



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“APLICACIÓN DE MÉTODO GEOFÍSICO PARA DELIMITACIÓN
DE ACUIFEROS EN LA COMUNA DE TUGADUAJA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

CUESTA PITA KEILY BRIGGITY
VERA PINELA JOSÉ GUILLERMO

TUTOR:

Ing. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR PhD.

La Libertad - Ecuador

2024

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA

ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

**“APLICACIÓN DE MÉTODO GEOFÍSICO PARA
DELIMITACIÓN DE ACUIFEROS EN LA COMUNA DE
TUGADUAJA”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

CUESTA PITA KEILY BRIGGITY

VERA PINELA JOSÉ GUILLERMO


TUTOR:


Ing. LUCRECIA MORENO ALCÍVAR PhD.

La Libertad - Ecuador

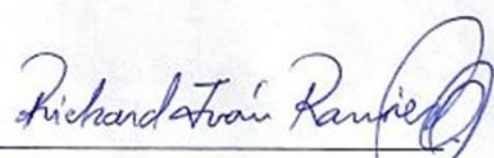
2024

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 
Ing. Jonny Villao Borbor, Msc.
DIRECTOR DE CARRERA E.

f. 
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, PhD.
DOCENTE TUTOR

f. 
Ing. Néstor Orrala Vera, MSc.
DOCENTE ESPECIALISTA

f. 
Ing. Richard Ramírez Palma, Mg.
DOCENTE UIC

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en cada paso de esta etapa académica, por darme la fuerza y conocimiento. Gracias por ser mi fuente de sabiduría y entendimiento en este logro académico.

A Wilson Cuesta, mi padre esta tesis es una contribución a tu influencia en mi educación. Tu amor y consejos han sido fundamentales en esta etapa que compartiste conmigo, que has sido mi ejemplo de superación y constancia, por cada sacrificio que hiciste para mi desarrollo académico es invaluable; aunque no estes físicamente conmigo este éxito académico es un reflejo de tu amor y guía. Este logro también es tuyo.

A Marjorie Pita, mi madre que ha sido apoyo para seguir de pie en los momentos difíciles que he pasado, tus palabras de aliento han sido mi fuente inagotable de fortaleza. Mi éxito académico es un reflejo de tu inquebrantable dedicación, mi guía en esta vida para seguir avanzando este logro también lleva en tu nombre.

A mis hermanos Wilson y Evelyn, por encaminarme y motivarme a no rendirme; a mis sobrinos Ashley, Liam y Gael que son ese impulso para ser mejor cada día y ser ese ejemplo para ustedes.

CUESTA PITA KEILY BRIGGITY

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y darme la fortaleza necesaria para alcanzar cada uno de mis sueños. Sin tu luz, este logro no habría sido posible.

A mis padres, Segundo Vera y Valeria Pinela, quienes con su amor incondicional y sacrificios infinitos me han brindado las herramientas necesarias para llegar hasta aquí. Gracias por creer en mí y apoyarme en cada paso de este camino.

A mis amigos, quienes han sido mi segunda familia. Gracias por los momentos de alegría y por estar a mi lado en los momentos difíciles. Su compañía ha hecho este viaje mucho más especial.

Finalmente, a todas las personas que de alguna manera han contribuido a mi formación y crecimiento. Este logro no es solo mío, sino de todos ustedes.


VERA PINELA JOSÉ GUILLERMO

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“APLICACIÓN DE MÉTODO GEOFÍSICO PARA DELIMITACIÓN DE ACUIFEROS EN LA COMUNA DE TUGADUAJA”**, elaborado por **CUESTA PITA KEILY BRIGGITTY Y VERA PINELA JOSÉ GUILLERMO** estudiantes egresados de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente Tesis, se encuentra con un 0% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto, reporte de similitud.

Atentamente:

f. 

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar PhD

C.I. 0911164127

DOCENTE TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

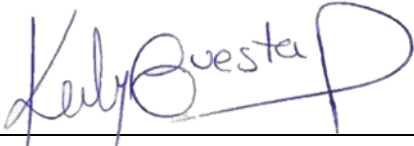
Nosotros, **CUESTA PITA KEILY BRIGGITTY** y **VERA PINELA JOSÉ GUILHERMO** declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“APLICACIÓN DE MÉTODO GEOFÍSICO PARA DELIMITACIÓN DE ACUIFEROS EN LA COMUNA DE TUGADUAJA”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Ingeniería Civil, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente a nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedemos los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,

f. 

Vera Pinela José Guillermo

f. 

Cuesta Pita Keily Briggitty

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

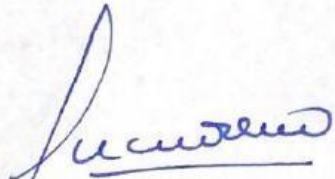
Ing. Lucrecia Moreno Alcívar PhD.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “**APLICACIÓN DE MÉTODO GEOFÍSICO PARA DELIMITACIÓN DE ACUIFEROS EN LA COMUNA DE TUGADUAJA**”, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, elaborado por la Srta. **CUESTA PITA KEILY BRIGGITY** y el Sr. **VERA PINELA JOSÉ GUILLERMO**, egresado de la carrera de Ingeniería Civil, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado la presente Tesis de Grado, la apruebo en todas sus partes.

FIRMA DEL TUTOR

f. 

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar PhD
C.I. 0911164127
DOCENTE TUTOR

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
Celular: 0962183538
Correo: bettyruthgomez@educacion.gob.ec

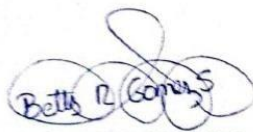
CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **BETTY RUTH GÓMEZ SUÁREZ**, en mi calidad de **LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, denominado "**APLICACIÓN DE MÉTODO GEOFÍSICO PARA DELIMITACIÓN DE ACUIFEROS EN LA COMUNA DE TUGADUAJA**", de los estudiantes: **VERA PINELA JOSÉ GUILLERMO** y **CUESTA PITA KEILY BRIGGITT**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

En cuanto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a los interesados hacer uso del presente como estime conveniente.

Santa Elena, 21 de Junio del 2024



Lcda. Betty Ruth Gómez Suárez, Mgtr.
CI. 0915036529
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
MAGÍSTER EN DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MODELOS EDUCATIVOS
N° DE REGISTRO DE SENEYCT 1050-2014-86052892

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por haber dado sabiduría e inteligente, que con su misericordia ha hecho posible una de mis metas. A mi padre, Wilson Cuesta por haber forjado una mujer que no se rinde por más difícil que se ponga el camino, su ejemplo de perseverancia que fue mi impulso para no decaer en este proceso, por sus consejos y haberme enseñado a que con esfuerzo se logra todo, le agradezco por su invaluable sacrificio para poder seguirme superando; este trabajo no habría sido posible sin su amor incondicional y su fe infinita en mi potencial, le mando un beso al cielo y este logro lleva su nombre. A mi madre, Marjorie Pita que su paciencia, amor y apoyo incondicional han sido la fuerza motriz detrás de cada paso que he dado, eres la luz que ha iluminado mi camino durante estos años de estudio; este logro es el reflejo de tu presencia constante que me impulsan a ser mejor cada día, gracias, mamá por ser mi roca y mi inspiración este logro también es tuyo. Agradezco incondicionalmente el apoyo que me brindaron mis hermanos Wilson y Evelyn, por cuidarme y corregirme cuando fue necesario y por último agradezco a mis sobrinos Ashley, Liam y Gael que son mi mayor fuente de motivación para seguirme superando en cada etapa y vean en mi ese ejemplo. Los amo.

De igual manera agradezco inmensamente a mi docente tutora, Ing. Lucrecia Moreno que su profundo conocimiento en el campo y su pasión por la investigación han sido una inspiración para mí a lo largo de este proceso de titulación. A los docentes que tuve a lo largo de esta vida universitaria que también formaron parte fundamental y que con sus enseñanzas han logrado forjar una excelente profesional.

Finalmente agradecer a Jorge Bolaños, quien ha sido sin duda mi motivación, mi pilar y mi apoyo incondicional en este proceso académico, es mi fuente de motivación sin duda su compañía y amor represento un notable desarrollo personal en mi vida, por lo cual quiero expresar mi admiración y anhelo de seguir creciendo sentimental y profesionalmente a su lado.

KEILY CUESTA PITA.

AGRADECIMIENTOS

Al culminar este importante capítulo de mi vida, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que, de una manera u otra, han sido fundamentales en la realización de esta tesis y en mi desarrollo académico y personal.

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la salud, la fuerza y la sabiduría para superar los desafíos que encontré en el camino. Sin su guía, este logro no habría sido posible. A mis padres, Segundo Vera y Valeria Pinela, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo incondicional. Gracias por sus innumerables sacrificios, por creer en mí cuando yo dudaba, y por enseñarme que con esfuerzo y dedicación todo es posible. Su amor y fe en mí han sido el pilar sobre el cual he construido mis sueños. A mis hermanos, Andrés, María y Allan, por su constante apoyo y por ser mis compañeros de vida. Gracias por estar siempre ahí, celebrando mis éxitos y alentándome en mis fracasos. Su amor y amistad son invaluable para mí. A mis compañeros de clase y mis amigos, por su sincera amistad y apoyo incondicional. Gracias por los momentos de alegría y por estar ahí en los momentos de dificultad. Su compañerismo ha sido esencial para mantenerme motivado y enfocado. Juntos hemos superado numerosos desafíos y hemos crecido tanto personal como profesionalmente.

A mis docentes y mentores, especialmente a la Ingeniera Lucrecia Moreno Alcívar, por su invaluable guía y dedicación. Sus enseñanzas han sido fundamentales para mi formación académica y profesional. Gracias por su paciencia, por compartir su vasto conocimiento y por motivarme a dar siempre lo mejor de mí.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una manera u otra, han contribuido a mi crecimiento personal y profesional. Este logro es un reflejo del esfuerzo colectivo y del apoyo de todos ustedes.

JOSÉ VERA PINELA.

CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	vi
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	vii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
CONTENIDO	xi
LISTA DE TABLAS	xv
LISTA DE FIGURAS	xvi
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	20
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	23
1.2. ANTECEDENTES	26
1.3. HIPÓTESIS	29
1.3.1. Hipótesis General.....	29
1.3.2. Hipótesis específicas.....	29
1.4. OBJETIVOS	29
1.4.1. Objetivo General.....	29
1.4.2. Objetivos específicos	30
1.5. ALCANCE	30
1.6. VARIABLES.....	30
1.6.1. Variables independientes	30
1.6.2. Variables Dependientes	30
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	31
2.1. ACUIFEROS	31

2.2.	CUENCA HIDROGRÁFICA	31
2.2.1.	Características físicas de una cuenca hidrográfica.....	32
2.2.2.	Área de la cuenca.....	32
2.2.3.	Perímetro de la cuenca.....	32
2.2.4.	Forma de la cuenca	32
2.2.5.	Orden de la red hídrica.....	33
2.3.	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG).....	34
2.3.1.	Aplicaciones SIG en estudios de aguas subterráneas	34
2.4.	MÉTODOS GEOELÉCTRICOS	35
2.4.1.	Resistividad Eléctrica.....	35
2.4.2.	Medición de la resistividad eléctrica.....	36
2.4.3.	Variación de la resistividad eléctrica según las características del suelo.	37
2.4.4.	Interpretación de la variación de resistividad eléctrica.....	40
2.4.5.	Resistividad de algunas formaciones geológicas.....	41
2.4.6.	Ventajas y Desventajas de la resistividad eléctrica.....	44
2.5.	SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV).....	45
2.5.1.	Método Schlumberger.....	45
CAPITULO III: METODOLOGÍA		47
3.1.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	47
3.1.1.	Tipo de investigación.....	47
3.1.2.	Nivel de investigación	48
3.2.	MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	48
3.2.1.	Método	48
3.2.2.	Enfoque.....	49
3.2.3.	Diseño de la investigación	50
3.3.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO.....	51
3.3.1.	Población	51

3.3.2.	Muestra	51
3.3.3.	Muestreo	52
3.4.	UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO	53
3.5.	METODOLOGÍA DEL OE.1: DELIMITAR LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN LA COMUNA TUGADUAJA MEDIANTE SOFTWARE DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA CONCEPTUALIZACIÓN HIDROGEOMORFOLOGIA.....	55
3.5.1.	Obtención de datos MDE y preprocesamiento	57
3.5.2.	Dirección de flujo	58
3.5.3.	Acumulación de flujo y cálculo del umbral	59
3.5.4.	Red de Drenaje.....	60
3.5.5.	Generación de cuencas.....	60
3.5.6.	Codificación y Vectorización	61
3.6.	METODOLOGÍA DEL OE.2: IDENTIFICAR ACUÍFEROS MEDIANTE EL MÉTODO DE SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL, PARA LA CORRECTA UBICACIÓN DE DATA QUE SERVIRÁ EN LA GESTIÓN Y SOSTENIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO.....	62
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		63
4.1.	RESULTADOS DEL O.E.1: DELIMITAR LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN LA COMUNA TUGADUAJA MEDIANTE SOFTWARE DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA CONCEPTUALIZACIÓN HIDROGEOMORFOLOGIA.....	63
4.1.1.	Obtención de datos SRTM y preprocesamiento	63
4.1.2.	Dirección de flujo	64
4.1.3.	Acumulación de flujo y cálculo del umbral	65
4.1.4.	Red de drenaje	66
4.1.5.	Generación de cuencas.....	66
4.1.6.	Vectorización y codificación	67
4.2.	RESULTADOS DEL O.E.1: IDENTIFICAR ACUÍFEROS MEDIANTE EL MÉTODO DE SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL, PARA LA	

CORRECTA UBICACIÓN DE DATA QUE SERVIRÁ EN LA GESTIÓN Y SOSTENIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO	69
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
5.1. CONCLUSIÓN	93
5.2. RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA	96
ANEXOS	106

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: <i>Tipo de orden de corriente</i>	33
Tabla 2: <i>Resistividades de diferentes materiales geológicos</i>	41
Tabla 3: <i>Rangos de variación de resistividad de diferentes tipos de rocas y aguas</i>	42
Tabla 4: <i>Puntos de muestreo Subcuenca 1</i>	53
Tabla 5: <i>Puntos de muestreo Subcuenca 2</i>	54
Tabla 6: <i>Puntos de muestreo Subcuenca 3</i>	55
Tabla 7: <i>Coordenadas de localización</i>	56
Tabla 8: <i>Atributos de las unidades hidrográficas delimitadas</i>	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: <i>Ordenes de corrientes según Strahler</i>	34
Figura 2: <i>Valores de resistividad de acuerdo con la formación geológica</i>	43
Figura 3: <i>Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales</i>	43
Figura 4: <i>Flujo de corriente en el suelo al momento de realizar el sondeo eléctrico vertical</i>	45
Figura 5: <i>Arreglo de electrodos del método Schlumberger</i>	46
Figura 6: <i>Ubicación de los sondeos realizados en la subcuenca 1</i>	54
Figura 7: <i>Ubicación de los sondeos realizados en la subcuenca 2</i>	54
Figura 8: <i>Ubicación de sondeos realizados en la subcuenca 3</i>	55
Figura 9: <i>Demarcación Hidrográfica del Guayas</i>	56
Figura 10: <i>Diagrama de la metodología</i>	57
Figura 11: <i>Procedimiento de cálculo de dirección de flujo</i>	58
Figura 12: <i>Procedimiento de cálculo de acumulación de flujo</i>	59
Figura 13: <i>El sistema de Codificación Pfafstetter para la identificación de cuencas hidrográficas</i>	61
Figura 14: <i>Resultado del procesamiento y agrupación de datos</i>	64
Figura 15: <i>Dirección de flujo</i>	65
Figura 16: <i>Acumulación de flujo y cálculo del umbral</i>	65
Figura 17: <i>Mapa de red de drenaje</i>	66
Figura 18: <i>Mapa de generación de cuenca</i>	67
Figura 19: <i>Mapa de unidades hidrográficas delimitadas</i>	67
Figura 20: <i>Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos</i> . 70	
Figura 21: <i>Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos</i> . 71	
Figura 22: <i>Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos</i> . 72	
Figura 23: <i>Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos</i> . 74	
Figura 24: <i>Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos</i> . 75	
Figura 25: <i>Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos</i> . 76	

Figura 26: <i>Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos.</i>	77
Figura 27: <i>Estratigrafía de la Subcuenca 1</i>	79
Figura 28: <i>Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos.</i>	80
Figura 29: <i>Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos.</i>	81
Figura 30: <i>Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos.</i>	83
Figura 31: <i>Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos.</i>	84
Figura 32: <i>Estratigrafía de la Subcuenca 2</i>	85
Figura 33: <i>Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos.</i>	86
Figura 34: <i>Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos.</i>	87
Figura 35: <i>Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos.</i>	89
Figura 36: <i>Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos.</i>	90
Figura 37: <i>Estratigrafía de la Subcuenca 3</i>	92

“APLICACIÓN DE MÉTODO GEOFÍSICO PARA DELIMITACIÓN DE ACUIFEROS EN LA COMUNA DE TUGADUAJA”

Autor: Cuesta Pita Keily Briggitty
Vera Pinela José Guillermo.

Tutor: PhD. Lucrecia Moreno Alcívar

RESUMEN

Los métodos geofísicos es una herramienta valiosa para este propósito, ya que permiten identificar y cartografiar las características geológicas del subsuelo y las formaciones acuáticas. Estos métodos se basan en la medición e interpretación de diversas propiedades físicas, como la resistividad eléctrica, la susceptibilidad magnética y las ondas sísmicas. Este trabajo de investigación tiene como objetivo identificar acuíferos mediante el sondeo eléctrico vertical (SEV) con el método de electrodos Schlumberger, en la provincia de Santa Elena, comuna Tugaduaja. El enfoque de este trabajo consistió en la obtención resistividades eléctricas empleando el método de sondeo eléctrico vertical (SEV) con el arreglo de electrodos Schlumberger. Los resultados expuestos en cada uno de los sondeos que se realizaron junto a sus estratigrafías de suelo brindaron resultados donde se identificó que en la comuna Tugaduaja revela una compleja estructura del subsuelo con variaciones significativas en la permeabilidad y capacidad de almacenamiento de agua. También, se podría discutir que en ciertas subcuencas de estudio se obtuvo dispersión de los datos obtenidos y se sugiere que investigaciones a futuro realicen múltiples sondeos con el fin de reducir los errores y evitar la variabilidad de los datos.

Palabras clave: *Sondeo eléctrico vertical, sistema de información geográfica, modelos digitales de elevación, comuna Tugaduaja, resistividad eléctrica.*

“APPLICATION OF GEOPHYSICAL METHODS FOR AQUIFER DELIMITATION IN THE TUGADUAJA COMMUNITY”

Autor: Cuesta Pita Keily Briggitty
Vera Pinela José Guillermo.

Tutor: PhD. Lucrecia Moreno Alcívar

ABSTRACT

Geophysical methods are invaluable for identifying and mapping subsurface geological features and water-bearing formations. These methods rely on measuring and interpreting various physical properties such as electrical resistivity, magnetic susceptibility, and seismic waves. This research aims to identify aquifers using vertical electrical sounding (VES) with the Schlumberger electrode method in the province of Santa Elena, Tugaduaja commune. The focus of this study involved obtaining electrical resistivities through the vertical electrical sounding (VES) method with the Schlumberger electrode configuration. The results from each sounding, along with their soil stratigraphies, revealed a complex subsurface structure in the Tugaduaja commune, with significant variations in permeability and water storage capacity. Furthermore, in certain study sub-basins, data dispersion was observed, suggesting that future investigations should conduct multiple soundings to reduce errors and avoid data variability.

KEYWORDS: *Vertical Electrical Sounding, Geographic Information System, Digital Elevation Models, Tugaduaja commune, electrical resistivity.*

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Comprender la dinámica de los recursos hídricos es vital para monitorear su capacidad de resiliencia y como inciden en el desarrollo de las características físicas y ecológica de su habidad (Dijk et al., 2024), la delimitación precisa de los acuíferos es crucial para la gestión sostenible del agua y para garantizar el acceso al agua potable (Betancur-Vargas et al., 2017).

Facilitar el acceso a las aguas subterráneas es muy importante para brindar agua a las personas que viven en el campo en los países pobres (Carter, 2015; Howard et al., 2016), y es una gran manera para que el gobierno alcance las metas del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 (Kalin et al., 2019). Asuntos globales y acciones humanas, como la tala de árboles y el uso excesivo de tierra, están alterando los ríos y las fuentes de agua subterránea, lo que es perjudicial para las personas y la naturaleza (Buytaert et al., 2006; González-Zeas et al., 2019), la falta de agua para las personas y el medio ambiente es evidente (Bradley et al., 2006; Buytaert et al., 2010). En el pasado, los ríos y arroyos han sido la principal fuente de agua dulce para las ciudades situadas río abajo. (Alcalá et al., 2016; Minga-León et al., 2018). Es difícil ver lo que sucede bajo tierra, por lo que debemos vigilarlo con herramientas como mapas y modelos para asegurarnos de que lo estamos cuidando (Brands et al., 2017).

Los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas cartográficas útiles que pueden resultar beneficiosas para realizar análisis geoespaciales en muchos campos de investigación. Las herramientas SIG pueden resolver eficientemente problemas que necesitan integrar datos referenciados espacialmente (Prabhu & Venkateswaran, 2015). Varios estudios han adoptado herramientas SIG en análisis geoespaciales relacionados con la evaluación de la calidad del agua subterránea (Adimalla & Taloor, 2020; Nas & Berkay, 2010), análisis de peligros y riesgos de contaminación de las aguas subterráneas (Baalousha, 2011; Merchant, n.d.), y potencial de recarga artificial. En algunos estudios, los investigadores

(Jaiswal et al., 2003; Tiwari, 2016; Vidhya et al., n.d.) han aprovechado la integración de herramientas de teledetección y SIG para realizar análisis relacionados con las aguas subterráneas.

Los métodos geofísicos son una herramienta valiosa para este propósito, ya que permiten identificar y cartografiar las características geológicas del subsuelo y las formaciones acuáticas. Estos métodos se basan en la medición e interpretación de diversas propiedades físicas, como la resistividad eléctrica, la susceptibilidad magnética y las ondas sísmicas.

Mediante el uso de métodos geofísicos, es posible estimar las propiedades de los acuíferos, como la permeabilidad y la porosidad, que son esenciales para comprender los recursos hídricos potenciales y optimizar su uso (Nwankwoala et al., 2022). Los métodos geofísicos tienen la ventaja de ser no invasivos, rentables y relativamente rápidos de realizar en comparación con los métodos de perforación tradicionales. Además, los métodos geofísicos proporcionan una imagen de la estructura del subsuelo, lo que permite comprender la distribución espacial y la conectividad de los acuíferos (Simões et al., 2022). Dado que cada método geofísico tiene sus propias ventajas e inconvenientes, es cada vez más común utilizar un enfoque multigeofísico en los estudios de delimitación de acuíferos. En la Comuna de Tugaduaaja, la delimitación precisa de los acuíferos es crucial para la gestión sostenible del agua y para garantizar el acceso al agua potable

Los métodos geoeléctricos se utilizan ampliamente para la exploración de recursos de agua subterránea, ya que las propiedades geoeléctricas están relacionadas con las propiedades litológicas, químicas y con la porosidad del subsuelo (Aliou et al., 2022; Lubang et al., 2023). El método de resistividad geoeléctrica es un método rentable y de fácil acceso para evaluar el agua subterránea antes de invertir en perforación (Bhatnagar et al., 2022; Nagaiah et al., 2022). La resistividad medida no sólo proporciona la presencia de un acuífero, sino que también proporciona información sobre la calidad del agua subterránea. (Islami et al., 2020). El sondeo eléctrico vertical (VES) que utiliza el principio de resistividad proporciona resultados confiables sobre el agua subterránea, la contaminación y las condiciones

litológicas basándose en el contraste de resistividad (Akinrinade & Adesina, 2016; Chibuike et al., 2023).

En consecuencia, la integración de técnicas geofísicas en los estudios de delimitación de acuíferos ha demostrado ser eficaz para comprender el sistema acuífero. En la Comuna de Tugaduaja, donde la gestión sostenible de los recursos hídricos es de suma importancia, la utilización de estos métodos puede contribuir significativamente a la delimitación de los parámetros del acuífero. La combinación de la tomografía de resistividad eléctrica, el radar de penetración terrestre y la refracción sísmica proporciona información valiosa sobre la distribución espacial y la conectividad de los acuíferos, lo que en última instancia ayuda a evaluar los recursos hídricos potenciales y optimizar su utilización.

La combinación de métodos geofísicos proporciona información complementaria que puede conducir a una delimitación más precisa de los acuíferos en Tugaduaja. Mediante la incorporación de información geológica e hidrogeológica junto con datos geofísicos, se puede desarrollar un modelo conceptual robusto del acuífero (Wang & Bright, 2004). Este modelo puede ayudar a tomar decisiones informadas sobre la gestión de los recursos hídricos, como identificar posibles áreas de recarga, determinar ubicaciones óptimas para la perforación de pozos y evaluar los riesgos potenciales de contaminación de los acuíferos. Además, los métodos geofísicos también pueden ayudar a comprender la dinámica y el comportamiento de los acuíferos, como los patrones de flujo de agua subterránea y la interacción entre las aguas superficiales y subterráneas (Bangalore Nagaraj et al., 2021). Al utilizar el modelo acuífero tridimensional construido a partir de datos geofísicos, las partes interesadas pueden tener una mejor comprensión de la distribución y disponibilidad de agua potable limpia en la Comuna de Tugaduaja, lo que permite una gestión más eficiente y sostenible de los recursos hídricos en la región. Los métodos geofísicos han demostrado ser herramientas valiosas para delimitar acuíferos y evaluar sus propiedades (Zhu et al., 2016).

Mediante la utilización de métodos geofísicos, como la tomografía de resistividad eléctrica y el radar de penetración terrestre, se puede obtener una comprensión más detallada de los acuíferos de Tugaduaja. Esto permitirá una mejor gestión de los recursos hídricos, incluida la identificación de posibles áreas de recarga, la

optimización de las ubicaciones de perforación de pozos y la evaluación de los riesgos de contaminación de los acuíferos.

Este conocimiento es esencial para tomar decisiones informadas e implementar prácticas de gestión sostenible de los recursos hídricos en la región. Además, el uso de métodos geofísicos permite el mapeo indirecto de formaciones y estructuras rocosas subterráneas, lo que ayuda a identificar posibles formaciones que contienen agua (A et al., 2022). Además, los métodos geofísicos pueden proporcionar información sobre el potencial de transporte de solutos en los acuíferos, lo que permite evaluar el movimiento de contaminantes y desarrollar estrategias de remediación apropiadas si es necesario.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La identificación y caracterización de los acuíferos en la comuna de Tugaduaja son cruciales para la gestión sostenible de los recursos hídricos (Yabre et al., 2023).

Mediante la aplicación de métodos geofísicos, como las imágenes de resistividad eléctrica o el radar de penetración terrestre, se puede determinar la ubicación y la profundidad de los acuíferos. Además, estos métodos pueden proporcionar información valiosa sobre las propiedades hidrogeológicas de los acuíferos, como las conductividades hidráulicas y las porosidades. Esta información es esencial para optimizar las estrategias de gestión de las aguas subterráneas, prevenir la sobreexplotación y garantizar la disponibilidad a largo plazo de los recursos hídricos para la comunidad de Tugaduaja. Además, los estudios geofísicos también pueden ayudar a identificar posibles fuentes de contaminación o intrusión de agua de mar, lo cual es particularmente importante en áreas costeras como Tugaduaja (Syafarini et al., 2022).

