagen de la interpretación SEV 7.....	91
Figura 46. Imagen de la interpretación SEV 8.....	93
Figura 47. Imagen de la correlación de Capas SEV 1 – 2 – 6.....	94
Figura 48. Imagen de la correlación de Capas SEV 3 – 4 – 5.....	95
Figura 49. Imagen de la correlación de capas SEV 7 – 8 – 5.....	96
Figura 50. Gráficos de barras de temperaturas, periodo 2005 - 2015.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio	7
Tabla 2. Tiempo de Residencia o Permanencia	24
Tabla 3. Levantamiento y Elaboración de la Columna Estratigráfica.....	46
Tabla 4. Temperaturas, Mínimas, Medias y Máximas del cantón la Troncal. ..	49
Tabla 5. Precipitaciones, Mínimas, Medias y Máximas del cantón la Troncal.	50
Tabla 6. Factor de corrección f, método de Thornthwaite.....	52
Tabla 7. Cálculo de la evapotranspiración, método de Thornthwaite.....	53
Tabla 8. Balance Hidrológico Mensual – “Sector Paraíso 2”	54
Tabla 9. Coordenadas de los SEV.....	57
Tabla 10. Coordenadas SEV 1.	58
Tabla 11. Datos de campos obtenidos del SEV 1.....	59
Tabla 12. Coordenadas SEV 2.	60
Tabla 13. Datos de campos obtenidos del SEV 2.....	61
Tabla 14. Coordenadas SEV 3	62
Tabla 15. Datos de campos obtenidos del SEV 3.....	63
Tabla 16. Coordenadas SEV 4.	64
Tabla 17. Datos de campos obtenidos del SEV 4.....	65
Tabla 18. Coordenadas SEV 5	66
Tabla 19. Datos de campos obtenidos del SEV 5.....	67
Tabla 20. Coordenadas SEV 6.	68
Tabla 21. Datos de campos obtenidos del SEV 6.....	69
Tabla 22. Coordenadas SEV 7.	70
Tabla 23. Datos de campos obtenidos del SEV 7.....	71
Tabla 24. Coordenadas SEV 8.	72
Tabla 25. Datos de campos obtenidos del SEV 8.....	73
Tabla 26. Capa de Resistividad SEV 1.....	80
Tabla 27. Capa de Resistividad SEV 2.....	82
Tabla 28. Capa de Resistividad SEV 3.....	84
Tabla 29. Capa de Resistividad SEV 4.....	86
Tabla 30. Capa de Resistividad SEV 5.....	88
Tabla 31. Capa de Resistividad SEV 6.....	89

Tabla 32. Capa de Resistividad SEV 7.....	91
Tabla 33. Capa de Resistividad SEV 8.....	93
Tabla 34. Tabla de precipitaciones, periodo 2005 - 2015	106

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Métodos de prospección geofísica.....	29
Cuadro 2. Comportamiento Eléctrico de los Materiales.....	36
Cuadro 3. Resistividad de Aguas y Rocas	38

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Oficio de solicitud de información climatológica.....	102
Anexo 2. Registro de Temperatura 2005 - 2010 La Troncal.....	103
Anexo 3. Registro de Temperatura 2011 - 2015 La Troncal.....	104

SIGLAS Y ABREVIATURAS

m	Metros.
cm	Centímetros
mm	Milímetros.
km	Kilómetro
°C	Grados centígrados
Ωm	Ohmios metros
CA	Corriente alterna.
CC	Corriente continua.
ΔV	Variación de voltaje.
K	Permeabilidad.
SEV	Sondeo eléctricos vertical
I	Intensidad de Corriente
pa	Resistividad aparente.
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
UTM	Universal Trasversal de Mercator
N	Norte
S	Sur
E	Este
W	Oeste
ETP	Evapotranspiración potencial
EP	Evaporación potencial
ETR	Evapotranspiración real
ER	Evaporación real
P	Precipitación
Rx	Rocas

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento de la naturaleza, fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta debido a que constituye un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos, para la humanidad y para el resto de los seres vivos para satisfacer las necesidades básicas en nuestro diario vivir.

La escasez de agua constituye uno de los principales problemas del siglo XXI que se enfrenta alrededor de todo el mundo. A lo largo del último siglo, el uso y consumo de agua creció a un ritmo dos veces superior al de la tasa de crecimiento de la población y aunque no se puede hablar de escasez hídrica a nivel global, va en aumento el número de regiones con niveles crónicos de carencia de agua.

Esto genera la necesidad del desarrollo de estudios para determinar nuevas fuentes de consumo de agua para asegurar la calidad de vida de la población, siendo el análisis de las fuentes de agua subterránea una de las alternativas más factibles.

El desarrollo social, cultural y personal son herramientas imprescindibles que debe tener el ser humano para crear un ambiente hostil de trabajo y avance dentro de una comunidad, siendo esta la causa primordial por la cual se realiza el estudio para el hallazgo de pozos de agua que permitan el desarrollo del sector y cantón en general.

El sector “Paraíso 2” actualmente no cuenta con pozos de agua, para abastecer de agua directamente a los habitantes del sector, el presente estudio busca receptar toda aquella información de los lugares dentro del sector “Paraíso 2” que presenten aquellas capas de interés acuíferas.

2. ANTECEDENTES

Uno de los principales problemas a nivel mundial es el incremento significativo de la tasa de natalidad de los habitantes y para satisfacer las necesidades básicas es necesario la explotación de un mayor número de recursos naturales.

El acceso a agua para el consumo humano es una de las principales necesidades que se debe satisfacer para asegurar una calidad de vida adecuada para la población.

El sector "Paraíso 2", no es ajeno a la problemática existente, puesto que no posee agua potable, el líquido vital del que se abastecen los pobladores del lugar proviene de vertientes naturales que en temporada lluviosa se genera la ruptura de tuberías por el aumento de caudal, característicos de la presencia de abundante lluvia; en la temporada seca se genera una disminución considerable del caudal que no logra satisfacer a la totalidad de los habitantes del sector.

Por este motivo con el desarrollo de un estudio hidrológico y Geofísico permitirá conocer la capacidad de los acuíferos existentes en el subsuelo con la finalidad de extraer agua subterránea como la alternativa más viable para proveer de agua al área de estudio.

3. ESTUDIOS ANTERIORES

Son escasos los estudios desarrollados en el área, en su mayoría de tipo regional. Los principales proyectos se han desarrollado en zonas cercanas al recinto Cochancay, entre ellos se mencionan:

- Diagnóstico del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón La Troncal, elaborado en el año 2014.
- Modelo Hidráulico del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable de la ciudad de La Troncal del año 2017.
- Estudios del Plan Maestro del Sistema de Agua Potable de la Zona Urbana de la ciudad La Troncal, Provincia del Cañar, elaborado por la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de La Troncal EMAPAT-EP en agosto del presente año.

4. JUSTIFICACIÓN

El artículo 12 de la Constitución de la República del Ecuador establece que: “El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”. Motivo por el cual todas las personas debemos tener acceso al líquido vital de calidad que se pueda utilizar para su mejor aprovechamiento y suplir las necesidades de consumo humano, agricultura, ganadería y servidumbre etc. Los mecanismos para la captación del recurso hídrico, sin embargo, deben tomar en cuenta las condiciones geológicas de los acuíferos, con el objeto de obtener el mayor rendimiento posible sin que se produzcan efectos negativos en las reservas de agua.

El sector “Paraíso 2” no cuenta con acceso al agua para el consumo humano durante todo el año, se abastecen del líquido vital de cuerpos hídricos estacionales.

Para solucionar la problemática existente se plantea el desarrollo de este proyecto que mediante una campaña de prospección geofísica podría determinar la existencia de agua subterránea para abastecer a la población. Con los resultados de este estudio se establecerá la factibilidad de construcción de pozos exploratorios para la extracción de agua en el área de estudio.

5. HIPÓTESIS

A partir de la elaboración de un estudio de las condiciones hidrogeológicas y la aplicación de la prospección geofísica en el sector “Paraíso 2” del Recinto Cochancay, permitiría la determinación de la existencia de agua subterránea en la zona.

6. OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar una campaña de Prospección Geofísica para la determinar la existencia de agua subterránea en el Sector “Paraíso 2” del recinto Cochancay, cantón La Troncal, provincia de Cañar.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar las características geológicas del área de estudio.

Efectuar un análisis climatológico en el área de estudio en base a los datos de precipitación y temperatura obtenidos por el INAMHI.

Ejecutar los sondeos eléctricos verticales (SEV) para la determinación de la profundidad en que se encuentra los acuíferos.

7. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

7.1 LOCALIZACIÓN

El área de estudio del presente proyecto de titulación se encuentra localizado en el Sector “Paraíso 2” del recinto Cochancay, perteneciente al cantón La Troncal, provincia del Cañar.

Cochancay se encuentra ubicado a 7 km de la ciudad de la Troncal y 83 km de Guayaquil. La principal ruta de acceso es la vía Duran – Tambo que atraviesa a lo largo de todo el recinto.

El polígono que encierra el área de estudio tiene una superficie total de 36 hectáreas, delimitado por las siguientes coordenadas UTM WGS-84 (Tabla 1, Figura 1).

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio

Puntos	Coordenadas - Datum: WGS 84, Zona 17	
	X	Y
P1	688490	9726478
P2	688777	9726237
P3	688937	9725759
P4	688962	9725537
P5	688274	9725633
P6	688092	9726249

Dumes, D (2019)



Figura 1. Mapa de Ubicación sector "Paraíso 2"

Dumes, D (2019)

7.2 HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

En referencia a la hidrología del Cantón La Troncal es de gran complejidad debido a un gran número de canales artificiales creados en la zona con la finalidad de abastecer de agua para consumo humano y agricultura principalmente.

Los principales cuerpos hídricos que se pueden identificar son los ríos Cañar y Bulubulu, cuyos cauces constituyen los límites geográficos con los cantones vecinos.

El Recinto Cochancay además del Río Bulubulu, presenta el nacimiento de varias quebradas y esteros estacionales con características propias de zonas planas con pendientes bajas o nulas, escasos caudales y pronunciada sinuosidad.

El sector “Paraíso 2” se ve influenciado por la existencia del Estero Cochancay y Estero San Pablo, siendo de éste último el lugar de donde los moradores del área de estudio se han organizado para realizar una captación para abastecerse del líquido vital.

7.4 TOPOGRAFÍA

El Cantón La Troncal presenta relieves colinados (ocupan el 11% del área), con elevaciones de entre 10 - 600 msnm; los depósitos marinos (ocupan 87% del área), se pueden observar en canales, ríos y esteros; los relieves planos de llanuras aluviales ocupan 2% del área. (Gobierno Autónomo Descetralizado Municipal del Cantón La Troncal, 2014)

7.5 CLIMA LOCAL

El área de estudio presenta un clima Sub-Tropical con rangos de temperatura que oscilan entre 18°C y 25°C.

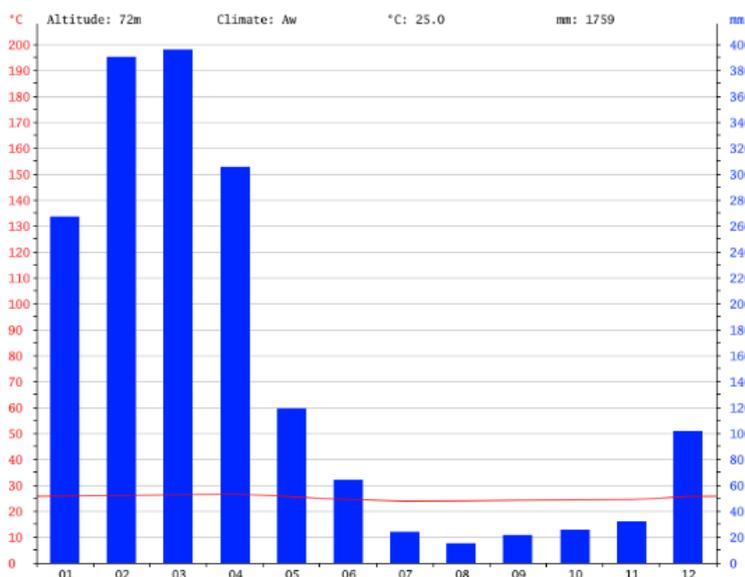


Figura 2. Climograma del Cantón La Troncal

Fuente: climate-data.org

Las formaciones ecológicas que prevalecen en el Cantón La Troncal corresponden a: bosque húmedo tropical (bh-T), bosque muy seco tropical (bms T) y zona de transición con bosque seco tropical (bs-T) y bosque húmedo. (Cañadas, 1983).

7.6 GEOLOGÍA REGIONAL

EL Ecuador está atravesado en su tercio occidental por la gran Cordillera de los Andes. De este fenómeno geológico dependen todas sus condiciones orográficas, hidrográficas, climatológicas, biológicas y las etnográficas en gran parte.

Las montañas del Ecuador en su mayoría integran la Cordillera principal o están ligadas al levantamiento de los Andes. El desarrollo de los sistemas fluviales depende directamente de la configuración de las montañas en su dirección y extensión. El clima y las condiciones meteorológicas del país se hallan en dependencia de las altas montañas y sin ellas serían inexplicables; lo mismo podemos decir de las zonas vegetales y de la distribución de la vida animal, que dependen del clima. Hasta la vida del hombre está en cierto modo bajo el influjo de la Cordillera de los Andes. (Wolf, 1892)

La geología regional se encuentra ubicada en la parte septentrional del Ecuador, entre la cordillera occidental de los andes y la planicie costera, presentan elevaciones cuyas alturas van desde los 250 msnm hasta alcanzar los 2700 msnm, en el lugar se encuentra ubicados varios caseríos ocupando zonas que hoy en día son conocidos como “La Troncal” y “Cochancay” respectivamente.

En la geología regional cercana al área de estudio existe la presencia de rocas volcánicas y sedimentarias varían en edad del cretáceo al cuaternario, se encuentran además intrusivos graníticos rodeados por un metamorfismo de contacto muy amplio.

Entre las formaciones geológicas presentes en la región se encuentran:

Formación Macuchi

Afloran al noroeste del Cantón, en el cerro de Masvale y están representados por andesitas, basaltos y gabros; con intercalaciones de material volcánico - sedimentario de origen marino. Estas rocas se encuentran fracturadas y meteorizadas (lateritas). También la encontramos al este del cantón conformando las estribaciones de la cordillera Occidental, aflora en los taludes de la vía La Troncal - El Tambo. (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón La Troncal, 2014).

Formación Pallatanga

Aflora a lo largo del borde este de la Cordillera Occidental y está separado del margen continental por una zona de sutura deformada (Zona de Falla Pujilí). Está compuesto por un basamento máfico el cual se encuentra cubierto por rocas sedimentarias y volcánicas de edad Cretácico Tardío a Reciente.

La Relación estratigráfica de estas secuencias es complejas debido al fuerte tectonismo que afecta estas rocas, lo que ha producido que la mayoría de las unidades se encuentren separadas entre sí por fallas en sentido N-S. Litológicamente consiste de basaltos afaníticos masivos verdosos, fuertemente tectonizados y recristalizados que presentan estructuras tensionales, rellenos de precipitados silíceos (secundarios), se explica que provienen de una dorsal oceánica con influencia de pluma del mato o material de plataforma oceánica. (Boland et al., 2007)

Formación Silante

Formados por sedimentos finos color violáceo intercalados con areniscas de grano grueso cuya extensión es N – S, Buzando con 45° W, cubren alrededor de un área de 10 km² tiene una potencia aproximada de 600 m, su edad es cretácico superior.

Formación Yunguilla

Limitado concordantemente con la formación silante, se encuentra un pequeño afloramiento de sedimentos finos de la formación yunguilla siendo estratos decimétricos y de un tipo de meteorización diferente. Tiene una edad de cretácico superior.

Formación Turi

Se presenta como una sucesión rítmica de arenisca de grano grueso con una matriz arenácea.

Todos los componentes de esta formación son de origen volcánico procedentes del acarreo de las formaciones volcánicas aledañas, cuyas capas alcanzan en ciertos lugares 1m de potencia, la dirección de la formación es hacia el norte con una leve inclinación hacia el este. El buzamiento es suave dando un aspecto casi horizontal la potencia puede alcanzar unos 800 m. su edad es Pleistocénica.

Formación Tarqui

Se deposita de forma discordante sobre las capas más antiguas, está compuesta por material piroclástico de rocas volcánicas ácidas y escasas lavas. Una de sus características principales es la alteración a caolín, se extiende desde el sur del país cubriendo las partes altas de la cordillera, alcanzando una potencia de 1000 m de edad pleistocénica.

Depósitos Glaciales

Se han podido observar varios depósitos glaciales en algunos ríos de la zona tales como Cañar, Pucangu y San Javier sobre los 2500 msnm. Cuya edad es pleistocénica.

Depósitos Coluviales

Los principales se encuentran en los costados de los ríos que forman pendientes fuertes, el material es el mismo que los recubren. Edad cuaternaria.

Depósitos Aluviales Antiguos

Contienen material conglomerático en una matriz arcillo-arenosa, los clastos son de variado tamaño y composición. La potencia aproximada es de 50 m, y cuya edad es cuaternaria.

Depósitos aluviales

Se encuentran dos tipos de materiales aluviales recientes, los que han sido formados por la erosión de los ríos, como el río Cañar y río Bulubulu y el segundo es un gran depósito aluvial de la parte baja sobre la cual se encuentran las principales poblaciones de la zona.

Intrusivo

Las rocas intrusivas predominantes son de composición granodiorita de grano grueso y compuesto de cuarzo, feldespato y horblenda o biotita.

Se encuentra altamente lixiviado, se ubican al sureste del área de estudio y aflora en la vía La Troncal - El Tambo. (Gobierno Autónomo Descetralizado Municipal del Cantón La Troncal, 2014).

7.7 METAMORFISMO

La serie volcano-sedimentarias en lugares muestra la presencia de un metamorfismo de bajo grado. En el área de estudio existen esquistos de alto grado que están ligados con zonas de deformación estructural intensa.

Las rocas con evidencia de metamorfismo de contacto son más comunes en dirección de NE, asociados con los márgenes de cuerpos intrusivos expuestos o inferidos.

7.8 GEOLOGÍA HISTÓRICA

En el cretácico se depositaron las rocas volcánicas y los sedimentos marinos a diferentes profundidades. Durante la orogenia los sedimentos fueron plegados, luego se originan intrusiones ácidas en la zona, como resultado se producen alteraciones de las rocas aledañas produciendo un metamorfismo de contacto.

En el pleistoceno, en las partes altas de las cuencas se depositaron sedimentos de la formación Turi, culminando con los sedimentos volcánicos de la formación Tarqui.

Por último y debido a la erosión de la cordillera se encuentran formados los depósitos aluviales antiguos y recientes que recubren la planicie costera.

7.9 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En lo referente a la geología estructural podemos manifestar que las fallas y pliegues tienen un rol fundamental en el área de estudio debido a que se puede observar la desviación de la cordillera occidental con una orientación SW, controlada probablemente por una falla que se encuentra recubierta por los depósitos aluviales de la zona.

Otra falla importante en el sector es la que controla el cauce del río Bulubulu, que desvía a este en forma de un ángulo recto notable y apreciable a simple vista desde la parte alta del Cantón.

La zona volcánico – sedimentaria metamorfoseada de Cochancay tiene un rumbo de N-S, pero cambia su dirección al norte del río Bulubulu con sentido E - W debido a la existencia de una falla con esta misma dirección.

Los pliegues presentes en las formaciones sedimentarias, nos indican que la zona está controlada íntegramente por estructuras geológicas de origen tectónico.

El río Cañar es controlado por fallas de dirección E-W y estructuras de Graben interandinos de rumbo N-S. (Instituto Geográfico Militar, 1980)

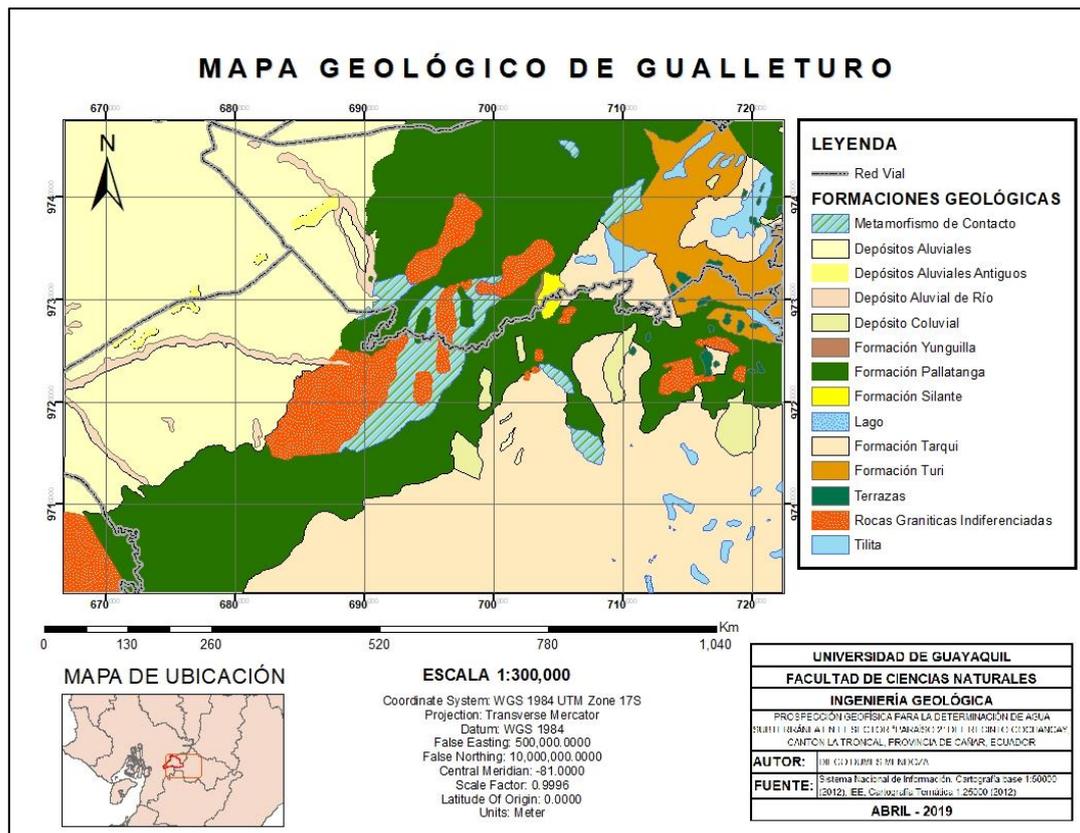


Figura 3. Mapa Geológico de Gualleturo

Dumes, D (2019)

7.10 GEOLOGÍA LOCAL

En el Cantón La Troncal existe la presencia de rocas (lavas) pertenecientes a la formación Pallatanga y un metamorfismo de contacto que da origen a la formación de rocas metamórficas (corneanas), las cuales a través de la meteorización y la erosión de las mismas dan origen a la formación de depósitos aluviales y coluviales en la parte baja de la cordillera occidental.

Depósito Coluvial

Se localizan en las pendientes de los ríos Bulubúlu y Cañar, están compuestos por el material de la formación que la recubre; perteneciente al Holoceno.

Depósitos Aluviales Antiguos

Contienen material conglomerático en una matriz arcillo-arenosa, los clastos son de variado tamaño y composición. La potencia aproximada es de 50 m, y cuya edad es cuaternaria.

Depósitos Aluviales

Se encuentran dos tipos de materiales aluviales recientes, los que han sido formados por la erosión de los ríos: Cañar y Bulubulu; el segundo gran depósito aluvial de la parte baja sobre la cual se encuentran las principales poblaciones de la zona. (Gobierno Autónomo Descetralizado Municipal del Cantón La Troncal, 2014).

Formación Pallatanga

Está compuesto por un basamento máfico el cual se encuentra cubierto por rocas sedimentarias y volcánicas de edad Cretácico Tardío a Reciente.

Litológicamente consiste de basaltos afaníticos masivos verdosos, fuertemente tectonizados y recristalizados que presentan estructuras tensionales rellenos de precipitados silíceos (secundarios).

Rocas Metamórficas

En el lugar de estudio se evidencia rocas metamórficas de tipo corneanas que afloran en las terrazas de ríos que atraviesan por el área a estudiar, las cuales se encuentra de manera subyacentes a depósitos aluviales cuaternarios, se pudo comprobar en campo las características tales como, el tamaño del grano que varía de fino a medio, presencia de minerales tales como cuarzo, pirita que se depositaron juntos a los sedimentos que luego fueron sometidas a un metamorfismo de contacto producido por las intrusiones de materiales ígneos presentes en el lugar dando como resultado la formación de corneanas.

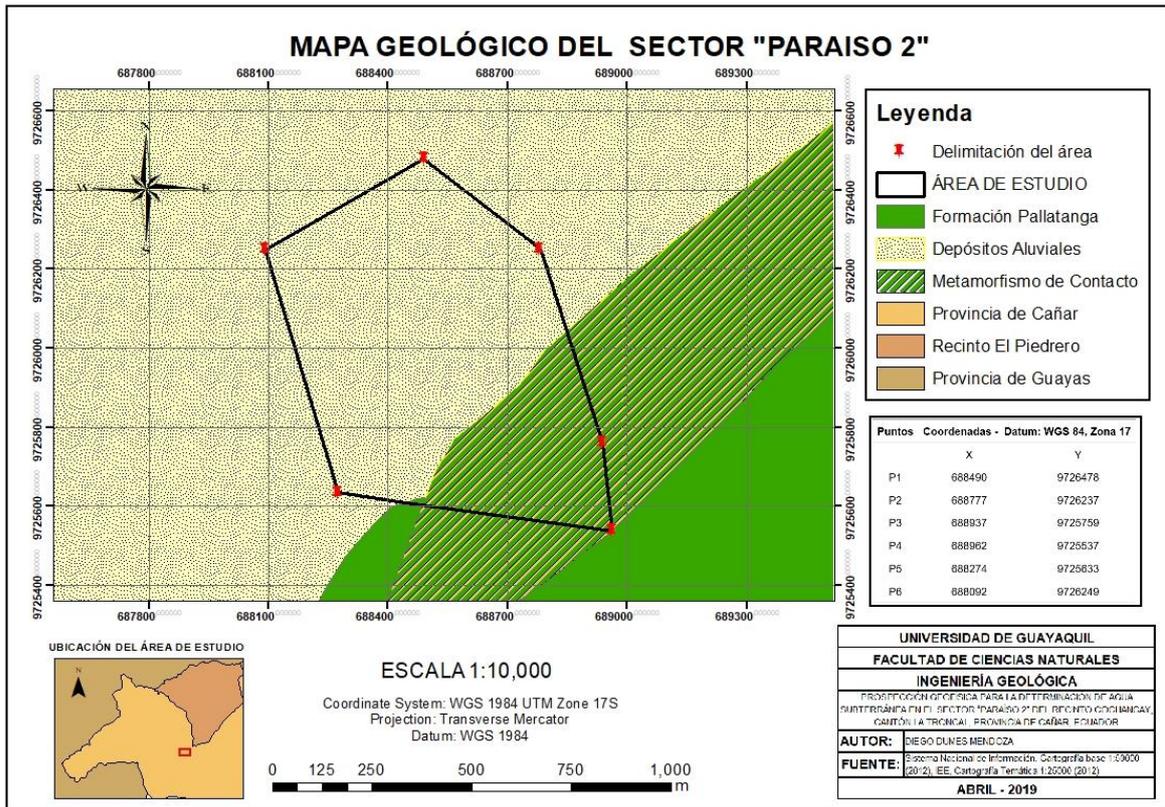


Figura 4. Mapa Geológico Local

Dumes, D (2019)

CAPÍTULO II

8. MARCO TEÓRICO

8.1 AGUA SUBTERRÁNEA

El agua subterránea es el recurso hídrico que fluye a través de los materiales rocosos porosos saturados del subsuelo hacia niveles más bajos que los de infiltración y puede volver a surgir naturalmente como manantiales y caudal de base de los ríos. La mayoría de estos devuelve el agua a los mares o la lleva a cuencas cerradas donde se evapora cumpliendo así el ciclo hidrológico. (Sociedad Geográfica de Lima, 2011)

Según (Villón, 2002), manifiesta que al perforar un pozo a cierta profundidad, transcurrido el tiempo se encontrará agua que ascenderá hasta un determinado nivel. Este nivel es el de equilibrio donde la presión hidrostática igualará a la presión atmosférica tiene una serie de nominaciones entre ellas tenemos las siguientes:

- Superficie Freática
- Tabla del Agua subterránea
- Nivel de Agua
- Nivel de Agua Subterránea

8.2 EL CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico implica un proceso de circulación permanente, basado en principalmente en dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento).

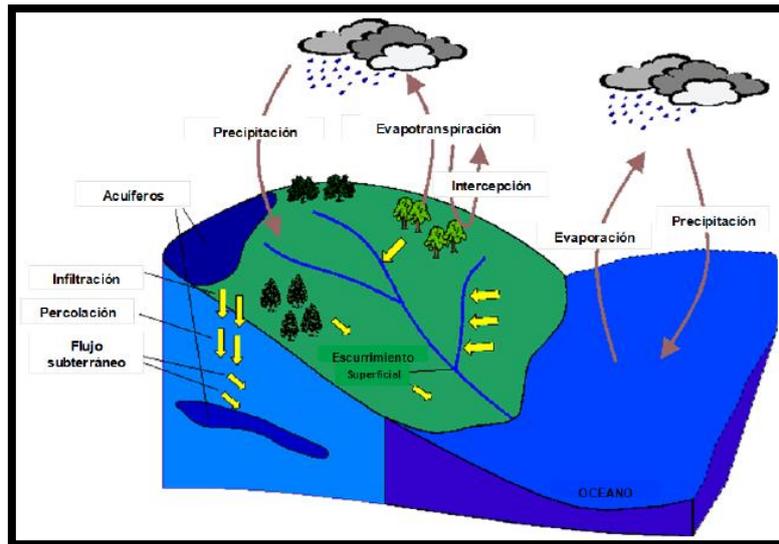


Figura 5. Imagen del ciclo hidrológico

Sociedad Geográfica de Lima., (2011)

8.3 ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO

El agua de precipitación que alcanza la superficie terrestre escurre parcialmente como agua superficial (escurrimiento superficial). Parcialmente se infiltra en el subsuelo y escurre como agua subterránea (escurrimiento subterráneo). Las cantidades de escurrimiento dependen en alto grado de la precipitación, sin embargo, una gran parte de ella se pierde por la evaporación, la que depende de la temperatura. El interflujo es la parte del escurrimiento superficial que se retarda por una vegetación densa y por su curso por los horizontes superficiales del suelo (horizontes A).

El agua escurriendo en la superficie alcanza los cauces de arroyos y ríos. Las cuencas de drenaje de éstos están separadas por parteaguas. El agua subterránea en su mayor parte sale en manantiales y sigue escurriendo en los ríos como agua superficial. El escurrimiento en tiempos secos de un río se origina exclusivamente en sus manantiales. (Werner, 1996)

8.4 PRECIPITACIÓN

La precipitación es toda forma de humedad que se originan en las nubes y llega hasta la superficie del suelo. (Villón, 2002). De acuerdo con esta definición la precipitación puede presentarse de las siguientes formas:

- Lluvias
- Granizadas
- Garuas
- Nevadas

Para la formación de la precipitación se requiere la condensación del vapor de agua atmosférica. La saturación es una condición esencial para desbloquear la condensación. (Sociedad Geográfica de Lima, 2011)

Existen diferentes tipos de precipitación: precipitación convectiva, precipitación orográfica y precipitaciones frontales.

8.5 RECARGA DEL AGUA SUBTERRÁNEA POR PRECIPITACIÓN

En la Hidrogeología Aplicada el reconocimiento de la recarga de los sistemas de flujo del agua subterránea es una de las tareas más importantes, si se quieren evitar sobreexplotaciones de los acuíferos con sus consecuencias desfavorables, hay que conocer la recarga natural del sistema hidrogeológico. Parámetro que es decisivo para determinar las cantidades de agua disponibles para el uso humano. Si se trata de una recarga por pura precipitación sin influencias de cauces de ríos o de lagos, la tasa de recarga es igual a la infiltración efectiva.

Uno de los métodos utilizados para el cálculo de la tasa de recarga (o de la infiltración efectiva) se basa en los datos climatológicos, empleando la ecuación de balance de agua. Sin embargo, la tasa de recarga depende no solamente del clima, sino también de la velocidad de infiltración, ya que el agua de lluvia infiltrándose rápidamente está fuera del escurrimiento superficial, así como de la evaporación y evapotranspiración. (Werner, 1996)

La velocidad de infiltración depende de la permeabilidad, la capacidad de campo del suelo, la inclinación de la superficie.

8.6 ALMACENES EN EL CICLO HIDROLÓGICO

Los lugares donde se encuentra el agua, transcurriendo el ciclo hídrico, pueden ser considerados como almacenes, independientemente de los períodos de almacenamiento tan diferentes. La siguiente tabla presenta almacenes de muy corto plazo como los cauces de los ríos, la humedad de suelo (capacidad de campo de suelo) y la atmósfera, juntos con los glaciares, en los cuales el agua puede estar almacenada para diez mil años y más. (Werner, 1996).

8.7 ACUÍFERO

Se conoce como acuífero a aquellas formaciones geológicas que, estando completamente saturadas, son capaces de almacenar y transmitir cantidades importantes de agua.

Por lo tanto, los acuíferos se caracterizan por poseer una permeabilidad significativa, así como grandes extensiones y espesores considerables. (Moliner, 2005)

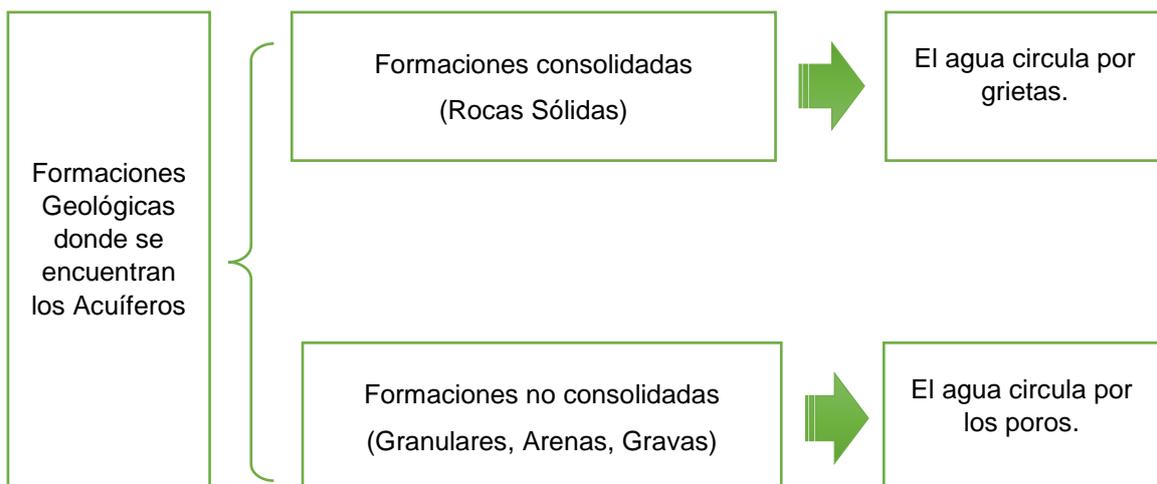


Figura 6. Formaciones Geológicas donde se encuentran los Acuíferos.

Teniendo en cuenta el comportamiento hidráulico de las formaciones geológicas, así como su ubicación estructural en el terreno se distingue tres tipos principales de acuíferos:

- Acuíferos libres
- Acuíferos confinados
- Acuíferos semiconfinados

8.8 ACUÍFEROS LIBRES

Son aquellos acuíferos cuya capa de agua se encuentra a presión atmosférica debido a las condiciones geológicas en las cuales se formó; la misma que se conoce geológicamente como la superficie freática constituyendo el límite superior del acuífero. (Moliner, 2005)

8.9 ACUÍFEROS CONFINADOS

Son aquellas capas de aguas que corresponden a formaciones geológicas permeables, completamente saturadas de agua, confinadas entre dos capas o estratos que podemos asumir como impermeables. (Moliner, 2005).

8.10 ACUÍFEROS SEMICONFINADOS

El techo o base de este tipo de acuífero no es totalmente impermeable, permitiendo la entrada del agua también llamada gotea por la capa semipermeable; sin embargo la misma recarga puede perderse por la base o el techo. (Moliner, 2005)



Figura 7. Imagen de los tipos de acuíferos.

8.11 ACUÍFEROS SEGÚN EL TIPO DE HUECO

POROSO

Se considera un acuífero poroso a aquellos en los cuales el agua circula con gran facilidad debido a los espacios libres entre los diferentes tipos de materiales que conforman el subsuelo; como son las rocas no consolidadas, existiendo la permeabilidad entre arenas y gravas.

FISURADOS

El agua que circula a través de este tipo de acuíferos lo hace mediante las fisuras de las rocas recorriendo de forma heterogénea el terreno.

8.12 ACUÍFEROS SEGÚN LAS CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS.

DETRÍTICOS

Son aquellos acuíferos formados por rocas o sedimentos de material detrítico dominados por gravas, arenas, conglomerados, areniscas, su permeabilidad se debe a la porosidad intergranular.

CARBONATADOS

Acuíferos en rocas carbonatadas afectadas por evento físicos y químicos como son la fracturación y disolución, dicho acuífero se caracteriza por poseer una matriz rocosa permeable la cual permite el paso del flujo de agua.

MIXTOS

Su porosidad se debe al conjunto de las características del acuífero detrítico y carbonatado.

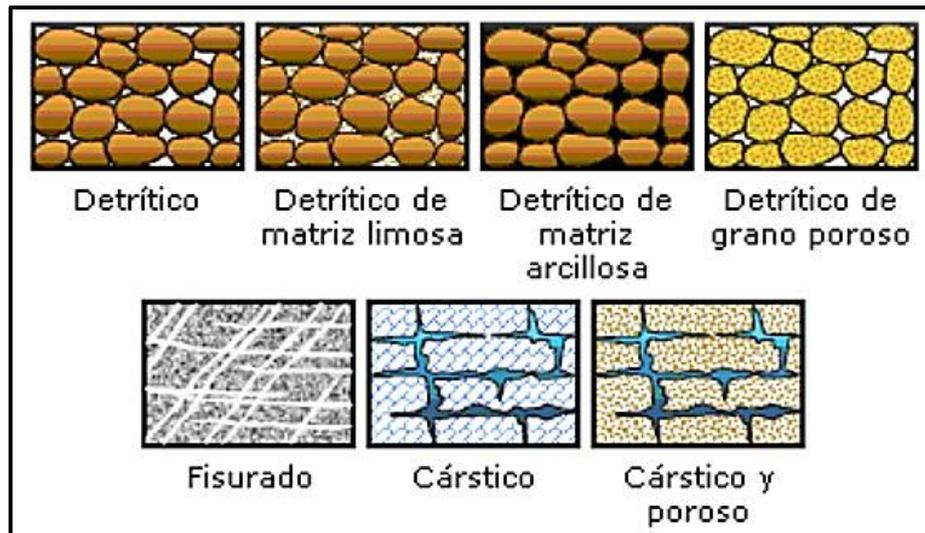


Figura 8. Clasificación de los Acuíferos según las características litológicas

8.13 TIEMPO DE RESIDENCIA O PERMANENCIA

Es el tiempo promedio en el cual necesita una molécula de agua para pasar a través de un reservorio.

Tabla 2. Tiempo de Residencia o Permanencia

Cuerpos de Agua	Tiempo Medio de Residencia
Océanos y Mares	2500 años
Glaciares y Casquetes Polares	9700 años
Agua Subterránea Dulce	Decena de miles de años
Lagos de Aguas Dulce	17 años
Lagos de Aguas Salada	150 años
Ríos	15 – 20 años
Biomasa	Algunas Horas
Atmósfera	8 -10 Horas

8.14 BALANCE HIDROLÓGICO

El balance hídrico de una determinada extensión nos permite la estimación de las relaciones entre los valores relativos de entrada y salida de flujo que corresponden a la recarga y descarga respectivamente, y la variación del volumen de agua almacenada que fluye por su zona de saturación. “Su cálculo se puede realizar a partir de los valores de la evapotranspiración corregida, haciendo intervenir además la precipitación media mensual”. (Villón, 2002).

8.15 TRANSPIRACIÓN

Consiste en la vaporización del agua líquida contenida en las plantas y el vapor removido a la atmósfera. La pérdida del agua es a través de las estomas de las plantas.

La transpiración depende de la energía radiante, gradiente de presión de vapor y viento, radiación, temperatura del aire, humedad del aire y viento. La razón de la transpiración también está influenciada por, la característica de la vegetación, aspecto del ambiente y práctica de cultivo. (Sociedad Geográfica de Lima, 2011)

La transpiración está en función de:

- El poder evaporante de la atmósfera
- El grado de humedad del suelo
- El tipo de planta
- Variaciones estacionales
- Variaciones interanuales

8.16 EVAPORACIÓN

La evaporación es una etapa permanente del ciclo Hidrológico. Existe evaporación en todo momento y en toda superficie que se encuentre húmeda, es considerada netamente un fenómeno físico. La evaporación es el cambio del estado del agua que pasa de un estado líquido a un estadio gaseoso.

Otra manera de manifestarse la evaporación se denomina transpiración y es generada por las especies vegetales durante todo el día, que absorben la humedad del ambiente.

Los factores meteorológicos que afectan la evaporación encontramos los siguientes:

- Radiación solar
- Temperatura del aire
- Presión de vapor
- Viento
- Presión atmosférica

Siendo la Radiación Solar el factor meteorológico más importante, la evaporación varía con la latitud, época del año, hora del día y la condición de nubosidad. (Villón, 2002)

La evaporación total o evapotranspiración es el resultado de la evaporación más la transpiración, como lo indica la siguiente fórmula:

Evaporación Total O Evapotranspiración= evaporación + transpiración

8.17 EVAPOTRANSPIRACIÓN

El término evapotranspiración potencial fue introducido por Thornthwaite, y se define como la pérdida total del agua, que ocurriría si en ningún momento existiera deficiencia de agua en el suelo, para el uso de la vegetación. (Villón, 2002).

Para hallar la evapotranspiración potencial se han desarrollado métodos basados en datos meteorológicos, de los cuales los más conocidos son el de Thornthwaite y el de Blaney-Clidde.

8.18 EVAPOTRANSPIRACIÓN (EVAPORACIÓN) REAL Y POTENCIAL

La Evapotranspiración potencial ETP (evaporación potencial EP) es definida como el poder de la atmósfera de evaporar, lo que depende en primer lugar de la temperatura.

Se calcula en base a parámetros climáticos y corresponde a la evaporación de la superficie libre de agua, medida con el evaporímetro. Solamente si las reservas de agua en el suelo son suficientes, La evapotranspiración y la evaporación real (o efectiva o actual) ETR y ER pueden alcanzar ETP (EP). Si no hay reservas suficientes, entonces: (Werner, 1996)

ETP (EP) > ETR (ER).

En regiones con clima más o menos árido:

EP » P (Villón, 2002)

8.19 VARIACIÓN DE LAS RESERVAS DE HUMEDAD EN EL SUELO

Son los cambios que en la humedad del suelo se operan, es decir, si hay aportes y almacenamiento (+) del agua en el suelo o al contrario, si hay extracción o pérdida (-) de esta humedad. (Villón, 2002).

Los cálculos se inician a partir del mes en el cual la precipitación es mayor que la evapotranspiración ($P > e$), después de un periodo de sequía ($e > P$), como el suelo es un depósito de cantidad limitada, cuando este ya se encuentre saturado (100 mm), no habrá una variación de reserva de humedad o cuando ya no se encuentre con agua disponible. Se calcula de la siguiente manera:

Variación de reserva = reserva de mes actual – reserva de mes anterior

8.20 RESERVA DE AGUA DISPONIBLE

Indica la capacidad de agua que existe en el depósito (suelo), está en función del tipo de suelo y de la profundidad radicular, el valor máximo es 100 mm.

Se inicia en el mes donde precipitación (P) > evapotranspiración (e). Cuando ya el suelo está saturado (100 mm) la reserva ya no varía, o cuando ya no hay reserva. (Villón, 2002).

8.21 EVAPOTRANSPIRACIÓN EFECTIVA

“Indica la lámina de agua, que en realidad ha sido evaporada”. (Villón, 2002)

Cuando $P > e$, y hay reserva de agua disponible en el suelo para satisfacer toda la evapotranspiración, es numéricamente igual a e .

Cuando $P < e$ y hay reserva de agua disponible, pero no para satisfacer toda la evapotranspiración, es igual a $P +$ Variación de las reservas de la humedad del suelo.

Cuando $P < e$ y no hay reserva de agua disponible, es igual a P .

8.22 DÉFICIT O SEQUÍA

Es la cantidad de agua en mm de altura, que faltó para satisfacer la evapotranspiración, por un agotamiento de las reservas en el suelo, en ausencia de precipitaciones. (Villón, 2002).