Sin embargo, es importante tener en cuenta que la interpretación de datos geofísicos en acuíferos complejos, como los que se encuentran en la comuna de Tugaduaja, puede ser difícil debido a la complejidad geológica y las condiciones hidrogeológicas. Por lo tanto, es necesario un conocimiento profundo del contexto geológico e hidrogeológico local para interpretar con precisión los datos geofísicos. Además, la participación de las comunidades locales y las partes interesadas en la planificación y ejecución de los estudios geofísicos es crucial para garantizar que se tengan en cuenta sus necesidades y preocupaciones (Dar et al., 2021).

La integración de los datos geofísicos con otra información hidrogeológica, como los datos litológicos de los pozos y el análisis de las pruebas de bombeo, puede mejorar aún más la comprensión y la caracterización de los acuíferos de Tugaduaja.

Por lo tanto, la aplicación de métodos geofísicos en la determinación de acuíferos en la comuna de Tugaduaja es crucial para la gestión sostenible de los recursos hídricos y la toma de decisiones informadas con respecto al uso y conservación de las aguas subterráneas.

La combinación de técnicas geofísicas puede proporcionar información valiosa sobre las propiedades hidrogeológicas de los acuíferos, especialmente en las regiones afectadas por la salinización del agua. Al determinar los parámetros geoeléctricos y las unidades acuíferas, así como evaluar su profundidad y extensión lateral, los estudios geofísicos contribuyen significativamente a la exploración y gestión sostenible de los embalses de agua subterránea.

En el contexto de la comuna de Tugaduaja, la heterogeneidad de la geología de la zona requiere un enfoque integral de las técnicas de prospección geofísica.

Este enfoque debe implicar el uso de al menos un método geofísico, como la prospección de resistividad, para delinear y cartografiar con precisión las zonas de potencial de agua subterránea. Los métodos geofísicos, cuando se combinan con otras herramientas como los estudios geológicos e hidrogeológicos, ofrecen una forma rentable y eficiente de identificar y cartografiar posibles zonas de agua subterránea en el área de estudio. Por lo tanto, la integración de geoeléctricos para analizar la composición del subsuelo y determinar un perfil estratigráfico puede ser un método indirecto valioso para cartografiar los recursos hídricos subterráneos de una región, proporcionando una alternativa a los costosos y lentos enfoques tradicionales (Dar et al., 2021). Al realizar un estudio de resistividad geofísica e integrar los datos con la información litológica de los pozos, la caracterización de los acuíferos y el mapeo de las zonas potenciales de agua subterránea se pueden lograr de una manera más confiable y eficiente (Anbazhagan & Jothibas, 2016).

En general, la aplicación de métodos geofísicos es esencial en la exploración, caracterización y mapeo de acuíferos (Bayewu et al., 2017) Estos métodos proporcionan información valiosa sobre las propiedades hidrogeológicas de los acuíferos, lo que ayuda a la gestión sostenible de los recursos hídricos y a la toma de decisiones informadas. Mediante el empleo de técnicas geofísicas, como el levantamiento de resistividad y la integración de los datos con otra información hidrogeológica, se puede lograr una comprensión más completa del potencial de los recursos hídricos subterráneos y su gestión sostenible en la comuna de Tugaduaja. Este enfoque integral de las técnicas de prospección geofísica permitirá una delimitación y cartografía más precisas de las zonas potenciales de aguas subterráneas en la comuna de Tugaduaja, lo que en última instancia conducirá a una exploración y gestión informadas y sostenibles de las aguas subterráneas en la zona. Mediante la utilización de métodos geofísicos, como el método de resistividad, junto con datos complementarios de litología de pozos y estudios hidrogeológicos, se puede obtener una evaluación más confiable y precisa de las características del acuífero y el potencial de agua subterránea (Anbazhagan & Jothibas, 2016).

Esta exploración se realiza de acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 6° y 11° de la Agenda 2030, donde (Naciones Unidas, 2018) plantea en su sexto objetivo “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”, cuya meta propone aumentar la eficiencia en el uso de los recursos hídricos en todos los ámbitos y garantizar la sostenibilidad en la extracción y suministro de agua dulce para abordar la escasez de agua y disminuir considerablemente la cantidad de personas afectadas por la escasez de agua y en su onceavo objetivo “Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles” donde se busca garantizar que todas las personas tengan acceso a viviendas y servicios básicos apropiados, seguros, asequibles.

El problema de investigación puede enmarcarse en la siguiente pregunta:
P.G. ¿Cómo caracterizamos la dinámica hidrogeológica de los acuíferos locales de la comuna Tugaduaja? de la cual se derivan dos preguntas específicas:
P.E.1: ¿Se podría definir las subcuencas hidrográficas con SIG existentes en la comuna Tugaduaja? y **P.E.2:** ¿Con el SEV se podría delimitar los acuíferos subterráneos en la comuna Tugaduaja?

1.2. ANTECEDENTES

Los antecedentes describen investigaciones y estudios realizados previamente, en el estudio del estado del arte, se recopila información de carácter internacional, nacional y local (García Ramírez, 2019, 2021).

A nivel internacional se cuenta con el trabajo de Abdullah et al., (2023) denominado “Investigating On-Site Energy Consumption Patterns Using Vertical Electrical Sounding (VES) and Geographic Information System (GIS) Techniques”, en el que se realizó mapas para los arreglos de pozos entubados que involucran una bomba centrífuga con motor eléctrico y una bomba centrífuga con motor diésel. En el caso de las turbinas, ambas disposiciones (turbina con motor eléctrico y turbina con motor diésel) se combinaron para formar un mapa por la disponibilidad de menos puntos de datos. El receptor GPS se utilizó para obtener la ubicación del sitio de muestreo mientras se realizaban sondeos eléctricos verticales (VES) para calcular la altura. Se utilizó la técnica de kriging ordinario para crear mapas de distribución espacial de todos los parámetros del acuífero. Los datos se transformaron logarítmicamente antes de emplear la técnica de interpolación kriging ordinaria para corresponder a los supuestos esenciales del kriging ordinario. El histograma y el gráfico QQ normal se crearon en el paquete de software SPSS 28.1.10 utilizando los datos transformados logarítmicamente para probar la normalidad de los datos y confirmar que se ajustaban a la distribución normal. Este estudio demostró que el análisis espacial resultó útil para decidir y recomendar los requisitos del sistema basándose en la auditoría de los conjuntos de pozos entubados existentes

En el trabajo de El Makrini et al., (2022) titulado “Vertical Electrical Sounding (VES) Technique to Map Potential Aquifers of the Guigou Plain (Middle Atlas, Morocco): Hydrogeological Implications”, se experimentó en una zona con una sobreexplotación de las aguas subterráneas debido al excesivo bombeo y al desarrollo de actividades agrícolas intensivas, lo que se traduce en una disminución continua de los niveles piezométricos. El procesamiento de los diagramas por el software WINSEV indicó la presencia de un nivel superficial eléctricamente resistente, atribuido a formaciones basálticas, de edad Cuaternaria, cuyos espesores alcanzan al menos 150 m al SO del área. Este nivel se superpone a un horizonte

moderadamente conductivo que, según la geología local, corresponde a alternancias de margas y calizas del Plioceno. La correlación de los modelos de interpretación VES permitió elaborar mapas temáticos y secciones geoelectricas que ilustran la extensión vertical y lateral del reservorio basáltico, así como su espesor, el cual generalmente disminuye de suroeste a noreste; sin embargo, las principales discontinuidades eléctricas también corresponden a fallas y fracturas, y muestran una dirección NE-SW subparalela a los accidentes mayores del Medio Atlas. Se generó un mapa de prospectividad del acuífero local, que coincide con las fallas regionales y se confirmó mediante la alineación de pozos de agua con muy buen flujo. Este estudio geofísico mediante sondeos eléctricos arrojó luz sobre la geometría y extensión del acuífero y abrió vías para extraer mayores conclusiones sobre su mapa de características físicas e hidrodinámicas.

También se cuenta con el trabajo de Leborgne et al., (2021) titulado “True 2-D Resistivity Imaging from Vertical Electrical Soundings to Support More Sustainable Rural Water Supply Borehole Siting in Malawi.”, en donde se había diseñado un método a de bajo costo, accesible para los países en desarrollo y eficiente. Permite a uno o varios operadores adquirir los múltiples sondeos eléctricos verticales (VES) necesarios que se invierten juntos en 2-D, para proporcionar una sección transversal real de la resistividad del subsuelo. La aplicación en cuatro sitios generó secciones transversales reales de resistividad del subsuelo hasta alrededor de 100 m de profundidad, relevantes para la investigación de recursos de agua subterránea. Se identificó una amplia gama de características (hidro)geológicas, incluyendo basamentos fracturados/ erosionados, domos de gneis, zonas de fallas bien desarrolladas y varios tipos de depósitos deltaicos. El rendimiento de las imágenes parece comparable al de la ERT (tomografía de resistividad eléctrica) de superficie 2-D que utiliza equipos más caros, a menudo inasequibles en los países en desarrollo. Sobre la base de las configuraciones del subsuelo determinadas y la conceptualización hidrogeológica realizada posteriormente, se podría evaluar el potencial del acuífero local, proporcionando así una base para la toma de decisiones para la futura ubicación de pozos en los sitios estudiados. La tecnología es muy superior a los VES 1-D convencionales, los perfiles electromagnéticos o los perfiles magnéticos que se utilizan actualmente para la localización de pozos en Malawi. La adopción de tecnología que

actualmente se está considerando a nivel nacional haría uso de la capacidad existente de VES y permitiría una selección mucho mejor de los recursos acuíferos, una ubicación más sostenible de los pozos y una mayor resiliencia futura de la infraestructura de suministro de agua rural de Malawi.

A nivel nacional se encontraron los siguientes trabajos de investigación relacionados con resistividad.

En el trabajo de Peñafiel et al., (2021), titulado “Usefulness of Compiled Geophysical Prospecting Surveys in Groundwater Research in the Metropolitan District of Quito in Northern Ecuador” se examinó la utilidad de estudios de geofísica existentes en el ámbito de aguas subterráneas en donde contaron con quince estudios promovidos por EPMAPS utilizaron técnicas eléctricas cercanas a la superficie (siete utilizaron tomografía de resistividad eléctrica y ocho utilizaron sondeos eléctricos verticales) para explorar formaciones sedimentarias y vulcano-sedimentarias del Holoceno y Pleistoceno en el rango de profundidad de prospección de 25 a 500 m, algunas de las cuales forman acuíferos poco profundos utilizados para el suministro de agua. Estos estudios han sido reinterpretados para definir la geometría de los acuíferos poco profundos. Sin embargo, no se han podido realizar estudios de prospección geofísica que exploren todo el espesor saturado de los acuíferos del Plioceno. Por lo que proponen estudios de prospección geofísica con mayor profundidad de penetración para cerrar esta brecha de investigación, que impide la evaluación precisa de la fracción de agua subterránea renovable de los acuíferos regionales en el Distrito Metropolitano de Quito que puede explotarse de manera sostenible.

Los autores Ortega Valarezo & Condolo Ramos, (2023) en su trabajo titulado “Analogía del Perfil Estratigráfico obtenidos por Métodos Geofísicos y Exploración con percusión y lavado en el proyecto UPSE” verifican la correlación de los resultados, se realiza una evaluación detallada del perfil estratigráfico del suelo utilizando métodos geotécnicos de ensayo SPT y geofísicos de sondeo eléctrico vertical (SEV) en los predios de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE). Utilizando la metodología de trabajo, se obtuvieron perfiles estratigráficos de suelo mediante ensayos SPT y resistividad eléctrica utilizando el método SEV y

el arreglo de electrodos Schlumberger. Los datos se correlacionaron para evaluar el uso de la resistividad eléctrica como herramienta adicional al ensayo SPT y para reducir los costos de maquinaria y transporte en los estudios de suelo. Los resultados indican que se identificó un solo perfil de suelo que demuestra la efectividad del método, ya que ambas estratigrafías de suelo proporcionaron resultados muy similares.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis General.

La delimitación los acuíferos existentes en la comuna de Tugaduaja mediante la aplicación de métodos geofísicos permitirá localizar sitios de interés para obras de captación.

1.3.2. Hipótesis específicas.

H.E.1. : La delimitación de las cuencas hidrográficas en la comuna Tugaduaja utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG)

H.E.2. : La identificación de acuíferos utilizando el método de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), permitirá identificar con precisión las zonas de recarga de acuíferos en la comuna Tugaduaja, proporcionando datos detallados sobre la distribución espacial y profundidad de estos reservorios subterráneos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General.

Delimitar los acuíferos existentes en la comuna de Tugaduaja mediante la aplicación de métodos geofísicos con el fin de localizar sitios de interés para obras de captación.

1.4.2. Objetivos específicos.

O.E.1. : Delimitar las cuencas hidrográficas en la comuna Tugaduaja mediante software de sistema de información geográfica para la conceptualización hidrogeomorfología

O.E.2. : Exploración de las subcuencas del rio Tugaduaja mediante el método de sondeo eléctrico vertical, para la obtención de la ubicación de los acuíferos colindantes a la comuna Tugaduaja.

1.5. ALCANCE

El alcance de esta investigación abarca la aplicación del método geofísico – Sondeo Eléctrico Vertical – para la delimitación de acuíferos en la comuna Tugaduaja, este estudio abordara aspectos técnicos, mecánicos y económicos relacionados al estudio de suelos proporcionando información valiosa sobre la distribución de la resistividad eléctrica del subsuelo y contribuir a una mejor comprensión de las propiedades y dinámica de los acuíferos.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variables independientes.

Sondeos eléctrico vertical (Método Schlumberger)

Sistemas de Información Geográfica (SIG)

1.6.2. Variables Dependientes

Delimitación de acuíferos

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ACUIFEROS

Un acuífero es una formación geológica subterránea capaz de almacenar y transmitir agua (Maliva et al., 2006). Los acuíferos son vitales para el suministro de agua potable y riego en muchas regiones del mundo. Existen diferentes tipos de acuíferos, desde los confinados entre capas de roca hasta los no confinados en los que el agua fluye libremente. La gestión sostenible de los acuíferos es crucial para garantizar su disponibilidad a largo plazo. Además, la sobreexplotación y la contaminación representan desafíos significativos para la preservación de estos recursos hídricos subterráneos. Los acuíferos son una fuente crucial de agua dulce, y su importancia para el suministro de agua potable y para la industria agrícola es incuestionable. (Villalba et al., 1995).

Los acuíferos contienen más del 30% del uso total de agua dulce del mundo, principalmente para la agricultura de regadío, y contribuyen significativamente al desarrollo económico actual y futuro (Bouwer, 2000).

2.2. CUENCA HIDROGRÁFICA

Ven Te Chow afirmó que “la cuenca es una superficie de tierra que guía el agua al arroyo en un punto en particular”. Por su parte, según Monsalve, “en geomorfología la cuenca del río se entiende como una zona topográficamente delimitada que drena a través de un curso de agua de un solo cuerpo de agua o un sistema interconectado de varios cuerpos de agua, de modo que todo el flujo afluyente desemboca en una salida única”. Es importante tener en cuenta que la cuenca fluvial incluye tanto las cuencas hidrográficas de las aguas superficiales como las cuencas de las aguas subterráneas. La división de estas se realiza a lo largo de la divisoria del agua, que es una línea que establece la división entre las superficies de tierra cuyo drenaje pierde por un río en particular y cuyo drenaje se

va a canales de agua que fluyen hacia otros ríos. Al área dividida por esta línea divisoria se le llama cuenca del río Gutiérrez Caiza (2014).

2.2.1. Características físicas de una cuenca hidrográfica

Las características físicas de una cuenca son fundamentales para comprender y analizar diversos componentes del ciclo hidrológico, como la evaporación, la infiltración, el flujo superficial y la escorrentía, entre otros.(Gutiérrez Caiza, 2014)

2.2.2. Área de la cuenca

Es el terreno llano, es decir, la extensión horizontal, que se encuentra dentro de los límites marcados por su elevación topográfica. Esta área se calcula en kilómetros cuadrados, hectáreas u otras unidades de medida de superficie. La elevación topográfica, también llamada divisoria de aguas, señala el límite que separa las distintas cuencas hidrográficas.(Gutiérrez Caiza, 2014)

2.2.3. Perímetro de la cuenca

La longitud total de la divisoria de aguas abarca desde el punto de inicio del estudio, siguiendo el contorno completo de la cuenca, hasta retornar al mismo punto inicial. Esta medida, expresada en kilómetros u otras unidades de longitud, resulta fundamental para comprender la extensión y los límites de la cuenca hidrográfica. La divisoria de aguas funciona como una línea imaginaria que separa las áreas donde fluye el agua hacia distintos sistemas fluviales, desempeñando un papel esencial en la gestión de los recursos hídricos y en el análisis de la dinámica hidrológica regional.(Gutiérrez Caiza, 2014)

2.2.4. Forma de la cuenca

La morfología de la cuenca tiene un impacto significativo en las características del hidrograma de descarga de un río, especialmente durante eventos

de crecidas máximas, y está estrechamente vinculada con el tiempo de concentración de la cuenca. En términos generales, cuencas con la misma extensión, pero con formas diferentes darán lugar a hidrogramas distintos. Esta variabilidad se debe a que la estructura de la cuenca influye en el modo y el momento en que el agua alcanza el punto de salida, lo que repercute en el caudal máximo y la duración del evento de crecida. (Gutiérrez Caiza, 2014).

2.2.5. Orden de la red hídrica

Este índice refleja el grado de ramificación o bifurcación de la cuenca, gestionando el orden de las corrientes (Ramírez García et al., 2015). Un número de orden más alto indica un mayor potencial erosivo, mayor transporte de sedimentos y, por lo tanto, una escorrentía directa superior en comparación con otra cuenca de igual área. Además, un orden más elevado de la cuenca implica un mayor grado de desarrollo fluvial (Meza Rodríguez, 2006).

Tabla 1:

Tipo de orden de corriente

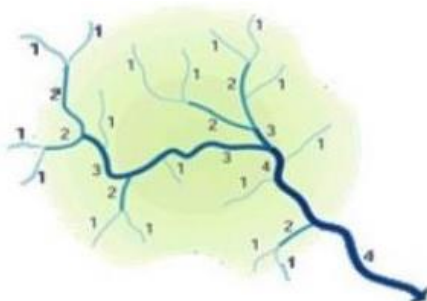
Rango de órdenes	Tipo
1 – 2	Bajo
2.1 – 4	Medio
4.1 - 6	Alto

Fuente: (Rizo Machado et al., 2011)

La metodología de (Strahler, 1952) consiste en clasificar la red hídrica en segmentos de cauces de diferentes órdenes, basándose en el número de confluencias que reciben. Un segmento de cauce es de primer orden cuando es uno de los extremos de la red y no recibe afluentes directos, es decir, fluye desde su origen o naciente hasta la confluencia con otro cauce. Los segmentos de segundo orden se forman cuando confluyen dos cauces de primer orden, los de tercer orden por la confluencia de dos cauces de segundo orden, y así sucesivamente. En caso de que confluyan dos cauces de órdenes distintos, el orden del cauce resultante será el valor del cauce de mayor orden (Delgado Ramos et al., n.d.; Senciales González, 1998).

Figura 1:

Ordenes de corrientes según Strahler



Fuente: (Rizo Machado et al., 2011)

2.3. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

El Sistema de Información Geográfica es una herramienta tecnológica que permite la recopilación, gestión, análisis y visualización de datos geográficos. Utilizando una combinación de hardware, software y datos, un SIG permite a los usuarios comprender patrones, relaciones y tendencias en los datos espaciales. Los SIG son utilizados en una amplia variedad de campos, incluyendo la planificación urbana, la gestión de recursos naturales, la navegación, la agricultura, la geología, entre otros. Esta herramienta es fundamental para la toma de decisiones basadas en la ubicación y esencial para comprender la interconexión entre los fenómenos geoespaciales y sus atributos(Sarría Alonso, 2006).

2.3.1. Aplicaciones SIG en estudios de aguas subterráneas

Los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas cartográficas útiles que pueden resultar beneficiosas para realizar análisis geoespaciales en muchos campos de investigación. Las herramientas SIG tienen la capacidad de resolver eficientemente problemas que necesitan la integración de varios datos referenciados espacialmente(Prabhu & Venkateswaran, 2015).

2.4. MÉTODOS GEOELÉCTRICOS

Los métodos geoelectricos se utilizan ampliamente para la exploración de recursos de agua subterránea, ya que las propiedades geoelectricas están relacionadas con las propiedades, litología, química y porosidad del agua subterránea.(Aliou et al., 2022; Lubang et al., 2023). El método de resistividad geoelectrica es un método rentable y de fácil acceso para evaluar el agua subterránea antes de invertir en perforación (Bhatnagar et al., 2022; Nagaiah et al., 2022).

2.4.1. Resistividad Eléctrica.

Según Cárdenas Valencia & Galvis Garcia, (2011), la resistividad eléctrica es la medida de la dificultad que enfrentan los electrones al moverse a través de un material. Se representa con la letra griega rho " ρ " y se mide en ohmios por metro. La resistividad eléctrica del suelo (ρ) es una propiedad física inherente del suelo que describe su conductividad eléctrica y su comportamiento. Varios factores, incluida la mineralogía, la composición, el contenido de humedad (w), el índice de plasticidad (I), la sensibilidad (St) y la porosidad, determinan el valor de la resistividad. (Zhang et al., 2018). Para un cuerpo simple, la resistividad R (Ω m) se define de la siguiente manera: Las distribuciones de la línea de flujo de corriente varían según el medio de investigación:

$$\rho = R \left(\frac{S}{L} \right) \quad (1)$$

Donde:

R = *reistencia eléctrica del cuerpo cilíndrico* (Ω)

L = *longitud del cilindro* (m)

S = *Área de sección transversal* (m^2)

La resistencia eléctrica de un cuerpo cilíndrico (Ω) está definida por la ley de Ohm y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2)$$

El valor de conductividad σ (S/m), que es igual al recíproco de la resistividad del suelo, es otro término utilizado para describir la característica eléctrica. La relación se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3)$$

$\sigma =$ *el potencial (V)*

$I =$ *corriente (A)*

Samouëlian et al. (2005) plantea que en un semi-espacio homogéneo e isotrópico las superficies equipotenciales del campo eléctrico adoptan el aspecto de hemisferios si los electrodos de corriente están situados en la superficie del suelo, siendo, por lo tanto, el valor de la densidad de corriente J (A/m²), en todas las direcciones radiales, calculado mediante la expresión siguiente:

$$J = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (4)$$

Donde:

$J =$ *conductividad*

$I =$ *corriente*

$2\pi r^2 =$ *es la superficie de una esfera hemisférica de radio r*

La siguiente ecuación debe utilizarse para calcular el potencial V :

$$V = \frac{\rho l}{2\pi r^2} \quad (5)$$

$V =$ *potencial*

$l =$ *longitud del cuerpo cilíndrico*

$2\pi r^2 =$ *es la superficie de una esfera hemisférica de radio r*

2.4.2. Medición de la resistividad eléctrica.

La determinación de la resistividad eléctrica típicamente emplea cuatro electrodos: dos (A y B) para la inyección de corriente y dos (M y N) para la

medición del potencial. La diferencia de potencial DV registrada entre los electrodos M y N se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta V = \frac{\rho l}{2\pi} \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right] \quad (6)$$

Donde:

A y B = electrodos de corriente

M y N = electrodos de potencial

AM = distancia geométrica entre los electrodos A y M

BM = distancia geométrica entre los electrodos B y M

AN = distancia geométrica entre los electrodos A y N

BN = distancia geométrica entre los electrodos B y N

Esta expresión determina la resistividad eléctrica de:

$$\rho = \left[\frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM}\right) - \left(\frac{1}{BM}\right) - \left(\frac{1}{AN}\right) + \left(\frac{1}{BN}\right)} \right] \frac{\Delta V}{I} = K \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad (7)$$

K= coeficiente geométrico dependiendo de los electrodos A, B, M y N.

2.4.3. Variación de la resistividad eléctrica según las características del suelo.

La resistividad eléctrica se ve influida por la naturaleza del suelo de la misma manera que por la resistividad de los sólidos del suelo y por el contenido de agua y de aire en el suelo. Los granos del suelo presentan su variación según la resistividad y la densidad de las cargas eléctricas en la superficie de los sólidos que forman parte del conjunto. En el caso del contenido de agua, la resistividad vendrá dada por la concentración iónica presente. En cuanto al contenido de aire, se comporta como un medio aislante (una resistividad prácticamente infinita)(Flores Ramírez, 2024).

2.4.3.1. Naturaleza y disposición de los sólidos constituyentes.

La naturaleza y organización de los sólidos del suelo están sujetas a las características de la distribución granulométrica, a las propiedades mineralógicas, al tamaño y a la configuración geométrica de los poros del suelo, que son variables responsables de la variación de los valores de resistividad de los distintos tipos de suelos. Los resultados obtenidos a partir del mapeo de suelos realizado por Samouëlian et al. (2005) ponen de manifiesto que los suelos salinos tienen resistencias eléctricas de 1Ω y los suelos secos superpuestos a rocas cristalinas tienen resistencias eléctricas de 5Ω . Debido principalmente a la concentración de las cargas eléctricas en los poros del suelo, el paso de la corriente eléctrica a través de los sólidos del suelo está relacionado con la distribución de las partículas.

La geometría de los poros de un suelo influye en la variación de los valores de resistividad porque la disposición de los espacios intersticiales determina la cantidad de aire y agua que se alojan en los poros. Robain et al. (1996), citado por (Samouëlian et al., 2005), indica que las variaciones de resistividad son influenciadas tanto por la macro estructura (o geometría de los poros) como por su meso estructura (o distribución de los poros) de materiales edafológicos.

- a) **Resistividad de la arcilla.** La resistencia del suelo puede verse afectada por la cantidad de arcilla presente en la matriz del suelo Sudha et al. (2009). Esto se debe a la propiedad de intercambio iónico de la arcilla, que crea una nube móvil de iones alrededor de cada partícula de arcilla, lo que permite que la corriente eléctrica fluya. Por lo tanto, según el análisis químico del agua extraída del suelo, la resistividad eléctrica en suelos de grano fino como la arcilla siempre es más baja de lo esperado. Por lo tanto, la relación entre el parámetro eléctrico y la resistencia del suelo puede verse alterada por el contenido de arcilla en el suelo (Sudha et al., 2009). Como resultado, se espera que la

resistividad eléctrica en suelos arcillosos sea menor que en suelos arenosos. No obstante, los suelos arenosos suelen ser más resistentes al corte. (Gonçalves et al., 2021).

2.4.3.2. *Contenido de Humedad.*

La conducción de corriente eléctrica a través del suelo se realiza mediante un proceso electrolítico, en el cual los iones se desplazan en el agua contenida en los poros del suelo. Este contenido de agua, en presencia de sales disueltas, aumenta la conductividad. Así, existe una relación de dependencia entre el contenido y la calidad del agua y la resistividad eléctrica del suelo. Según McCarter (1984) y Fukue et al. (1999), citados en Samouëlian et al. (2005), la resistividad eléctrica disminuye con el aumento del contenido de agua, un efecto observable especialmente en materiales con contenidos de agua inferiores al 15%.