Déficit = evapotranspiración potencial – evapotranspiración efectiva

8.23 EXCEDENTE

Representa el agua que habiendo caído por precipitación queda como un sobrante, luego de haber proporcionado la cantidad necesaria para la evapotranspiración y para completar la reserva en el suelo (si es que éste todavía no está saturado o completo). (Villón, 2002)

Cuando la variación de las reservas es 0:

$$\text{Excedente} = \text{precipitación} - \text{evapotranspiración}, \text{ para } P > e.$$

Cuando la variación de las reservas $\neq 0$:

$$\text{Excedente} = \text{precipitación} - \text{evapotranspiración} - \text{variación reserva}, \text{ para } P > e.$$

8.24 UN MEDIO (1/2) EXCEDENTE

Se asume que el excedente se reparte en dos partes, una mitad va a formar parte de las aguas de escorrentía superficial, la otra mitad se infiltra para salir nuevamente a la superficie al mes siguiente y alimentar los cursos de agua, constituyendo a su vez parte de la escorrentía superficial. (Villón, 2002)

$$\frac{1}{2} \text{ excedente} = \text{excedente} / 2$$

8.25 UN MEDIO (1/2) ESCORRENTÍA DEL MES ANTERIOR (MM)

“Es la mitad de la escorrentía total del mes anterior”. (Villón, 2002)

$$\frac{1}{2} \text{ escorrentía del mes anterior} = \text{escorrentía total (del mes anterior)} / 2$$

8.26 ESCORRENTÍA TOTAL

Nos indica la cantidad de agua que escurre en la superficie y está formada, por la suma de la mitad de la escorrentía del mes anterior y la mitad del excedente, también del mes anterior. (Villón, 2002)

$$\text{Escorrentía total} = \frac{1}{2} \text{ excedente} + \frac{1}{2} \text{ escorrentía del mes anterior}$$

8.27 PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

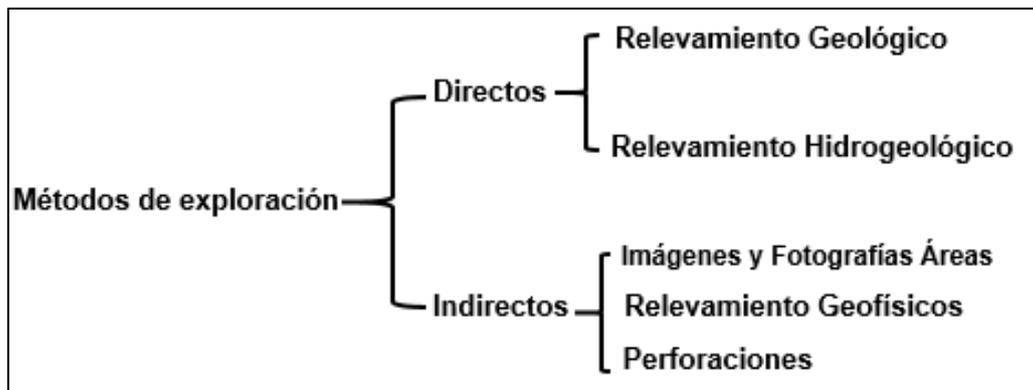
La prospección geofísica utiliza técnicas que se han, desarrollado a partir de los métodos aplicados en estudios científicos, para determinar las características de la estructura de la Tierra a gran escala. Los métodos de prospección, están encaminados a localizar estructuras geológicas que sean favorables para

depósitos minerales de valor comercial o relacionado con obras de infraestructura. (Del Valle, 1984)

La geofísica se utiliza frecuentemente para determinar espesores, posición de la capa freática, localización de depresiones u otras heterogeneidades, estructuras del subsuelo, espesor de roca alterada y evolución de fenómenos dinámicos. (Rodríguez, 2015)

8.28 GRADO DE EXACTITUD DE LOS MÉTODOS GEOFÍSICOS

Para que los métodos geofísicos puedan funcionar de manera correcta debe existir un contraste entre las propiedades físicas de las diferentes capas del subsuelo. Cuanto mayor sean los contrastes, las medidas responderán de una forma clara, y más precisos serán los resultados. (Rodríguez, 2015).



Cuadro 1. Métodos de prospección geofísica.

8.29 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

Este método consiste en demostrar el parámetro de resistividad a profundidad, mediante la inyección de corriente eléctrica en el subsuelo y la medición del potencial resultante a través de un arreglo electrónico tetraelectródico. El Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) es un método geofísico de corriente directa (DC) que es muy utilizado por su sencillez y la relativa economía instrumental apropiada para la adquisición en campo.

8.29.1 PRINCIPIOS DEL MÉTODO

Para el uso del método en campo, se deben colocar los electrodos con un orden determinado, denominado dispositivo electródico. En la configuración Schlumberger, la posición de los cuatro electrodos consiste en estar alineados y simétricos relación al centro de sondeo, utilizando la separación entre los electrodos de potencial, que a su vez es muy pequeña en relación con los electrodos de corriente ($AB/5 > MN > AB/20$).

Para poder conocer valores de resistividad a mayores profundidades, se incrementa de forma escalonada la separación de los electrodos de corriente y de potencial, para que la corriente eléctrica pueda poder atravesar los sedimentos del subsuelo cada vez a mayor profundidad. Los equipos funcionan con baterías o con moto generador, lo que permite investigar acuíferos someros a poca profundidad o relacionar la composición geológica del suelo con fines de caracterización.

8.29.2 OBJETIVOS DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

Es la obtención de un modelo de variación de la resistividad aparente en función de la profundidad, a partir de mediciones realizadas en superficie.

La profundidad alcanzada por la corriente aumenta a medida que crece la distancia AB, aunque generalmente no existe una relación de proporcionalidad entre ambas. (Auge, 2008)

8.29.3 FUNDAMENTOS DEL MÉTODO

Este método se fundamenta en la teoría general del campo eléctrico estacionario, regido por las ecuaciones de Maxwell para campos no dependientes del tiempo. Los parámetros que se suelen medir son diferencias de potencial e intensidades de corriente. El parámetro físico que se obtiene es la resistividad de las diferentes capas del subsuelo. La unidad de resistividad, es el ohmio-metro ($\Omega \cdot m^2/m$ o $\Omega \cdot m$).

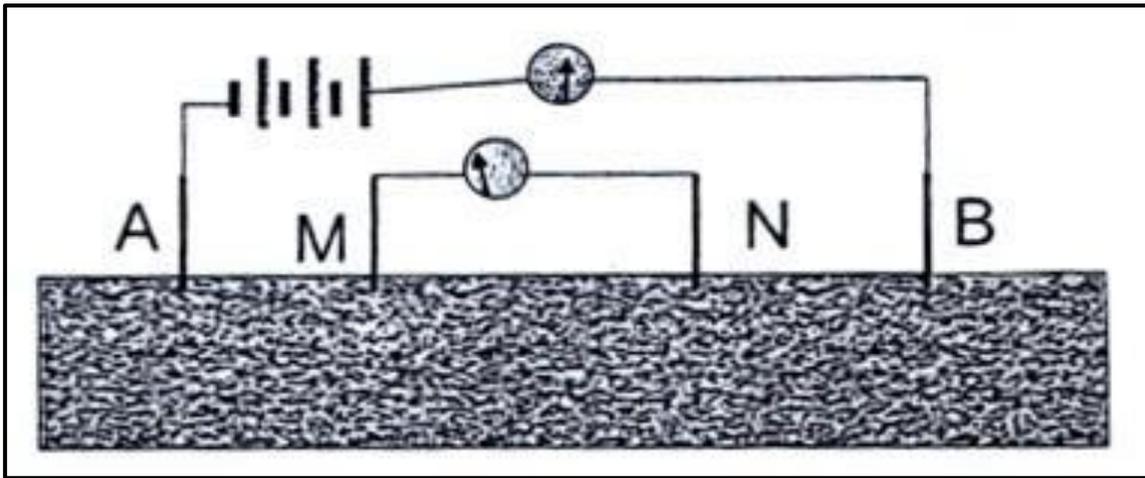


Figura 9. Configuración SEV

Los métodos eléctricos se basan en la ley de Ohm. A grandes rasgos consisten en calcular la resistividad del terreno inyectando una corriente eléctrica conocida (I) mediante electrodos clavados al suelo (A y B) y medir la diferencia de potencial (ΔV) en dos electrodos (M y N). (Rodríguez, 2015)

La mayor parte de las rocas y de los suelos pueden ser considerados como materiales de muy elevada resistividad; y solo los minerales metálicos y algunas de sus sales son conductores (conducción electrónica). Así, únicamente algunas arcillas, no desecadas, y unos pocos minerales pueden presentar conducción electrónica.

Sin embargo, cualquiera de los materiales terrestres posee poros que pueden estar saturados de agua (o de otro fluido), pero casi siempre tienen cierto grado de humedad. De modo que en el caso de suelos y rocas no conductores la conducción de la corriente eléctrica se realiza exclusivamente por conducción iónica; debido a la presencia de agua (o fluido) contenida en los poros y en las fisuras. (Rodríguez, 2015)

8.29.5 INSTRUMENTAL

Un equipo habitual de trabajo consiste en un conjunto de electrodos, que se clavan en el suelo y que actúan como puntos de inyección y medición; una batería para inyectar la corriente que está regulada por un amperímetro para

medir la intensidad de la corriente; un voltímetro para medir la diferencia de potencial; y los cables eléctricos de conexión. (Rodríguez, 2015)



Figura 10. Elementos de un equipo básico de prospección eléctrica (SEV)

8.29.6 DISPOSITIVOS LINEALES

Los electrodos de inyección de corriente (A y B) y los de medición del potencial (M y N) se disponen alineados, de acuerdo con las configuraciones propuestas por Schlumberger y Wenner. (Auge, 2008).

8.29.7 CONFIGURACIÓN SCHLUMBERGER

El método de Schlumberger es de gran ayuda para obtener resistividades a mayores profundidades, sin necesidad de realizar muchas mediciones como con el método Wenner. También se utiliza cuando los aparatos de medición son poco sensibles. Solamente se recomienda hacer mediciones a 90 grados para que no resulten afectadas las lecturas por estructuras subterráneas.

El método de Schlumberger es una modificación del método de Wenner, que emplea 4 electrodos, este dispositivo sitúa los electrodos de emisión y medición en línea recta; la variante con respecto al método de Wenner, está en que la distancia entre los electrodos M y N debe ser mayor a un tercio de la distancia entre los electrodos de emisión A y B.

Con este método la resistividad está dada por:

$$P = 6\pi \cdot a \cdot R \quad (2)$$

Donde:

a: Separación entre los electrodos

R: Resistencia del terreno obtenida en la medición

Cuando en una misma zona se realizan varios SEV, estos se correlacionan para obtener el “corte geo eléctrico del subsuelo” que proporciona una Figura del subsuelo en electrocapas. (Lascano, 1988).

8.29.8 CONFIGURACIÓN TIPO WENNER

Es el más útil para diseños eléctricos. Es un caso particular del método de los cuatro electrodos solo que aquí se disponen en línea recta y equidistantes una distancia “a”, simétricamente respecto al punto en el que se desea medir la resistividad del suelo, no siendo necesario que la profundidad del electrodo auxiliar, sobrepase los 30 cm.

El aparato de medida es un telurómetro clásico con cuatro terminales, siendo los dos electrodos extremos los de inyección de la corriente de medida (A) y los dos centrales los electrodos de medida del potencial.

Las mediciones de resistividad dependerán de la distancia entre electrodos y de la resistividad del terreno, y por el contrario no dependen en forma apreciable del tamaño y del material de los electrodos, aunque sí dependen de la clase de contacto que se haga con la tierra.

Según Wenner, la profundidad teórica de investigación de un sondeo es igual a la distancia a. (Lascano, 1988)

Con este método la resistividad está dada por:

$$P=2\pi*a*R (1)$$

Donde:

a: Separación entre los electrodos

R: Resistencia del terreno obtenida en la medición

Al utilizar el método de Werner para la medición de la resistividad del terreno se obtiene un valor de resistencia, como la relación entre la diferencia de potencial entre los electrodos medios y la corriente de los electrodos externos. Al variar la separación de los electrodos se obtiene valores diferentes de resistividad por lo que se denomina resistividad aparente la obtenida en cada medición, por lo tanto, se construyen perfiles de la resistividad aparente vs la separación de los electrodos y resistividad aparente vs profundidad de exploración.

Se observa esquemáticamente la disposición de los electrodos, en donde la corriente se inyecta a través de los electrodos exteriores y el potencial se mide a través de los electrodos interiores.

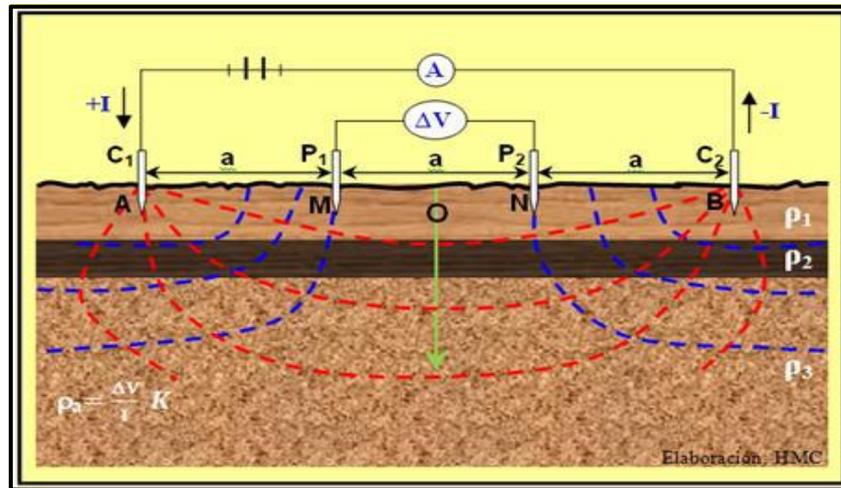


Figura 11. Esquema del dispositivo Wenner

H. Morán, mayo, 2006.

La finalidad de los métodos de interpretación es determinar la distribución espacial de las resistividades en el subsuelo, partiendo de los datos de resistividad aparente obtenidos.

Puntos prácticos a tener en cuenta al medir la resistividad del terreno:

- Al realizar las mediciones en las diferentes direcciones (Norte-Sur), (Este-Oeste), los valores de resistencia obtenidos para cada separación entre electrodos "a" pueden ser promediados, no pueden ser promediados valores obtenidos con diferentes "a".
- No realizar medidas cuando el suelo esté humedecido por causa de la lluvia; la medida de resistividad se debe en tiempo seco que ya no sea afectado por la lluvia.
- No se deben realizar medidas con condiciones atmosféricas no favorables (lluvias y tormentas).
- La barra de los electrodos para la medición debe de ser de cobre.
- Es ventajoso que se ejecuten mediciones en distintas direcciones para la ejecución en un mismo sondeo, por ejemplo, de Norte a Sur y de Este a Oeste, debido a las características de heterogéneas de los suelos.

- Al elegir la profundidad de exploración no se recomiendan profundidades mayores a los 8 m, puesto que es muy difícil poder llegar con las tomas de tierra hasta esos niveles.
- No es conveniente que las mediciones se realicen donde existan tomas de tierra o tuberías, puesto que las mismas provocan que la corriente que se inyecta en el terreno tome otra trayectoria no deseada perturbando así el resultado.
- Si se quiere conocer la resistividad existente en una puesta a tierra, es obligatorio realizar la medición en una zona cercana a la misma, con características similares y con la misma conformación geológica, a una separación igual o mayor a tres veces la separación de los electrodos.

8.29.9 MEDICIÓN DE CAMPO

Para la realización de un SEV normal (distancia entre A y B de 250 a 2.500 m) se requiere de un operador y 3 a 4 ayudantes para mover los electrodos. Pueden efectuarse entre 3 y 6 por día, en función de la longitud final, la distancia entre uno y otro y las características topográficas. Luego de establecer la ubicación del sondeo, la dirección de sus alas e instalar el instrumental de medición en el centro, se colocan los 4 electrodos (A M N B) de acuerdo al dispositivo a utilizar. 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 V en mV (electrodos MN). Los valores se vuelcan en una tabla y se calcula la resistividad aparente (a en .m) (Rodríguez, 2015).

8.29.10 COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DE LOS MATERIALES

Las resistividades características del agua son:

Tipo	Resistividades (Ωm)	Materiales	Resistividades (Ωm)
Agua de alta montaña	10^3 a $3 \cdot 10^3$	Calizas	300 a 10000
Agua dulce superficial	10 a 10^3	Pizarras	100 a 1000
Agua salobre superficial	2 a 10	Granitos	300 a 10000
Agua subterránea	1 a 20	Arcillas	1 a 20
Agua de lagos salados	0.1 a 1	Arenas	50 a 500
Agua marina	-0.2	Conglomerados	1000 a 10000
Agua de impregnación de rocas	0.03 a 10	Areniscas	50 a 5000

Cuadro 2. Comportamiento Eléctrico de los Materiales

8.29.11 INTERPRETACIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

El objetivo de la prospección geo eléctrica es establecer la conformación del subsuelo mediante la ubicación espacial de las capas resistivas (perfil geo eléctrico) para posteriormente transformar el perfil geo eléctrico en otro, que represente los caracteres geológicos subterráneos (perfil geológico). Para identificar las profundidades de las capas con diferentes resistividades, deben compararse las curvas obtenidas en el campo con otras confeccionadas en gabinete que se denominan curvas teóricas. (Rodríguez, 2015).

8.29.12 SONDEOS ELÉCTRICOS EN INVESTIGACIONES HIDROGEOLÓGICAS

Según Astier (1968) el 80 % de los estudios hidrogeológicos se realizan a base de los sondeos eléctricos verticales debido a su fácil accesibilidad y profundidad, logrando la obtención de datos resistivimétricos que permiten detectar la presencia de agua. (Orellana, 1982)

Las rocas compactas almacenan el agua subterránea en las grietas, mientras que en zonas abundantes de calizas se puede obtener resistividades bajas y altas, siendo los valores altos encontrados en rocas compactas con fracturas vacías, los valores intermedios a grietas o fisuras llenas de agua dulce, y valores pequeños clasificando a las rocas con presencia de agua salada. Estudios para determinar zonas kársticas son realizados mediante sondeos eléctricos verticales mostrando valores de resistividad bajos (Orellana, 1982)

En zonas volcánicas es frecuente encontrar rocas efusivas de bastante permeabilidad y que indiquen una zona ideal para la presencia de agua subterránea, por lo cual la elaboración de campañas de sondeos eléctricos verticales es esencial ya que permiten determinar el espesor de la roca y la capa permeable que la diferencia de la impermeable por sus valores de resistividad. (Orellana, 1982)

8.29.13 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE SUELOS

Los estudios de resistividad eléctrica de suelos son habituales para determinar mediante corriente eléctrica las capas que componen el terreno bajo estudio.

La resistividad en el interior del subsuelo es variable obteniendo valores de resistividad distinta debido a que todas las sustancias se oponen al paso de la corriente eléctrica en menor o mayor cantidad y a su vez varios factores influyen en la resistividad del suelo tales como: (Auge, 2008)

- Mezcla de diversos tipos de Subsuelo
- Temperatura
- Presión
- Compactación
- Humedad
- Granulometría
- Estratigrafía

La resistividad en los terrenos rara vez es homogénea debido a la mezcla de varios tipos de materiales, por lo cual el flujo de la corriente eléctrica continua en el subsuelo los valores descritos serán desiguales.

La humedad es una circunstancia climática que varía según las etapas del año y las condiciones que presente la naturaleza siendo favorable no realizar este tipo de estudios en épocas invernales.

La compactación del suelo puede variar dependiendo de las condiciones de asentamiento y al tener una mayor compactación la distancia entre cada una de las partículas disminuye notablemente; y se obtiene una mejor conducción a través de la humedad contenida en los sedimentos.

Aguas y Rocas	Resistividad (ohm* m)
Agua de mar	0.2
Agua de acuíferos aluviales	10 - 30
Agua de fuentes	50 - 100
Arenas y gravas secas	1000 - 10000
Arenas y gravas con agua dulce	50 -500
Arenas y gravas con agua salada	0.5 - 5
Arcillas	2 - 20
Calizas	20 - 100
Areniscas arcillosas	300 - 10000
Areniscas cuarcita	50 - 300
Tobas volcánicas	20 - 100
Lavas	300 - 10000
Esquitos grafitosos	0.5 - 5
Esquitos arcillosos	100 - 300
Esquitos sanos	300 - 3000
Gneis granito alterado	100 - 1000
Gneis granito sano	1000 - 10000

Cuadro 3. Resistividad de Aguas y Rocas

CAPÍTULO III

9. METODOLOGÍA

La prospección de agua subterránea comienza con el estudio geológico del sector y la búsqueda de las zonas más prometedoras según el fin buscado, en los cuales será fructífero el trabajo de campo logrando conseguir agua en el subsuelo. (Orellana, 1982)

Es de importancia estudiar y conocer la geología del terreno para lo cual fue necesario el análisis la información bibliográfica disponible, trabajos geológicos de la zona y fotografías aéreas que nos permite tener un detalle mucho más amplio de aquello que no es observable a simple vista.

9.1 RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para el reconocimiento geológico del área de estudio, se realizó la revisión de los antecedentes técnicos del sector y la elaboración de mapas temáticos para la respectiva verificación en campo.

9.2 MATERIALES

Entre los materiales requeridos para el trabajo de campo constan:

- Brújula,
- Mapas temáticos del área,
- Cinta métrica,
- Martillo geológico,
- Libreta de campo,
- Fundas para muestras,
- Ácidos,
- GPS,
- Agua,
- Esferos,
- Lupa,
- Machete,
- Spray.

9.3 MÉTODOS

Para el levantamiento geológico en el sector fueron necesarias salidas de campo que se realizaron las últimas semanas del mes de abril del año en curso, aprovechando desde horas de la mañana hasta que permita trabajar la luz del sol, tiempo en el que se realizó la toma de datos estructurales, recolección de muestras, identificación de afloramientos y mapeo de vías de acceso y ríos del área de estudio.

Posterior al levantamiento geológico la información obtenida se procesó de la con la ayuda de software especializados, como ArcGis y Strater, para realizar los respectivos mapas, secciones y columnas estratigráficas.

9.3.1 TRABAJO DE CAMPO

El levantamiento de la información geológica se realizó mediante la caracterización de 8 afloramientos. Los criterios para definir el número de afloramiento fueron definidos por las características climatológicas, la presencia de vegetación y las condiciones topográficas del área de estudio.



Figura 12. Levantamiento de información Geológica



Figura 13. Procesamientos de Información de Campo.

Punto de control 1

Se procedió a la descripción del afloramiento el cual estaba totalmente meteorizado, se pudo observar posibles indicios de sedimentos volcánicos tales como composición textura y color lo cual se puede atribuir de origen de rocas ígneas extrusivas.



Figura 14. Imagen de sedimentos volcánicos altamente meteorizados.



Figura 15. Imagen de sedimentos volcánicos

Punto de control 2

Se pudo observar lavas pertenecientes a la formación Pallatanga, totalmente meteorizadas producto de las condiciones climatológicas del lugar, se evidenció que dichas rocas presentaban planos de diaclasas los cuales se procedieron a tomar datos estructurales para saber su dirección los cuales nos determinó el siguiente valor $N90W / 52^\circ$.



Figura 16. Afloramiento, Lavas pertenecientes a la Formación Pallatanga.



Figura 17. Planos de diaclasas pertenecientes a la formación Pallatanga.

Punto de control 3

Se procedió a la descripción del afloramiento el cual se observó un cambio litológico notable, se observaron rocas metamórficas con alto grado de meteorización posiblemente corneanas ya que producto de la erosión y vegetación no prestabas las condiciones para una buena interpretación geológica.



Figura 18. Rocas metamórficas con alto grado de meteorización.

Punto de control 4

Posible contacto aparente entre lavas de la formación Pallatanga y rocas metamórficas.



Figura 19. Imagen de lavas, Formación Pallatanga



Figura 20. Contacto aparente entre la F. Pallatanga y Rx. Metamórficas.

Punto de control 5

Se observó un afloramiento de rocas metamórficas corneanas que subyacen a depósitos aluviales, las rocas corneanas se pudieron evidenciar minerales tales como cuarzo y pirritas lo que nos da una idea que dichos minerales se depositaron junto a los sedimentos que luego que se iniciaron las intrusiones de material ígneo fueron metamorfasadas y luego transformadas a rocas ígneas las

cuales están presente en el lugar a estudiar, también presenta la ausencia de esquistosidad lo cual es un criterio para decir que son corneanas.

Metros más adelante se pudo evidenciar un contacto de rocas metamórficas y una cuenca de depositación.



Figura 21. Imagen de Rocas Metamórficas, Corneanas.

Punto de control 6

En el punto 6 se observó la presencia de terrazas de río perteneciente a los depósitos aluviales que a través de años han sido transportadas y depositadas en diferentes tiempos y mostrando distintos niveles de energía; lo cual permite evidenciar distintos tipos de materiales tales como arcillas, guijarros, cantos rodados perfectamente redondeados lo cual indica que el río está constantemente aportando con la acumulación y depósito de material.

Se procedió a realizar una columna estratigráfica con los siguientes valores teniendo en encuentra la potencia y el material depositado.



Figura 22. Terrazas Aluviales, presentes en el lugar de estudio.

Tabla 3. Levantamiento y Elaboración de la Columna Estratigráfica.

Rango	Descripción Litológica	Columna Estratigráfica
3.32 a 422 cm	Abundante material arcilloso con escasa presencia de clastos.	
292 a 332 cm	Presencia de cantos rodados de tamaño de 1,5 cm a 10 cm muy escasa matriz arcillosa.	
192 a 292 cm	Presencia de guijarros de tamaño que oscila de 1 a 3 cm con predominate matriz arcillosa.	
138 a 192 cm	Presencias de cantos rodados de tamaño que oscila de los 10 cm a 8 cm y guijarros con poca presencia de material arcilloso.	

120 a 138 cm	Presencia de cantos rodados predominante de tamaño de 3,5 cm con poco material arcilloso.	
90 a 120 cm	Material arcilloso predominante con pequeños clastos en poca proporción de tamaño aproximado de 0,5 cm.	
67 a 90 cm	Presencia de cantos rodados y guijarros de tamaño que oscila entre 2cm a 5cm.	
60 a 67 cm	Presencia de guijarros de tamaño aproximado de 0,5 cm con material arcilloso predominante.	
0 a 60 cm	Presencia de cantos rodados y guijarros de tamaño que oscila de 1,5cm a 10 cm, con material arcilloso predominante.	

La columna estratigráfica tiene un espesor aproximado de 4,22 m con diferente tipo de material que ha sido depositado mediante los diferentes niveles de energía que haya presentado el río durante su depositación.

Punto De Control 7

En el punto 7 se observó la presencia de rocas metamórficas que has sido fuertemente meteorizada por agentes externos presentes en la localidad.



Figura 23. Imagen de Rocas Metamórficas meteorizadas.

9.3.2 INVESTIGACIÓN CLIMATOLÓGICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para realizar la investigación climatológica del área de estudio, se analizó información de registros históricos del sector.

A continuación, se puede evidenciar una tabla con las temperaturas y precipitaciones medias del periodo 2005 – 2015 obtenidas de la estación climatológica “Ingenio Aztra (la troncal)”.

Las cuales ayudaran para el cálculo de los parámetros para obtener las condiciones climatológicas para el estudio del lugar.

Temperaturas

Se muestran los valores obtenidos para la determinación temperatura del área de estudio, valores que en los últimos años se mantienen sin modificaciones excesivas e importantes para tener una idea de la evapotranspiración del lugar.

Tabla 4. Temperaturas, Mínimas, Medias y Máximas del cantón la Troncal.

MES / TEMP	MIN	MED	MAX
ENERO	22.6	26.0	29.5
FEBRERO	22.8	26.4	30.0
MARZO	23.1	27.1	31.1
ABRIL	23.2	27.2	31.2
MAYO	22.7	26.4	30.1
JUNIO	21.9	25.4	28.9
JULIO	21.2	24.9	28.6
AGOSTO	20.8	24.6	28.5
SEPTIEMBRE	20.8	24.9	29.1
OCTUBRE	20.7	24.5	28.3
NOVIEMBRE	21.1	24.8	28.5
DICIEMBRE	22.1	26.0	29.9

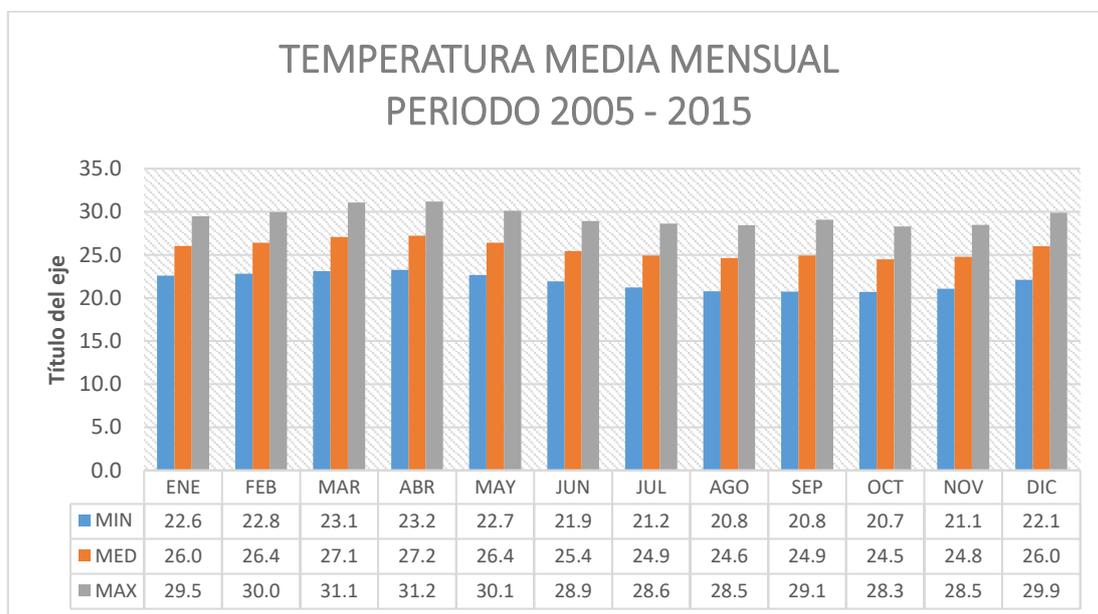


Figura 24. Temperaturas, Mínimas, Medias y Máximas del cantón la Troncal.

Precipitación

Los siguientes valores indican la precipitación media de los últimos 10 años en valores de centímetros cúbicos al año se puede observar que existen 2 temporadas notables en el área a estudiar una temporada lluviosa y una temporada seca, principal fuente para recarga y almacén de agua en rocas del sector.

Tabla 5. Precipitaciones, Mínimas, Medias y Máximas del cantón la Troncal.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
374.7	462.9	421.9	421.1	151.5	28.9	16.1	8.6	11.0	19.6	19.8	48.4

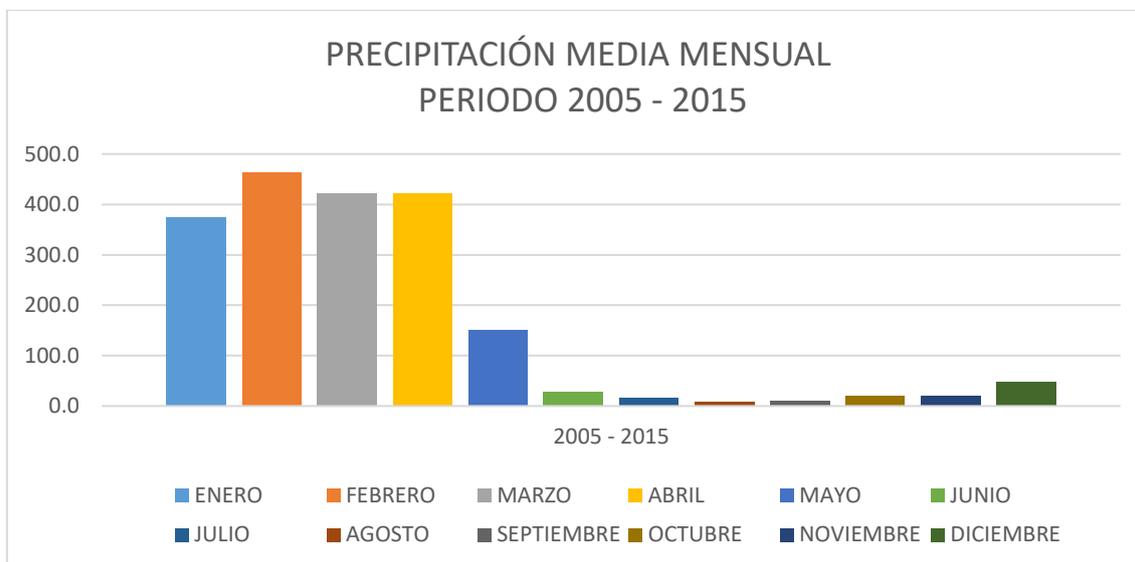


Figura 25. Temperaturas, Mínimas, Medias y Máximas del cantón la Troncal.

Materiales

Para la investigación climatológica se necesarios empleó de los siguientes materiales:

- Mapa de Evapotranspiración Potencial del Ecuador Esc. 1:1 000.000.
- Registros de precipitaciones acumuladas de enero-julio/2015 (INOCAR)
- Boletín climatológico semestral 2015 (INAMHI)
- Computadora para el procesamiento de datos
- Libreta de apuntes

Métodos

Para el análisis hidrológico fue necesario el desarrollo del cálculo de la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite, que procede de la siguiente manera:

Se calcula la evapotranspiración potencial mensual e , en mm.

$$e = 16 * (10 * t / I)^a$$

Donde:

e : evapotranspiración mensual en mm

t : temperatura media mensual en °C

I : $\sum i$: índice térmico anual

$$a: 0.49239 + (0.01792 * i) - [(0.771 * 10^{-4}) * i^2] + (0.675 * 10^{-6}) * i^3$$

a : exponente que varía con el índice anual de calor de la localidad

i : $(t / 5)^{1.514}$ i : índice térmico mensual

Se corrige el valor de e , de acuerdo con el mes considerado y a la latitud de la localidad que determinan las horas de sol, cuyos valores se obtienen de la siguiente tabla.

Factor de corrección f , por duración media de las horas de sol expresada en unidades de 30 días, con 12 horas de sol cada una.

Tabla 6. Factor de corrección f, método de Thornthwaite.

Latitud	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Norte	50	0.74	0.78	1.02	1.15	1.33	1.36	1.37	1.25	1.06	0.92	0.76	0.70
	45	0.80	0.81	1.02	1.13	1.28	1.29	1.31	1.21	1.04	0.94	0.79	0.75
	40	0.84	0.83	1.03	1.11	1.24	1.25	1.27	1.18	1.04	0.96	0.83	0.81
	35	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	1.03	0.97	0.86	0.85
	30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
	25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
	20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
	15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
	10	0.98	0.91	1.03	1.03	1.08	1.06	1.08	1.07	1.02	1.02	0.98	0.99
	5	1.00	0.93	1.03	1.02	1.06	1.03	1.06	1.05	1.01	1.03	0.99	1.02
	0	1.02	0.94	1.04	1.01	1.04	1.04	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
Sur	5	1.04	0.95	1.04	1.00	1.02	0.99	1.02	1.03	1.00	1.05	1.03	1.06
	10	1.08	0.97	1.05	0.99	1.01	0.96	1.00	1.01	1.00	1.06	1.05	1.10
	15	1.12	0.98	1.05	0.98	0.98	0.94	0.97	1.00	1.00	1.07	1.07	1.12
	20	1.14	1.00	1.05	0.97	0.96	0.91	0.95	0.99	1.00	1.08	1.09	1.15
	25	1.17	1.01	1.05	0.96	0.94	0.88	0.93	0.98	1.00	1.10	1.11	1.18
	30	1.20	1.03	1.06	0.95	0.92	0.85	0.90	0.96	1.00	1.12	1.14	1.21
	35	1.23	1.04	1.06	0.94	0.89	0.82	0.87	0.94	1.00	1.13	1.17	1.25
	40	1.27	1.06	1.07	0.93	0.86	0.78	0.84	0.92	1.00	1.15	1.20	1.29
	45	1.31	1.10	1.07	0.91	0.81	0.71	0.78	0.90	0.99	1.17	1.26	1.36
	50	1.37	1.12	1.08	0.89	0.77	0.67	0.74	0.88	0.99	1.19	1.29	1.41

Fuente: (Villón, 2002)

Una vez obtenido el factor de corrección (f) y la evapotranspiración (e) a disposición es posible calcular la evapotranspiración mensual corregida (e_c). Se calcula aplicando la siguiente fórmula:

Evapotranspiración corregida = Factor de corrección * Evapotranspiración

Cálculo de la evapotranspiración, método de Thornthwaite.

Se procedió al cálculo de la evapotranspiración con las variables ya mencionadas:

Tabla 7. Cálculo de la evapotranspiración, método de Thornthwaite.

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total	a=3.453
Temperatura	26.0	26.4	27.1	27.2	26.4	25.4	24.9	24.6	24.9	24.5	24.8	26	308.20	
Índice térmico	12.13	12.42	12.92	12.99	12.42	11.71	11.37	11.16	11.37	11.09	11.30	12.13	143.01	
ETP sin corregir	126.0	132.8	145.4	147.3	132.8	116.3	108.5	104.1	108.5	102.6	107.0	126.0		
f: factor de corrección	1.02	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04		
ETP corregida	128.5	124.9	151.2	148.7	138.1	117.4	112.9	108.3	109.6	106.7	108.1	131.1		

Elaborado por Dumes, D (2019)

Elementos del balance hidrológico mensual calculados por el método de Thornthwaite.

Los parámetros obtenidos para la elaboración del balance hidrológico se detallan a continuación, los cuales fueron calculados y agrupados cuantitativamente cada uno en la siguiente tabla:

Tabla 8. Balance Hidrológico Mensual – “Sector Paraíso 2”

PARÁMETROS	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temperatura promedio mensual (t)	26	26.4	27.1	27.2	26.4	25.4	24.9	24.6	24.9	24.5	24.8	26
Índice de calor (i)	12.13	12.42	12.92	12.99	12.42	11.71	11.37	11.16	11.37	11.09	11.30	12.13
Evapotranspiración (e)	126.0	132.8	145.4	147.3	132.8	116.3	108.5	104.1	108.5	102.6	107.0	126.0
Factor de corrección (f)	1.02	0.94	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04	1.04	1.01	1.04	1.01	1.04
Evapotranspiración potencial	128.5	124.9	151.2	148.7	138.1	117.4	112.9	108.3	109.6	106.7	108.1	131.1
Precipitación	374.7	462.9	421.9	421.1	151.5	28.9	16.1	8.6	11	19.6	19.8	48.4
variación de las reservas de la humedad suelo	246.2	146.2	0	0	0	-88.5	-96.8	0	0	0	0	0
Reserva de agua disponible	246.2	100	100	100	100	11.5	0	0	0	0	0	0
Evapotranspiración efectiva	128.5	124.9	151.2	148.7	138.1	28.9	16.1	8.6	11	19.6	19.8	48.4
Déficit o sequía	0	0	0	0	0	88.5	96.8	99.7	98.6	87.1	88.3	82.7
Excedente	0	191.9	270.7	272.4	13.4	0	0	0	0	0	0	0
½ Excedente	0	95.9	135.3	136.2	6.7	0	0	0	0	0	0	0
½ Escorrentía del mes anterior	0	48.0	24.0	12.0	6.0	3.0	1.5	0.7	0.4	0.2	0.1	0
Escorrentía Total	0	143.9	159.3	148.2	12.7	3.0	1.5	0.7	0.4	0.2	0.1	0

Elaborado por Dumes, D (2019)

El siguiente grafico representa la interacción que existe entre la precipitación media, la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración efectiva cuyos parametros son de gran importancia para la obtencion de deficit y excesos para la obtencion del balance hidrico del lugar.

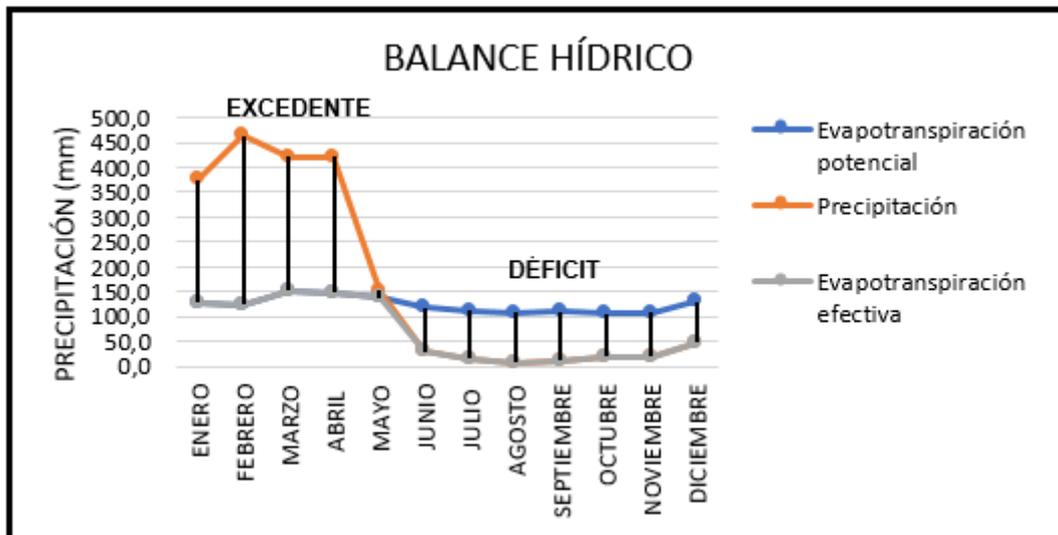


Figura 26. Balance Hidrológico determinado para el sector Paraíso 2.

Elaborado por Dumes, D (2019)

9.3.3 REALIZACIÓN DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV)

La campaña de geofísica y el desarrollo de sondeos eléctricos verticales se desarrollaron en 3 días de campo.

Materiales

Los materiales empleados en la campaña geofísica se detallan a continuación:

- Resistímetro Terrameter digitalizado y sus accesorios
- 4 Rollos de cables eléctricos
- 8 Electrodo de cobre
- Conectores tipo banana y lagartos
- 1 Batería externa
- Hojas de registro de datos
- 4 Cintas métricas
- 1 Geoposicionador GPS
- 4 Combos pequeños
- Libreta de campo y lápiz

Métodos

Para desarrollar la campaña geofísica se procedió de la siguiente manera:

1. La campaña inició con un reconocimiento del área objeto de nuestro estudio, con la intención de observar afloramientos, rasgos característicos de la geomorfología, litologías, drenaje superficial y topografía. En base a este reconocimiento, se ubicó el lugar de instalación de cada sondeo a realizar en terrenos llanos y de poca pendiente.
2. Se procedió a la instalación del equipo ABEM, en el punto central y su respectivo tendido en cuenta las zonas pre seleccionadas. Utilizando las cintas métricas se colocaron los electrodos a lo largo de la línea del sondeo acorde al dispositivo electrónico wenner.
3. En cada uno de los lugares seleccionados para la prospección geofísica se realizó una comprobación previa de la continuidad lateral de la respuesta eléctrica, armando dos tendidos, uno principal y otro ortogonal a este de acuerdo a las limitaciones del terreno. Así se corroboró la relación de los datos adquiridos en cada SEV, tal que no se registrarán cambios considerables del comportamiento eléctrico. Esta tarea contribuyó a establecer los rangos de valores de resistividad asociados a las unidades litológicas presentes.

El reconocimiento en campo realizado durante la toma de medidas de los sondeos eléctricos verticales permite definir que el sector "Paraíso 2" del recinto Cochancay cantón La troncal se encuentra asentada sobre depósitos aluviales, que consiste en arenas gruesas y gravas que fueron depositados a través de la corriente, de ríos tales como el Bulubulu y Cañar en base a la prospección geofísica en diferentes sectores de la zona de estudio se permite determinar cuáles son los puntos idóneos para la elaboración de posibles pozos de agua.

La ubicación de cada sondeo fue tomada mediante el GPS dispositivo que nos muestra el sistema de posicionamiento mediante las coordenadas X y Y.

Campaña de Sondeos Eléctricos Verticales

La campaña de sondeos eléctricos verticales que se realizó a las periferias del sector “Paraíso 2” del recinto Cochancay cantón La Troncal, fueron realizados sobre los Depósitos Aluviales donde se asienta dicha comunidad.

Se realizaron 8 sondeos eléctricos verticales dentro “Paraíso 2” que tienen como objetivo, determinar los puntos idóneos para la posible elaboración de pozos de agua para el sector.

Tabla 9. Coordenadas de los SEV.