2.4.3.3. *Contenido del fluido de los poros.*

Dado que la conductividad eléctrica depende de la movilidad de los iones presentes en el agua contenida en los poros, esta conductividad estará influenciada por el contenido y la viscosidad del agua. Por lo tanto, la resistividad eléctrica disminuye cuando la conductividad del agua aumenta. Esto se debe a que los diferentes iones en la solución afectan la conductividad de manera distinta debido a las variaciones en su movilidad. Por esta razón, diferentes soluciones de suelo con la misma concentración, pero con distintas composiciones iónicas, presentan conductividades eléctricas diferentes, lo que resulta en una amplia gama de posibles conductividades debido a las variaciones en composición y concentración iónica.

El gran contraste de resistividad entre zonas saturadas con agua salada y agua dulce es particularmente útil para estudiar la intrusión de agua salada en áreas costeras. Valores de resistividad del suelo de 40, 12 y 3 $\Omega \cdot m$ son

considerados representativos de agua dulce, salobre y salina, respectivamente.

2.4.3.4. *Temperatura.*

La temperatura influye en la variación de la resistividad eléctrica, ya que afecta la agitación de los iones al incrementar la viscosidad del fluido, lo que conduce a una reducción en la resistividad eléctrica cuando la temperatura aumenta. Esta variación de temperatura en el suelo ocurre a diferentes escalas temporales a lo largo del año: diaria y estacionalmente. En estudios donde no se corrige el efecto de la temperatura, se asume que esta permanece constante, especialmente cuando las mediciones se realizan diariamente a la misma hora durante un período corto. Sin embargo, la temperatura tiene un impacto inevitable en las mediciones de resistividad eléctrica en campo a escala anual. Por lo tanto, para evitar interpretaciones incorrectas al comparar mediciones de resistividad obtenidas en el mismo lugar, pero en diferentes momentos del año, es fundamental comprender la variación estacional de la temperatura y sus efectos en la resistividad eléctrica.

2.4.4. Interpretación de la variación de resistividad eléctrica.

Los datos del sondeo eléctrico vertical se muestran en un gráfico de curvas que muestra cómo la resistividad aparente aumenta con la separación entre electrodos. Estas curvas muestran la variación cualitativa de la resistividad con la profundidad. Comparando los datos de campo con las curvas teóricas de resistividad aparente, es posible estimar la profundidad de una capa en situaciones relativamente simples. Esta técnica ofrece una interpretación aproximada cuando no se dispone de herramientas computacionales sofisticadas, o bien, permite derivar un modelo inicial que sirve como punto de partida para esquemas más avanzados de modelado iterativo.

2.4.5. Resistividad de algunas formaciones geológicas.

La resistividad de los materiales geológicos, incluido el agua, puede ir desde unos pocos ohmios-metro hasta cientos de ohmios-metro, dependiendo de una variedad de factores, incluida la alteración, la fracturación, el grado de saturación, la presencia de iones en la solución, la temperatura, la porosidad y la compacidad. Los investigadores han recopilado recomendaciones y resultados de otros estudios para demostrar cómo la geología y las características mecánicas afectan las mediciones de resistividad debido a esta gran variación en los hallazgos. En particular, se ha observado una gran dispersión en las resistividades de las arcillas, lo cual es comprensible debido a su naturaleza mineralógica diversa. Por esta razón, se han considerado investigaciones relevantes como las de Gonçalves et al. (2021), citado en Samouëlian et al. (2005), Tarmizi et al. (2016) y Listanti et al. (2018). Estos estudios aportan información crucial sobre cómo diferentes condiciones geológicas y mecánicas influyen en las mediciones de resistividad eléctrica en el campo

Tabla 2:

Resistividades de diferentes materiales geológicos

Tipo de material	Resistividad Ωm	Autor
Esquito o arcilla blanda con material orgánica	0 - 15	(Gonçalves et al., 2021a)
Arcilla	1 - 12	(Samouëlian et al., 2005)
Arcilla (muy seca)	50 - 150	(Listanti et al., 2018)
Grava (seca)	1400	(Listanti et al., 2018)
Grava (saturada)	100	(Listanti et al., 2018)
Arcilla arenosa / arena arcillosa	30 -215	(Listanti et al., 2018)
Arena y grava	30 -225	(Listanti et al., 2018)

Nota. Tomado de Listanti et al. (2018), (Samouëlian et al., 2005) y Gonçalves et al. (2021)

Cano Alvarado et al. (2021) proponen criterios claros para correlacionar la resistividad de la roca con sus características específicas:

- Si la roca con baja o nula porosidad tendrá una resistividad elevada.
- Si la roca está sobre el nivel freático, su resistividad será mayor.
- Si la roca es arcillosa, impermeable o con mucha agua salada, su resistividad será baja.

(Manilla Aceves, 2003) proporciona una tabla que describe los diferentes rangos de resistividad para varios tipos de rocas y agua.

Tabla 3:

Rangos de variación de resistividad de diferentes tipos de rocas y aguas

Rangos usuales de variación de resistividad de tipos de roca y agua		
Material Tipo	Resistividad eléctrica (ohms-metro)	
Agua superficial en detritos de rocas ígneas	30	500
Agua superficial en detritos de rocas sedimentarias	10	100
Agua subterránea en detritos de rocas ígneas	30	150
Agua subterránea en detritos de rocas sedimentarias		>1
Agua de mar		0,2
Agua potable, 0,25% máximo de sólidos totales disueltos		>1,8

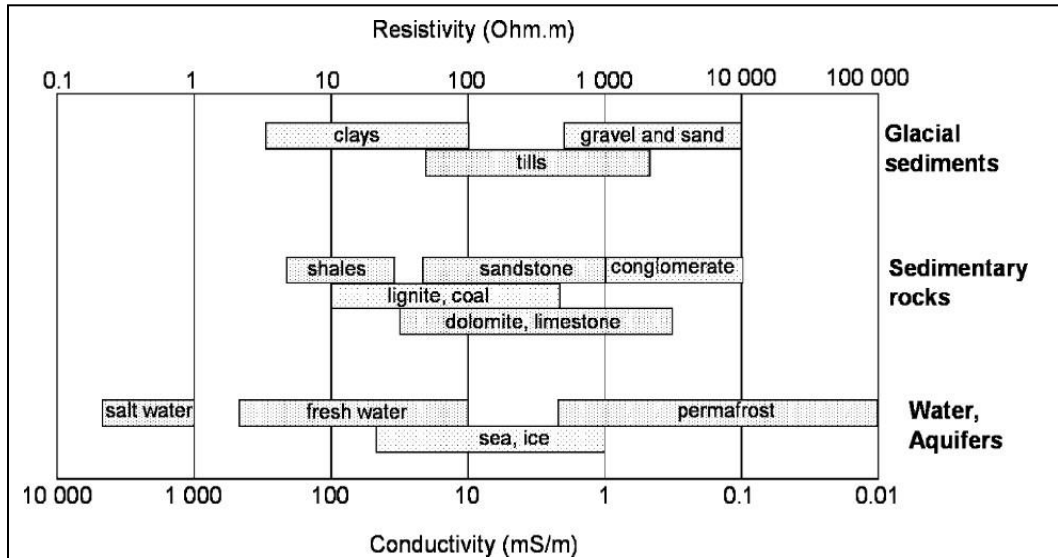
Nota. En la tabla 3 se observan los rangos correspondientes a las formaciones rocosas y acuáticas de acuerdo con su constitución. Tomado de (Manilla Aceves, 2003)

Los rangos también se proponen por otros autores, como (Samouëlian et al., 2005) y (Nokendangba Chang et al., 2021) en los diagramas que muestran las resistividades de varios materiales. Los valores de resistividad en escala logarítmica están representados en la parte superior y los valores de conductividad en la parte inferior. Ambos diagramas muestran una relación de dependencia entre la resistividad y la conductividad, por lo que los rangos de conductividad disminuyen

a medida que aumentan los valores de resistividad. En este sentido, el agua salobre tiene una resistividad inferior a $1 \Omega\text{m}$ y una conductividad que comienza en 1000 mS/m y aumenta hasta 10.000 mS/m . Por otro lado, los materiales como la grava y la arena tienen una resistividad de 1000 a 10.000Ω . y una conductividad que oscila entre 1 y $0,1 \text{ mS/m}$.

Figura 2:

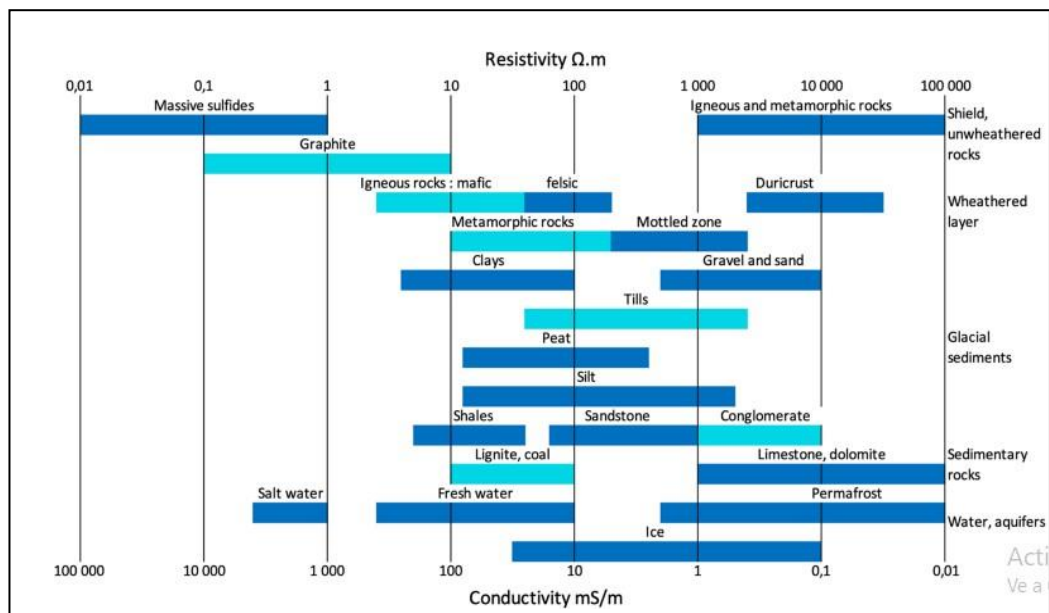
Valores de resistividad de acuerdo con la formación geológica



Nota. Tomado de Samouëlian et al. (2005)

Figura 3:

Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales



Nota. Tomado de (Nokendangba Chang et al., 2021)

2.4.6. Ventajas y Desventajas de la resistividad eléctrica.

Samouëlian et al. (2005) identifican las siguientes ventajas y desventajas del uso de la resistividad en la investigación geotécnica.

2.4.6.1. *Ventajas*

- Es una técnica de mapeo de suelos no destructiva útil para monitorear el cambio temporal en la distribución del agua del suelo.
- Proporciona mediciones frecuentes y detalladas en grandes áreas a bajo costo, lo que permite una fácil recopilación de datos.
- SEV tiene una alta sensibilidad de medición que varía en un amplio rango dependiendo de las características físicas del suelo.
- Esta es una técnica que requiere menos tiempo de ejecución y cubre grandes profundidades en el suelo.
- Es relativamente más económico en términos de maquinaria, mantenimiento y costos de operador en comparación con la perforación y extracción de muestras mediante prueba SPT.

2.4.6.2. *Desventajas*

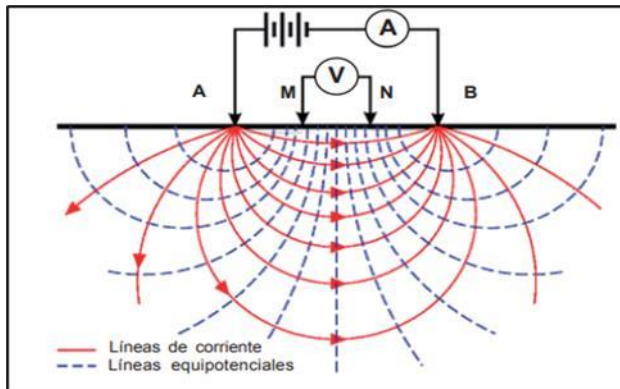
- Un mal contacto de los electrodos con el suelo aumenta la probabilidad de errores sistemáticos desde el punto de vista técnico.
- El uso de mediciones de resistividad eléctrica para calibrar los estudios de laboratorio de muestras de suelo es limitado y no se puede aplicar a todos los tipos de suelo disponibles
- La resolución y creación de imágenes que tengan en cuenta la heterogeneidad del perfil del terreno requiere muchos datos. Muy poca información puede pasar por alto características importantes o crear impresiones falsas del subsuelo.

2.5. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV)

El SEV es una técnica geológica que permite estimar la resistividad del suelo. Al conectar dos electrodos y aplicar un voltaje, se crea un circuito eléctrico. A lo largo de la Tierra se producen campos eléctricos y variaciones (Nuñez et al., 2013a).

Figura 4:

Flujo de corriente en el suelo al momento de realizar el sondeo eléctrico vertical



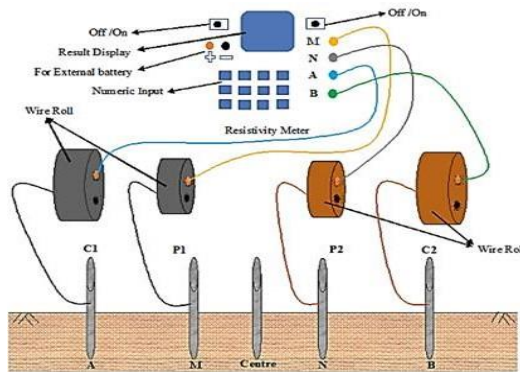
Nota. Tomado de (Nuñez et al., 2013)

2.5.1. Método Schlumberger

Schlumberger propuso el uso de mediciones de resistividad eléctrica para investigar cuerpos rocosos subterráneos en 1912. Las compañías de petróleo utilizaron esta técnica por primera vez en geología para encontrar depósitos de petróleo e identificar formaciones geológicas, Samouëlian et al. (2005). Esta técnica consiste en colocar los electrodos en una fila separados por una distancia determinada. Aquí AB (distancia entre electrodos de corriente) es mayor que cinco veces MN (distancia entre electrodos de potencial) (Cano Alvarado et al., 2021).

Figura 5:

Arreglo de electrodos del método Schlumberger



Nota. Tomado de Hedge y Anan (2021)

Finalmente, se utiliza la siguiente expresión para calcular la resistividad aparente:

$$R = \frac{\pi((AN)^2 - (MN)^2)}{MN} \times \frac{V}{I} \quad (8)$$

Donde:

AB: distancia entre los electrodos de corriente

MN: distancia entre los electrodos de caída de potencial

V: Caída de potencial

I: Corriente

En el esquema de Schlumberger, los electrodos de corriente "A" y "B" se mueven gradualmente mientras aumentan la distancia AB, lo que aumenta la profundidad de exploración. Los electrodos "M" y "N" permanecen fijos. Debe tener una relación $AB > 5MN$. La expresión utilizada para calcular la resistividad aparente del sondeo Schlumberger se puede encontrar a continuación:

$$\rho_a = \left(\frac{V}{I}\right) \times 2\pi a \left\{\left(\frac{L}{a}\right)^2 - 0,25\right\} \quad (9)$$

ρ = la resistividad aparente (ohms – metro)

V = la diferencia de potencial medido en los electrodos "M" y "N";

I = la corriente eléctrica a través de "A" y "B";

L = es la distancia media entre "A" y "B"

a = es la distancia entre "M" y "N"

π = una constante conocida

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El tipo y nivel de investigación son esenciales para el correcto desarrollo de una investigación, porque orientan los propósitos y medios que debe seguir el investigador para alcanzar con éxito sus objetivos.

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo exploratoria porque se desea investigar un tema o problema que ha sido poco estudiado en la investigación previa o que aún no ha sido abordado según (Cortés Cortés & Iglesias León, 2004). En este caso, se explora la utilización de métodos geofísicos para establecer relaciones significativas entre parámetros mecánicos y los resultados derivados de los ensayos realizados mediante el sondeo eléctrico vertical (SEV). Esta elección metodológica no solo refleja la intención de poner en práctica los conocimientos adquiridos, sino también la búsqueda de soluciones tangibles para abordar una problemática concreta.

Al centrarse en la relación entre los parámetros mecánicos y los resultados de los ensayos SEV, esta investigación propone una vía novedosa para comprender y abordar las necesidades específicas de la comunidad. La justificación de este enfoque radica en su capacidad para generar datos pertinentes y aplicables que puedan guiar decisiones estratégicas relacionadas con la gestión y la sostenibilidad de los recursos hídricos en la región. Asimismo, se espera que los hallazgos obtenidos no solo informen la toma de decisiones a nivel local, sino que también contribuyan al cuerpo de conocimiento científico en el campo de la hidrogeología y la gestión de recursos naturales.

3.1.2. Nivel de investigación

La investigación se considera descriptiva debido a que describe los fenómenos estudiados dentro de un espacio y tiempo específicos, lo que implica que el contexto de estudio queda claramente delimitado siguiendo la definición de (Avellaneda Callirgos et al., 2022) haciendo énfasis en el enfoque adoptado en la delimitación de acuíferos en la comuna de Tugaduaja. Después de haber realizado los ensayos pertinentes y recopilados datos significativos mediante el método geofísicos y los resultados obtenidos no solo han proporcionado información valiosa sobre la geología subterránea y la distribución de los acuíferos en la región, sino que también han revelado la complejidad y la diversidad de los factores que influyen en este proceso.

Además, la investigación descriptiva ha permitido identificar áreas donde se destaca la importancia de continuar investigando este tema para obtener una comprensión más completa y detallada. También este método nos puede ofrecer una mayor posibilidad de predicciones con los datos recopilados y se puede considerar tener una base sólida para futuras investigaciones que puedan abordar aspectos específicos y ampliar nuestro conocimiento sobre la delimitación de acuíferos en la comuna de Tugaduaja.

3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Método

En este proyecto, se ha elegido utilizar el método analítico-sintético para el estudio de los acuíferos en la comuna de Tugaduaja. Este enfoque implica descomponer los elementos del objeto de estudio en sus partes constituyentes (análisis) y luego integrarlas nuevamente para comprender el sistema en su totalidad (síntesis).

En la fase analítica, se realizará una evaluación exhaustiva de los parámetros geofísicos relevantes y las características hidrogeológicas específicas de los acuíferos en la región. Esto se llevará a cabo mediante la recopilación de datos geofísicos obtenidos a través de técnicas como el sondeo eléctrico vertical (SEV), así como el análisis de información geoespacial utilizando software especializado (ArcGIS).

Posteriormente, en la etapa sintética, se integrarán los hallazgos individuales para comprender la interrelación y las implicaciones conjuntas de los diferentes aspectos estudiados. Esta síntesis permitirá obtener una visión holística de los acuíferos en la comuna de Tugaduaja, identificando patrones, relaciones y características fundamentales que influyen en su comportamiento y distribución.

Es fundamental destacar que, si bien el método analítico-sintético guiará el proceso de investigación, se mantendrá una flexibilidad metodológica para adaptarse a los hallazgos específicos y las particularidades que surjan durante el estudio. Se emplearán técnicas de análisis cuantitativo que si bien es cierto este nos propone de una manera confiable entender la realidad mediante la recopilación y análisis de datos, lo cual permite responder a las preguntas de la investigación y validar las hipótesis planteadas siguiendo la definición de (Borja Suárez, 2016)

3.2.2. Enfoque

El enfoque de esta investigación es mixto, este enfoque implica una combinación de métodos analíticos y sintéticos, donde se descompone el objeto de estudio en sus componentes individuales para un análisis detallado de los parámetros geofísicos relevantes y las características hidrogeológicas específicas de los acuíferos en la región. Este análisis se realizará mediante la recopilación y evaluación exhaustiva de datos geofísicos obtenidos a través de técnicas como el sondeo eléctrico vertical (SEV), y el uso de herramientas de software especializadas en el análisis de datos geoespaciales. (ArcGIS).

Una vez completado el análisis individual de cada componente, se procederá a sintetizar la información recopilada para comprender la interrelación y las implicaciones conjuntas de los diferentes aspectos estudiados. Esta síntesis permitirá obtener una visión integral de los acuíferos en la comuna de Tugaduaja, identificando patrones, relaciones y características clave que influyen en su comportamiento y distribución.

Además, se orienta hacia la generación de soluciones tangibles para mejorar la gestión de los recursos hídricos y la calidad de vida en la comunidad de Tugaduaja, lo que refleja un compromiso con el impacto real en la sociedad y el desarrollo sostenible de las comunidades locales.

3.2.3. Diseño de la investigación

La investigación se ha desarrollado bajo un no diseño experimental, que se centra en la recopilación, análisis e interpretación de datos para estudiar la dinámica subterránea en la identificación de acuíferos mediante el sondeo eléctrico vertical (SEV) en la comuna de Tugaduaja.

Este diseño no experimental no altera intencionalmente las variables a estudio. En cambio, se enfoca en observar los fenómenos en su contexto natural y luego analizarlos según (Cortés Cortés & Iglesias León, 2004). En este caso, la intervención se refiere a la aplicación del método geofísico del sondeo eléctrico vertical para la identificación de acuíferos.

La experimentación se llevó a cabo después de la recolección de datos en campo mediante el SEV y la realización de los ensayos correspondientes en el área de estudio. Este enfoque permitió obtener datos precisos y confiables para el análisis de las variables geofísicas relevantes asociadas con la presencia de acuíferos.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población

La población se refiere al conjunto de individuos o elementos que son objeto de estudio en una investigación. Esta población puede incluir una variedad de elementos, como personas, animales, registros médicos, muestras de laboratorio, accidentes viales, entre otros. En nuestro caso de estudio, la población de interés son los ríos afluyentes al río Tugaduaja ubicados en la comuna de Tugaduaja en la provincia de Santa Elena.

3.3.2. Muestra

La muestra de la investigación está compuesta por una selección representativa del río ubicados en la comuna de Tugaduaja. Esta selección se realiza con el objetivo de obtener datos significativos que reflejen las características hidrogeológicas de la región y permitan identificar acuíferos mediante el sondeo eléctrico vertical (SEV).

La muestra se elige de manera estratégica, considerando la diversidad geográfica y geológica de la comuna, así como la distribución de los recursos hídricos en la zona. Se seleccionan diferentes arroyos que representen diferentes tipos de cuerpos de agua y que abarquen diversas condiciones hidrogeológicas.

Además, la muestra puede incluir tanto ríos principales como afluentes más pequeños, con el fin de obtener una visión completa de la red hidrográfica de la comuna y de las posibles variaciones en la presencia de acuíferos.

Es importante mencionar que la selección de la muestra se realiza con criterios científicos rigurosos, garantizando la representatividad y la validez de los datos obtenidos. De esta manera, la muestra de la investigación constituye una herramienta fundamental para alcanzar los objetivos del estudio y obtener

resultados significativos sobre la identificación de acuíferos en la comuna de Tugaduaja.

3.3.3. Muestreo

El muestreo se llevó a cabo siguiendo un enfoque riguroso y sistemático para garantizar la representatividad de los datos obtenidos. Se seleccionaron quince sitios de muestreo distribuidos estratégicamente a lo largo del río principal de la comuna de Tugaduaja. La elección de estos sitios se basó en criterios geográficos e hidrogeológicos, buscando abarcar la diversidad de condiciones y características presentes en la región.

Una vez identificados los sitios de muestreo, se procedió a la recolección de datos mediante el sondeo eléctrico vertical (SEV). Este proceso implicó la aplicación de técnicas geofísicas para obtener información detallada sobre las propiedades del subsuelo y la presencia de acuíferos.

Los datos recopilados fueron analizados exhaustivamente utilizando software especializado en geofísica y sistemas de información geográfica (SIG). Se realizaron análisis estadísticos y geoespaciales para identificar patrones y tendencias significativas que permitieran inferir la presencia y distribución de acuíferos en la zona de estudio.

El muestreo proporcionó una base sólida para el análisis y la interpretación de los datos, permitiendo obtener conclusiones significativas sobre la identificación de acuíferos en los arroyos del río de la comuna de Tugaduaja. Los resultados obtenidos contribuyen al conocimiento y la gestión de los recursos hídricos en la región, y sirven como fundamento para futuras investigaciones en el campo de la hidrogeología.

3.4. UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO

El área de estudio está localizada en la provincia de Santa Elena en donde se realizaron 15 sondeos ubicados en la parroquia Chanduy en la comuna Tugaduaaja. En los puntos de estudios se consideró los siguientes requerimientos: (i) Distancia horizontal superior a 20 metros, (ii) Superficie limpia, (iii) Superficie plana.