SEV	X	Y
SP - 1	688297	9726287
SP - 2	688315	9726179
SP - 3	688128	9726114
SP - 4	688255	9725993
SP - 5	688440	9725899
SP - 6	688582	9725850
SP - 7	688699	9726072
SP - 8	688474	9726104

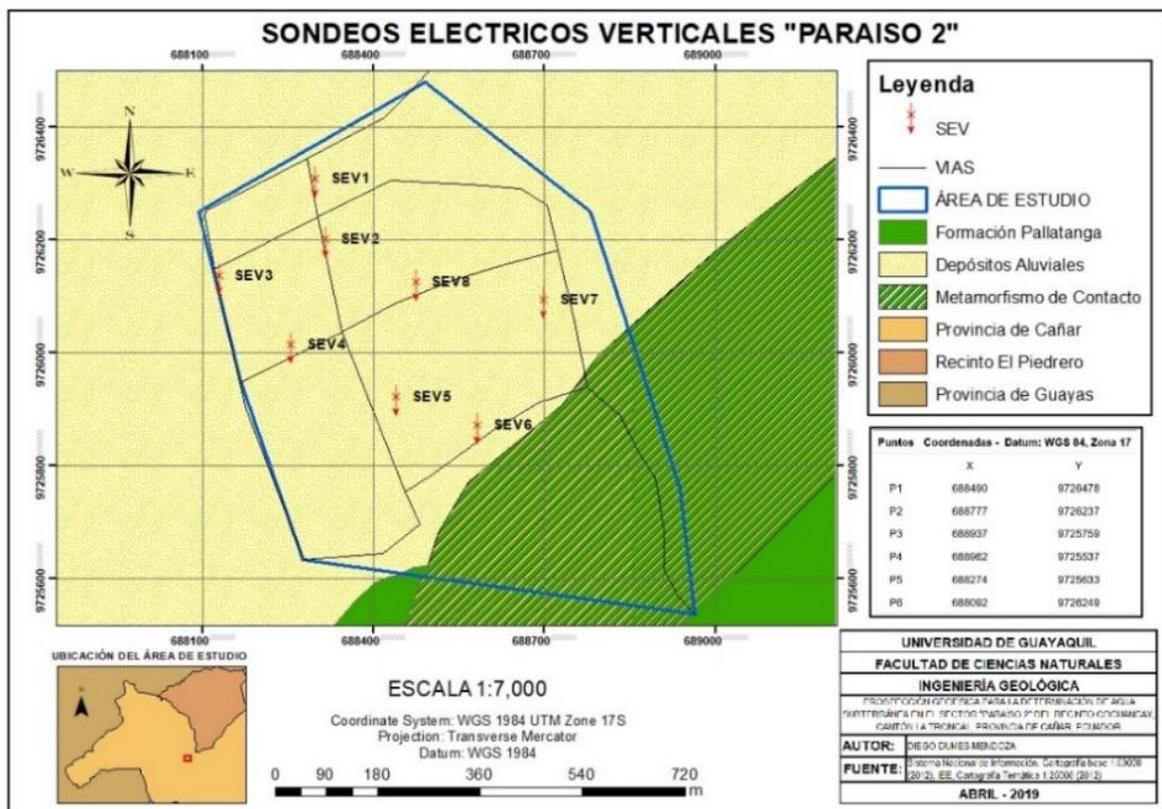


Figura 27. Mapa de ubicación de los SEV.

Sondeo Eléctrico Vertical 1

Se realizó la instalación del equipo geofísico sobre un terreno regular sobre una superficie arena – limosa, para la toma de las resistividades correspondiente. La correspondiente coordenada se muestra en la tabla 10, que se presenta a continuación:

Tabla 10. Coordenadas SEV 1.

CÓDIGO	COORDENADAS UTM WGS 84		
	X	Y	Z
SP - 1	688297	9726287	151



Figura 28. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 1

Sondeo Geofísico: Método Wenner

Se puede observar las resistividades obtenidas una vez realizado el SEV # 1, mostrando los valores mostrados en la Tabla 11.

Tabla 11. Datos de campos obtenidos del SEV 1.

Aberturas de electrodos: Wenner						Lecturas de Campo ($R=V/I$)	
Estación	Abertura OM u ON	Abertura OA o AB/2	Abertura " a"(m)	Espesor (m)	Constante Geométrica (K)	Lectura resistividad ($\Omega \cdot m$)	Resistividad verdadera ($\Omega \cdot m$)
1	1	3	2	2	12.57	4.2166	53.003
2	2	6	4	2	25.13	2.3308	58.573
3	3	9	6	2	37.7	1.4246	53.707
4	4	12	8	2	50.27	1.0788	54.231
5	5	15	10	2	62.83	0.8845	55.570
6	6	18	12	2	75.4	0.7266	54.786
7	7	21	14	2	87.96	0.6148	54.079
8	8	24	16	2	100.53	0.5388	54.163
9	9	27	18	2	113.1	0.4661	52.719
10	10	30	20	2	125.66	0.4062	51.042
11	12	36	24	4	150.8	0.31426	47.390
12	14	42	28	4	175.93	0.26151	46.007
13	16	48	32	4	201.06	0.23615	47.480
14	18	54	36	4	226.2	0.18501	41.849
15	20	60	40	4	251.33	0.15292	38.433
16	23	69	46	6	289.03	0.12358	35.718
17	26	78	52	6	326.73	0.09549	31.200
18	29	87	58	6	364.43	0.09234	33.652
19	32	96	64	6	402.12	0.07854	31.581
20	35	105	70	6	439.82	0.07687	33.810
21	38	114	76	6	477.52	0.06832	32.626
22	41	123	82	6	515.22	0.06233	32.115
23	44	132	88	6	552.92	0.05922	32.744
24	47	141	94	6	590.62	0.05398	31.883
25	50	150	100	6	628.32	0.04746	29.823

Sondeo Eléctrico Vertical 2

La ubicación establecida y toma correspondiente de las resistividades del segundo sondeo geofísico con su respectiva coordenada, presentada en la tabla 12 a continuación:

Tabla 12. Coordenadas SEV 2.

CÓDIGO	COORDENADAS UTM WGS 84		
	X	Y	Z
SP - 2	688315	9726179	148



Figura 29. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 2.

Sondeo Geofísico: Método Wenner

Se puede observar las resistividades obtenidas una vez realizado el SEV # 2, mostrando los siguientes valores en la tabla 13.

Tabla 13. Datos de campos obtenidos del SEV 2.

Aberturas de electrodos: Wenner						Lecturas de Campo (R= V/I)	
Estación	Abertura OM u ON	Abertura OA o AB/2	Abertura " a"(m)	Espesor (m)	Constante Geométrica (K)	Lectura resistividad (Ω .m)	Resistividad verdadera (Ω .m)
1	1	3	2	2	12.57	1.7468	21.957
2	2	6	4	2	25.13	0.8666	21.778
3	3	9	6	2	37.7	0.5919	22.316
4	4	12	8	2	50.27	0.4819	24.226
5	5	15	10	2	62.83	0.4099	25.755
6	6	18	12	2	75.4	0.3405	25.677
7	7	21	14	2	87.96	0.2832	24.907
8	8	24	16	2	100.53	0.2499	25.120
9	9	27	18	2	113.1	0.2216	25.063
10	10	30	20	2	125.66	0.2054	25.806
11	12	36	24	4	150.8	0.1764	26.598
12	14	42	28	4	175.93	0.1464	25.754
13	16	48	32	4	201.06	0.1383	27.811
14	18	54	36	4	226.2	0.1209	27.341
15	20	60	40	4	251.33	0.1175	29.519
16	23	69	46	6	289.03	0.1072	30.970
17	26	78	52	6	326.73	0.1021	33.359
18	29	87	58	6	364.43	0.0816	29.720
19	32	96	64	6	402.12	0.0886	35.625
20	35	105	70	6	439.82	0.0815	35.824
21	38	114	76	6	477.52	0.0798	38.105
22	41	123	82	6	515.22	0.092586	47.702
23	44	132	88	6	552.92	0.0942	52.077
24	47	141	94	6	590.62	0.0789	46.596
25	50	150	100	6	628.32	0.0569	35.723

Sondeo Eléctrico Vertical 3

La ubicación establecida y toma correspondiente de las resistividades del tercer sondeo geofísico con su respectiva coordenada presentada en la tabla 14, que se muestra a continuación:

Tabla 14. Coordenadas SEV 3

CÓDIGO	COORDENADAS UTM WGS 84		
	X	Y	Z
SP - 3	688128	9726114	147



Figura 30. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 3.

Sondeo Geofísico: Método Wenner

Se puede observar las resistividades obtenidas una vez realizado el SEV # 3, mostrando los valores detallados en la tabla 15.

Tabla 15. Datos de campos obtenidos del SEV 3.

Aberturas de electrodos: Wenner						Lecturas de Campo (R= V/I)	
Estación	Abertura OM u ON	Abertura OA o AB/2	Abertura "a"(m)	Espesor (m)	Constante Geométrica (K)	Lectura resistividad (Ω .m)	Resistividad verdadera (Ω .m)
1	1	3	2	2	12.57	1.6095	20.231
2	2	6	4	2	25.13	1.0078	25.326
3	3	9	6	2	37.7	0.7752	29.224
4	4	12	8	2	50.27	0.6613	33.242
5	5	15	10	2	62.83	0.5740	36.064
6	6	18	12	2	75.4	0.5290	39.883
7	7	21	14	2	87.96	0.4807	42.286
8	8	24	16	2	100.53	0.4467	44.904
9	9	27	18	2	113.1	0.4187	47.356
10	10	30	20	2	125.66	0.3939	49.492
11	12	36	24	4	150.8	0.3484	52.531
12	14	42	28	4	175.93	0.3149	55.397
13	16	48	32	4	201.06	0.2926	58.826
14	18	54	36	4	226.2	0.2657	60.097
15	20	60	40	4	251.33	0.2430	61.061
16	23	69	46	6	289.03	0.1892	54.696
17	26	78	52	6	326.73	0.1487	48.568
18	29	87	58	6	364.43	0.1163	42.398
19	32	96	64	6	402.12	0.1016	40.847
20	35	105	70	6	439.82	0.0825	36.268
21	38	114	76	6	477.52	0.0696	33.256
22	41	123	82	6	515.22	0.0642	33.094
23	44	132	88	6	552.92	0.0539	29.826
24	47	141	94	6	590.62	0.0479	28.279
25	50	150	100	6	628.32	0.0419	26.307

Sondeo Eléctrico Vertical 4 (SEV 4)

La ubicación establecida y toma correspondiente de las resistividades del cuarto sondeo geofísico con su respectiva coordenada, presentada en la tabla 16 que se muestra a continuación:

Tabla 16. Coordenadas SEV 4.

CÓDIGO	COORDENADAS UTM WGS 84		
	X	Y	Z
SP - 4	688255	9725993	150



Figura 31. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 4.

Sondeo Geofísico: Método Wenner

Se puede observar las resistividades obtenidas una vez realizado el SEV # 4, mostrando los valores detallados en la tabla 17.

Tabla 17. Datos de campos obtenidos del SEV 4.

Aberturas de electrodos: Wenner						Lecturas de Campo (R= V/I)	
Estación	Abertura OM u ON	Abertura OA o AB/2	Abertura " a"(m)	Espesor (m)	Constante Geométrica (K)	Lectura resistividad (Ω .m)	Resistividad verdadera (Ω .m)
1	1	3	2	2	12.57	33.145	416.633
2	2	6	4	2	25.13	19.092	479.782
3	3	9	6	2	37.7	12.618	475.699
4	4	12	8	2	50.27	8.9724	451.043
5	5	15	10	2	62.83	6.6021	414.810
6	6	18	12	2	75.4	4.9597	373.961
7	7	21	14	2	87.96	3.8729	340.660
8	8	24	16	2	100.53	2.988	300.384
9	9	27	18	2	113.1	2.3015	260.300
10	10	30	20	2	125.66	7.1425	897.527
11	12	36	24	4	150.8	1.1751	177.205
12	14	42	28	4	175.93	0.7138	125.581
13	16	48	32	4	201.06	0.4516	90.791
14	18	54	36	4	226.2	0.2456	55.562
15	20	60	40	4	251.33	0.1698	42.673
16	23	69	46	6	289.03	0.1425	41.193
17	26	78	52	6	326.73	0.1083	35.391
18	29	87	58	6	364.43	0.0938	34.184
19	32	96	64	6	402.12	0.0870	34.974
20	35	105	70	6	439.82	0.0894	39.327
21	38	114	76	6	477.52	0.0812	38.767
22	41	123	82	6	515.22	0.0768	39.563
23	44	132	88	6	552.92	0.0609	33.650
24	47	141	94	6	590.62	0.0542	31.996
25	50	150	100	6	628.32	0.0511	32.111

Sondeo Eléctrico Vertical 5

Se procedió a la instalación del equipo geofísico y la respectiva toma de resistividades del quinto sondeo, sobre una superficie arenosa y con abundante vegetación que con precaución no interrumpió mediante la toma de valores.

La ubicación establecida y toma correspondiente de las resistividades del cuarto sondeo geofísico con su respectiva coordenada presentada en la tabla 18, que se muestra a continuación:

Tabla 18. Coordenadas SEV 5

CÓDIGO	COORDENADAS UTM WGS 84		
	X	Y	Z
SP - 5	688440	9725899	145



Figura 32. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 5.

Sondeo Geofísico: Método Wenner

Se puede observar las resistividades obtenidas una vez realizado el SEV # 5, mostrando los valores detallados en la tabla 19.

Tabla 19. Datos de campos obtenidos del SEV 5.

Aberturas de electrodos: Wenner						Lecturas de Campo (R= V/I)	
Estación	Abertura OM u ON	Abertura OA o AB/2	Abertura " a"(m)	Espesor (m)	Constante Geométrica (K)	Lectura resistividad (Ω .m)	Resistividad verdadera (Ω .m)
1	1	3	2	2	12.57	4.60345	57.865
2	2	6	4	2	25.13	1.0785	27.103
3	3	9	6	2	37.7	0.5031	18.967
4	4	12	8	2	50.27	0.34712	17.450
5	5	15	10	2	62.83	0.27257	17.126
6	6	18	12	2	75.4	0.22788	17.182
7	7	21	14	2	87.96	0.20836	18.327
8	8	24	16	2	100.53	0.1822	18.317
9	9	27	18	2	113.1	0.16941	19.160
10	10	30	20	2	125.66	0.14065	17.674
11	12	36	24	4	150.8	0.1287	19.408
12	14	42	28	4	175.93	0.11475	20.188
13	16	48	32	4	201.06	0.10837	21.789
14	18	54	36	4	226.2	0.10045	22.722
15	20	60	40	4	251.33	0.09088	22.840
16	23	69	46	6	289.03	0.08197	23.692
17	26	78	52	6	326.73	0.07744	25.302
18	29	87	58	6	364.43	0.07325	26.693
19	32	96	64	6	402.12	0.07206	28.978
20	35	105	70	6	439.82	0.06889	30.298

Sondeo Eléctrico Vertical 6

Se procedió a la instalación del equipo geofísico y la respectiva toma de resistividades del sexto sondeo, sobre una superficie rocosa arenosa y con abundante vegetación que con precaución no interrumpió mediante la toma de valores.

La ubicación establecida y toma correspondiente de las resistividades del cuarto sondeo geofísico con su respectiva coordenada presentada en la tabla 20, que se muestra a continuación:

Tabla 20. Coordenadas SEV 6.

CÓDIGO	COORDENADAS UTM WGS 84		
	X	Y	Z
SP - 6	688582	9725850	155



Figura 33. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 6.

Sondeo Geofísico: Método Wenner

Se puede observar las resistividades obtenidas una vez realizado el SEV # 6, mostrando los valores detallados en la tabla 21.

Tabla 21. Datos de campos obtenidos del SEV 6.

Aberturas de electrodos: Wenner						Lecturas de Campo (R= V/I)	
Estación	Abertura OM u ON	Abertura OA o AB/2	Abertura " a"(m)	Espesor (m)	Constante Geométrica (K)	Lectura resistividad (Ω .m)	Resistivida d verdadera (Ω .m)
1	1	3	2	2	12.57	7.03095	88.379
2	2	6	4	2	25.13	1.8475	46.428
3	3	9	6	2	37.7	0.7204	27.159
4	4	12	8	2	50.27	0.4222	21.224
5	5	15	10	2	62.83	0.3331	20.930
6	6	18	12	2	75.4	0.2796	21.083
7	7	21	14	2	87.96	0.2511	22.089
8	8	24	16	2	100.53	0.2230	22.420
9	9	27	18	2	113.1	0.2030	22.960
10	10	30	20	2	125.66	0.1894	23.799
11	12	36	24	4	150.8	0.1676	25.277
12	14	42	28	4	175.93	0.1518	26.697
13	16	48	32	4	201.06	0.1413	28.402
14	18	54	36	4	226.2	0.1306	29.546
15	20	60	40	4	251.33	0.1240	31.160
16	23	69	46	6	289.03	0.1170	33.805
17	26	78	52	6	326.73	0.1055	34.473
18	29	87	58	6	364.43	0.0966	35.188
19	32	96	64	6	402.12	0.0887	35.660
20	35	105	70	6	439.82	0.0807	35.485
21	38	114	76	6	477.52	0.0808	38.576
22	41	123	82	6	515.22	0.0787	40.542
23	44	132	88	6	552.92	0.0754	41.672
24	47	141	94	6	590.62	0.0700	41.359
25	50	150	100	6	628.32	0.0657	41.255

Sondeo Eléctrico Vertical 7

Se realizó la instalación del equipo geofísico sobre un terreno regular sobre una superficie arena – limosa, para la toma de las resistividades correspondiente al séptimo sondeo. La correspondiente coordenada está presentada en la tabla 22, que se muestra a continuación:

Tabla 22. Coordenadas SEV 7.

CÓDIGO	COORDENADAS UTM WGS 84		
	X	Y	Z
SP - 7	688699	9726072	155



Figura 34. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 7.

Sondeo Geofísico: Método Wenner

Se puede observar las resistividades obtenidas una vez realizado el SEV # 7, mostrando los valores detallados en la tabla 23.

Tabla 23. Datos de campos obtenidos del SEV 7.

Aberturas de electrodos: Wenner						Lecturas de Campo ($R=V/I$)	
Estación	Abertura OM u ON	Abertura OA o AB/2	Abertura " a"(m)	Espesor (m)	Constante Geométrica (K)	Lectura resistividad ($\Omega \cdot m$)	Resistividad verdadera ($\Omega \cdot m$)
1	1	3	2	2	12.57	1.4469	18.188
2	2	6	4	2	25.13	0.7573	19.031
3	3	9	6	2	37.7	0.4086	15.403
4	4	12	8	2	50.27	0.3601	18.102
5	5	15	10	2	62.83	0.2881	18.103
6	6	18	12	2	75.4	0.2613	19.702
7	7	21	14	2	87.96	0.2401	21.122
8	8	24	16	2	100.53	0.2255	22.673
9	9	27	18	2	113.1	0.2127	24.061
10	10	30	20	2	125.66	0.2007	25.215
11	12	36	24	4	150.8	0.1822	27.477
12	14	42	28	4	175.93	0.1627	28.626
13	16	48	32	4	201.06	0.1443	29.015
14	18	54	36	4	226.2	0.1281	28.983
15	20	60	40	4	251.33	0.1174	29.494
16	23	69	46	6	289.03	0.0995	28.756
17	26	78	52	6	326.73	0.0877	28.668
18	29	87	58	6	364.43	0.0772	28.141
19	32	96	64	6	402.12	0.0726	29.210
20	35	105	70	6	439.82	0.0666	29.295
21	38	114	76	6	477.52	0.0627	29.927
22	41	123	82	6	515.22	0.0586	30.194
23	44	132	88	6	552.92	0.0577	31.903
24	47	141	94	6	590.62	0.0552	32.606
25	50	150	100	6	628.32	0.0546	34.275

Sondeo Eléctrico Vertical 8

Se procedió a la instalación del equipo geofísico y la respectiva toma de resistividades del octavo sondeo, sobre una superficie rocosa arenosa y con abundante vegetación.

La ubicación establecida y toma correspondiente de las resistividades del cuarto sondeo geofísico con su respectiva coordenada presentada en la tabla 24, que se muestra a continuación:

Tabla 24. Coordenadas SEV 8.

CÓDIGO	COORDENADAS UTM WGS 84		
	X	Y	Z
SP - 8	688474	9726104	157



Figura 35. Procesamiento y toma de Resistividades SEV 8.

Sondeo Geofísico: Método Wenner

Se puede observar las resistividades obtenidas una vez realizado el SEV # 8, mostrando los valores detallados en la tabla 25.

Tabla 25. Datos de campos obtenidos del SEV 8.

Estación	Aberturas de electrodos: Wenner					Lecturas de Campo (R= V/I)	
	Abertura OM u ON	Abertura OA o AB/2	Abertura " a"(m)	Espesor (m)	Constante Geométrica (K)	Lectura resistividad ($\Omega \cdot m$)	Resistividad verdadera ($\Omega \cdot m$)
1	1	3	2	2	12.57	3.0233	38.003
2	2	6	4	2	25.13	1.1510	28.925
3	3	9	6	2	37.7	0.7060	26.615
4	4	12	8	2	50.27	0.5255	26.417
5	5	15	10	2	62.83	0.3684	23.148
6	6	18	12	2	75.4	0.3462	26.101
7	7	21	14	2	87.96	0.3050	26.828
8	8	24	16	2	100.53	0.2685	26.990
9	9	27	18	2	113.1	0.2421	27.379
10	10	30	20	2	125.66	0.2287	28.738
11	12	36	24	4	150.8	0.2044	30.822
12	14	42	28	4	175.93	0.1463	25.739
13	16	48	32	4	201.06	0.1536	30.873
14	18	54	36	4	226.2	0.1368	30.944
15	20	60	40	4	251.33	0.1223	30.740
16	23	69	46	6	289.03	0.1100	31.796
17	26	78	52	6	326.73	0.0710	23.213
18	29	87	58	6	364.43	0.0809	29.499
19	32	96	64	6	402.12	0.0696	27.983
20	35	105	70	6	439.82	0.0665	29.240
21	38	114	76	6	477.52	0.0616	29.406
22	41	123	82	6	515.22	0.0608	31.339
23	44	132	88	6	552.92	0.0485	26.843
24	47	141	94	6	590.62	0.0528	31.195
25	50	150	100	6	628.32	0.0545	34.221

9.3.4 PROCESAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS

Una vez finalizada la campaña de prospección geofísica, para el análisis e interpretación de los datos obtenidos será necesario el uso de:

- Computador
- Software especializado (IPI2win)
- Hojas de cálculo (Microsoft Excel)
- Hoja de registro de datos

9.3.5 AJUSTE DE LA CURVA DE CAMPO EN EL SOFTWARE IPI2WIN.

El trabajo de campo es procesado en oficina a través del software IPI2win para lo cual se establece una tabla de Excel con los valores obtenidos de las resistividades a las aberturas establecidas según el método de Wenner, la curva de campo obtenida debe ser ajustada a un error máximo del 5% en base a cuatro capas que son añadidas secuencialmente, dichas capas permitirán determinar las resistividades a partir de lo cual se definirá los sedimentos en el subsuelo con sus respectivas profundidades y espesores, definiendo de esta manera la capa almacén de agua que permitirá reconocer los lugares con mayor posibilidad para la elaboración de un acuífero.

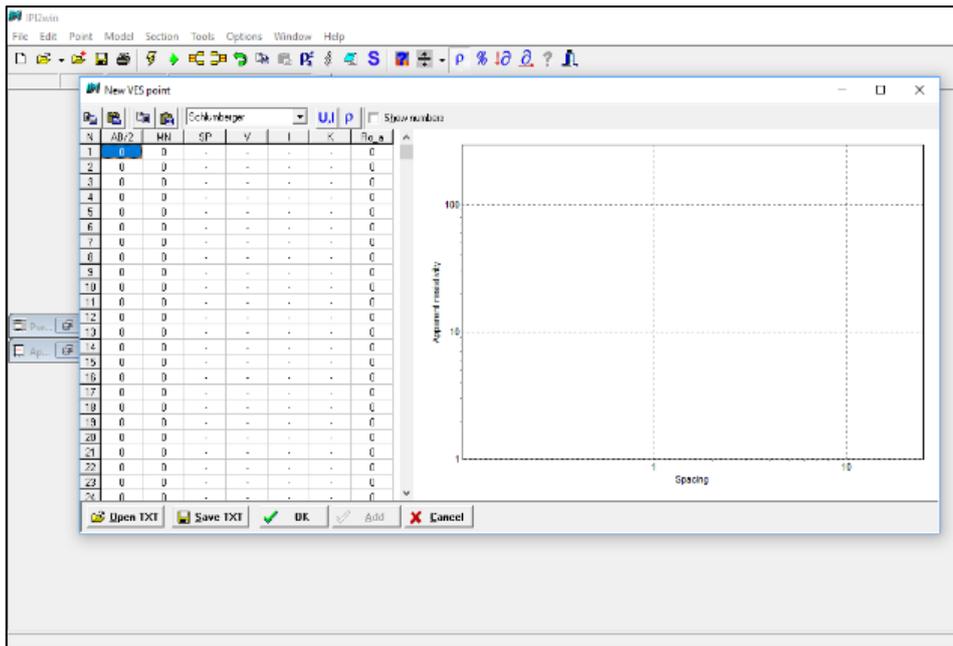


Figura 36. Panel de ingreso de datos en el Software IPI2win

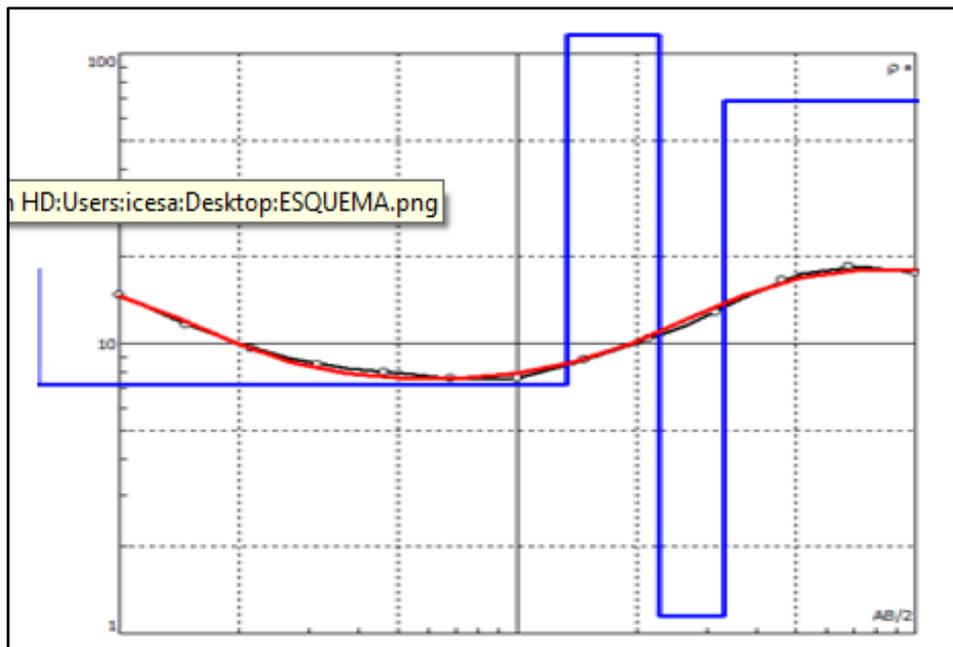


Figura 37. Ajuste de la curva de campo.

CAPÍTULO IV

10. RESULTADOS

10.1 CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DEL “SECTOR PARAÍSO 2”

Una vez finalizada la caracterización geológica del área de estudio se puede establecer los siguientes resultados:

- En el Sector “Paraíso 2” se logró identificar 3 tipos de rocas:
 - Rocas metamórficas (Corneanas) pertenecientes a un metamorfismo de contacto de bajo grado, masivas y muy duras de grano a fino a medio y no presenta esquistosidad.
 - Rocas ígneas efusivas (lavas) pertenecientes a la formación Pallatanga, se encuentra con un grado de meteorización muy altas.
 - Depósitos aluviales conformados por cantos rodados, guijarros, conglomerados y arcillas en la parte baja de la cordillera occidental.
- El Sector “Paraíso 2”, es una zona vulnerable a la meteorización por las condiciones climáticas, lo que dificulta de manera significativa la conservación e identificación de afloramientos.
- No se encontró la presencia de rasgos estructurales de importancia, significativos; sin embargo, se identificó planos de diaclasas en los afloramientos de la Formación Pallatanga.
- Debido a la ubicación geográfica del área de estudio con relación a la Cordillera de los Andes favorece a la presencia de una importante red hídrica en el sector.
- El mapa geológico del Ecuador del año 2017 del Ministerio de Minería muestra, en el Sector “Paraíso 2”, la presencia de la formación Pallatanga y Depósitos Aluviales, sin embargo, en base a los resultados en campo se logró identificar la presencia de rocas metamórficas en el lugar, adicional a las formaciones ya mencionadas.

10.2 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN CLIMATOLÓGICA

Según los registros analizados de la estación climática “Ingenio Aztra (La Troncal)” para el período 2000 – 2015 se establece que:

- La temperatura del Cantón La Troncal oscila entre los 21 °C y los 31 °C
- se precisó que enero fue el primer mes donde ($P > e$), por lo que las operaciones iniciaron a partir de éste.
- Se puede identificar de manera clara la presencia de temporada seca (junio hasta noviembre) y temporada lluviosa (diciembre hasta mayo).
- En la temporada lluviosa el mes con mayor precipitación es febrero y el rango precipitación promedio en temporada lluviosa es de 313.4 mm.
- La reserva no varió para los meses de febrero, marzo y abril (el suelo estaba saturado), y para los meses de junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre no hubo reserva disponible.
- En el cálculo obtenido del balance hídrico se determinó que los meses de junio a diciembre presentan un déficit hídrico, mientras que de febrero a mayo existe una recarga o excedente hídrico de importancia, causado por las precipitaciones características de la temporada lluviosa, por lo cual se determinó que la precipitación está por encima de la evapotranspiración para el Sector “Paraíso 2” como se lo puede visualizar en la siguiente Figura:

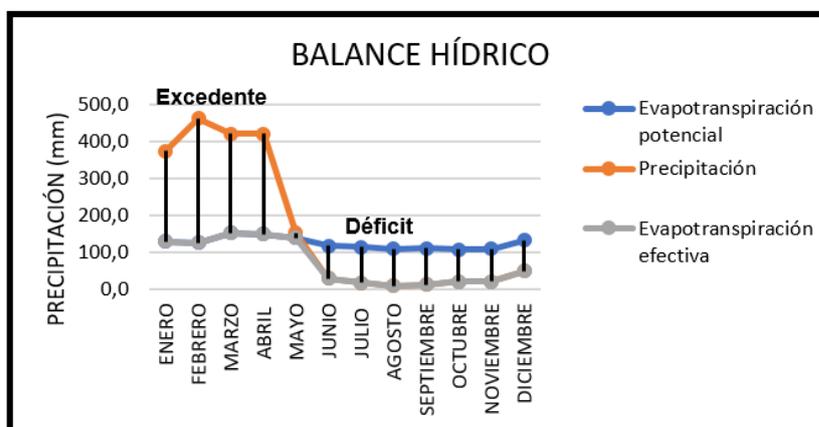


Figura 38. Balance Hidrológico - Sector Paraíso 2

Elaborado por Dumes, D (2019)

10.3 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

10.3.1. Interpretación del Sondeo Eléctrico Vertical 1

Una vez realizado el sondeo eléctrico vertical 1, se procedió a realizar el ajuste de la curva y muestra un error del 1.38 %, valor que se encuentra dentro de los parámetros necesarios para la interpretación. Teniendo en cuenta que la irregularidad del terreno y la abundante vegetación son factores importantes que pueden afectar la lectura de los datos, se realizó la limpieza del lugar antes de la toma de medidas para la ejecución correcta del sondeo.

En el primer sondeo realizado, se logró captar los datos de resistividad y espesor hasta una profundidad de 100 metros, resultado que se encuentra dentro de los parámetros establecidos según la distancia del sondeo.

La **Tabla # 26** muestra una descripción detallada de los valores obtenidos de la resistividad a partir del ajuste de la curva, obteniéndose para la primera capa un valor de 53.5 Ωm a una profundidad de 8.90 metros, el cual está representado geológicamente por gravas y arenas que pudo ser observado macroscópicamente en el reconocimiento de campo durante la inspección del área antes de la realización de los sondeos.

La segunda capa del SEV-1, muestra una resistividad de 76.10 Ωm , la cual se interpreta como una capa formada por gravas y arenas, material muy permeable, con una profundidad de 18.67 metros. Siendo considerada geológica e hidrológicamente como el lugar con mayores posibilidades de almacenamiento de agua.

La tercera capa del SEV-1 muestra una resistividad de 15.86 Ωm a una profundidad de 34.62 metros, la cual se interpreta como poco permeable constituida aparentemente por material arcilloso, el mismo representa escasa o nula capacidad de almacenamiento hídrico. Sin embargo, al mismo tiempo sirve como una barrera impermeable para que el agua procedente por escorrentía e infiltración pueda acumularse.

La cuarta capa del SEV-1, muestra una resistividad de 48.27 Ωm , la cual se interpreta como una capa formada por gravas y arenas material permeable, que

llega hasta una profundidad de 100 metros. Siendo considerada geológica e hidrológicamente como el lugar de posibilidades de almacenamiento de agua. Para una quinta capa no se encuentra bien definida, se obtiene un valor de 6.62 Ωm , sin embargo, los valores de espesor y profundidad no son observables debido a la distancia del SEV, se podría estimar valores de resistividad, que dan como resultado la presencia de material arcilloso poco permeable y sin interés alguno para el almacenamiento de agua.

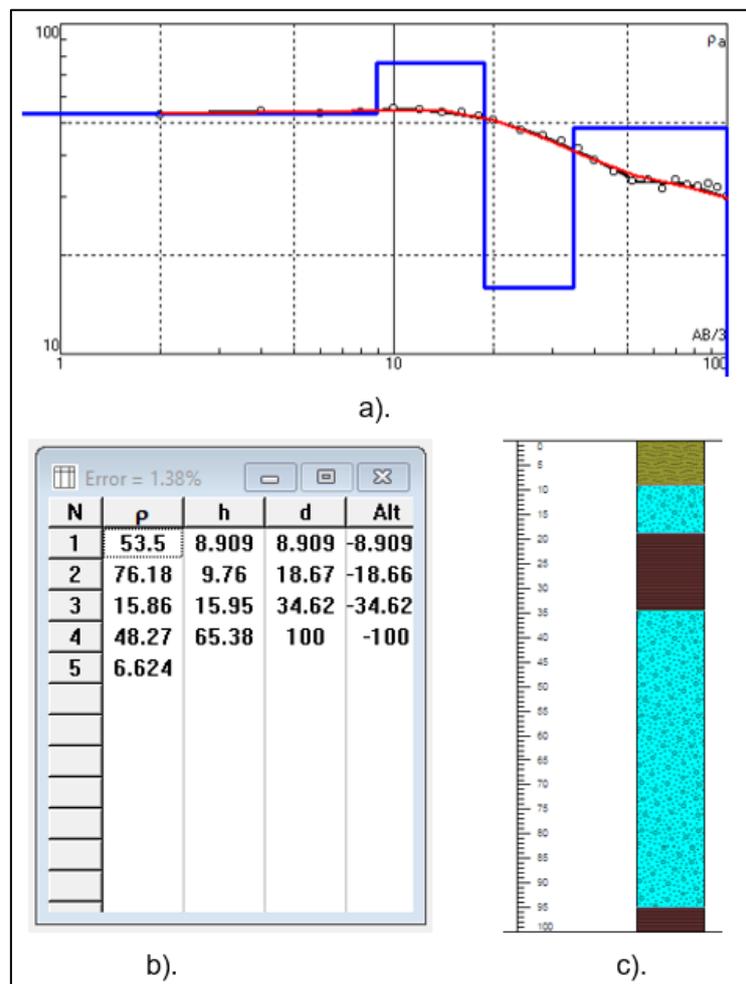


Figura 39. Imagen de la interpretación SEV 1

a), Ajuste a la curva de campo. b) Interpretación de capas de resistividades. c) Representación de la columna litológica interpretada.

Tabla 26. Capa de Resistividad SEV 1.

N. de Capa	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Muy permeable (Gravas y arenas) Posible presencia de agua	8.90	8.90	53.5
2	Muy permeable (Gravas y arenas) Posible presencia de agua	9.76	18.67	76.18
3	Poco Permeable (Arcillas)	15.95	34.62	15.86
4	Permeable (Gravas y arenas) Posible presencia de agua	65.38	100	48.27
5	Muy Poco Permeable (Arcillas)			6.62

10.3.2. Interpretación del Sondeo Eléctrico Vertical 2

Una vez realizado el sondeo eléctrico vertical 2, se realizó el ajuste de la curva que nos presenta un error del 3.69 %, valor establecido dentro de los parámetros requeridos para la interpretación.

En el segundo sondeo se logró receptar datos de resistividad y espesor hasta una profundidad de 76.9 metros, resultado que se encuentra dentro de los rangos establecidos según el método de prospección utilizado.

La **Tabla # 27**, muestra una descripción detallada de los valores obtenidos de la resistividad a partir del ajuste de la curva, obteniéndose para la primera capa un valor de 25.5 Ω m a una profundidad de 1.21 metros, que según las características físicas se identifica como un suelo areno-limoso; el mismo que puede albergar el agua procedente por escorrentía e infiltración de las precipitaciones.

La segunda capa del SEV-2, muestra una resistividad de 13.8 Ω m a una profundidad de 1.95 metros, que es indicador de la presencia de material poco permeable, constituido principalmente por arcillas, que disminuyen en gran magnitud el interés hídrico, al mismo tiempo conforman una barrera impermeable para la acumulación de agua procedente por escorrentía e infiltración de la superficie.

La tercera del SEV-2 muestra una resistividad de 25 Ω m a una profundidad de 39.8 metros; la cual representa escasa permeabilidad y está constituida principalmente por material arcilloso.

La cuarta capa del SEV-2, presenta una resistividad de 147.27 Ω m, que está formada por gravas y arenas, material muy permeable con una profundidad hasta

los 76.9 metros. Siendo considerada geológica e hidrológicamente como un lugar idóneo para el almacenamiento de agua.

La quinta capa de este sondeo no se encuentra bien definida y se obtiene un valor de 3.41 Ωm . Sin embargo, los valores de espesor y profundidad no son observables debido a la distancia del SEV, se podría estimar según los datos de resistividad, que dicha capa está constituida de material arcilloso poco permeable y sin interés para el almacenamiento de agua.

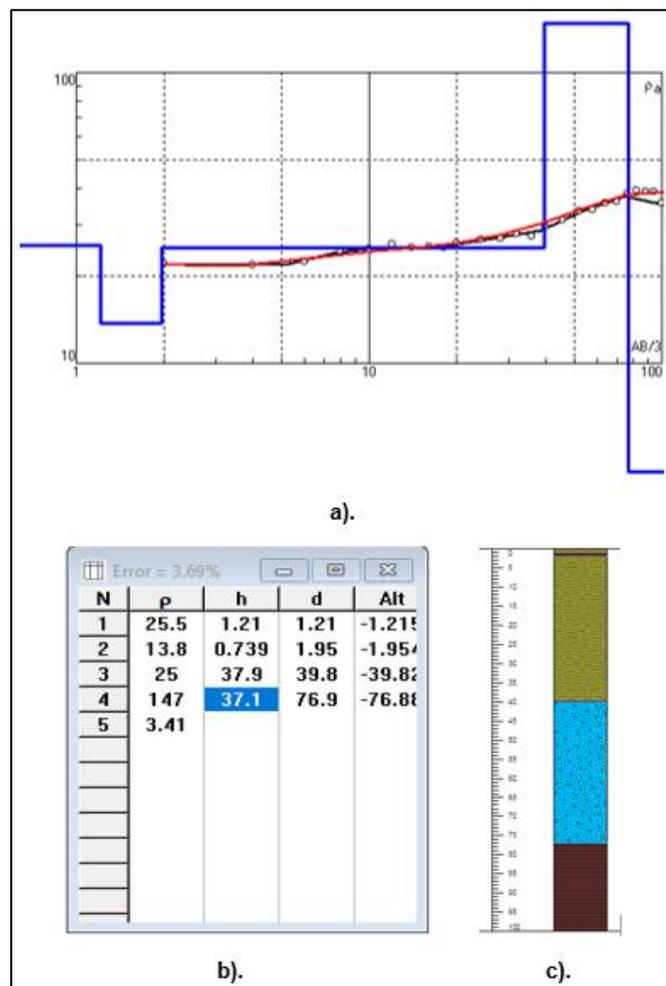


Figura 40. Imagen de la interpretación SEV 2

a), Ajuste a la curva de campo. b) Interpretación de capas de resistividades. c) Representación de la columna litológica interpretada.

Tabla 27. Capa de Resistividad SEV 2.

N° de Capa	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Superficie Areno - Limosa	1.21	1.21	25.5
2	Poco Permeable (Arcillas)	0.739	1.95	13.8
3	Material limo - arenoso	37.9	39.8	25
	Permeable (Gravas y arenas)	37.1	76.9	147
4	Posible presencia de agua			
5	Material Muy Poco Permeable			3.41

10.3.3. Interpretación del Sondeo Eléctrico Vertical 3

Una vez realizado el sondeo eléctrico vertical, se procedió a realizar el ajuste de la curva y que da como resultado un error del 2.72 %, valor que se encuentra dentro de los parámetros necesarios para la interpretación, teniendo presente la importancia de factores que se puedan presentar al momento de la lectura de datos, se procedió a la limpieza del lugar antes de realizar el sondeo.

La **Tabla # 28**, muestra una descripción detallada de los valores obtenidos de la resistividad a partir del ajuste de la curva, obteniéndose para la primera capa un valor de 17.7 Ω m a una profundidad de 1.76 metros, que nos indica la presencia de un material arcilloso, el mismo que no representa mayor interés para la búsqueda de agua subterránea.

La segunda capa del SEV-3 nos presenta una resistividad de 31.48 Ω m a una profundidad de 9.48 metros, constituida aparentemente por material areno – arcilloso, poco permeable con mínimo interés hídrico, debido a que puede retener agua, pero no la necesaria para ser considerada acuífero.

La tercera capa del SEV-3 muestra una resistividad de 191 Ω m, se interpreta como un material formado por gravas y arenas, las cuales son muy permeable a una profundidad de 21.7 metros. Siendo considerada geológica e hidrológicamente como el sitio idóneo de almacenamiento de agua.

La cuarta capa del SEV-3 muestra una resistividad de 10.9 Ω m, representada por la acumulación de material arcilloso, muy poco permeable a una profundidad de 100 metros.

La potencia interpretada en este sondeo es de aproximadamente 100 metros, incluyendo todas las capas previamente mencionadas.

Para una quinta capa, no bien definida se obtiene un valor de 14.9 Ωm , sin embargo, los valores de espesor y profundidad no son observables debido a la distancia del SEV, se podría estimar en cuantos los datos de resistividad que la capa está formada de arcillas poco permeable y sin interés para la búsqueda y almacenamiento de agua.

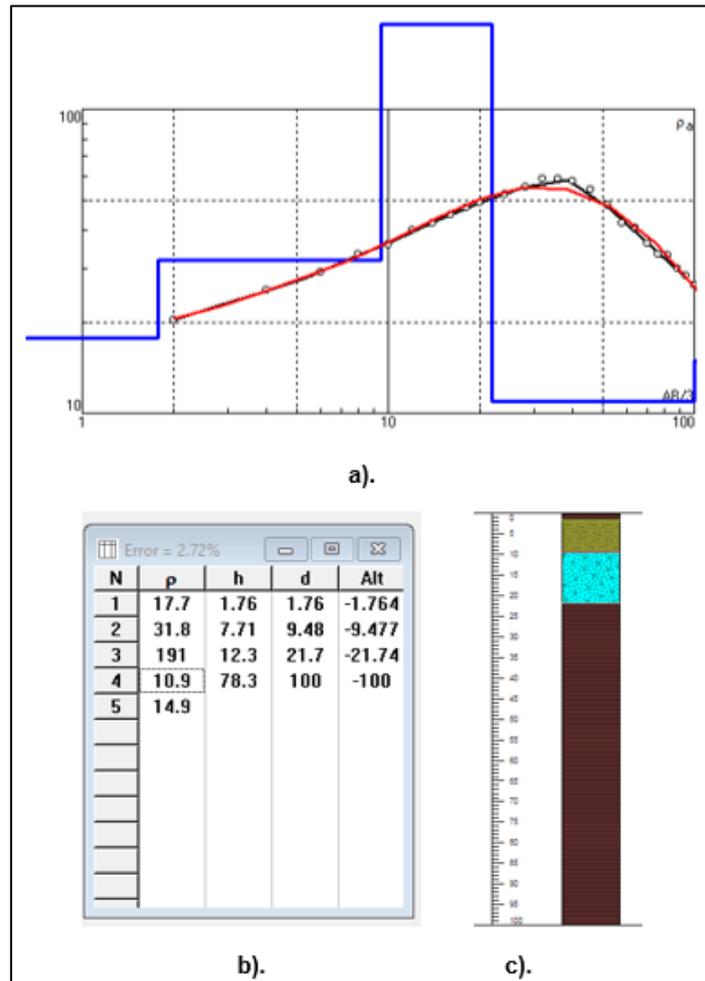


Figura 41. Imagen de la interpretación SEV 3

a), Ajuste a la curva de campo. b) Interpretación de capas de resistividades. c) Representación de la columna litológica interpretada.

Tabla 28. Capa de Resistividad SEV 3.