Los 15 puntos de sondeo se registran en las siguientes tablas

Tabla 4:

Puntos de muestreo Subcuenca 1

Puntos	Coordenadas		Tipo de Ensayo
Punto – 1	Norte	9735395.00	Sondeo Eléctrico Vertical
	Este	546058.00	
Punto – 2	Norte	9735564.00	Sondeo Eléctrico Vertical
	Este	546727.00	
Punto – 3	Norte	9735304.00	Sondeo Eléctrico Vertical
	Este	547618.00	
Punto – 4	Norte	9734986.00	Sondeo Eléctrico Vertical
	Este	548395.00	
Punto – 5	Norte	9735262.00	Sondeo Eléctrico Vertical
	Este	548990.00	
Punto – 6	Norte	9735956.00	Sondeo Eléctrico Vertical
	Este	549404.00	
Punto – 7	Norte	9736427.00	Sondeo Eléctrico Vertical
	Este	550461.00	

Figura 6:

Ubicación de los sondeos realizados en la subcuenca 1

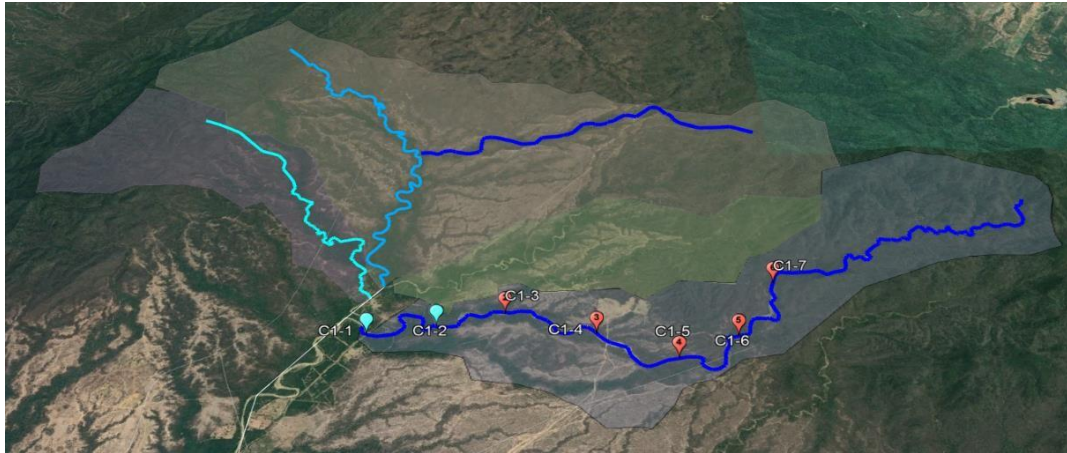


Tabla 5:

Puntos de muestreo Subcuenca 2

Puntos	Coordenadas		Tipo de Ensayo
Punto – 1	Norte	9735942.00	Sondeo Eléctrico Vertical
	Este	545507.00	
Punto – 2	Norte	9736191.00	Sondeo Eléctrico Vertical
	Este	545465.00	
Punto – 3	Norte	9736466.00	Sondeo Eléctrico Vertical
	Este	545405.00	
Punto – 4	Norte	9737045.00	Sondeo Eléctrico Vertical
	Este	545652.00	

Figura 7:

Ubicación de los sondeos realizados en la subcuenca 2

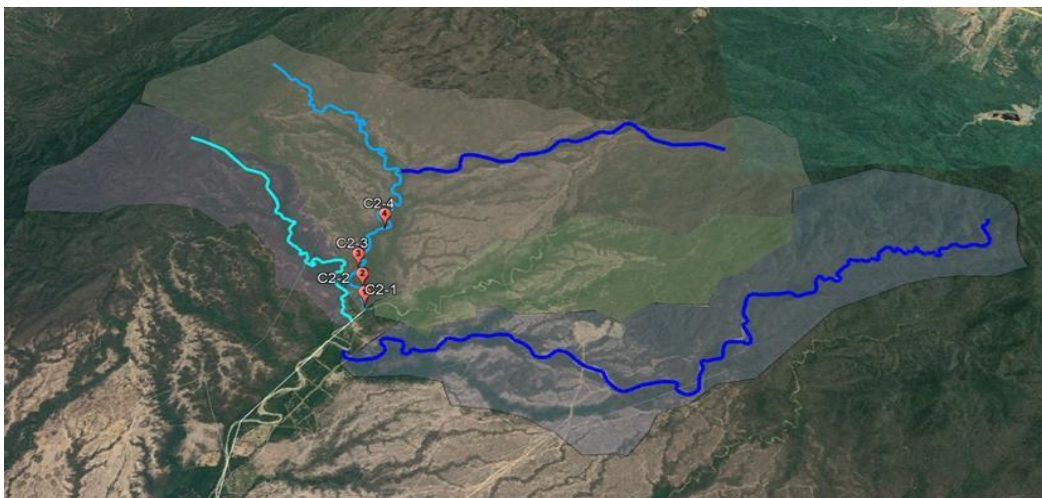


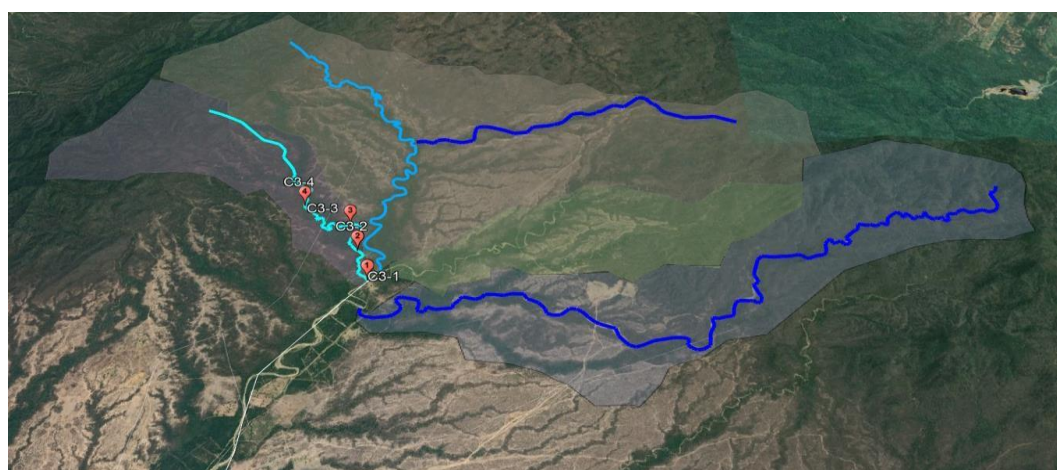
Tabla 6:

Puntos de muestreo Subcuenca 3

Puntos	Coordenadas		Tipo de Ensayo
Punto – 1	Norte	9735784.00	Sondeo Eléctrico Vertical
	Este	545382.00	
Punto – 2	Norte	9736203.00	Sondeo Eléctrico Vertical
	Este	545248.00	
Punto – 3	Norte	9736588.00	Sondeo Eléctrico Vertical
	Este	545141.00	
Punto – 4	Norte	9736876.0	Sondeo Eléctrico Vertical
	Este	544625.00	

Figura 8:

Ubicación de sondeos realizados en la subcuenca 3



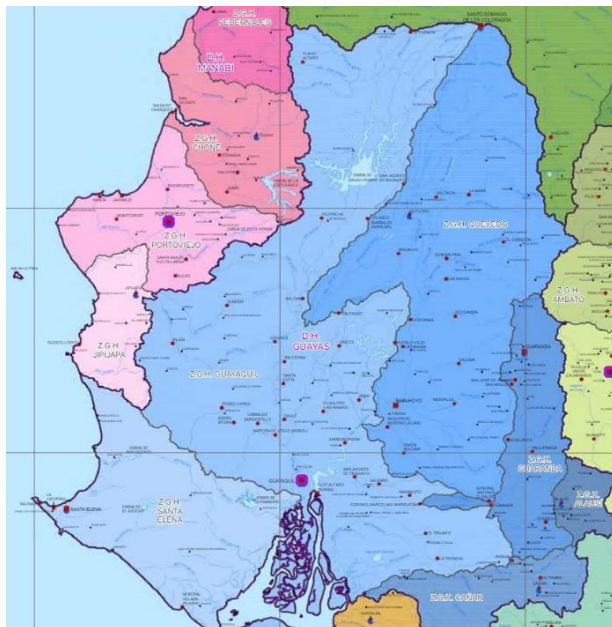
3.5. METODOLOGÍA DEL OE.1: DELIMITAR LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN LA COMUNA TUGADUAJA MEDIANTE SOFTWARE DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA CONCEPTUALIZACIÓN HIDROGEOMORFOLOGIA

La unidad hidrogeomorfológica del río Tugaduaaja se encuentra geográficamente en la parte baja de la cuenca del zapotal, perteneciente a la Demarcación Hidrográfica de Guayas (DHG) de la Zona de Gestión Hídrica de Santa Elena, (Z.G.H. SANTA

ELENA). Su extensión territorial abarca 353,95 hectáreas y cubre la comuna Tugaduaja, en la provincia de Santa Elena.

Figura 9:

Demarcación Hidrográfica del Guayas



Las coordenadas métricas de localización de la unidad hidrográfica en datum WGS84 UTM Zona 17 Sur, se especifican en la Tabla 7.

Tabla 7:

Coordenadas de localización

ORIENTACIÓN	X	Y
NORTE	547017	9739087
SUR	544032	9732576
ESTE	552339	9736835
OESTE	541829	9737168

Para cumplir con el objetivo de esta investigación, se determinaron las diversas variables morfométricas utilizando el software ArcGIS 10.3, de acuerdo con la cartografía base del Instituto Geográfico Militar (IGM) a escala 1:50,000 y 1:250,000, que corresponde a la hidrografía del área de estudio.

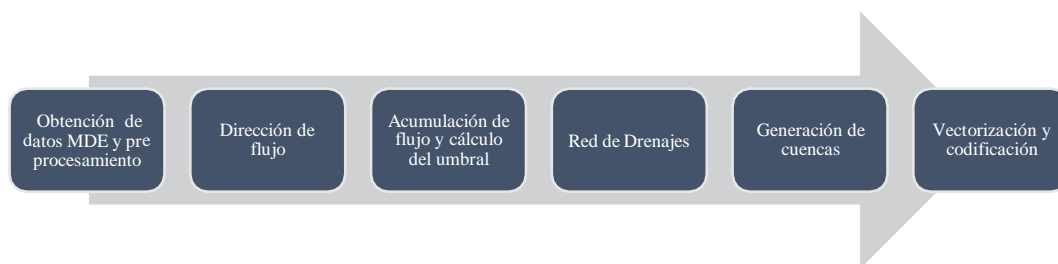
El proceso de delimitación se regirá por las normativas establecidas por el método Pfafstetter, el cual, según UICN et al. (2009), identifica tres tipos de unidades

hidrográficas, descritas a continuación: (i) Cuenca: Es el área de captación que aporta flujo a otra unidad hidrográfica, pero no recibe drenaje de ninguna otra zona, (ii) Intercuenca: Además de proporcionar su propio recurso hídrico, se considera una unidad de drenaje de tránsito del río principal. Esta unidad recibe el flujo de una unidad hidrográfica aguas arriba y luego drena por el río principal con el caudal generado, (iii) Cuenca interna: Es una cuenca aislada que no recibe caudal o añade caudal a otra cuenca.

La Figura 10 muestra la metodología Pfafstetter elegida para el proceso de delimitación de cuencas.

Figura 10:

Diagrama de la metodología



3.5.1. Obtención de datos MDE y preprocesamiento

Los datos altimétricos con una resolución espacial de 1 kilómetro correspondientes al Modelo Digital de Elevación (MDE) del área de estudio están disponibles para su descarga en el sitio web del Instituto Geográfico Militar <https://www.geoportaligm.gob.ec/>, a escala 1:50000 con el Datum WGS84 UTM Zona 17 Sur.

El preprocesamiento consiste en la eliminación de imperfecciones presentes en el MDE, como las zonas sin datos o vacías ("NoData"), es necesario corregirlos mediante el uso de técnicas de interpolación. De acuerdo con Medeiros et al. (2009), la presencia de picos y sumideros es otro factor que afecta la calidad de los datos MDE. Estos errores en el mapa de dirección de flujo son el resultado de errores en el modelo de datos.

Una de las formas de eliminar la presencia de valores “NoData” en el modelo es mediante estadísticas focales, el procedimiento que se realiza a través de la herramienta *ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Map Algebra>Raster Calculator*. Posteriormente, se corrigen los picos y sumideros utilizando la herramienta *Spatial Analyst>Hydrology>Fill*.

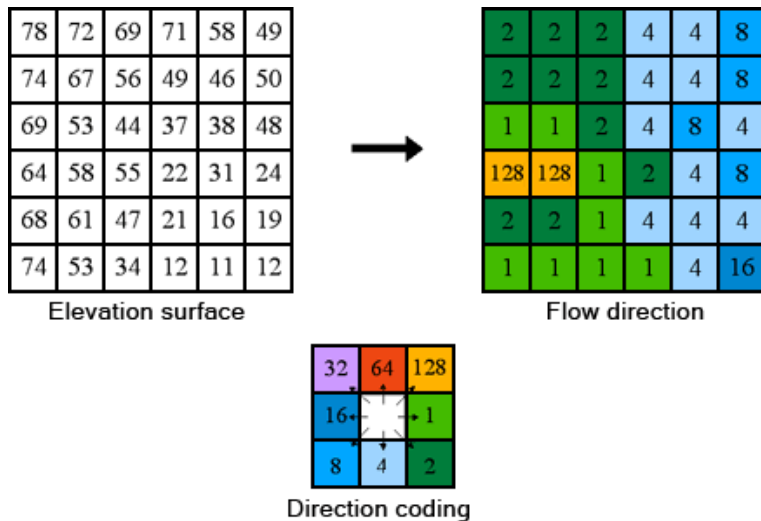
3.5.2. Dirección de flujo

En esta etapa, se crea un raster que muestra las orientaciones de flujo de cada celda vecina, calculadas en función de las pendientes. Según Wachholz De Souza et al. (2013) las direcciones de flujo muestran las relaciones hidrológicas entre varios puntos en una cuenca hidrográfica.

La Figura 11 muestra un procedimiento para calcular la dirección de flujo

Figura 11:

Procedimiento de cálculo de dirección de flujo



Nota: La dirección de flujo se obtiene utilizando la herramienta ArcToolbox>Spatial Analyst>Hydrology>Flow Direction.

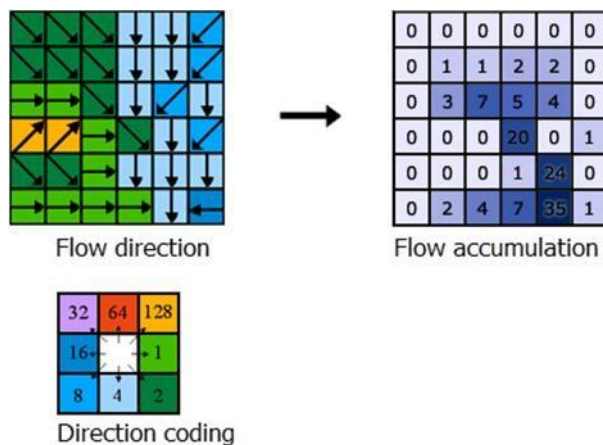
3.5.3. Acumulación de flujo y cálculo del umbral

Todas las celdas que drenan en una celda específica se conocen como acumulación de flujo, y esta información se puede obtener de la dirección de flujo. Venkatachalam et al. (2001) afirman que la acumulación de flujo de una celda se calcula sumando los valores de acumulación de flujo de las celdas cercanas que desembocan en ella.

La acumulación de flujo es un proceso que sigue la secuencia especificada en la Figura 12.

Figura 12:

Procedimiento de cálculo de acumulación de flujo



Nota: La acumulación de flujo se obtiene a través del recurso ArcToolbox>Spatial Analyst>Hidrology>Flow Accumulation.

El siguiente paso es el cálculo del umbral, que requiere un raster de acumulación de flujo y la cantidad mínima de celdas en el curso de agua para determinar el valor del umbral. De acuerdo con la UICN et al. (2009), el umbral se determina mediante un procedimiento iterativo de ensayo y error, permitiendo identificar el afluente principal y cuatro tributarios. Estos hallazgos permiten la definición de unidades de drenaje de tipo cuenca y de tipo intercuenca, las cuales corresponden a las áreas de drenaje y acumulación de flujo más grandes según el método Pfafstetter.

El procedimiento se lleva a cabo en ArcGIS desde la ventana *Layer>Properties>Symbology>Classified>Classify*. Allí, se utiliza el método Natural Breaks de Jenks para clasificar en dos rangos o clases. El valor N calculado por la herramienta se encuentra en el primer rango, mientras que el segundo rango va desde N hasta el valor máximo de acumulación de flujo. Usando la opción *Classify>Break Value*, se realizan pruebas para determinar el valor N.

El cálculo del umbral se completa reclasificándolos, utilizando la herramienta *ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Reclass>Reclassify*. El primer rango recibe un valor de 0, mientras que el segundo rango necesita el valor de 1 para la siguiente etapa del proceso porque almacena los afluentes principales. UICN SUR et al. (2010).

3.5.4. Red de Drenaje

La determinación de las cuencas hidrográficas depende de la creación de una red de drenajes. La reclasificación de la acumulación en el rango cuyo valor asignado fue 1 en la fase anterior es el insumo principal en esta etapa.

ArcToolbox>Spatial Analyst Tools>Hydrology>Stream Link es la herramienta utilizada para completar el procedimiento. Johnson (2009), afirma que la conexión del río asigna valores distintos a las partes de una red de drenaje que se encuentran entre las intersecciones. Para la UICN et al. (2009), los enlaces, también conocidos como "vínculos", son partes de una red de drenaje que conectan a dos aportantes de manera consecutiva.

3.5.5. Generación de cuencas

Según Alves et al. (2010), afirman que la creación de áreas de drenaje requiere un mapa de dirección y acumulación de flujo. Este proceso se completa utilizando la herramienta *ArcToolbox>Spatial Analyst Tools> Hydrology >Watershed*.

El área aportante de la cuenca, que drena dentro de ella y fluye hacia una salida específica, se establece por *Watershed*, según ara la UICN et al. (2009).

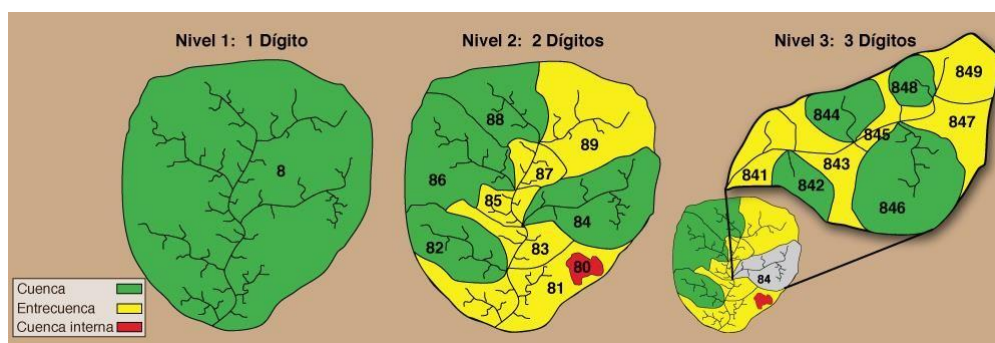
3.5.6. Codificación y Vectorización

La vectorización implica la conversión de las cuencas desde formato raster a vector. Esta etapa final de la metodología resulta en la creación de un archivo shapefile que contiene los polígonos de las unidades hidrográficas específicas. De acuerdo con lo establecido por la UICN et al. (2009) la vectorización de cuencas se realiza utilizando la herramienta *ArcToolbox>Conversion Tools>From Raster>Raster To Polygon* en el manual de procedimientos de delimitación y codificación de unidades hidrográficas para el Ecuador.

El método Pfafstetter (1989) de codificación de cuencas hidrográficas utiliza un sistema jerárquico de 10 dígitos que están directamente relacionados con el área de drenaje y los cursos de agua. Según Galvão & Meneses (2005), las cuatro cuencas principales, que son las áreas de drenaje más extensas, reciben los códigos pares (2, 4, 6 y 8). Los dígitos impares (1, 3, 5, 7 y 9) se utilizan para identificar las intercuenas, que son unidades de drenaje de menor tamaño. La Secretaría del Ambiente (2011) confirma esta estructura y añade que en caso de existir intercuenas, estas se codifican con el dígito 0, como se muestra en la Figura 13.

Figura 13:

El sistema de Codificación Pfafstetter para la identificación de cuencas hidrográficas



Nota: El proceso de codificación se realiza desde aguas abajo (desembocadura) hacia aguas arriba (naciente de la cuenca). En ArcGIS, el dígito correspondiente

a cada unidad hidrográfica se asigna en la tabla de atributos del archivo vectorial shapefile de las unidades delimitadas.

3.6. METODOLOGÍA DEL OE.2: EXPLORACIÓN DE LAS SUBCUENCAS DEL RIO TUGADUAJA MEDIANTE EL MÉTODO DE SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL, PARA LA OBTENCIÓN DE LA UBICACIÓN DE LOS ACUIFEROS COLINDANTES A LA COMUNA TUGADUAJA.

Con el fin de cumplir con el segundo objetivo de la investigación se realizaron once salidas de campo en la comuna Tugaduaia de la parroquia Chanduy en la cual se abarcaron quince puntos de muestreo. En cada sitio de muestreo se utilizó el TERRAMETER SAS 4000, el cual se obtuvo por medio laboratorio de suelos, hormigones y asfalto de la Universidad Estatal Península de Santa Elena para realizar los respectivos ensayos. Para la realización de este proyecto se consideró un punto central del cual depende de la distancia horizontal del terreno, comenzamos colocando un electrodo el cual servirá de guía para la colocación de las respectivas cintras métricas en base a la configuración Schlumberger se procede a ir colocando los demás electrodos en las distancias correspondientes. Seguidamente se ajusta y comprueba la calibración del equipo, así como a verificar la correcta ubicación de los conectores de la batería. Después, se identifican los cables conductores externos e internos de electricidad y se van colocando gradualmente en los electrodos a medida que se avanza según las distancias especificadas por la configuración de electrodos Schlumberger. Durante este proceso, se registran los valores de resistividad correspondientes y el porcentaje de desviación estándar en el formulario de campo. Finalmente, se retiran los electrodos del lugar junto con todo el equipo utilizado para llevar a cabo la prueba.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DEL O.E.1: DELIMITAR LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS EN LA COMUNA TUGADUAJA MEDIANTE SOFTWARE DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA CONCEPTUALIZACIÓN HIDROGEOMORFOLOGIA

Para cumplir con uno de los objetivos de este estudio, se determinaron las diversas variables morfométricas utilizando el software ArcGIS 10.3, basándose en la cartografía base disponible en el Instituto Geográfico Militar

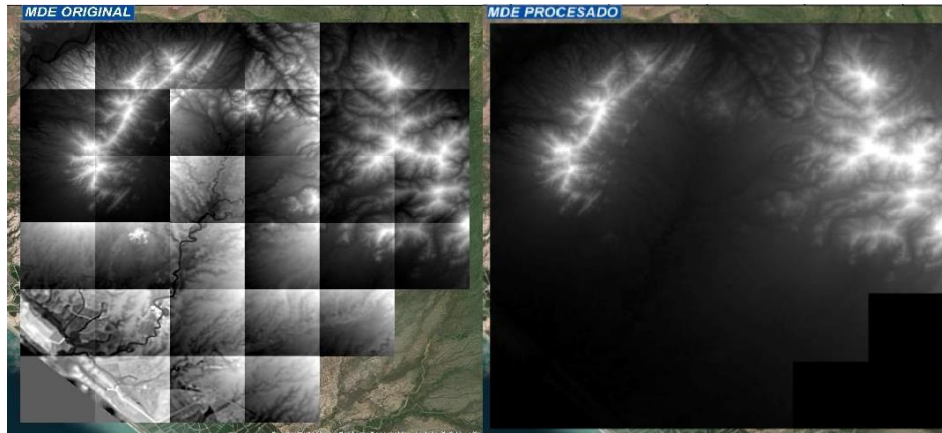
Los resultados se presentan en función de los productos obtenidos en cada una de las etapas de la metodología:

4.1.1. Obtención de datos MDE y preprocesamiento

La verificación de los límites (divisoria de aguas) de la Cuenca del Rio Tugaduaja se llevó a cabo utilizando el software ArcGIS 10.8, integrando como cartografía base la información topográfica digital del Instituto Geográfico Militar a escala 1:50,000 con el Datum WGS84 UTM Zona 17 Sur. Posteriormente, mediante un procesamiento altimétrico, se generó el Modelo Digital de Elevación (MDE). Como resultado del preprocesamiento, se corrigieron las celdas con valores “NoData” y se eliminaron los sumideros y picos del modelo. La Figura 14 ilustra estos ajustes.

Figura 64:

Resultado del procesamiento y agrupación de datos



Para completar exitosamente las siguientes etapas de limitación, es fundamental realizar correcciones al MDE. Estas correcciones incluyen el llenado de celdas con valores “NoData” y la eliminación de picos y sumideros. El orden en que se ejecutaron estas correcciones garantizó la precisión del procesamiento.

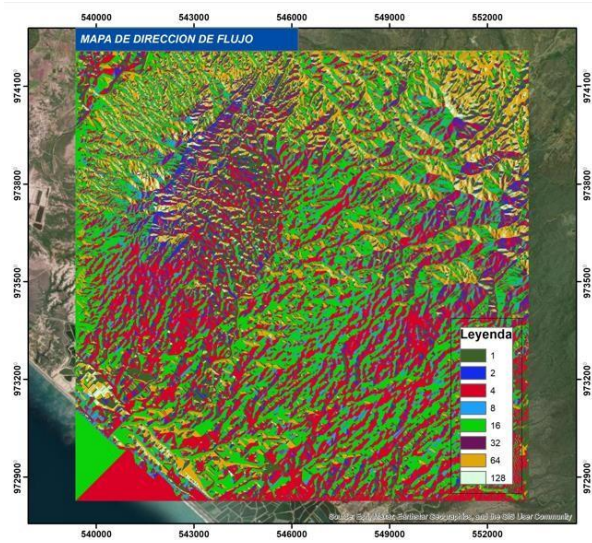
En la optimización del modelo, se destacan el uso de algoritmos de interpolación del vecino próximo, álgebra de mapas y estadísticas focales.

4.1.2. Dirección de flujo

Se generó el raster de dirección de flujo, en el cual cada celda almacena el valor correspondiente a la dirección de la pendiente máxima. La dirección de flujo se creó utilizando el MDE depurado. Los valores de dirección, que varían de 1 a 128, se asignan en función de la pendiente relativa a las celdas vecinas.

Figura 65:

Dirección de flujo

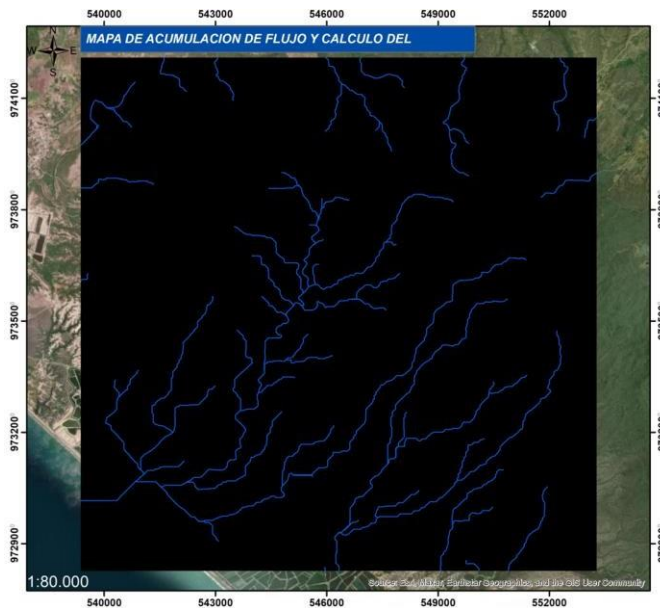


4.1.3. Acumulación de flujo y cálculo del umbral

Esta fase resultó en la generación del raster de acumulación de flujo, sobre el cual se llevó a cabo el procedimiento de cálculo del umbral. Los rastros de acumulación de flujo se dividieron en dos categorías. La segunda clase estableció un valor de 110,000 como umbral de acumulación para determinar el flujo del río principal y sus aportantes.

Figura 16:

Acumulación de flujo y cálculo del umbral

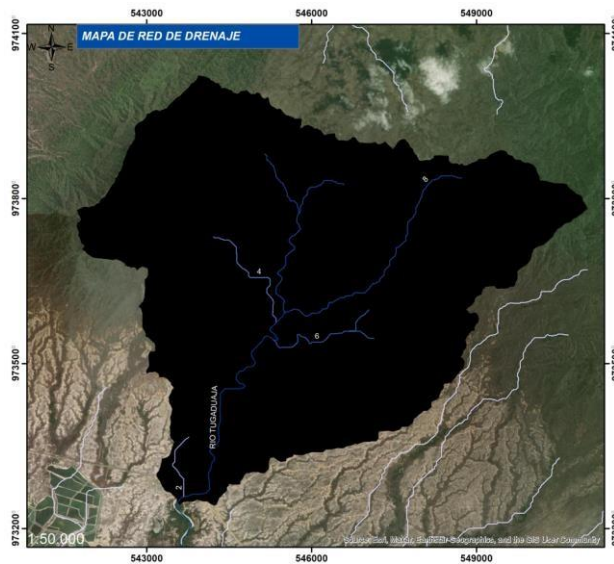


4.1.4. Red de drenaje

Se generó el raster de la red de drenajes, el cual identifica el curso principal del río y los tributarios principales que definen las unidades hidrográficas tipo cuenca. Estos tributarios se enumeran con dígitos pares. Además, las unidades hidrográficas tipo intercuenca son determinadas por la red de drenajes. El proceso automático asigna un código único a cada segmento de las ocho unidades hidrográficas.

Figura 17:

Mapa de red de drenaje

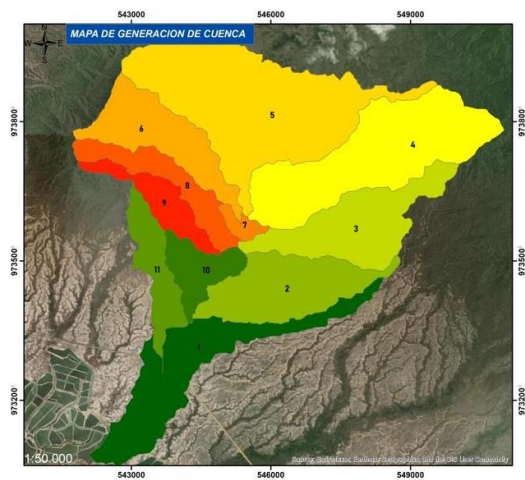


4.1.5. Generación de cuencas

Esta etapa conduce a la delimitación o creación automática del archivo raster de las once unidades hidrográficas. La dirección de flujo y la red de drenaje previamente establecidas eran necesarias para la creación de cuencas.

Figura 18:

Mapa de generación de cuenca

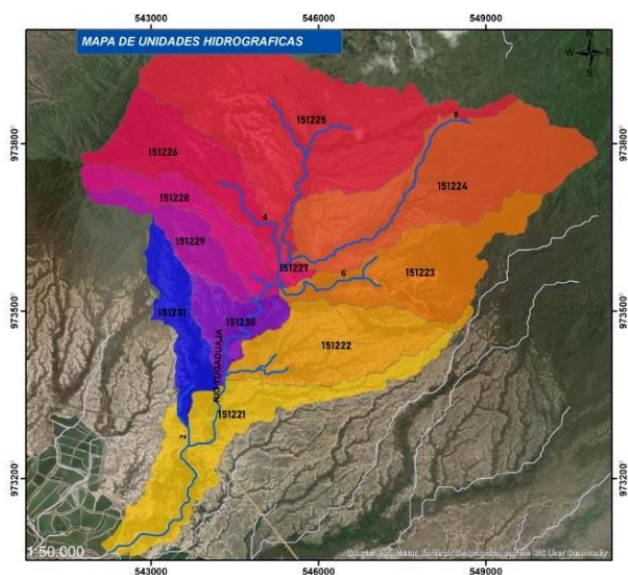


4.1.6. Vectorización y codificación

La vectorización de cuencas resultó en un archivo digital en formato shapefile, datum WGS84 UTM zona 17 Sur que contenía las 11 microcuencas delimitadas que pertenecían a la unidad hidrográfica del río Tugaduaja. Cada microcuenca también tiene su propia codificación establecida. Conforme a los lineamientos del método Pfafstetter, las microcuencas se denominan unidades hidrográficas de nivel 6 para la presentación de los resultados.

Figura 19:

Mapa de unidades hidrográficas delimitadas



La Tabla 8 muestra los atributos establecidos en el archivo shapefile para los 11 polígonos de las unidades de drenaje limitadas.

Tabla 8:

Atributos de las unidades hidrográficas delimitadas

Cuenca	Nombre 6	Tipo	Área Ha	Perímetro km
	ud. hidrográfica 151221	Intercuenca	488.92	20.26
	ud. hidrográfica 151222	Cuenca	409.56	11.73
	ud. hidrográfica 151223	Intercuenca	427.09	13.09
Unidad	ud. hidrográfica 151224	Cuenca	747.34	15.29
hidrográfica río	ud. hidrográfica 151225	Intercuenca	1040.09	20.72
Tugaduaja	ud. hidrográfica 151226	Cuenca	341.64	11.98
(Código nivel 5:	ud. hidrográfica 151227	Intercuenca	39.35	3.83
15122)	ud. hidrográfica 151228	Cuenca	200.69	10.95
	ud. hidrográfica 151229	Cuenca	158.03	8.96
	ud. hidrográfica 151230	Intercuenca	161.37	7.01
	ud. hidrográfica 151231	Cuenca	192.58	10.25

Como se muestra en la Tabla 8, el código del nivel 5 se utilizó para codificar el nivel 6 del río Tugaduaja. Se definieron las seis unidades tipo cuenca y las cinco intercuenas de acuerdo con las directrices de la metodología, y el nivel de delimitación actual se puede determinar mediante el número de dígitos del código.

Utilizando el método Pfafstetter, los hallazgos de esta investigación se integran adecuadamente a la información de cuencas hidrográficas oficializadas por la Secretaría del Agua. La topografía del terreno ayudó a dividir las unidades hidrográficas en nivel 6, lo que permitió obtener áreas de captación que, por su tamaño y detalle, ayudaron a analizar la distribución espacial de las comunidades y los usuarios del agua.

Al establecer como punto de descarga la desembocadura de cada unidad hidrográfica en nivel 6, la subdivisión de la unidad hidrográfica del río Tugaduaja puede favorecer en la planificación y el trabajo de campo, permitiendo analizar concretamente la oferta hídrica.

Debido a que la resolución del MDE no estaba a favor de continuar subdividiendo el nivel 5, los trabajos de la UICN et al. (2009), no aumentaron los niveles de delimitación. Sin embargo, el nivel 6 de unidades hidrográficas fue

posible gracias a las bases definidas en ese estudio y al manual de la UICN SUR et al. (2010)

La delimitación de cuencas, subcuencas y microcuencas es factible, con solo la corrección de errores de fuente; los datos MDE de 30 metros de resolución espacial liberados por la NASA en 2014 se pueden utilizar.

CNRH & Ministerio del Ambiente (2002) creó una propuesta en que resultó en la creación de cuencas y subcuencas en Ecuador. Sin embargo, la técnica empleada cumplía con los requisitos establecidos a nivel nacional y con la cartografía básica localmente disponible.

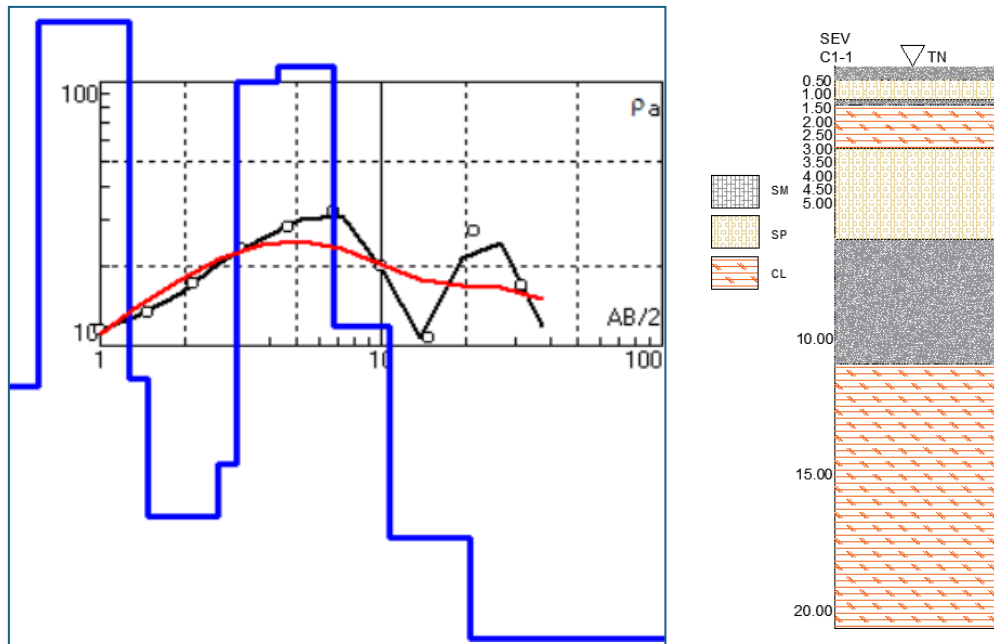
4.2. RESULTADOS DEL O.E.2: EXPLORACIÓN DE LAS SUBCUENCAS DEL RIO TUGADUAJA MEDIANTE EL MÉTODO DE SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL, PARA LA OBTENCIÓN DE LA UBICACIÓN DE LOS ACUIFEROS COLINDANTES A LA COMUNA TUGADUAJA.

Como parte del cumplimiento del segundo objetivo, se han obtenido los valores de resistividad a distintas profundidades, las cuales fueron procesadas a través de la aplicación del software ip2twin para su interpretación y clasificación correspondiente

SEV C1-1 COMUNA TUGADUAJA.- Los resultados en el primer sondeo se muestra 7 clasificaciones de suelo distintas de acorde a la curva teórica mostrada a continuación:

Figura 20:

Curva teórica y perfil estratigráfico del ensayo C1-1



0.00 m– 0.60 m de profundidad. - el primer estrato de suelo obtuvo una resistividad de $7.06 \Omega\text{m}$, este resultado se encuentra acorde a lo propuesto por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) indica que es una arena fina limosa y (Gonçalves et al., 2021a) menciona que un material arcilloso, de igual manera al ser el estrato más superficial, se estima que el contenido de materia orgánica es poco significativo. Por ende, se evalúa que el primer estrato contiene arcilla de acorde al valor de resistividad que se obtuvo.

0.60 m – 1.27 m de profundidad.- el segundo estrato de suelo se obtuvo una resistividad de $168 \Omega\text{m}$, donde se evalúa con el criterio de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) que menciona que es una arena densa y (Gonçalves et al., 2021b) menciona que es una arena arcillosa.

1.27 m – 1.48 m de profundidad.- la tercera capa de suelo de resistividad fue de $7.47 \Omega\text{m}$ en la cual disminuyó en comparación al estrato anterior. Para este estrato se consideró el rango establecido en el diagrama de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) indicando que es una arena fina limosa y (Gonçalves et al., 2021b) indicando que pertenece a una arcilla blanda – lutitas.

1.48 m – 3.08 m de profundidad.- en la cuarta de capa de estudio se obtuvo las siguientes resistividades de 2.26 Ωm y 3.58 Ωm , en la que según el criterio de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) señala que es arcilla y (Gonçalves et al., 2021b) indica que es una arcilla blanda – lutitas.

3.08 m – 7.54 m de profundidad.- la quinta capa presenta resistividades correspondientes a los valores de 1.01 Ωm y 1.14 Ωm identificándose según (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) es una arena densa y (Gonçalves et al., 2021b) una arena arcillosa – limo arcilloso.

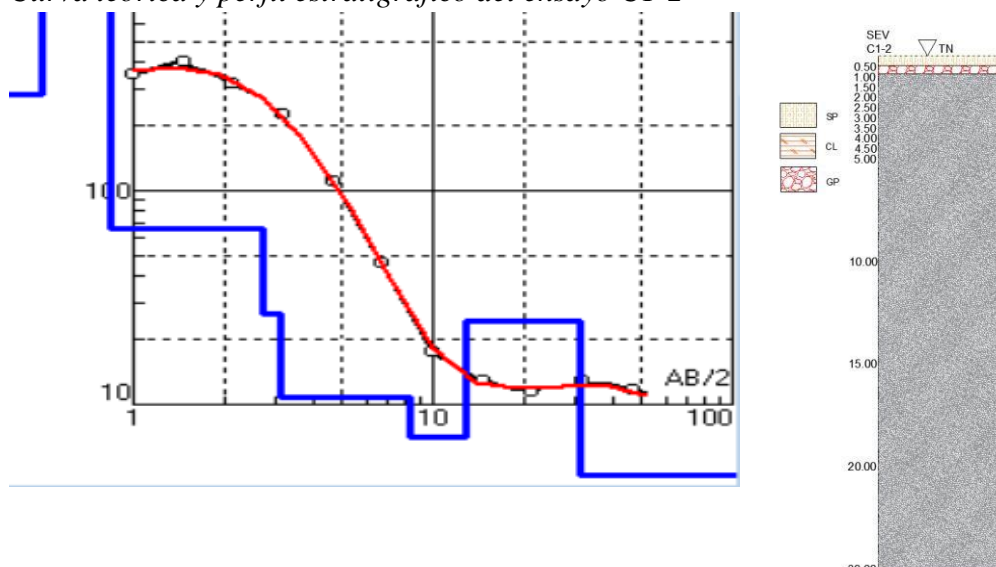
7.54 m – 11.37 m de profundidad.- en el sexto estrato tiene el mismo criterio de la primera y tercera capa, con una resistividad de 11.8 Ωm donde (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) indica que es una arena fina limosa y (Gonçalves et al., 2021b) indica que es una arcilla blanda – lutita.

11.37 m – 21.47 m de profundidad.- por último, la capa final de análisis muestra una resistividad de de 1.88 Ωm identificándose en la cual (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) indica que es un material arcilloso y (Gonçalves et al., 2021b) indica que es una arcilla blanda – lutita.

SEV C1-2 COMUNA TUGADUAJA.- Los resultados en el segundo sondeo se muestra 3 clasificaciones de suelo distintas de acorde a la curva teórica mostrada a continuación:

Figura 21:

Curva teórica y perfil estratigráfico del ensayo C1-2



0.00 m– 0.5 m de profundidad. - en la primera capa de suelo identificada en el sondeo 2 muestra una resistividad de de 283 Ωm identificándose en la cual (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) indica que es una arena densa y (Gonçalves et al., 2021b) indica que es una grava.

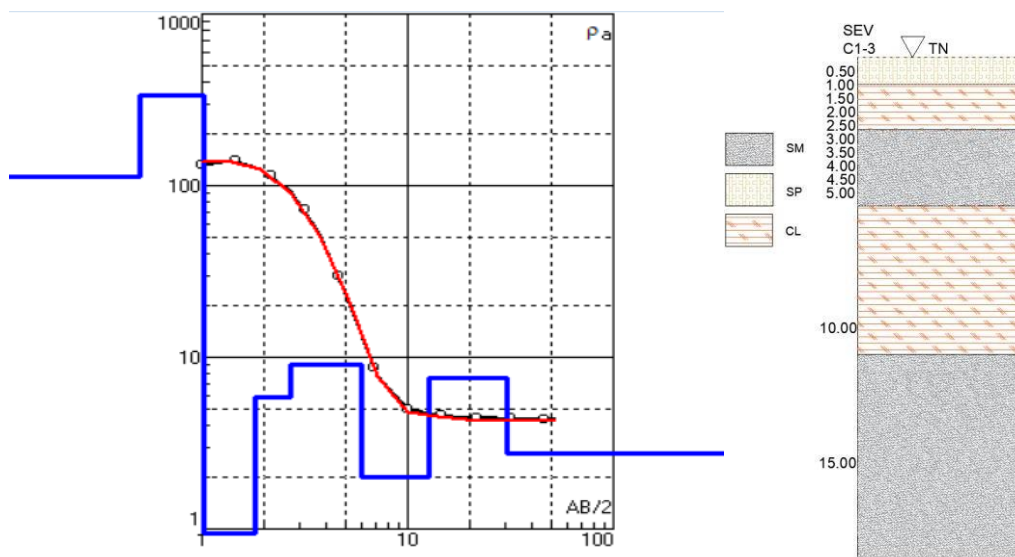
0.5 m– 0.83 m de profundidad. - en la segunda capa de suelo se observa un valor de resistividad correspondiente a 1330 Ωm en la cual según la tabla esta acoge a lo expuesto por cual (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) menciona que es roca coquina y (Gonçalves et al., 2021b) indica que es una grava.

0.83 m– 31.01 m de profundidad. - en la última capa de suelo se observa un valor de resistividad correspondiente a 66.6 Ωm , 26.6 Ωm , 10.7 Ωm , 7.06 Ωm , 24.4 Ωm en la en la que según el criterio de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) señala que es una arena fina limosa o arena fina con grava y (Gonçalves et al., 2021b) indica es una arcilla rojiza.

SEV C1-3 COMUNA TUGADUAJA.- El tercer sondeo muestra 6 clasificaciones de suelo distintas de acorde a la curva teórica mostrada a continuación:

Figura 22:

Curva teórica y perfil estratigráfico del ensayo C1-3



0.00 m – 0.5 m de profundidad. - el primer estrato de suelo obtuvo una resistividad de $112 \omega \cdot m$, este resultado se encuentra acorde a lo propuesto por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) que indica que es una arena densa y (Gonçalves et al., 2021b) para materiales arcillosos.

0.5 m – 1.02 m de profundidad. - en el siguiente estrato se muestra un aumento de la resistividad con un valor de $339 \Omega m$, en consecuencia, se evalúa con la tabla donde (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) indica que es una arena densa y grava de acuerdo con (Gonçalves et al., 2021b)

1.02 m – 2.69 m de profundidad. - este estrato de suelo situado a los 1.022 m de profundidad se encuentran resistividades de $0.941 \Omega m$ y $5,89 \Omega m$, se clasificará siguiendo criterio de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) son arcillas y arcillas blandas – lutitas de acuerdo con (Gonçalves et al., 2021b) .

2.69 m – 5.94 m de profundidad. - en la cuarta capa de 2.692 metros de profundidad se distingue una capa de suelo con una resistividad de $9.07 \Omega m$, de acuerdo con los rangos especificados en las TABLAS estos valores corresponden (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) a una arena fina limosa y (Gonçalves et al., 2021b) considera un material arcilloso probablemente de consistencia blanda.

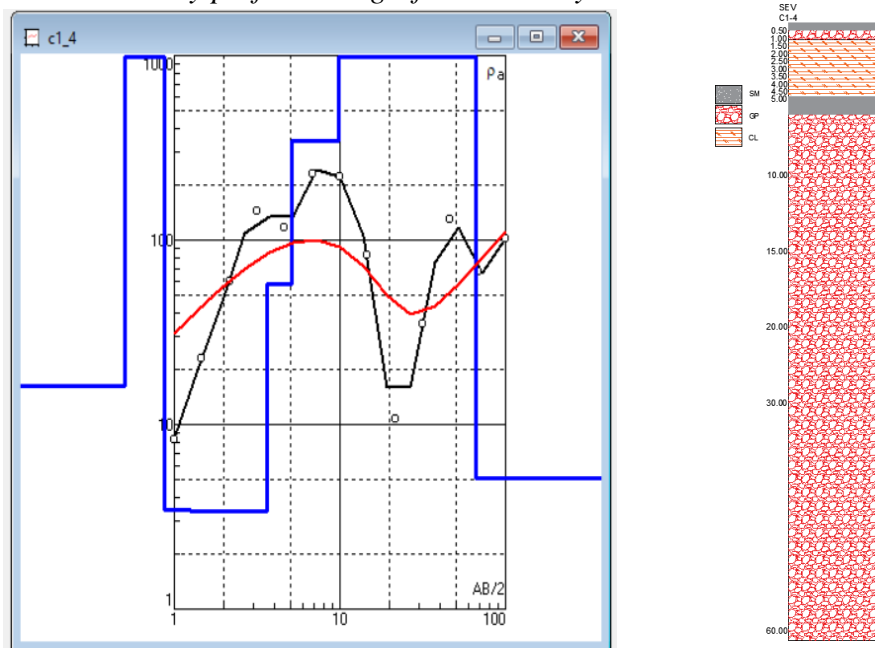
5.94 m – 12.61 m de profundidad. - en la quinta capa presenta resistividad correspondiente de $2.0 \Omega m$ identificándose según (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) es una arcilla y (Gonçalves et al., 2021b) una arena arcillosa blanda - lutitas.

12.61 m – 18 m. de profundidad –por último, a partir de los 12.61m de sondeo se aprecia un incremento de la resistividad de $7.62 \Omega m$. De acuerdo con los rangos especificados en las TABLAS estos valores corresponden (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) a una arena fina limosa y (Gonçalves et al., 2021b) considera un material arcilloso probablemente de consistencia blanda.

SEV C1-4.2 COMUNA TUGADUAJA. – El cuarto punto de muestreo se identificaron 5 clasificaciones de suelo distintas de acorde a la curva teórica mostrada a continuación:

Figura 23:

Curva teórica y perfil estratigráfico del ensayo C1-4.2



0.00 m – 0.5 m de profundidad. – en los primeros 0.5 metros de profundidad de suelo se obtuvo una resistividad de $16.1 \Omega\text{m}$, este resultado se encuentra acorde a lo propuesto por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) que indica que es una arena fina limosa y (Gonçalves et al., 2021b) para una arcilla rojiza – pizarra.

0.5 m – 0.87 m de profundidad. - en los resultados de la segunda capa de suelo presentan una resistividad de $2025 \Omega\text{m}$ mayor que el valor registrado en la capa anterior. Acogiéndonos a la tabla presentada y tomando el criterio (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) menciona que es una roca coquina y (Gonçalves et al., 2021b) una roca granulita.

0.87 m – 4.77 m de profundidad. - en la tercera de capa de estudio la resistividad disminuyó a $3,46 \Omega\text{m}$ y $3.38 \Omega\text{m}$. Para este estrato se consideró el rango establecido en la tabla expuesta anterior por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) que indica que arcilla y (Gonçalves et al., 2021b) para una arcilla blanda-lutitas.

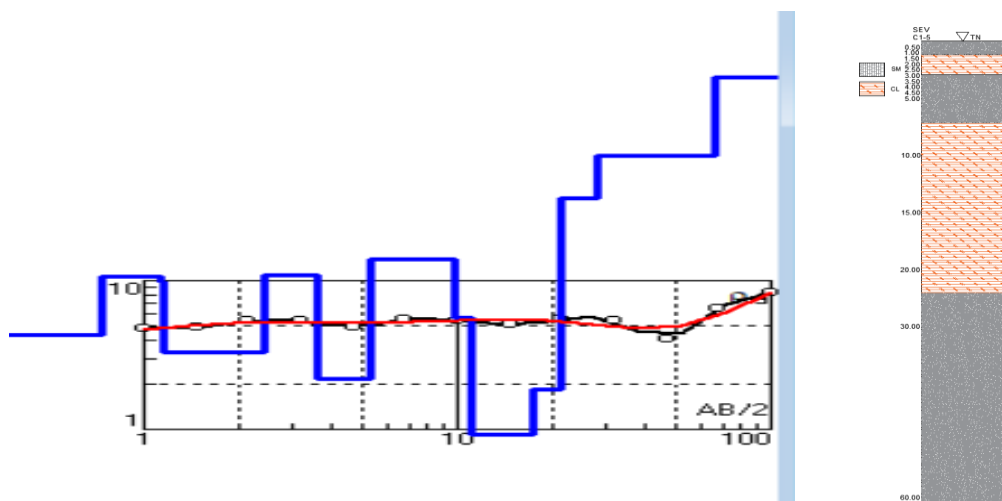
4.77 m – 6.27 m de profundidad.- se puede observar un incremento de la resistividad de $58\Omega\text{m}$, por lo tanto, se evalúa este estrato como una arena fina limosa (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) y (Gonçalves et al., 2021b) como un limo.

6.27 m – 67.37 m de profundidad.- en la última capa presenta resistividades de $343\Omega\text{m}$, $11000\Omega\text{m}$ y $1724\Omega\text{m}$ identificándose como suelo predominante la roca coquina según (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) y (Gonçalves et al., 2021b) como suelo predominante gravas.

SEV C1-5 COMUNA TUGADUAJA. – El quinto punto de muestreo se identificaron 5 clasificaciones de suelo distintas de acorde a la curva teórica mostrada a continuación:

Figura 24:

Curva teórica y perfil estratigráfico del ensayo C1-5



0.00 m – 1.2 m de profundidad. – el primer estrato de suelo se obtuvo una resistividad de $10.8\Omega\text{m}$, este resultado se encuentra acorde a lo propuesto por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) que indica que es una arena fina limosa y (Gonçalves et al., 2021b) para una arcilla blanda – lutitas.

1.2 m – 2.91 m de profundidad. – en el segundo estrato de suelo se observa un valor de resistividad correspondiente a $2.18\Omega\text{m}$, este resultado de acuerdo con los autores (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) que indica que es una arcilla y (Gonçalves et al., 2021b) igual que el estrato anterior es una arena blanda lutita.

2.91 m – 7.43 m de profundidad. – a los 7.43 metros de profundidad se distingue una resistencia de 13.8 Ω m. Para este al igual que el primer estrato, encontramos una arena fina limosa considero el rango establecido por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) y una arcilla blanda – lutita por (Gonçalves et al., 2021b).

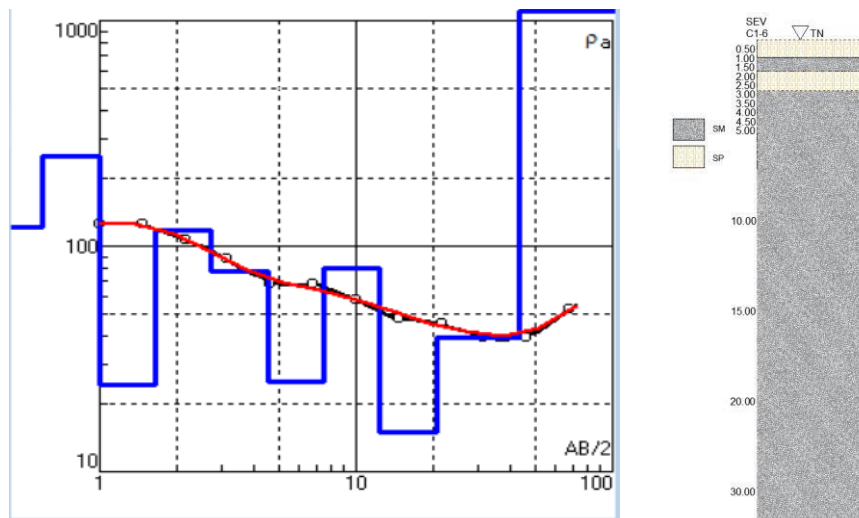
7.43m – 24.67 m de profundidad. – en el siguiente estrato se observa resistividades correspondientes a 5.58 Ω m, 0.925 Ω m y 1.84 Ω m son resistividades menores al estrato anterior, a lo que se evalúa a tener arcillas según (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) y arcillas blandas – lutitas según lo establecido por (Gonçalves et al., 2021b).

24.67 m – 69.42 m de profundidad. – en este estrato de suelo se incrementó la resistividad, alcanzando un valor de 35.7 Ω m y 68.5 Ω m a lo que se evalúa a tener arenas finas limosas según (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) y arcillas rojizas / limos según lo establecido por (Gonçalves et al., 2021b).

SEV C1-6 COMUNA TUGADUAJA. – El sexto punto de muestreo se identificaron 4 clasificaciones de suelo distintas de acorde a la curva teórica mostrada a continuación:

Figura 25:

Curva teórica y perfil estratigráfico del ensayo C1-6



0.00 m – 0.99 m de profundidad. - el primer estrato de suelo obtuvo resistividades de 121 Ω m y 254 Ω m, este resultado se encuentra acorde a lo propuesto por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) que indica que es una arena densa y (Gonçalves et al., 2021b) pertenece a un tipo de arena arcillosa – limo arcillosa y grava.

0.99 m – 1.65 m de profundidad. - en el siguiente estrato se muestra una resistividad con un valor de 24.1 Ω m, en consecuencia, se evalúa con la tabla donde (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) indica que es una arena fina limosa y arcilla rojiza de acuerdo con (Gonçalves et al., 2021b).