N. de Capa	Descripción	Espeso (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Poco Permeable (Arcillas)	1.76	1.76	17.7
2	Material Areno Limoso	7.71	9.48	31.8
3	Muy permeable (Gravas y arenas) Posible presencia de agua	12.3	21.7	191
4	Poco Permeable (Arcillas) Posible continuidad de material poco permeable	78.3	100	10.9
5				14.9

10.3.4. Interpretación del Sondeo Eléctrico Vertical 4

Se procedió a realizar el ajuste de la curva y muestra un error del 4.5 %, valor que puede ser deducidos dentro de los parámetros necesarios para la interpretación, teniendo en cuenta que la irregularidad el terreno y la abundante vegetación son factores que pueden afectar la lectura de datos se procedió a la limpieza del lugar antes de realizar la toma de valores arrojados por el equipo.

La **Tabla # 29** muestra una descripción detallada de los valores obtenidos de la resistividad a partir del ajuste de la curva, obteniéndose para la primera capa un valor de 395 Ω m a una profundidad de 2.06 metros, formado por gravas y arenas material muy permeable. Siendo considerada geológica e hidrológicamente como el lugar posibilidades de almacenamiento de agua.

La segunda y tercera capa del SEV-4 muestra una resistividad de 599 Ω m, aquellas formada por un mismo tipo de material, siendo este constituido por gravas y arenas secas, muy permeables con una profundidad de 10 y 11 metros respectivamente. Pero aquellos valores obtenidos por el SEV, no muestras datos de interés, debido a que no está saturado.

La cuarta capa del SEV-4 presenta una resistividad de 28 Ω m a una profundidad de 100 metros, constituida por material arcilloso, poco permeable, el mismo que no permite un mayor interés para la búsqueda de agua. Por lo contrario, sirve como una barrera geológica impermeable para que el agua procedente por escorrentía e infiltración pueda acumularse.

La potencia interpretada en este sondeo es de aproximadamente 100 metros, incluyendo todas las capas previamente mencionadas.

Para una quinta capa no bien definida se obtiene un valor de 14.9 Ωm , sin embargo, los valores de espesor y profundidad no son observables debido a la distancia del SEV, se podría estimar en cuantos los datos de resistividad que la capa a continuación, está constituida de material arcilloso, poco permeable con mínimo interés para la búsqueda y almacenamiento de agua.

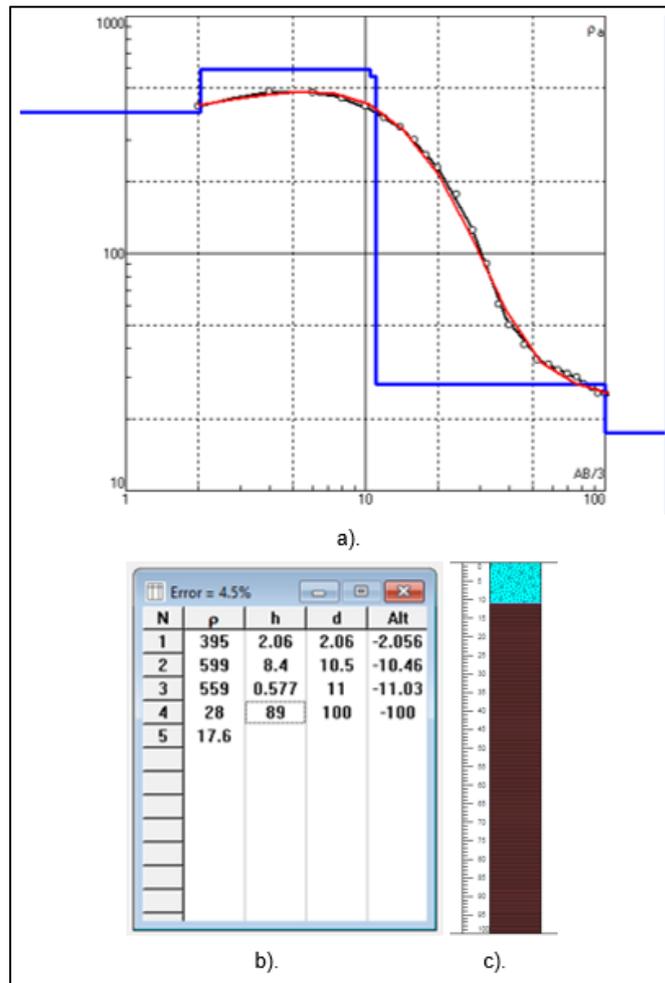


Figura 42. Imagen de la interpretación SEV 4

a), Ajuste a la curva de campo. b) Interpretación de capas de resistividades. c) Representación de la columna litológica interpretada.

Tabla 29.Capa de Resistividad SEV 4.

N. de Capa	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Muy permeable (Gravas y arenas) Posible presencia de agua	2.06	2.06	395
2	Permeable (Gravas y Arenas Secas)	8.04	10.5	599
3	Permeable (Gravas y Arenas Secas)	0.057	11	599
4	Material Areno Limoso	89	100	28
5	Poco Permeable (Arcillas)			17.6

10.3.5. Interpretación del Sondeo Eléctrico Vertical 5

En el desarrollo de la campaña geofísica en el sondeo eléctrico vertical 5, se procedió a realizar el ajuste de la curva y muestra un error del 4.2, valor que puede ser deducido dentro de los parámetros necesarios para la interpretación.

La **Tabla # 30** presenta una descripción detallada de los valores obtenidos de la resistividad a partir del ajuste de la curva, obteniéndose para la primera capa un valor de 93.6 Ω m a una profundidad de 1.48 metros, constituida por gravas y arenas, material muy permeable. Siendo considerada geológica e hidrológicamente como el lugar posibilidades de almacenamiento de agua.

La segunda capa del SEV-5 muestra una resistividad de 15.2 Ω m, formada por material poco permeable a una profundidad de 18.5 metros; constituida por arcillas que no representa interés para la búsqueda de agua.

La tercera capa del SEV-5 presenta una resistividad de 151 Ω m, formada por gravas y arenas, material muy permeable con una profundidad de 18.7 metros; considerada geológica e hidrológicamente como el lugar posibilidades de almacenamiento de agua.

La cuarta capa del SEV-5 muestra una resistividad de 27.6 Ω m, constituido por material poco permeable a una profundidad de 65.9 metros formado por arcillas de poco interés para la búsqueda de agua, a su vez sirve como una capa impermeable para que el agua procedente por escorrentía e infiltración pueda acumularse.

La potencia interpretada en este sondeo es de aproximadamente 65.9 metros, incluyendo todas las capas previamente mencionadas.

El último valor de resistividad receptado por el equipo es de 70.2 Ω m interpretándose esta capa como la continuidad del material muy permeable idóneo para la captación de agua.

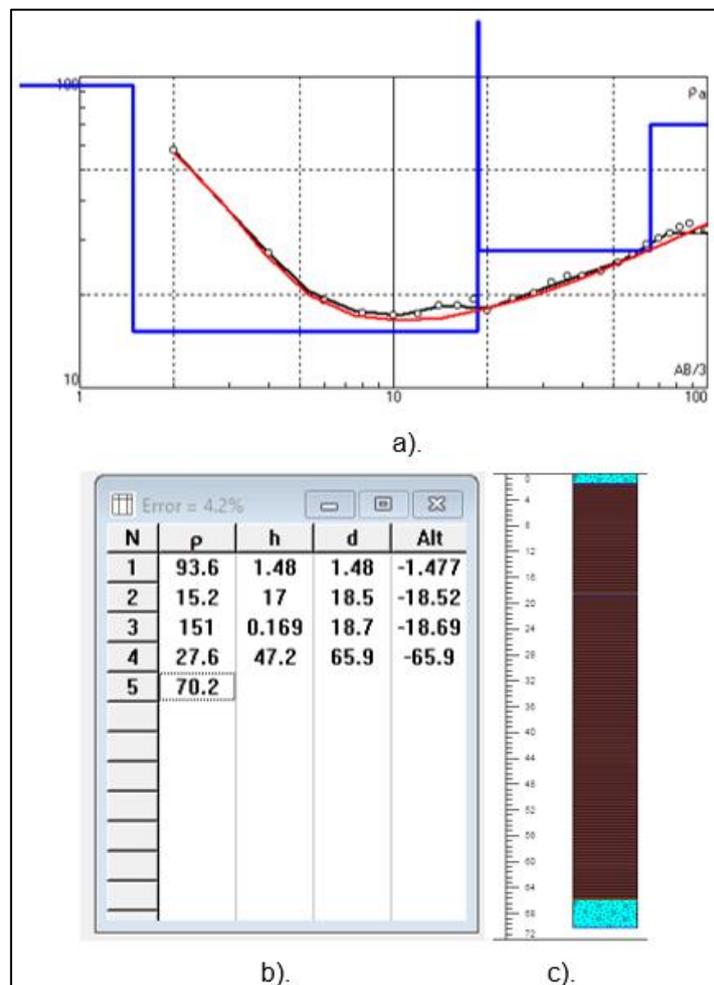


Figura 43. Imagen de la interpretación SEV 5

a), Ajuste a la curva de campo. b) Interpretación de capas de resistividades. c) Representación de la columna litológica interpretada.

Tabla 30. Capa de Resistividad SEV 5.

N. de Capa	Descripción	Espeso (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Muy Permeable (Gravas y arenas) Posible presencia de agua	1.48	1.48	93.6
2	Poco Permeable (Arcillas)	17	18.5	15.2
3	Muy Permeable (Gravas y Arenas Secas)	0.169	18.7	151
4	Material Areno Limoso	47.2	65.9	27.6
5	Muy Permeable (Gravas y arenas) Posible presencia de agua			70.2

10.3.6. Interpretación del Sondeo Eléctrico Vertical 6

Una vez realizado el sondeo eléctrico vertical, se procedió a realizar el ajuste de la curva y muestra un error del 3.64 %, valor que está dentro de los parámetros necesarios para la interpretación geofísica.

La **Tabla # 31** muestra una descripción detallada de los valores obtenidos de la resistividad a partir del ajuste de la curva, obteniéndose para la primera capa un valor de 111 Ω m a una profundidad de 2.24 metros, formada por gravas y arenas material muy permeable. Considerándose un lugar posibilidades de almacenamiento de agua.

La segunda capa del SEV-6 muestra una resistividad de 10.2 Ω m, que se interpreta como una capa de material poco permeable con una profundidad de 5 metros constituida por principalmente por arcillas que no permiten mayor acumulación demostrando escaso interés hídrico.

La tercera capa del SEV-6 muestra una resistividad de 24.7 Ω m, a la profundidad de 24.6 metros, el cual está representado por un material limo- arcilloso, mismo nos indica una la ausencia de agua para aquella zona del subsuelo.

La cuarta capa del SEV-6 presenta una resistividad de 76.3 Ω m, formada por gravas y arenas, material muy permeable a una profundidad de 85.7 metros. Que indica condiciones geológicas e hidrológicas como el lugar de altas posibilidades de almacenamiento de agua.

La potencia interpretada en este sondeo es de aproximadamente 85.7 metros, incluyendo todas las capas previamente mencionadas.

Para una quinta capa no bien definida se obtiene un valor de 38.6 Ω m, sin embargo, los valores de espesor y profundidad no son observables debido a la distancia del SEV, se podría estimar que está constituida de material arcilloso poco permeable y sin interés para el almacenamiento de agua.

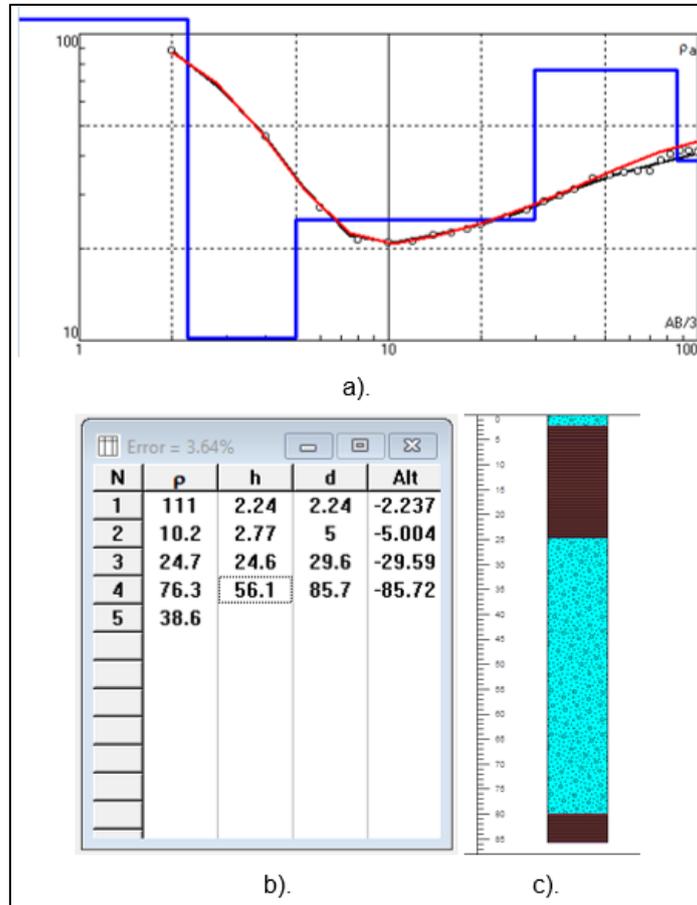


Figura 44. Imagen de la interpretación SEV 6

a), Ajuste a la curva de campo. b) Interpretación de capas de resistividades. c) Representación de la columna litológica interpretada.

Tabla 31. Capa de Resistividad SEV 6.

N. de Capa	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Muy Permeable (Gravas y arenas) Posible presencia de agua	2.24	2.24	111
2	Poco Permeable (Arcillas)	2.77	5.00	10.2
3	Material Areno Limoso	24.6	29.6	24.7
4	Muy permeable (Gravas y arenas) Posible presencia de agua	56.1	85.7	76.3
5	Material Areno Limoso			38.6

10.3.7. Interpretación del Sondeo Eléctrico Vertical 7

Una vez realizado el sondeo eléctrico vertical se procedió a realizar el ajuste de la curva y muestra un error del 4.49 %, valor que puede ser deducidos dentro de los parámetros necesarios para la interpretación, teniendo en cuenta que la irregularidad el terreno y la abundante vegetación afectan al momento de la lectura de datos, se procedió a la limpieza del lugar antes de realizar la toma de medidas.

La **Tabla # 32**, muestra una descripción detallada de los valores obtenidos de la resistividad a partir del ajuste de la curva, obteniéndose para la primera capa un valor de 8.45 Ωm a una profundidad de 0.46 metros, que es indicador de la presencia de un material arcilloso, muy impermeable por lo tanto no representa interés hídrico.

La segunda capa del SEV-7 muestra una resistividad de 34.7 Ωm , que se interpreta como una capa constituida por material areno – arcilloso, poco permeable, con una profundidad de 1.97 metros, que representa gran interés para la búsqueda de agua.

La tercera capa del SEV-7 presenta una resistividad de 5.67 Ωm , está constituida por material arcilloso, muy poco permeable con una profundidad de 3.79 metros, indicador de la presencia de una capa impermeable, por lo consiguiente con escaso interés hidrológico.

La cuarta capa del SEV-7 similar que las anteriores muestra una resistividad baja 32.4 Ωm , que se puede interpretar como la presencia de material areno - arcilloso poco permeable, indicador de ausencia de agua.

La potencia interpretada en este sondeo es de aproximadamente 100 metros, incluyendo todas las capas previamente mencionadas.

Para una quinta capa no bien definida se obtiene un valor de 45.3 Ωm , sin embargo, los valores de espesor y profundidad no son observables debido a la distancia del SEV, se podría estimar según los datos de resistividad que la capa a continuación, se mantiene constituida de material areno -arcilloso poco permeable y sin interés para el almacenamiento de agua.

Es el único de los sondeos realizados en que la lectura de resistividades, no presentan indicios para la acumulación de agua.

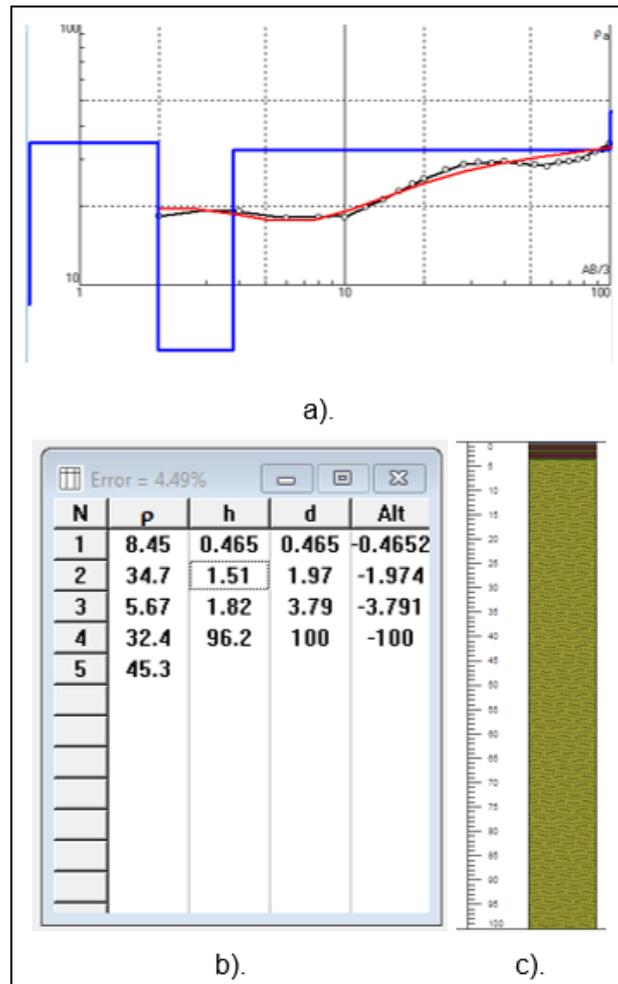


Figura 45. Imagen de la interpretación SEV 7

a), Ajuste a la curva de campo. b) Interpretación de capas de resistividades. c) Representación de la columna litológica interpretada.

Tabla 32. Capa de Resistividad SEV 7.

N. de Capa	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Muy Poco Permeable (Arcillas)	0.465	0.465	8.45
2	Material Areno Limoso	1.51	1.97	34.7
3	Muy Poco Permeable (Arcillas)	1.82	3.79	5.67
4	Material Areno Limoso	96.2	100	32.4
5	Posible continuación de material Areno Limoso			45.3

10.3.8. Interpretación del Sondeo Eléctrico Vertical 8

Una vez realizado el sondeo eléctrico vertical, se procedió a realizar el ajuste de la curva y muestra un error del 4.03 %, valor que se encuentra dentro de los parámetros necesarios para la interpretación.

La **Tabla # 33**, muestra una descripción detallada de los valores obtenidos de la resistividad a partir del ajuste de la curva, obteniéndose para la primera capa un valor de 40.1 Ωm a una profundidad de 2.91 metros, que representa la presencia de suelo areno - limoso; mismo que pudo ser observado visualmente en el reconocimiento de campo durante la inspección del área previo a la realización de los sondeos.

La segunda capa del SEV-8 muestra una resistividad de 8.12 Ωm , constituida de material arcilloso, muy poco permeable con una profundidad de 4.25 metros, siendo una zona de poco interés hídrico.

La tercera capa del SEV-8 presenta una resistividad de 32.9 Ωm , constituida por material areno – arcilloso, poco permeable con una profundidad de 32.8 metros, la depositación de dicho material es poco permeable para el almacén de agua.

La cuarta capa del SEV-8 muestra una resistividad de 13.7 Ωm , está caracterizada por la presencia de material arcilloso, muy poco permeable con una profundidad de 75.4 metros, indicador de mínimo interés hídrico.

La potencia interpretada en este sondeo es de aproximadamente 75.4 metros, incluyendo todas las capas previamente mencionadas.

El último valor de resistividad receptado por el equipo es de 1320 Ωm interpretándose esta capa como la continuidad del material muy permeable de material constituido por gravas y arenas idóneo para la captación de agua.

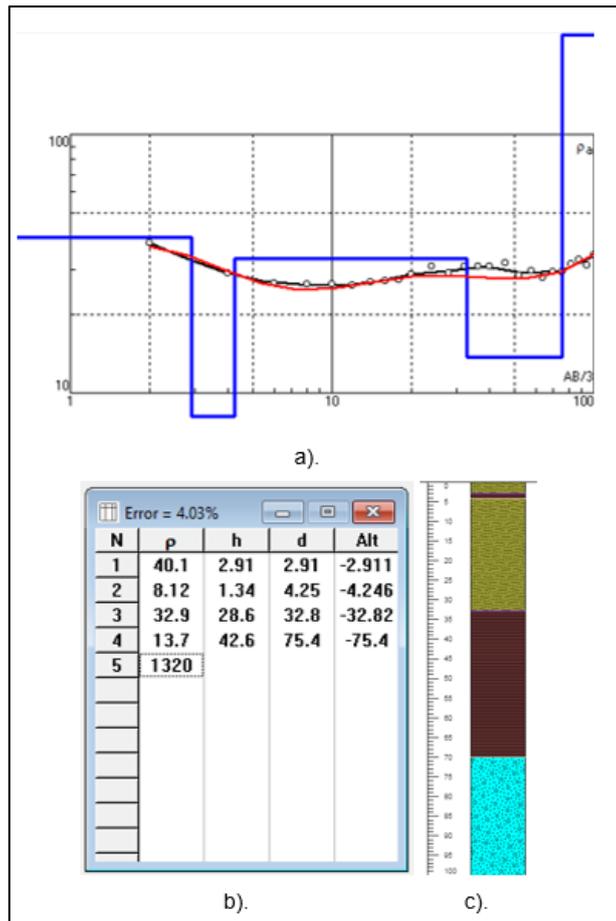


Figura 46. Imagen de la interpretación SEV 8

a), Ajuste a la curva de campo. b) Interpretación de capas de resistividades. c) Representación de la columna litológica interpretada.

Tabla 33. Capa de Resistividad SEV 8.

N. de Capa	Descripción	Espesor (m)	Profundidad (m)	Resistividad (Ω m)
1	Material Areno - Limoso	2.91	2.91	40.1
2	Muy Poco Permeable (Arcillas)	1.34	4.25	8.12
3	Material Areno - Limoso	28.6	32.8	32.9
4	Poco Permeable (Arcillas)	42.6	75.4	13.7
5	Posible continuación de material			1320

Observación

Las irregularidades del terreno junto con las intercalaciones de los materiales y la vegetación son factores que alteran la lectura de los datos por lo tanto es necesario el ajuste de la curva antes de la interpretación de los sondeos.