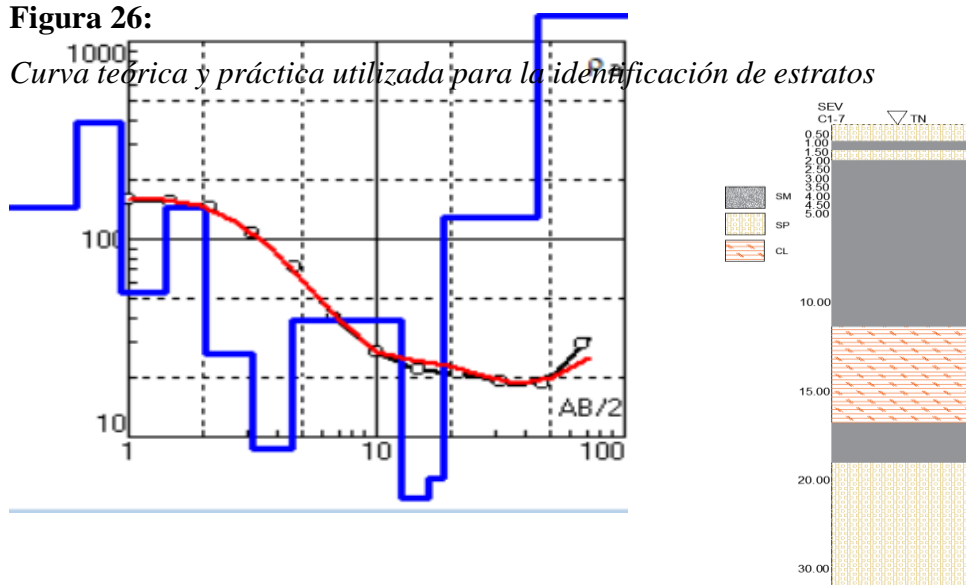
1.65 m – 2.73 m de profundidad.- el tercer estrato de suelo situado a los 1.647 m de profundidad se encuentran una resistividad de 117 Ω m, se clasificará siguiendo criterio de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) es una arena densa y arena arcillosa de acuerdo con (Gonçalves et al., 2021b).

2.73 m – 43.06 m de profundidad.- en la última capa presenta resistividades de 77.6 Ω m , 25 Ω m , 79.6 Ω m , 14.9 Ω m y 39 Ω m identificándose como suelo predominante la arena fina limosas según (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) y (Gonçalves et al., 2021b) como una arena arcillosa, arcilla rojiza y arcilla blanda.

SEV C1-7 COMUNA TUGADUAJA. – El quinto punto de muestreo se identificaron 7 clasificaciones de suelo distintas de acorde a la curva teórica mostrada a continuación:

Figura 26:

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos



0.00 m– 0.93 m de profundidad. - en la primera capa de suelo identificada en el sondeo muestra resistividades de 146 Ωm y 387 Ωm identificándose en la cual (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) indica que es una arena densa y (Gonçalves et al., 2021b) indica que es una grava.

0.93 m– 1.41 m de profundidad. - en la segunda capa de suelo se observa un valor de resistividad correspondiente a 53.9 Ωm en la cual según la tabla esta acoge a lo expuesto por cual (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) menciona que es arena fina limosa y (Gonçalves et al., 2021b) indica que es un limo.

1.41 m– 2.04 m de profundidad. - en la tercera capa de suelo se observa un valor de resistividad correspondiente a 143 Ωm se puede ver un aumento y en la en la que según el criterio de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) señala que es una arena densa y (Gonçalves et al., 2021b) indica es una arena arcillosa

2.04 m– 12.60 m de profundidad. – este estrato de suelo se observa un valor de resistividad correspondiente a 26.2 Ωm , 8.75 Ωm y 39.2 Ωm se clasificará siguiendo el criterio de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) es una arenas finas limosas y arcilla rojiza / arcilla blanda de acuerdo con (Gonçalves et al., 2021b).

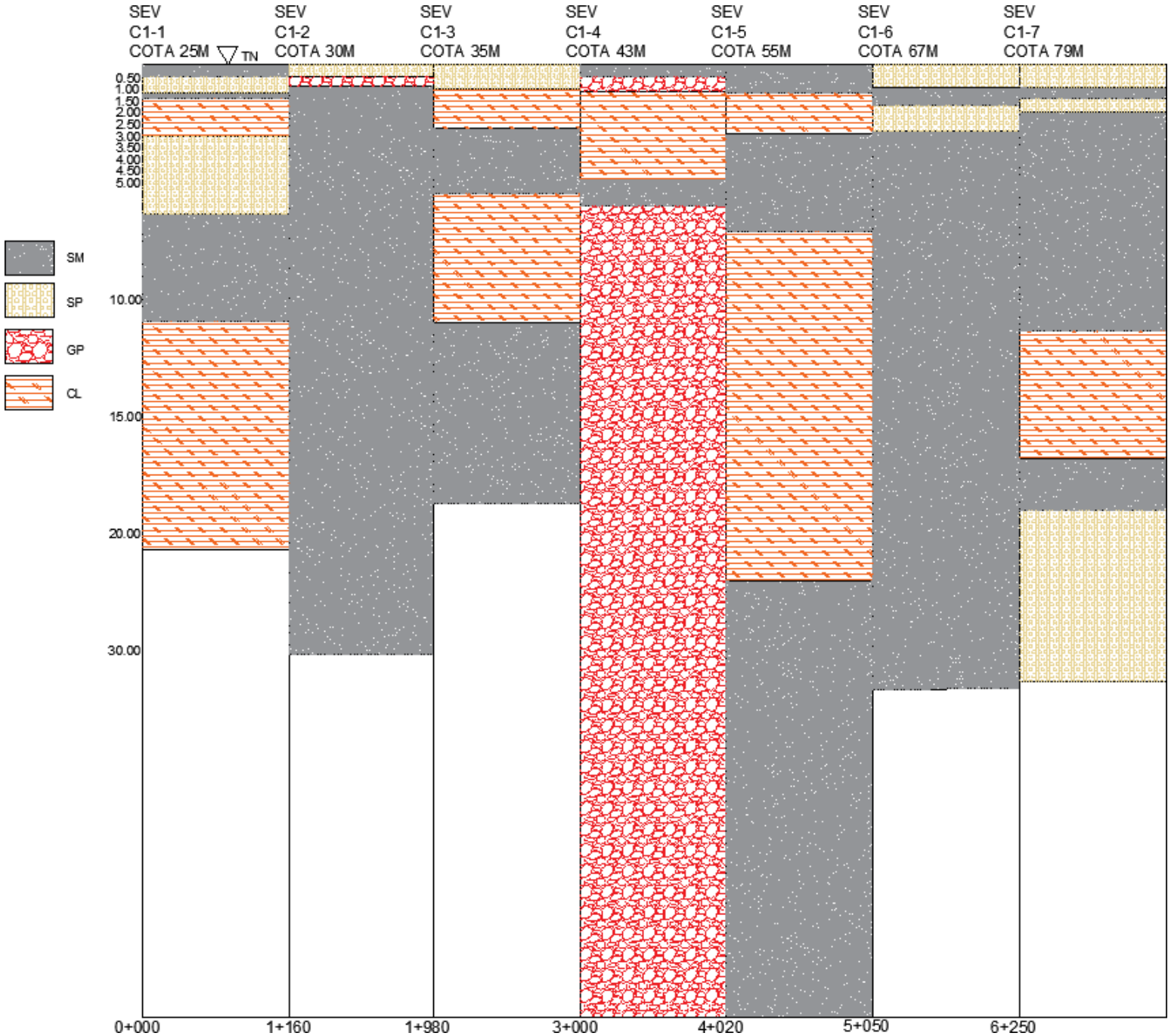
12.60 m – 16.23 m de profundidad.- esta capa presenta resistividad de 1.95 Ωm , identificándose como suelo predominante en arcilla según (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) y (Gonçalves et al., 2021b) como arcilla blanda-lutitas.

16.23 m – 18.63 m de profundidad. – a los 16.227 metros de profundidad se distingue una resistencia de 6.17 Ωm . Para este al igual que el cuarto estrato, encontramos unas arenas finas limosas consideró el rango establecido por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) y una arcilla blanda – lutita por (Gonçalves et al., 2021b) .

18.63 m – 44.63 m de profundidad.- en la última capa presenta resistividades de 129 Ωm identificándose como arena densa según (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) y (Gonçalves et al., 2021b) como una arena arcillosa-limo arcillosa.

Figura 27:

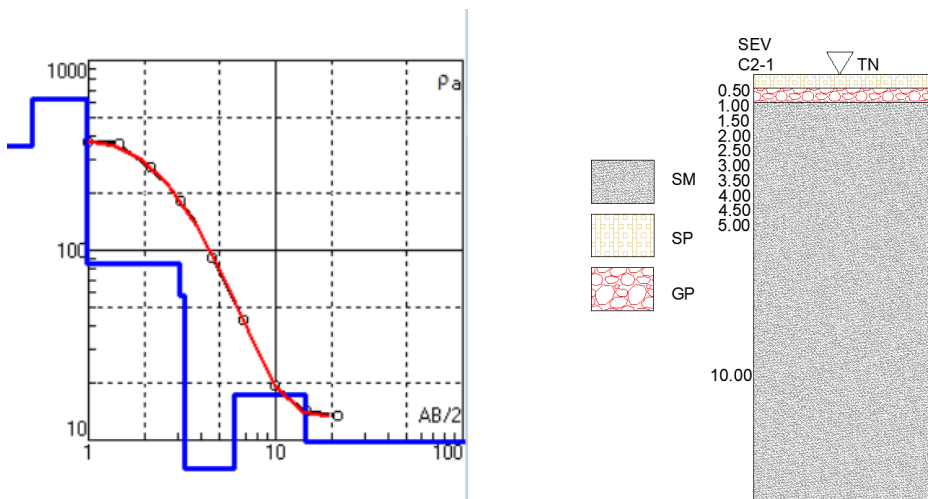
Estratigrafía de la Subcuenca 1



SEV C2-1 COMUNA TUGADUAJA.- Los resultados en el primer sondeo se muestra 3 clasificaciones de suelo distintas de acorde a la curva teórica mostrada a continuación:

Figura 28:

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos



0.00 m– 0.5 m de profundidad. - a los primeros 0,5 metros de profundidad se obtuvo una resistividad de $353.1 \Omega m$, se considera en base a la tabla propuesto por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) que el estrato se encuentra constituido por arena densa y grava por (Gonçalves et al., 2021b).

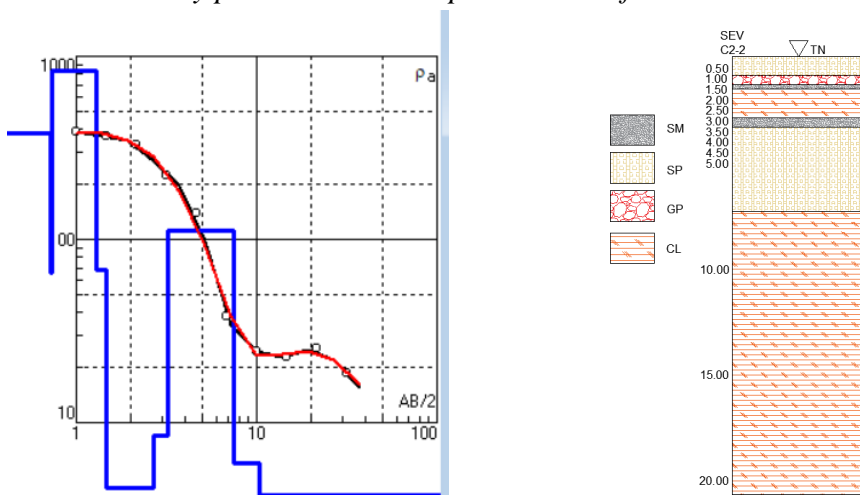
0.5 m– 0.99 m de profundidad. – en el segundo estrato se obtuvo una resistividad de $625 \Omega m$, en la cual según la tabla esta acoge a lo expuesto por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) menciona que es roca coquina y (Gonçalves et al., 2021b) sigue manteniéndose en grava.

0.9 m– 14.43 m de profundidad. – este estrato de suelo se observa un valor de resistividad correspondiente a $84.4 \Omega m$, $58.05 \Omega m$, $7.088 \Omega m$ y $17.23 \Omega m$, se clasificará siguiendo el criterio de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) es unas arenas finas limosas/arenas finas con grava y arena arcillosa, limos y arcilla blanda de acuerdo con (Gonçalves et al., 2021b).

SEV C2-2 COMUNA TUGADUAJA.- Los resultados en el segundo sondeo se muestra 8 clasificaciones de suelo distintas de acorde a la curva teórica mostrada a continuación:

Figura 29:

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos



0.00 m– 0.72 m de profundidad. - el primer estrato de suelo obtuvo una resistividad de 378 Ω m, este resultado se encuentra acorde a lo propuesto por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) indica que es una arena densa y (Gonçalves et al., 2021b) menciona que una grava.

0.72 m – 0.74 m de profundidad.- el segundo estrato de suelo se obtuvo una resistividad de 65.9 Ω m, donde se evalúa con el criterio de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) que menciona que es una arena fina limosa y (Gonçalves et al., 2021b) menciona que es un limo.

0.739 m – 1.29 m de profundidad.- la tercera capa de suelo de resistividad fue de 836 Ω m en la cual aumento en comparación al estrato anterior. Para este estrato se consideró el rango establecido en el diagrama de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) indicando que es una roca coquina y (Gonçalves et al., 2021b) indicando que pertenece a una grava al igual que el primer estrato.

1.29 m – 1.48 m de profundidad.- en la cuarta de capa de estudio se obtuvo las siguientes resistividades de 67.9 Ω m, en la que según el criterio de (Ortega Valarezo

& Condolo Ramos, 2023a) señala que es arena fina limosa y (Gonçalves et al., 2021b) indica es un limo.

1.48 m – 2.71 m de profundidad.- la quinta capa presenta resistividades correspondientes a los valores de $4.42 \Omega\text{m}$ identificándose según (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) y (Gonçalves et al., 2021b) concluyen que es una arcilla.

2.71 m – 3.23 m de profundidad.- en el sexto estrato tiene el mismo criterio de la primera y tercera capa, con una resistividad de $8.43 \Omega\text{m}$ donde (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) indica que es una arena fina limosa y (Gonçalves et al., 2021b) indica que es una arcilla blanda – lutita.

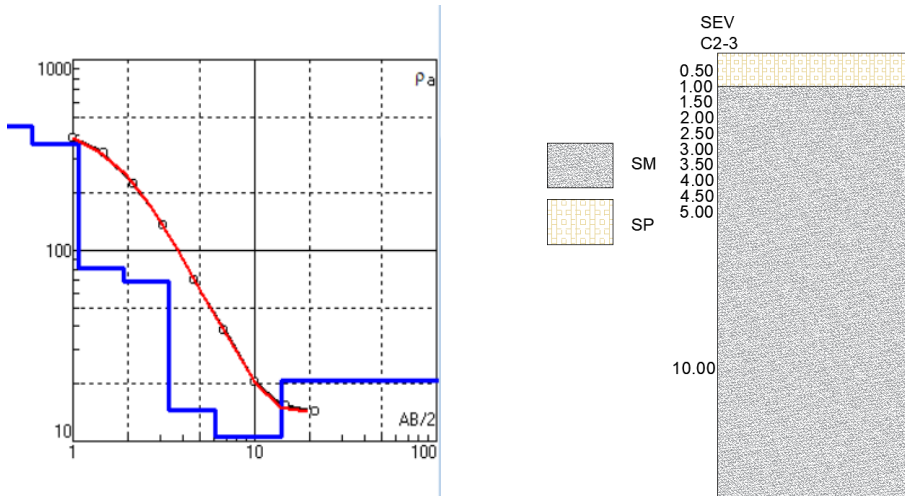
3.23 m – 7.48 m de profundidad.- en esta capa, se análisis muestra una resistividad de $112 \Omega\text{m}$, se establece un estrato de arena densa y arena arcillosa con lo detallado en las tablas por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) y (Gonçalves et al., 2021b).

7.48 m – 21.11 m de profundidad.- en la última capa presenta resistividades de $6 \Omega\text{m}$ y $1.57 \Omega\text{m}$ se evalúa este estrato como una arcilla de acuerdo con (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) y (Gonçalves et al., 2021b).

SEV C2-3 COMUNA TUGADUAJA.- Los resultados en el tercer sondeo se muestra 2 clasificaciones de suelo distintas de acorde a la curva teórica mostrada a continuación:

Figura 83:

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos



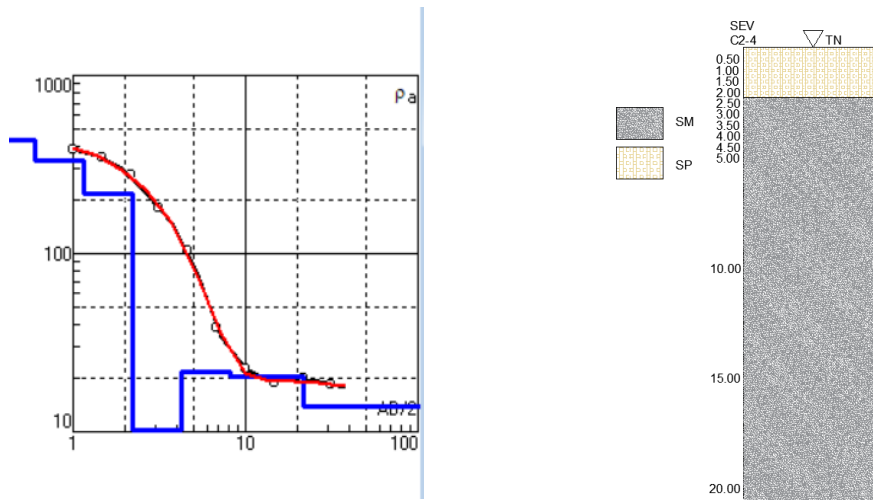
0.00 m – 1.07 m de profundidad. - a los 1.0686 metros de profundidad se obtuvo resistividades de 451 Ω m y de 362.6 Ω m por lo cual se considera en base a la tabla propuesto por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) que el estrato se encuentra constituido por arena densa y gravas por (Gonçalves et al., 2021b).

1.07 m – 14.04 m de profundidad. – en el segundo estrato se obtuvo resistividades de 81.18 Ω m, 68.55 Ω m , 14.55 Ω m y de 10.63 Ω m, como se puede observar las resistividades van disminuyendo y que la tabla esta acoge a lo expuesto por cual (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023a) menciona que es arenas finas limosas y (Gonçalves et al., 2021b) indica que es arena arcillosa/limos y arcilla blanda.

SEV C2-4 COMUNA TUGADUAJA.- Los resultados en el cuarto sondeo se muestra 2 clasificaciones de suelo distintas de acorde a la curva teórica mostrada a continuación:

Figura 84:

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos

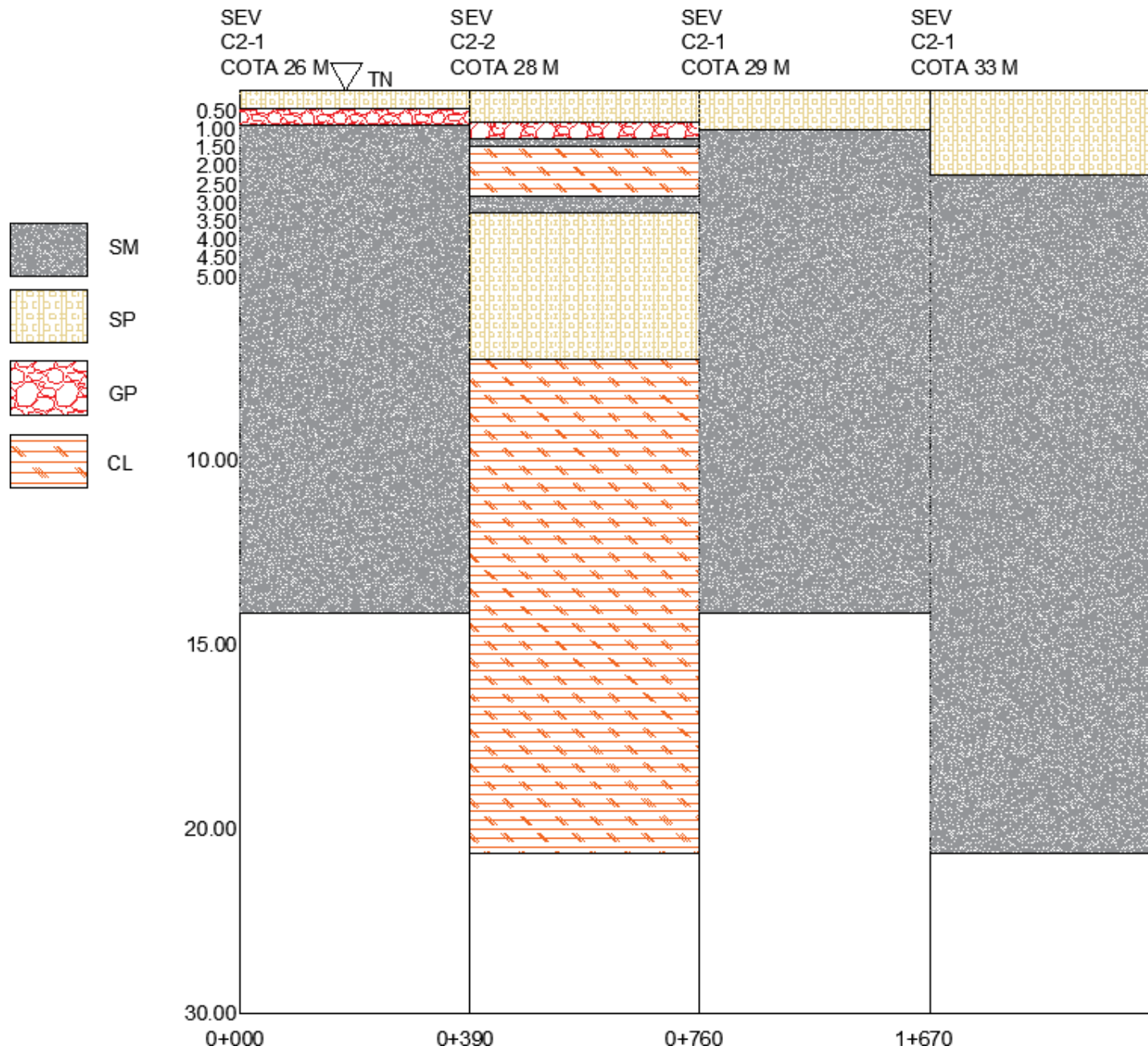


0.00 m– 2.22 m de profundidad. - a los 2.224 metros de profundidad se obtuvo resistividades de $433 \Omega m$, $330 \Omega m$ y $218 \Omega m$ por lo cual se considera en base a la tabla propuesto por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) que el estrato se encuentra constituido por arena densa y gravas por (Gonçalves et al., 2021b).

2.22 m – 21.51 m de profundidad. – este estrato de suelo se observa un valor de resistividad correspondiente a $10.3 \Omega m$, $21.8 \Omega m$, $20.4 \Omega m$, se clasificará siguiendo el criterio de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) es unas arenas finas limosas/arenas finas y arcilla blanda-lutitas/arcilla rojiza de acuerdo con (Gonçalves et al., 2021b).

Figura 32:

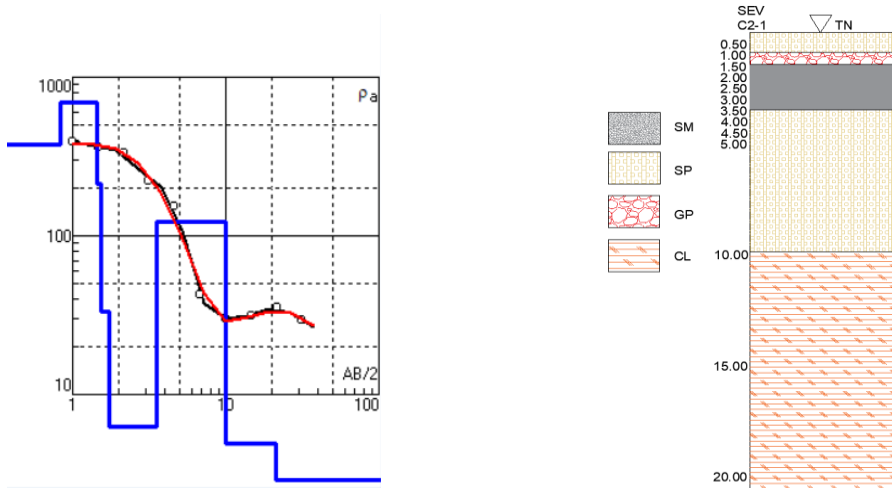
Estratigrafía de la Subcuenca 2



SEV C3-1 COMUNA TUGADUAJA.- Los resultados en el primer sondeo se muestra 6 clasificaciones de suelo distintas de acorde a la curva teórica mostrada a continuación:

Figura 33:

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos



0.00 m– 0.84 m de profundidad. - el primer estrato de suelo obtuvo una resistividad de $375 \Omega\text{m}$, este resultado se encuentra acorde a lo propuesto por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) indica que es una arena densa y (Gonçalves et al., 2021b) menciona que una grava.

0.84 m – 1.44 m de profundidad.- el segundo estrato de suelo se obtuvo una resistividad de $692 \Omega\text{m}$, donde se evalúa con el criterio de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) que menciona que es una roca coquina y (Gonçalves et al., 2021b) menciona al igual que el estrato anterior, una grava.

1.44 m – 1.53 m de profundidad.- la tercera capa de suelo de resistividad fue de $213 \Omega\text{m}$ en la cual disminuyó en comparación al estrato anterior. Para este estrato se consideró el rango establecido en el diagrama de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) indicando que es una arena densa y (Gonçalves et al., 2021b) indicando que pertenece a una grava al igual que el primer y segundo estrato.

1.53 m – 3.51 m de profundidad.- en la cuarta de capa de estudio se obtuvo las siguientes resistividades de $33.6 \Omega\text{m}$ y $6.25 \Omega\text{m}$, en la que según el criterio de

(Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) señala que es arena fina limosa y (Gonçalves et al., 2021b) indica es una arcilla rojiza/arcilla blanda.

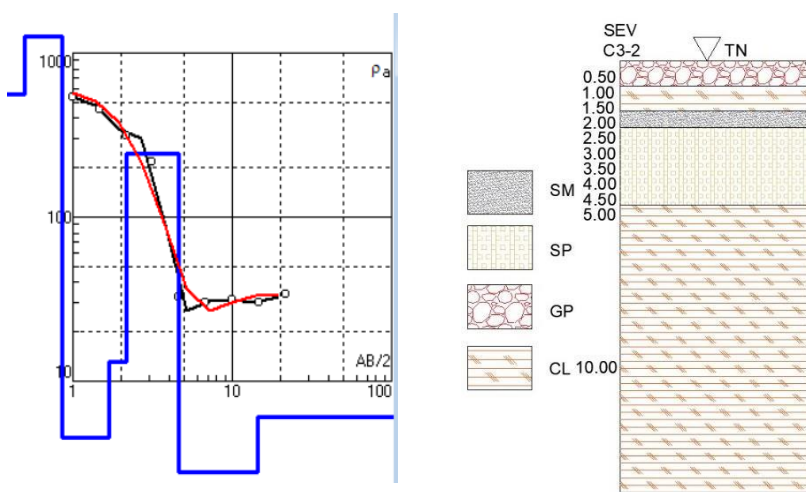
3.51 m– 10 m de profundidad. – cuando se llega a 9.997 metros de profundidad se observa una disminución de la resistividad del suelo $123 \Omega m$, se encuentra acorde a lo propuesto por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) y (Gonçalves et al., 2021b) considerándose un material arenoso.

10 m– 21.30 m de profundidad. – este estrato de suelo se observa un valor de resistividad correspondiente $4.9 \Omega m$, en consecuencia, se evalúa este estrato como una arcilla de acuerdo (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) y (Gonçalves et al., 2021b).

SEV C3-2 COMUNA TUGADUAJA.- Los resultados en el segundo sondeo se muestra 5 clasificaciones de suelo distintas de acorde a la curva teórica mostrada a continuación:

Figura 34:

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos



0.00m – 0.85 m de profundidad. - este estrato de suelo se observa la resistividad se incrementa en comparación con el análisis anterior, obteniendo como resultado una medición de $563 \Omega m$ y $1258 \Omega m$, por lo tanto, se considera según el criterio

de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) como roca coquina y (Gonçalves et al., 2021b) indica es una grava.

0.85 m – 1.70 m de profundidad. - en el segundo estrato se obtuvo una resistividad de $4.56 \Omega\text{m}$, en la cual según la tabla esta acoge a lo expuesto por cual (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) y (Gonçalves et al., 2021b) considerando que es un material arcilloso.

1.70 m – 2.17 m de profundidad. – este estrato de suelo se observa un valor de resistividad correspondiente a $13.1 \Omega\text{m}$, se clasificará siguiendo el criterio de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) es unas arenas finas limosas/arenas finas con grava y arcilla blanda de acuerdo con (Gonçalves et al., 2021b).

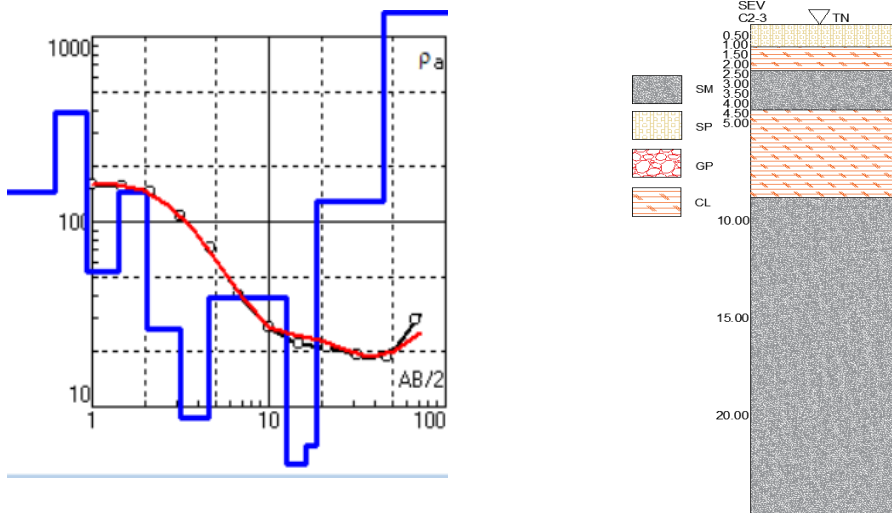
2.17 m– 4.61 m de profundidad. – cuando se llega a 4.608 metros de profundidad se observa un aumento de la resistividad del suelo $244 \Omega\text{m}$, se encuentra acorde a lo propuesto por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) considerando una arena densa y (Gonçalves et al., 2021b) considerándose una grava.

4.61 m– 14.44 m de profundidad. – este estrato de suelo se observa un valor de resistividad correspondiente $2.79 \Omega\text{m}$, en consecuencia, se evalúa este estrato como una arcilla de acuerdo (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) y (Gonçalves et al., 2021b).

SEV C3-3 COMUNA TUGADUAJA. – El tercer punto de muestreo se identificaron 5 clasificaciones de suelo distintas de acorde a la curva teórica mostrada a continuación:

Figura 35:

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos



0.00 m– 1.11 m de profundidad. - en la primera capa de suelo identificada en el sondeo muestra resistividades de $334 \Omega m$ identificándose en la cual (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) indica que es una arena densa y (Gonçalves et al., 2021b) indica que es una grava.

1.11 m – 2.35 m de profundidad. - en la segunda capa de suelo se observa un valor de resistividad correspondiente a $3.34 \Omega m$ en la cual según la tabla esta acoge a lo expuesto por cual (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) menciona que es arcilla y (Gonçalves et al., 2021b) indica que es una arcilla blanda.

2.35 m – 4.33 m de profundidad. - en la tercera capa de suelo se observa un valor de resistividad correspondiente a $18.8 \Omega m$ se puede ver un aumento y en la en la que según el criterio de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) señala que es una arena fina limosa y (Gonçalves et al., 2021b) indica es una arcilla rojiza.

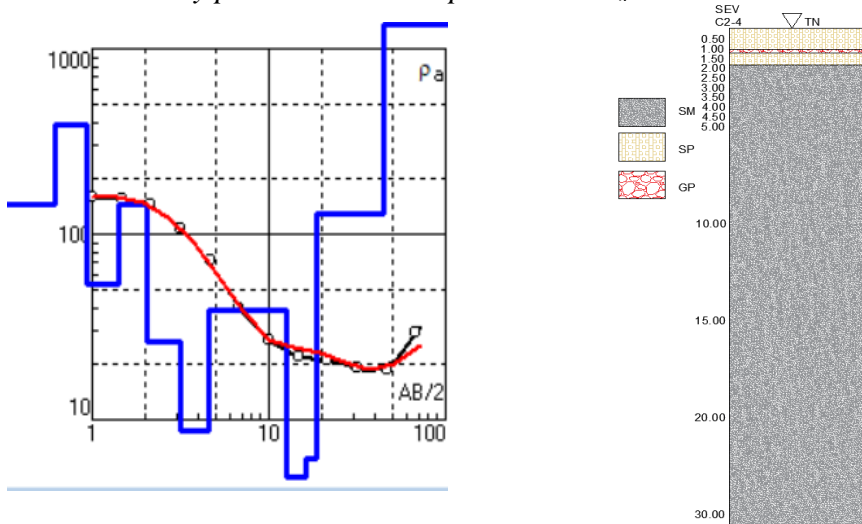
4.33 m – 8.73 m de profundidad. – este estrato de suelo se observa un valor de resistividad correspondiente a $4.26 \Omega m$ se clasificará siguiendo el criterio de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) y (Gonçalves et al., 2021b) por lo tanto se considera un material arcilloso de consistencia blando.

8.73 m – 30.13 m de profundidad.- en la última capa presenta resistividades de 15.4 Ω m y 41.9 Ω m identificándose como una arena fina limosa y arcilla rojiza según (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) y (Gonçalves et al., 2021b).

SEV C3-4 COMUNA TUGADUAJA. – El cuarto punto de muestreo se identificaron 4 clasificaciones de suelo distintas de acorde a la curva teórica mostrada a continuación:

Figura 36:

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos



0.00 m– 1.02 m de profundidad. - el primer estrato de suelo obtuvo una resistividad de 427 Ω m, este resultado se encuentra acorde a lo propuesto por (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) indica que es una arena densa y (Gonçalves et al., 2021b) menciona que una grava.

1.02 m – 1.26 m de profundidad.- el segundo estrato de suelo se obtuvo una resistividad de 513 Ω m, donde se evalúa con el criterio de (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b) que menciona que es una roca coquina y (Gonçalves et al., 2021b) indica que es una grava igual que el estrato anterior.

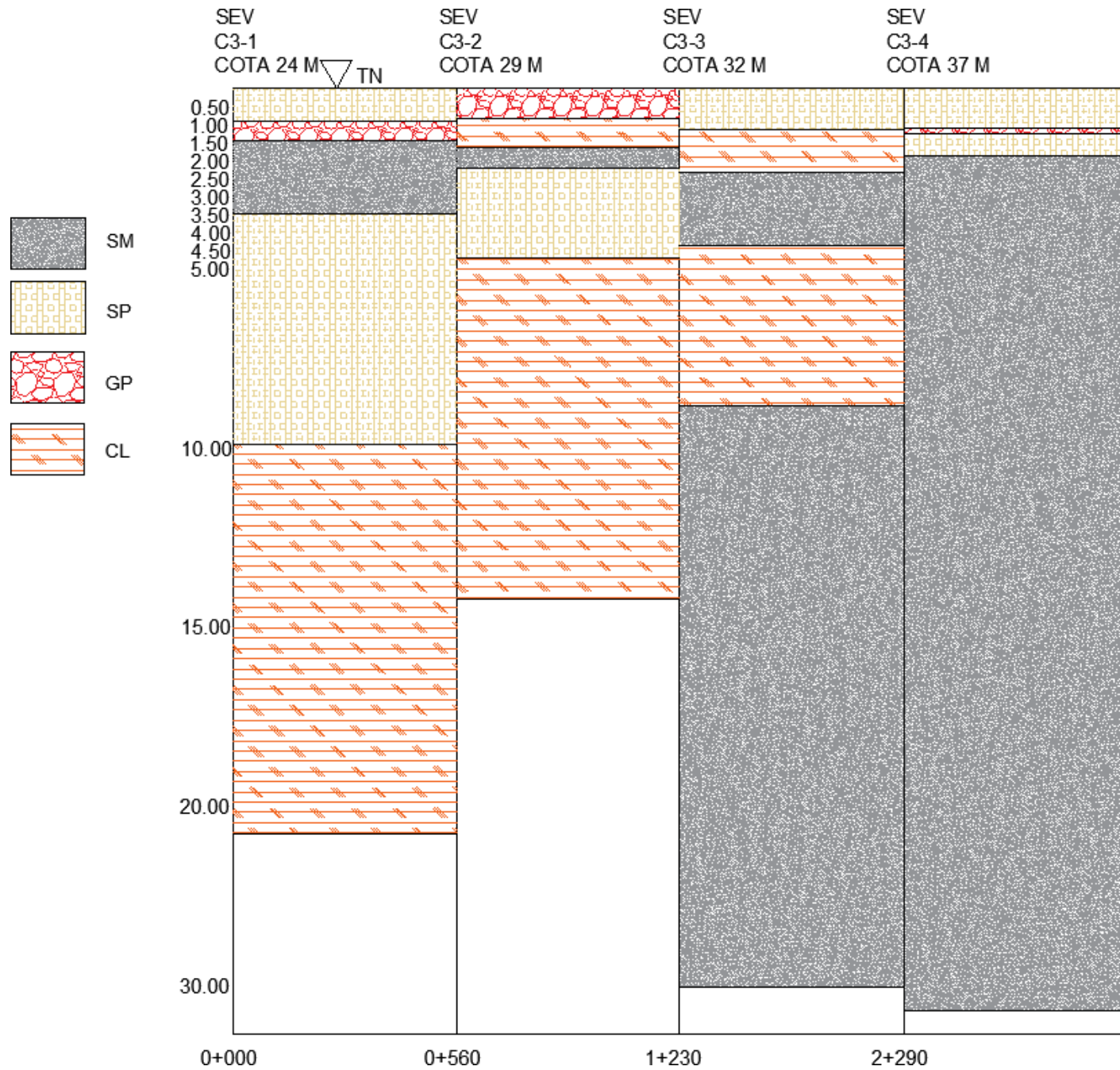
1.26 m – 1.72 m de profundidad.- la tercera capa de suelo de resistividad fue de 123 Ω m en la cual disminuyo en comparación al estrato anterior. Para este estrato se consideró el rango establecido en el diagrama de (Ortega Valarezo & Condolo

Ramos, 2023b) indicando que es una arena densa y (Gonçalves et al., 2021b) indicando que pertenece a una arena arcillosa-limo arcillosa.

1.72 m – 30.13 m de profundidad.- en la última capa presenta resistividades de $7.6 \Omega m$, $26.3 \Omega m$ y $54.6 \Omega m$ identificándose como una arena fina limosa y arcilla según (Ortega Valarezo & Condolo Ramos, 2023b)y (Gonçalves et al., 2021b).

Figura 37:

Estratigrafía de la Subcuenca 3



CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIÓN.

En el análisis de las tres subcuencas de la comuna Tugaduaja, se observa una variedad significativa en la estructura geológica y en la distribución de los suelos, según los resultados de los sondeos eléctricos verticales (SEV). En la Subcuenca 1(C1), caracterizada por siete sondeos, se identificó predominantemente arenas. La resistividad varió significativamente entre capas, con presencia de arcilla blanda, arena fina limosa, y en algunos casos, roca coquina con alta resistividad. Estas características se asume la presencia de acuíferos, especialmente en las capas de arenas lo que puede favorecer la identificación del recurso hídricos subterráneo.

Según se observa en el anexo 17, el ensayo C1.4 se llevó a cabo un día después de una lluvia en la zona de estudio. Durante este ensayo, se vio reflejado resistividades negativas que indica la saturación del terreno. Por lo tanto, se decidió repetir el ensayo días después, cuando el suelo estaba completamente seco, obteniéndose resultados dentro de los parámetros esperados, como se puede apreciar en el perfil estratigráfico adjunto en la figura 27.

Por otro lado, la Subcuenca 2 (C2), evaluada mediante cuatro sondeos eléctricos, mostraron una combinación de arcilla limosa y arena fina. Las resistividades registradas indican una capacidad moderada de retención de agua, aunque con menor permeabilidad, lo que podría limitar la extracción directa de acuíferos. La presencia de capas de arena fina sugiere la posibilidad de acumulación de agua, pero la baja permeabilidad de la arcilla limosa podría dificultar la extracción eficiente del agua subterránea.

Finalmente, la Subcuenca 3 (C3), también evaluada con cuatro sondeos eléctricos, presenta una predominancia de arena fina y arcilla limosa. Similar a la Subcuenca 2, las características sugieren una retención moderada de agua, con potenciales acuíferos en las capas de arena fina, aunque nuevamente la baja permeabilidad de la arcilla limosa puede ser un factor limitante.

Entonces podemos concluir que, los datos de resistividad obtenidos en cada subcuenca proporcionan una base valiosa para la gestión y explotación sostenible de los recursos hídricos subterráneos en la comuna Tugaduaja. La Subcuenca 1 muestra potenciales acuíferos bien delimitados, favorecidos por las capas de arena densa identificadas. En contraste, las Subcuencas 2 y 3 exhiben una retención de agua moderada, pero algo de dificultades debido a la baja permeabilidad de la arcilla limosa. Estas variaciones en la estructura del subsuelo deben considerarse cuidadosamente en la planificación futura de actividades de extracción para garantizar la sostenibilidad a largo plazo de los acuíferos locales.

5.2. RECOMENDACIONES

Basado en el análisis obtenido de los sondeos que se realizaron en las diferentes subcuencas que desembocan al río principal de la comuna Tugaduaja se formulan las siguientes recomendaciones específicas para la gestión y explotación sostenible de los recursos hídricos subterráneos.

Se recomienda que el equipo geofísico TERRAMETER SAS 4000, se encuentre en una superficie plana, que no esté en contacto con el suelo, se debe también proteger de la exposición directa a la luz solar y mantener los electrodos correctamente alineados para que esto garantice que la emisión de corriente y la recolección de datos de resistividad se realicen de manera precisa y consistente. Esto asegura la fiabilidad de los resultados en la interpretación de la estratigrafía del subsuelo y la identificación precisa de los tipos de suelo predominantes en cada subcuenca. También es importante la correlación entre los datos de resistividad obtenidos y las formaciones geológicas presentes, se sugiere realizar múltiples sondeos en cada zona de estudio para evitar equivocaciones en los resultados. Esto permitirá obtener una cobertura más completa del subsuelo, reduciendo las incertidumbres y

facilitando la interpretación precisa de las estructuras geológicas y la distribución de los acuíferos potenciales; se recomienda de igual manera una elección de la escala adecuada del DEM es crucial para el éxito de un estudio geológico o geográfico. Mientras que los DEM a escala 1:50000 son útiles para abarcar grandes áreas y proporcionar una visión general, los estudios detallados y específicos se benefician enormemente del uso de DEM de escalas menores. Al seleccionar la escala adecuada, los investigadores pueden asegurar que los resultados sean precisos y útiles, mejorando la calidad y la aplicabilidad de sus análisis.

Se recomienda un estudio más riguroso donde se encuentra la mayor permeabilidad del suelo identificada en las subcuencas C1 y C3. Esto ayudará a gestionar eficazmente la explotación de los acuíferos y prevenir la sobreexplotación que podría comprometer la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos, ya que esto mejorará la disponibilidad de dicho recurso y su calidad para las futuras generaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- A, U. A., Igboekwe, M. U., Dick, M. D., Eyenaka, F. D., G, N. O. G., & Ekanem, K. R. (2022). Parameter variations for the sandy aquifers in northern parts of Akwa Ibom state, Southern Nigeria. *International Journal of Frontline Research and Reviews*, 1(1), 021–028. <https://doi.org/10.56355/IJFRR.2022.1.1.0004>
- Adimalla, N., & Taloor, A. K. (2020). Hydrogeochemical investigation of groundwater quality in the hard rock terrain of South India using Geographic Information System (GIS) and groundwater quality index (GWQI) techniques. *Groundwater for Sustainable Development*, 10, 100288. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100288>
- Akinrinade, O. J., & Adesina, R. B. (2016). Hydrogeophysical investigation of groundwater potential and aquifer vulnerability prediction in basement complex terrain – A case study from Akure, Southwestern Nigeria. *Materials and Geoenvironment*, 63(1), 55–66. <https://doi.org/10.1515/rmzmag-2016-0005>
- Alcalá, F. J., Toapanta, J., Peñafiel, L., Barragán, E., Yáñez, W., Buenaño, M., & Larrea, O. (2016, September). *First data on atmospheric chloride mass balance components in the Andean páramo in central Ecuador: implications to project climate scenarios of net aquifer recharge and potential groundwater chemical baseline* | Request PDF. Conference: 43rd IAH CONGRESAt: Montpellier, France. https://www.researchgate.net/publication/309617976_First_data_on_atmospheric_chloride_mass_balance_components_in_the_Andean_paramo_in_central_Ecuador_implications_to_project_climate_scenarios_of_net_aquifer_recharge_and_potential_groundwater_chemical
- Aliou, A.-S., Dzikunoo, E. A., Yidana, S. M., Loh, Y., & Chegbeleh, L. P. (2022). Investigation of Geophysical Signatures for Successful Exploration of Groundwater in Highly Indurated Sedimentary Basins: A Look at the Nasia Basin, NE Ghana. *Natural Resources Research*, 31(6), 3223–3251. <https://doi.org/10.1007/s11053-022-10125-9>

- Anbazhagan, S., & Jothibas, A. (2016). Geoinformatics in groundwater potential mapping and sustainable development: a case study from southern India. *Hydrological Sciences Journal*, 61(6), 1109–1123. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.990966>
- Avellaneda Callirgos, L., Morante Gamarra, P. C., Mundaca Monja, J. M., & Cherre Antón, C. A. (2022). *Investigación científica: Diseños y niveles de investigación*.
- Baalousha, H. M. (2011). Mapping groundwater contamination risk using GIS and groundwater modelling. A case study from the Gaza Strip, Palestine. *Arabian Journal of Geosciences*, 4(3–4), 483–494. <https://doi.org/10.1007/s12517-010-0135-0>
- Bangalore Nagaraj, P., Mandalagiri Subbarayappa, M. K., Jean-Michel, V., & Hoareau, J. (2021). Estimation of anisotropic hydraulic conductivity using geophysical data in a coastal aquifer of Karnataka, India. *Hydrological Processes*, 35(10), e14395. <https://doi.org/10.1002/HYP.14395>
- Bayewu, O. O., Oloruntola, M. O., Mosuro, G. O., Laniyan, T. A., Ariyo, S. O., & Fatoba, J. O. (2017). Geophysical evaluation of groundwater potential in part of southwestern Basement Complex terrain of Nigeria. *Applied Water Science*, 7(8), 4615–4632. <https://doi.org/10.1007/S13201-017-0623-4/FIGURES/15>
- Betancur-Vargas, T., García-Giraldo, D. A., Vélez-Duque, A. J., Gómez, A. M., Flórez-Ayala, C., Patiño, J., & Ortiz-Tamayo, J. Á. (2017). 1) Aguas subterráneas, humedales y servicios ecosistémicos en Colombia. *Biota Colombiana*, 18(1), 1–28. <https://doi.org/10.21068/c2017.v18n01a1>
- Bhatnagar, S., Taloor, A. K., Roy, S., & Bhattacharya, P. (2022). Delineation of aquifers favorable for groundwater development using Schlumberger configuration resistivity survey techniques in Rajouri district of Jammu and Kashmir, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 17, 100764. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100764>
- Borja Suárez, M. (2016). *Metodología de la Investigación Científica para ingenieros*.
- Bouwer, H. (2000). Integrated water management: emerging issues and challenges. *Agricultural Water Management*, 45(3), 217–228. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00092-5](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00092-5)

- Bradley, R. S., Vuille, M., Diaz, H. F., & Vergara, W. (2006). Climate change. Threats to water supplies in the tropical Andes. *Science (New York, N.Y.)*, *312*(5781), 1755–1756. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1128087>
- Brands, E., Rajagopal, R., Eleswarapu, U., & Li, P. (2017). Groundwater. In *International Encyclopedia of Geography* (pp. 1–17). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0677>
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, *79*(1–2), 53–72. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.06.002>
- Buytaert, W., Vuille, M., Dewulf, A., Urrutia, R., Karmalkar, A., & Célleri, R. (2010). Uncertainties in climate change projections and regional downscaling in the tropical Andes: implications for water resources management. *Hydrology and Earth System Sciences*, *14*(7), 1247–1258. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1247-2010>
- Cano Alvarado, F. A., Sanango Ochoa, L. A., & Olaya, P. D. (2021). *Aplicación de la geoelectrica para la caracterización hidrogeológica en la comuna la Aguadita Santa Elena*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/55512>
- Cano, F. A., & Sanango, L. A. (2021). *Aplicación de la geoelectrica para la caracterización hidrogeológica en la comuna “La Aguadita”, Santa Elena*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Cárdenas Valencia, J. D., & Galvis Garcia, E. (2011). MANUAL PARA LA INTERPRETACIÓN DEL PERFIL DE RESISTIVIDAD OBTENIDO AL REALIZAR EL ESTUDIO DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO A PARTIR DE LAS CONFIGURACIONES DEL MÉTODO DE WENNER. *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA FACULTAD DE TECNOLOGIAS PROGRAMA DE TECNOLOGÍA ELÉCTRICA*.
- Carter, R. C. (2015). *LONG LIVE THE HUMBLE HANDPUMP*.
- Chibuike, A., Chukwu, A. C., & Kelechi, O. K. (2023). Efficiency and limitation of vertical electrical sounding in evaluation of groundwater potential in fractured shale terrain: a case study of Abakaliki Area Lower Benue Trough Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, *195*(1), 158. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10700-w>

- CNRH, & Ministerio del Ambiente. (2002). *Memoria Técnica, DIVISIÓN HIDROGRAFICA DEL ECUADOR, Propuesta del CNRH y el Grupo Interinstitucional para oficializar en el Ministerio de Relaciones Exteriores*. http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/Reuniones/DTrabajo/SG_REG_EMAB_IX_dt%203_Ax2.pdf
- Cortés Cortés, M., & Iglesias León, M. (2004). *Generalidades sobre Metodología de la Investigación*.
- Dar, T., Rai, N., & Bhat, A. (2021). Delineation of potential groundwater recharge zones using analytical hierarchy process (AHP). *Geology, Ecology, and Landscapes*, 5(4), 292–307. <https://doi.org/10.1080/24749508.2020.1726562>
- Delgado Ramos, F., Raya Contreras, A. E., & Nanía Escobar, L. S. (n.d.). *DETERMINACIÓN DEL CAUCE PRINCIPAL DE UN RÍO MEDIANTE HERRAMIENTAS SIG Y ANÁLISIS MULTICRITERIO: APLICACIÓN AL GUADALQUIVIR*.
- Dijk, T. A. G. P. Van, Roche, M., Lurton, X., Fezzani, R., Simmons, S. M., Gastauer, S., Fietzek, P., Mesdag, C., Berger, L., Breteler, M. K., & Parsons, D. R. (2024). Bottom and Suspended Sediment Backscatter Measurements in a Flume—Towards Quantitative Bed and Water Column Properties. *Journal of Marine Science and Engineering* 2024, Vol. 12, Page 609, 12(4), 609. <https://doi.org/10.3390/JMSE12040609>
- Flores Ramírez, E. M. (2024). *CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTIVIDAD ELÉCTRICA Y LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DEL SUELO*. Universidad Politécnica Salesiana .
- Galvão, W. S., & Meneses, P. R. (2005). Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2511–2518.
- García Ramírez, Y. (2019). *Cómo redactar una tesis en Ingeniería Civil* (Primera Ed).
- García Ramírez, Y. (2021). *Guía para la elaboración de planes de tesis en Ingeniería Civil* (UTPL, Ed.; Primera).
- Gonçalves, J. T. D., Botelho, M. A. B., Machado, S. L., & Netto, L. G. (2021a). Correlation between field electrical resistivity and geotechnical SPT blow

- counts at tropical soils in Brazil. *Environmental Challenges*, 5, 100220.
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100220>
- Gonçalves, J. T. D., Botelho, M. A. B., Machado, S. L., & Netto, L. G. (2021b). Correlation between field electrical resistivity and geotechnical SPT blow counts at tropical soils in Brazil. *Environmental Challenges*, 5, 100220.
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100220>
- González-Zeas, D., Erazo, B., Lloret, P., De Bièvre, B., Steinschneider, S., & Dangles, O. (2019). Linking global climate change to local water availability: Limitations and prospects for a tropical mountain watershed. *Science of The Total Environment*, 650, 2577–2586.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.309>
- Gutiérrez Caiza, C. (2014). *Hidrología básica y aplicada*.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6758>
- Howard, G., Calow, R., Macdonald, A., & Bartram, J. (2016). Climate Change and Water and Sanitation: Likely Impacts and Emerging Trends for Action. *Annual Review of Environment and Resources*, 41(1), 253–276.
<https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085856>
- Islami, N., Irianti, M., Fakhruddin, F., Azhar, A., & Nor, M. (2020). Application of geoelectrical resistivity method for the assessment of shallow aquifer quality in landfill areas. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(9), 606.
<https://doi.org/10.1007/s10661-020-08564-z>
- Jaiswal, R. K., Mukherjee, S., Krishnamurthy, J., & Saxena, R. (2003). Role of remote sensing and GIS techniques for generation of groundwater prospect zones towards rural development--an approach. *International Journal of Remote Sensing*, 24(5), 993–1008.
<https://doi.org/10.1080/01431160210144543>
- Johnson, L. E. (2009). *Geographic information systems in water resources engineering*. 298.
- Kalin, R., Mwanamveka, J., Coulson, A., Robertson, D., Clark, H., Rathjen, J., & Rivett, M. (2019). Stranded Assets as a Key Concept to Guide Investment Strategies for Sustainable Development Goal 6. *Water*, 11(4), 702.
<https://doi.org/10.3390/w11040702>
- Listanti, S. N. R., Darsono, D., & Purwana, Y. M. (2018). A Comparison between Drilling and Standard Penetration Test (SPT) Data to the Electrical Resistivity