10.4 Correlación De Capas

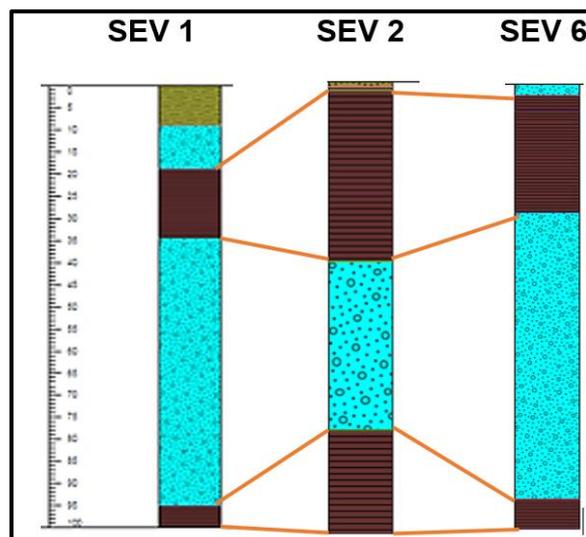


Figura 47. Imagen de la correlación de Capas SEV 1 – 2 – 6

En la **Figura 47**, se puede apreciar la disposición de las capas del suelo hasta determinada profundidad (100 m), según los perfiles geo-eléctricos se ha recomendado una profundidad de 10 m a 70 m aproximadamente en el sector “Paraíso 2”, siendo la posición de las capas con mayor probabilidad de agua aquellas que en su interior tiene material permeable de gravas y arenas, que por su textura representan características idóneas para el almacenamiento de agua, por lo tanto son adecuadas para la construcción de un pozo en el área estudiada.

Se realizó la correlación de tres sondeos eléctricos verticales, aquellos con mayor probabilidad de captación acuífera, SEV 1 - SEV 2 - SEV 6; donde se presenta aquellas capas que contienen material permeable tales como gravas y arenas ideales para la acumulación de agua, se muestra en el primer sondeo a partir de 36 metros hasta una profundidad de 100 metros, siendo la cuarta capa del subsuelo la de mayor interés hidrológico para la exploración de agua subterránea, las características ya antes mencionadas de material permeable presente a partir de la profundidad de 36.9 metros hasta los 76.9 metros durante la ejecución del segundo sondeo; a una profundidad similar se observa en la cuarta capa del SEV 6, la presencia del mismo tipo de material permeable ubicado desde los 36 metros hasta los 85.7 metros.

La cuarta capa es aquella con material permeable y de interés hídrico, ejecutados los SEV en estos sitios nos da deducir que, por los espesores y los valores obtenidos en los sondeos geofísicos, son el lugar idóneo para la formación de acuífero.

Debajo de este las gravas y arenas se ubica un material arcilloso, el mismo forma una barrera geológica facilitando la acumulación de agua a partir de una profundidad estimada de 30 a 80 metros.

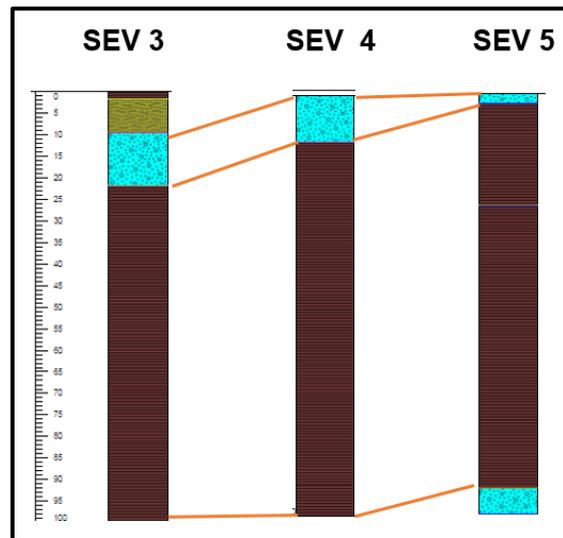


Figura 48. Imagen de la correlación de Capas SEV 3 – 4 – 5

La correlación del SEV 3-SEV 4- SEV5, muestra que hay una variabilidad de los materiales dispuestos a diferentes profundidades, la capa permeable se encuentra a partir de una profundidad de 8.90 metros en el SEV 3 hasta los 21.7 metros, durante el SEV 4 se ubica desde los 2.06 metros hasta los 11 metros, con un espesor de 10 m y en el SEV 5 se ubica a una profundidad de 5 m hasta los 90 metros. Debajo de esta profundidad existe la posibilidad de la presencia de agua subterránea según los por valores arrojados por el equipo geofísico.

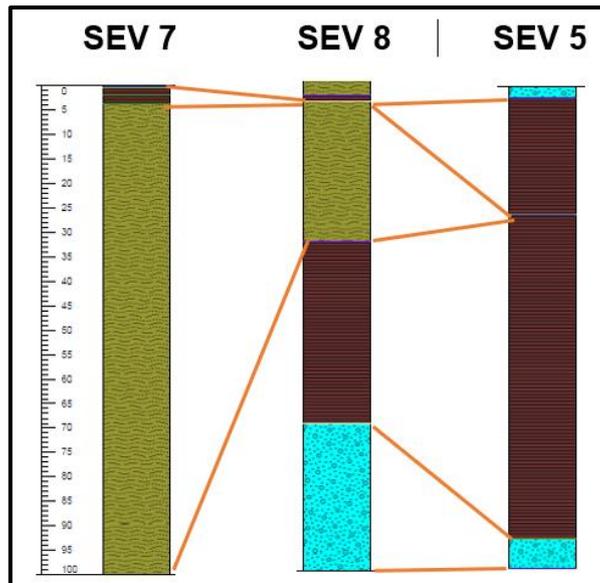


Figura 49. Imagen de la correlación de capas SEV 7 – 8 – 5.

La correlación del SEV 7-SEV 8, nos presenta material arcilloso dominante, que mediante la ejecución de los sondeos eléctricos nos muestra una zona con escaso interés hídrico lo que permite inferir que este sitio es el menos propenso para la búsqueda y almacenamiento de aguas subterráneas.

Es necesario un estudio detallado y con una cobertura más amplia de los electrodos para lograr una adecuada lectura e interpretación de los valores obtenidos en el SEV 8.

CONCLUSIONES

- Con respecto a la geología del área estudiada se evidenció que se encuentra formada de tres tipos roca: rocas metamórficas (corneanas), lavas pertenecientes a la formación Pallatanga y depósitos aluviales que se han formado por el transporte de arcillas, arenas, gravas mediante el acarreo por los cuerpos de aguas existentes en la zona (ríos), agua de escorrentía, vientos y otros factores meteorológicos que forman parte de los agentes que actúan en el transporte de estos materiales a los sitios más bajos.
- No se reflejaron rasgos estructurales complejos como fallas o pliegues debido al tipo de material hallado.
- Debido a la ubicación geográfica del área de estudio con relación a la Cordillera de los Andes favorece a la presencia de una importante red hídrica en el sector.
- En el cálculo obtenido del balance hídrico se determinó que los meses de mayo a diciembre presentan un déficit hídrico, mientras que de febrero a mayo existe una recarga o excedente hídrico de importancia, causado por las precipitaciones características de la temporada lluviosa, por lo cual se determinó que la precipitación está por encima de la evapotranspiración para el Sector "Paraíso 2".
- Los estudios geofísicos realizados en sector "Paraíso 2" presentan una descripción de las resistividades de los estratos del subsuelo del sector ya mencionado.
- Los valores de resistividad que oscila entre los 50 ohmios metro y que llegan hasta los 500 ohm-m, hacen suponer la existencia de aguas subterráneas emplazadas en materiales aluviales de origen sedimentario.
- Se realizaron un total de 8 SEV método Wenner, a partir de los cuales se pudieron generar sus respectivas columnas estratigráficas y la interpretación de cada una de ellas, con lo cual se llegó a identificar capas con mayor probabilidad de almacén de agua.
- El SEV 1- SEV 2 Y SEV 6, respectivamente se establecen como los sitios idóneos para el alumbramiento de agua subterránea

- Se estableció la posible presencia de agua subterránea en el sector “Paraíso 2”, a partir de los 36 m de profundidad mediante la campaña de prospección geofísica planteada.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la perforación de un pozo exploratorio en donde se efectuaron los sondeos SEV1, SEV2 y SEV 6, debido que presentaron las mejores condiciones hidrogeológicas, al momento de realizar los sondeos geofísicos, con el objetivo de comprobar el resultado del trabajo realizado.
- Los estudios geofísicos realizados en sector “Paraíso 2” presentan una descripción de las resistividades de los estratos del subsuelo presentes en el área estudiada, de acuerdo a esto, se establece el método idóneo y/o recomendación de uso de equipo de perforación apropiada para el sitio.
- Se recomienda el cumplimiento del Registro Eléctrico (Well Logging) dentro del pozo, con la finalidad de determinar con mayor exactitud la profundidad y potencia de los acuíferos con mejores características hidrogeológicas.
- Posterior a la ejecución del Well Logging y de ser conveniente continuar con la ejecución del pozo, ampliarlo hasta 12 in para ser entubado en 8 in con tubería PVC de 1,25 Mpa y efectuar su respectiva prueba de bombeo.
- Se sugiere hacer un análisis físico-químico y bacteriológico (contenido de los tipos de sales), especialmente para Bicarbonatos y Cloruros ya que son más dañinos que los sulfatos, calcio y magnesio siendo estos los más comunes.
- En cuanto a la geología se recomienda hacer un estudio más a detalle del sector ya que la información actual no tiene coherencia con el establecido tiempo atrás, realizar nuevos mapas y hacer la respectiva comparación y si el caso amerita a portar con nueva información y actualización de la geología del lugar.

BIBLIOGRAFÍA

- Auge, M., 2008. Métodos Geoeléctricos para la Prospección de Agua Subterránea. En: Buenos Aires, Argentina.
- Cañadas, L., 1983. *El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador*. Quito: Banco Central del Ecuador.
- Cevallos, C., 2017. *Modelo Hidráulico del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable de la Ciudad de la Troncal*, Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea, 2009. *Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea..* Barcelona, España.
- Del Valle, E., 1984. *Introducción a la Geofísica. Ciudad de Mexico*, México DF.
- Distribucion, A. I., 2008. *Medidas de Resistividad*.
- Geotem Ingeniería S.A. de C.V., 2018. *Geotem*. [En línea] Available at: <http://www.geotem.com.mx/>
- Gobierno Autónomo Descetralizado Municipal del Cantón La Troncal, 2014. *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón La Troncal*, La Troncal, Ecuador.
- Instituto Geográfico Militar, 1980. *Mapa Geológico Gualleturo*. Quito: 1980.
- Jimenez, S., 2008. *Elaboracion de un plan de explotacion de aguas subterráneas en una zona de la Península de Santa Elena, mediante la interpretacion de metodos resistivos*. Guayaquil, Ecuador.
- Lascano, M., 1988. *Aplicación de los Métodos de Resistividades en la Exploración de Aguas Subterráneas en la zona Engabao - Playas*. Ecuador.
- Méndez, J., 2013. *Metodología para la medición de variable hidrometeorológicas que faciliten la implementación de modelos dinámicos de interceptación de lluvia en el contexto Colombiano*, Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

- Molineros, J., 2005. *Hidrología, Tipos de Acuíferos*. Compostela: s.n.
- Morán, H., 2006. *Esquema del dispositivo wenner*. Guayaquil. Ecuador.
- Orellana, E., 1982. *Prospección Geoeléctrica en corriente continua*. Madrid. España.
- Orellana, E., 1982. *Prospección geoelectrica en corriente continua*. Madrid. España.
- Rodríguez, G., 2015. *Prospección Geofísica para la determinación de Agua Subterránea en el Campus Universitario Mapasingue, Cantón Guayaquil, Provincia de Guayas, Ecuador*, Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Guayaquil. Ecuador.
- Sociedad Geográfica de Lima, 2011. Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico. *Balance Hídrico Superficial* , pp. 20-37. Lima. Perú.
- Toalombo, M., 2016. *Exploración de aguas subterráneas en Cadeate para el abastecimiento de la Comunidad..* Guayaquil. Ecuador.
- Villón, M., 2002. *Hidrología. Cartago: Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica..* Costa Rica.
- Werner, J., 1996. *Introducción a la Hidrogeología*. Linares - Nuevo León. México.
- Wolf, T., 1892. *Geografía y Geología del Ecuador*. Leizip. Alemania.

ANEXOS

Guayaquil, 06 de noviembre de 2018

Ing.
Raúl Mejía
Director del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
Ciudad.

De mi consideración:

Por medio de la presente me permito expresar un cordial saludo de parte de Diego Dumes Mendoza, con cédula número 0931485627, egresado de la carrera de Ingeniería Geológica de la Universidad de Guayaquil.

Me dirijo a usted de la manera más comedida y respetuosa, solicitando me brinde la información hidrometeorológica del año **2016, 2017 y 2018** obtenidos en la estación **M1095 INGENIO AZTRA (LA TRONCAL)** o a su vez estaciones cercanas al Cantón La Troncal – Provincia de Cañar. Dicha información valiosa para el desarrollo de mi proyecto de titulación.

Esperando su pronta y oportuna respuesta le extiendo mis agradecimientos y congratulaciones.

Atentamente:



Diego Dumes Mendoza
Celular: 0999424471
Mail: dumesdiego@gmail.com

RECIBIDO

FECHA... 6 de noviembre de 2018.

FIRMA... 

Anexo 1. Oficio de solicitud de información climatológica

TEMPERATURAS MINIMAS – MEDIAS Y MAXIMAS PERIODO 2005 – 2010

AÑO	2005			2006			2007			2008			2009			2010		
	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX
ENE	23.1	27.45	31.8	22.5	26.4	30.3	23	26.35	29.7	21.8	24.65	27.5	22.3	25.75	29.2	23	26.4	29.8
FEB	22.9	26.2	29.5	22.9	26.4	29.9	23.3	27.1	30.9	22.3	26	29.7	22.5	26.05	29.6	23.5	26.9	30.3
MAR	22.9	26.9	30.9	23.2	27.1	31	22.9	26.9	30.9	22.6	26.65	30.7	22.7	26.5	30.3	23.6	27.2	30.8
ABR	23.9	27.6	31.3	22.9	26.8	30.7	23.3	27.25	31.2	22.9	27.05	31.2	23.1	27.3	31.5	23.3	27.35	31.4
MAY	22.4	26.1	29.8	22.3	26.15	30	22.8	26.3	29.8	22.1	25.45	28.8	22.7	26.6	30.5	21.9	26.1	30.3
JUN	20.9	24.45	28	21.2	24.75	28.3	21.6	24.9	28.2	21.6	24.8	28	21.7	25.15	28.6	21.2	24.9	28.6
JUL	20.5	24.95	29.4	20.4	23.8	27.2	20.7	24.85	29	21.4	24.6	27.8	21.3	24.85	28.4	20.6	24.3	28
AGO	20.2	24.6	29	20.9	24.85	28.8	20	23.9	27.8	21	24.3	27.6	21.1	24.9	28.7	20.7	24.4	28.1
SEP	20.1	24.35	28.6	20.9	24.85	28.8	20.1	24.55	29	21	24.65	28.3	20.5	24.85	29.2	20.5	24.45	28.4
OCT	20	23.3	26.6	21.2	25.4	29.6	20	23.55	27.1	20.5	23.9	27.3	20.6	24.5	28.4	20.1	24.15	28.2
NOV	20.6	24.35	28.1	21.4	24.75	28.1	20.5	24.2	27.9	20.7	24.35	28	21.1	24.9	28.7	20.6	24.2	27.8
DIC	21.4	25.15	28.9	22.5	26.45	30.4	21	24.95	28.9	21.4	25.3	29.2	22.4	25.95	29.5	22	24.95	27.9
SUMA	258.9	305.4	351.9	262.3	307.7	353.1	259.2	304.8	350.4	259.3	301.7	344.1	262	307.3	352.6	261	305.3	349.6
MEDIA	21.575	25.45	29.325	21.8583	25.6417	29.425	21.6	25.4	29.2	21.6083	25.1417	28.675	21.8333	25.6083	29.3833	21.75	25.4417	29.1333

Anexo 2. Registro de Temperatura 2005 - 2010 La Troncal

TEMPERATURAS MINIMAS – MEDIAS Y MAXIMAS PERIODO 2011 – 2015

AÑO	2011			2012			2013			2014			2015		
	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX
ENE	22.3	25.8	29.3	22.2	25.45	28.7	22.6	25.8	29	22.7	25.95	29.2	22.8	26.35	29.9
FEB	22.9	26.4	29.9	22.6	26.15	29.7	22.7	26.3	29.9	22.5	26	29.5	23	26.9	30.8
MAR	23	27.7	32.4	23.1	27.2	31.3	23.5	26.95	30.4	23	27.35	31.7	23.5	27.5	31.5
ABR	22.6	27.05	31.5	23.5	27.55	31.6	23	26.9	30.8	23.5	26.75	30	23.7	27.7	31.7
MAY	22.8	26.7	30.6	23.2	26.95	30.7	21.9	25.5	29.1	23.2	26.5	29.8	23.9	27.9	31.9
JUN	22.4	25.9	29.4	22.9	26.55	30.2	21.3	24.65	28	23.1	26.6	30.1	23.2	27.05	30.9
JUL	21.8	25.2	28.6	21.6	25.4	29.2	20.3	23.7	27.1	22	25.85	29.7	22.8	26.7	30.6
AGO	20.9	24.55	28.2	20.6	24.5	28.4	20.2	24.3	28.4	21.3	25	28.7	21.8	25.55	29.3
SEP	20.5	24.95	29.4	20.9	24.95	29	20.5	25.1	29.7	21	24.9	28.8	22.3	26.5	30.7
OCT	20.1	24.75	29.4	20.7	24.75	28.8	20.8	24.6	28.4	21.3	24.75	28.2	22.2	25.75	29.3
NOV	20.6	24.2	27.8	21	25	29	21.1	24.9	28.7	21.4	25.4	29.4	22.6	26.15	29.7
DIC	22	26.35	30.7	22.2	26.35	30.5	21.8	26.25	30.7	22.3	26.4	30.5	24	27.7	31.4
SUMA	261.9	309.55	357.2	264.5	310.8	357.1	259.7	304.95	350.2	267.3	311.45	355.6	275.8	321.75	367.7
MEDIA	25.7958	29.7667	22.0417	25.9	29.7583	21.6417	25.4125	29.1833	22.275	25.9542	29.6333	22.9833	26.8125	30.6417	30.64

Anexo 3. Registro de Temperatura 2011 - 2015 La Troncal

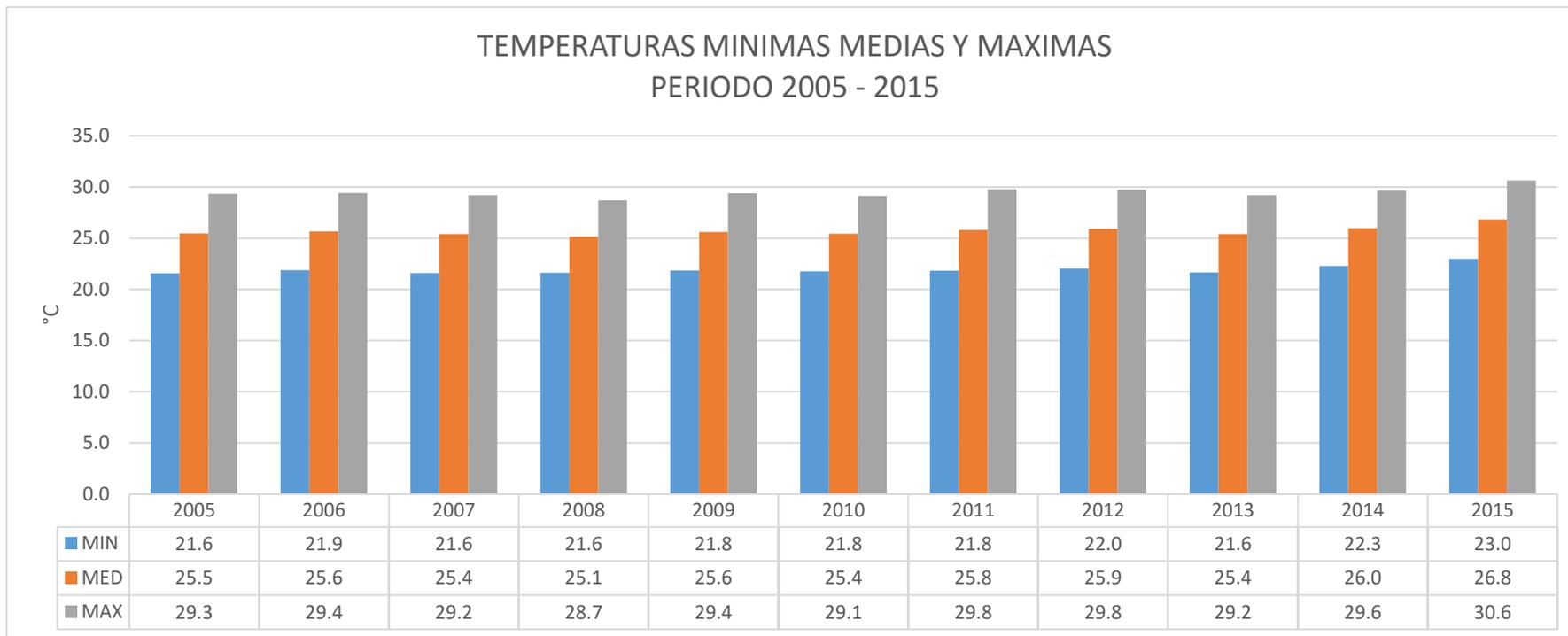


Figura 50. Gráficos de barras de temperaturas, periodo 2005 - 2015

PRECIPITACIÓN

Tabla 34. Tabla de precipitaciones, periodo 2005 - 2015

2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
85.3	255.5	263.1	837.8	531.2	324	236.6	603.9	327	362.1	295.4
142.5	546	288.6	625.5	496.9	466.3	465	568.5	458	494.6	540.1
263.9	467.8	426.8	749	448.9	557.6	224.7	531.3	375.8	243.4	351.2
133.4	132.2	207.5	479.3	146.1	603.6	687.7	619.9	-	123.5	308.6
4.5	93.3	70.2	62.4	86.2	205.9	24.7	372.4	33.7	342.4	371.2
5.3	7.3	19.3	31.4	16.1	18.1	16.6	20	11.1	32.1	140.6
3.7	7.3	5.6	20.6	4.6	13.3	27.6	7.9	4	14.2	67.9
5.7	9	8.7	21.1	7.8	4.9	5.3	1.8	-	12.6	8.9
8.9	14.3	8.7	27.2	11.2	13.7	2.3	5.3	2.2	13.8	13.7
16.1	30.1	15.5	23.7	13.9	15.7	7.3	18.4	17.9	33.4	23.7
14.3	64.3	13.3	9.2	14.1	18.6	17.5	15	20.6	16.3	14.1
39.5	-	33.2	30	98.1	147.7	20.4	18.6	25.1	37.1	34.2
60.3	256.1	113.4	243.1	156.3	199.1	144.6	231.9	115.9	143.8	180.8