- Sounding with Schlumberger Configuration in UNS Area. *INDONESIAN JOURNAL OF APPLIED PHYSICS*, 8(2), 67.
<https://doi.org/10.13057/ijap.v8i2.17962>
- Lubang, J., Liu, H., & Chen, R. (2023). Combined Application of Hydrogeological and Geoelectrical Study in Groundwater Exploration in Karst-Granite Areas, Jiangxi Province. *Water*, 15(5), 865. <https://doi.org/10.3390/w15050865>
- Maliva, R. G., Guo, W., & Missimer, T. M. (2006). Aquifer Storage and Recovery: Recent Hydrogeological Advances and System Performance. *Water Environment Research*, 78(13), 2428–2435.
<https://doi.org/10.2175/106143006X123102>
- Manilla Aceves, A. A. (2003). Geofísica aplicada en los proyectos básicos de ingeniería civil. *PUBLICACION TECNICA*, 229.
- Medeiros, L. C., Ferreira, N. C., & Ferreira, L. G. (2009). AVALIAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS Assessment of Digital Elevation Models for Automated Watersheds Delimitation. *Revista Brasileira de Cartografia*, 61(02), 137–151.
- Merchant, J. W. (n.d.). *GIS-Based Groundwater Pollution Hazard Assessment: A Critical Review of the DRASTIC Model*.
- Meza Rodríguez, D. (2006). *CARACTERIZACIÓN HIDROGRÁFICA DE LA CUENCA AYUQUILA-ARMERÍA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4581.1440>
- Minga-León, S., Gómez-Albores, M. A., Bâ, K. M., Balcázar, L., Manzano-Solís, L. R., Cuervo-Robayo, A. P., & Mastachi-Loza, C. A. (2018). Estimation of water yield in the hydrographic basins of southern Ecuador. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1–18. <https://doi.org/10.5194/HESS-2018-529>
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*.
- Nagaiah, E., Sonkamble, S., & Chandra, S. (2022). Electrical geophysical techniques pin-pointing the bedrock fractures for groundwater exploration in granitic hard rocks of Southern India. *Journal of Applied Geophysics*, 199, 104610. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2022.104610>

- Nas, B., & Berktaý, A. (2010). Groundwater quality mapping in urban groundwater using GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 160(1–4), 215–227. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0689-4>
- Nokendangba Chang, C., Ezung, M., Apon, M., Supongtemjen, Walling, T., & Thong, G. T. (2021). Assessment of Landslides Along NH 29 in the Kevüza Area, Kohima, Nagaland. *Indian Geotechnical Journal*, 51(4), 841–860. <https://doi.org/10.1007/s40098-021-00566-z>
- Nuñez, E. A., Ruiz, ; Mónica, Chuk,; Daniel, & Rossini, B. (2013a). Determinación de perfiles de humedad en suelos homogéneos a través de un método geoelectrico. *Ciencia Del Suelo*, 31(2), 271–277. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672013000200013&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Nuñez, E. A., Ruiz, M., Chuk, D., & Rossini, B. (2013b). Determinación de perfiles de humedad en suelos homogéneos a través de un método geoelectrico. *Ciencia Del Suelo*, 31(2), 271–277.
- Nwankwoala, Ogunka, H., Desmond, O. A., Nwosu, Hemetu, C., & Amunabo, U. S. (2022). Groundwater exploration using vertical electrical sounding techniques in parts of Etche Local Government Area of Rivers State, Nigeria. <https://Gjeta.Com/Sites/Default/Files/GJETA-2022-0070.Pdf>, 11(1), 088–100. <https://doi.org/10.30574/GJETA.2022.11.1.0070>
- Ortega Valarezo, A. M., & Condolo Ramos, R. G. (2023a). *Analogía del perfil estratigráfico obtenidos por métodos geofísicos y exploración con percusión y lavado en el proyecto UPSE*. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10077>
- Ortega Valarezo, A. M., & Condolo Ramos, R. G. (2023b). *Analogía del perfil estratigráfico obtenidos por métodos geofísicos y exploración con percusión y lavado en el proyecto UPSE*.
- Prabhu, M. V., & Venkateswaran, S. (2015). Delineation of Artificial Recharge Zones Using Geospatial Techniques in Sarabanga Sub Basin Cauvery River, Tamil Nadu. *Aquatic Procedia*, 4, 1265–1274. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.165>
- Ramírez García, A. G., Cruz León, A., Sánchez García, P., & Monterroso Rivas, A. I. (2015). La caracterización morfométrica de la subcuenca del Río Moctezuma, Sonora: ejemplo de aplicación de los sistemas de información

- geográfica. *Revista Geografía Agrícola*, 55, 27–43.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75749286003>
- Rizo Machado, R., Romero González, L. J., & Zeledón Chavarría, J. J. (2011). *Caracterización biofísica y socioeconómica de la microcuenca La Jabonera, perteneciente a la subcuenca del Río Estelí* [UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA UNAN–Managua].
<https://repositorio.unan.edu.ni/1853/1/14261.pdf>
- Samouëlian, A., Cousin, I., Tabbagh, A., Bruand, A., & Richard, G. (2005). Electrical resistivity survey in soil science: a review. *Soil and Tillage Research*, 83(2), 173–193. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.10.004>
- Sarría Alonso, F. (2006). *Sistemas de Información Geográfica*.
- Senciales González, J. M. (1998). *El análisis morfológico de las cuencas fluviales aplicado al estudio hidrográfico*.
<https://dehesa.unex.es:8443/handle/10662/755>
- Simões, P. R. G., Veiga, L. A. K., & Schmidt, M. A. R. (2022). AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS NO MAPEAMENTO ESPELEOLÓGICO 3D A PARTIR DE MODELOS FOTOGRAFÉTRICOS DE CAVIDADES SUBTERRÂNEAS EM MINAS GERAIS, BRASIL. *Revista Brasileira de Espeleologia - RBESP*, 1(11), 87–116.
<https://doi.org/10.37002/RBESP.V1I11.2319>
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63, 1117–1142.
- Sudha, K., Israil, M., Mittal, S., & Rai, J. (2009). Soil characterization using electrical resistivity tomography and geotechnical investigations. *Journal of Applied Geophysics*, 67(1), 74–79.
<https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2008.09.012>
- Syafarini, H., Hendrayana, H., & Winardi, S. (2022). Assessment of Aquifer Systems for The Sustainable Development of Groundwater Use in The Batutua Groundwater Basin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1039(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1039/1/012003>
- Tarmizi, T., Saad, R., Mohd Muztaza, N., Ismail, N. A., Saidin, M. M., & Mohamad, E. T. (2016). INTEGRATION OF SPT (N-VALUE), MACKINTOSH PROBE (M-VALUE) AND RESISTIVITY VALUES FOR

SOFT SOIL ASSESSMENT. *Jurnal Teknologi*, 78(8–6).
<https://doi.org/10.11113/jt.v78.9644>

Tiwari, J. (2016). Gour River Sub-watersheds Prioritization using Morphometric Parameters: A Remote Sensing and GIS Based Approach. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, 5(10).
<https://www.researchgate.net/publication/309311810>

UICN, SECRETARIA NACIONAL DEL AGUA DEL ECUADOR, & SECRETARIA GENERAL DE LA COMUNIDAD ANDINA. (2009). *DELIMITACIÓN Y CODIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS DEL ECUADOR ESCALA 1: 250 000 MÉTODOLOGÍA PFAFSTETTER*.

UICN SUR, SGCAN, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA DE BOLIVIA, & VICEMINISTERIO DE RECURSOS HIDRICOS Y RIEGO. (2010). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DELIMITACIÓN Y CODIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS*.

Venkatachalam, P., Mohan, B. K., Kotwal, A., Mishra, V., Muthuramakrishnan, V., & Pandya, M. (2001). *AUTOMATIC DELINEATION OF WATERSHEDS FOR HYDROLOGICAL APPLICATIONS*.

Vidhya, S., Vinay, L. Y., & Reddy, K. (n.d.). *IDENTIFICATION OF GROUNDWATER POTENTIAL ZONES USING GIS AND REMOTE SENSING*. Retrieved May 10, 2024, from <http://www.acadpubl.eu/hub/>

Villalba, M., Barragan^De La Rosa, F. J., Rodriguez, M. T., & Sanchez, J. C. J. (1995). Hydrochemical study of an aquifer system in an agricultural area in SouthWest Spain. *Water Research*, 29(5), 1361–1372.
[https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)00238-3](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)00238-3)

Wachholz De Souza, C. H., Bazílio, S., Wrublack, S. C., Mercante, E., Antônio, M., & Boas, V. (2013). Delimitação automática da microbacia hidrográfica do Rio das Lontras, através de dados SRTM. In *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*.

Wang, F., & Bright, J. (2004). Scale Effect and Calibration of Contaminant Transport Models. *Groundwater*, 42(5), 760–766.
<https://doi.org/10.1111/J.1745-6584.2004.TB02729.X>

Yabre, S., Koussoubé, Y., Gaë, S. É. S., tan, Yalo, N., Silliman, S., Yabre, S., Koussoubé, Y., Gaë, S. É. S., tan, Yalo, N., & Silliman, S. (2023). Identification of Groundwater Potential Zones in Samendeni Watershed in

Sedimentary and Semi-Arid Contexts of Burkina Faso, Using Analytic Hierarchy Process (AHP) Method and GIS. *American Journal of Climate Change*, 12(1), 172–203. <https://doi.org/10.4236/AJCC.2023.121009>

Zhu, L., Gong, H., Chen, Y., Li, X., Chang, X., & Cui, Y. (2016). Improved estimation of hydraulic conductivity by combining stochastically simulated hydrofacies with geophysical data. *Scientific Reports 2016 6:1*, 6(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/srep22224>

ANEXOS

Anexo 1

Ejecución de sondeo eléctrico vertical en las subcuencas de la comuna Tugaduaja.



Anexo 2

Ejecución de sondeo eléctrico vertical en las subcuencas de la comuna Tugaduaja



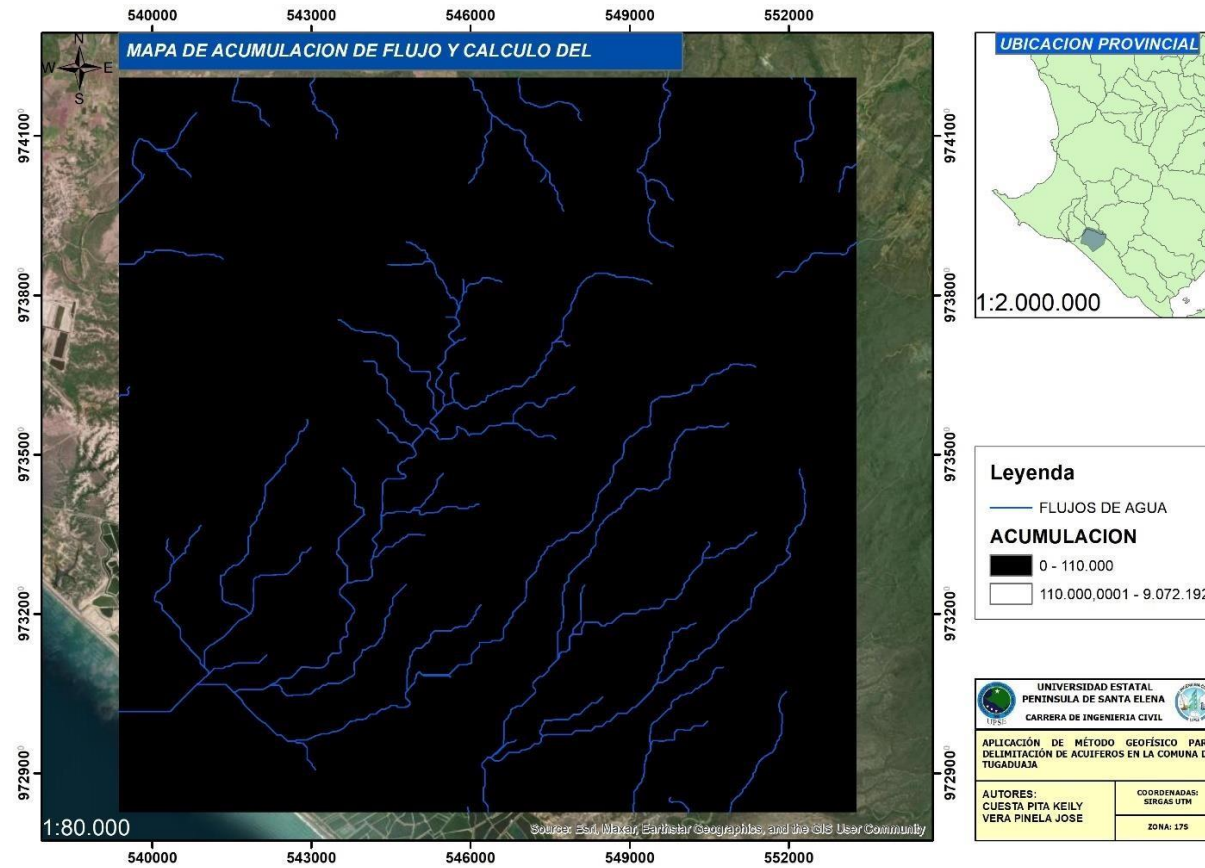
Anexo 3

Equipo TERRAMETER SAS 4000 empleado para la ejecución de sondeos eléctricos verticales.



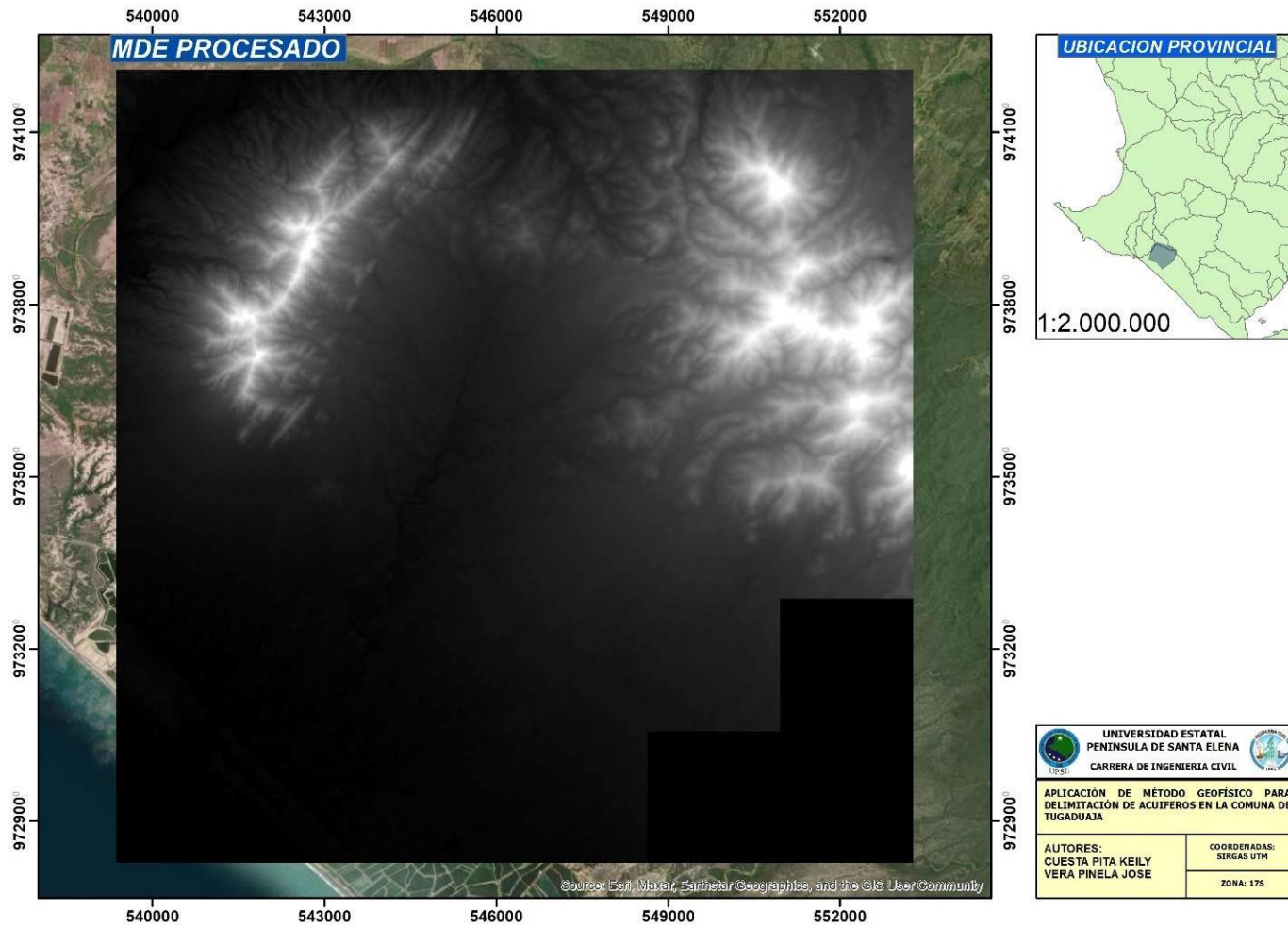
Anexo 4

Mapa de acumulación y umbral.



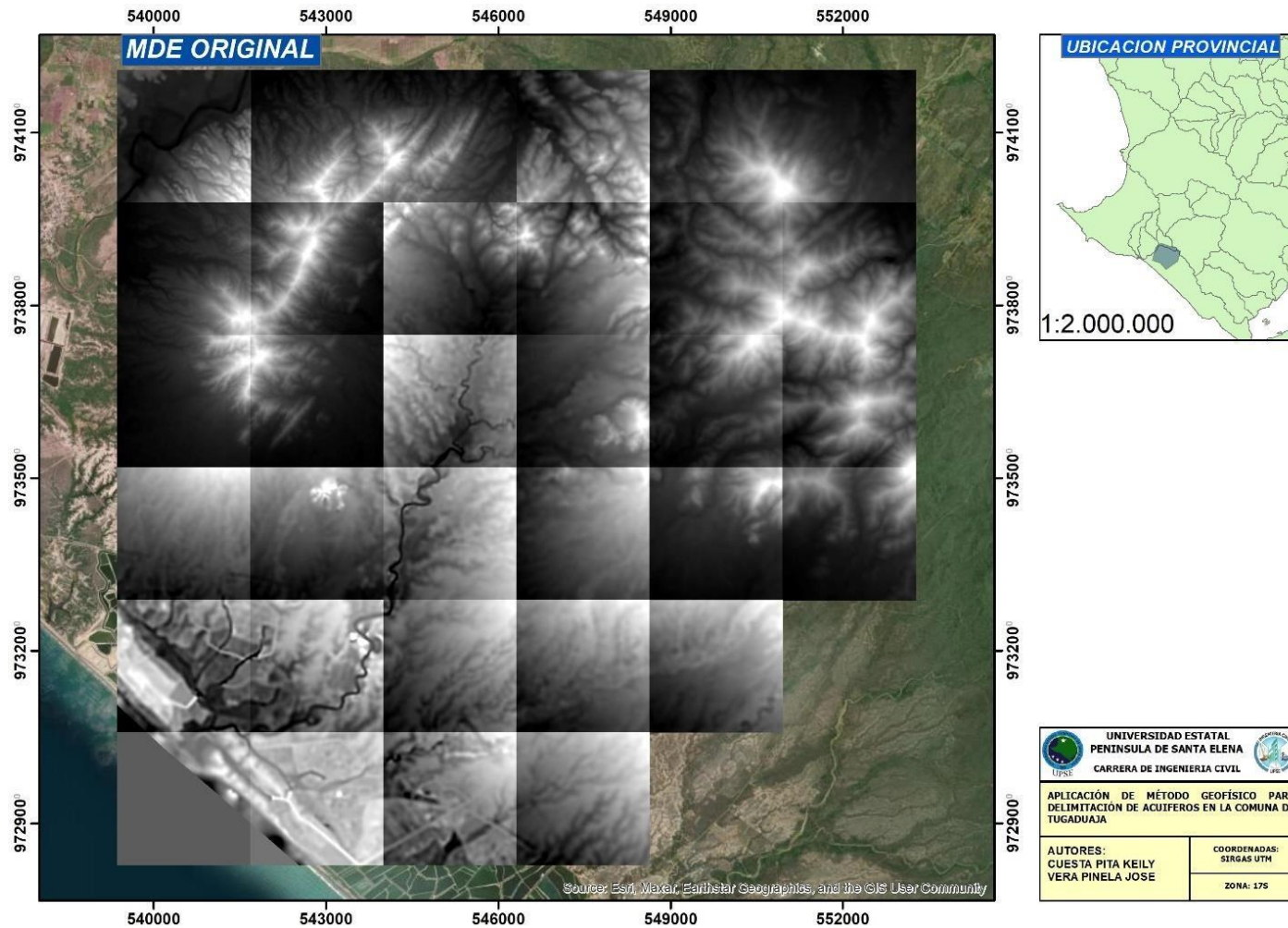
Anexo

Mapa DEM Agrupado.



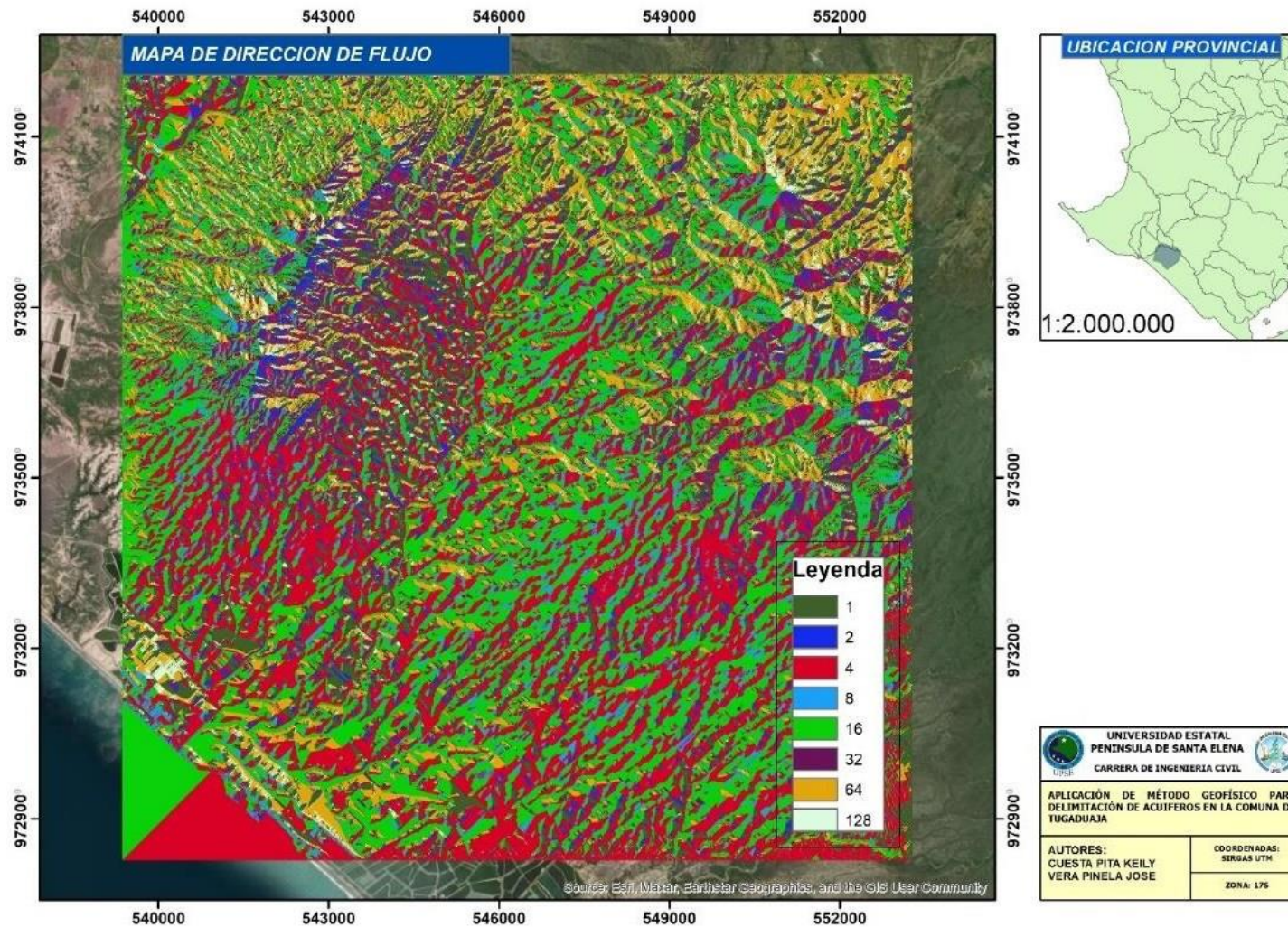
Anexo

Mapa DEM sin agrupar.



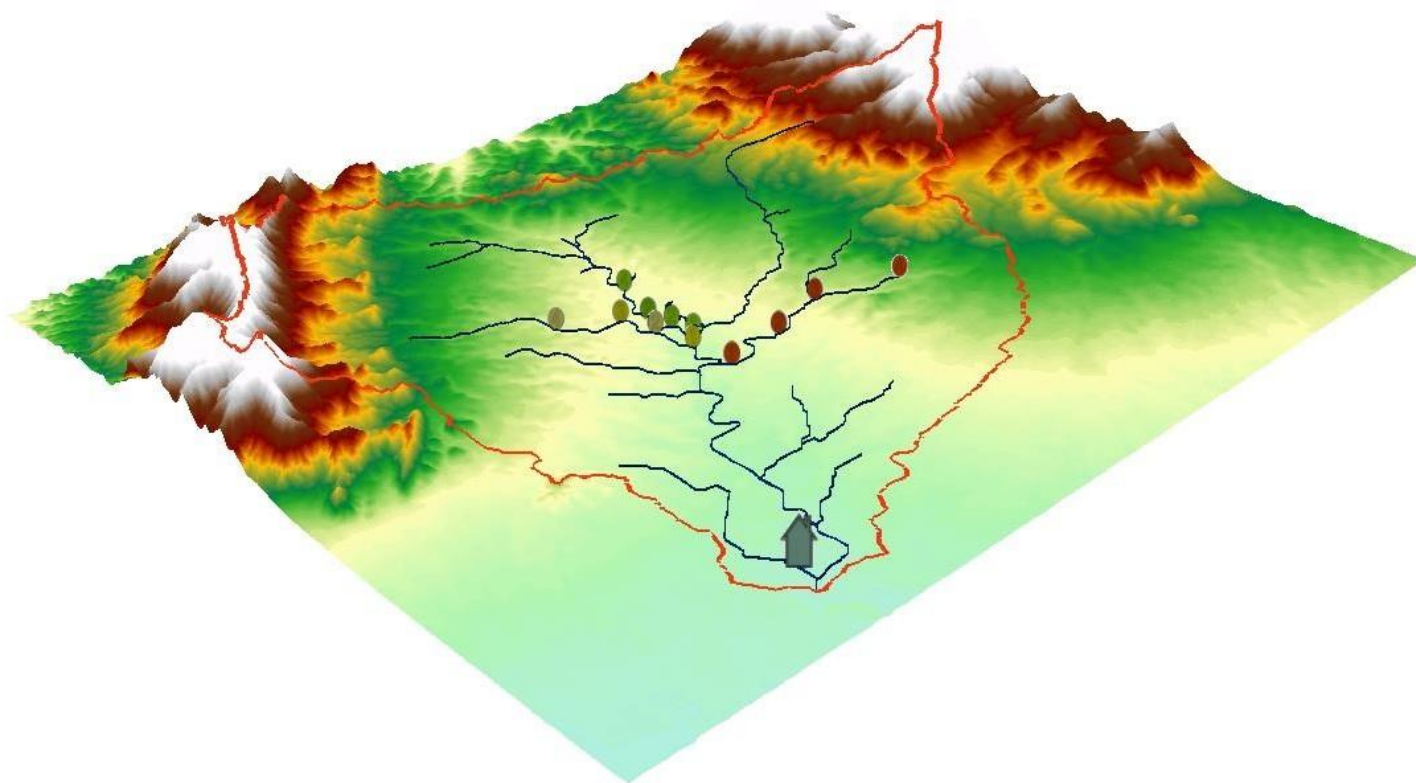
Anexo

Mapa de dirección de flujo.



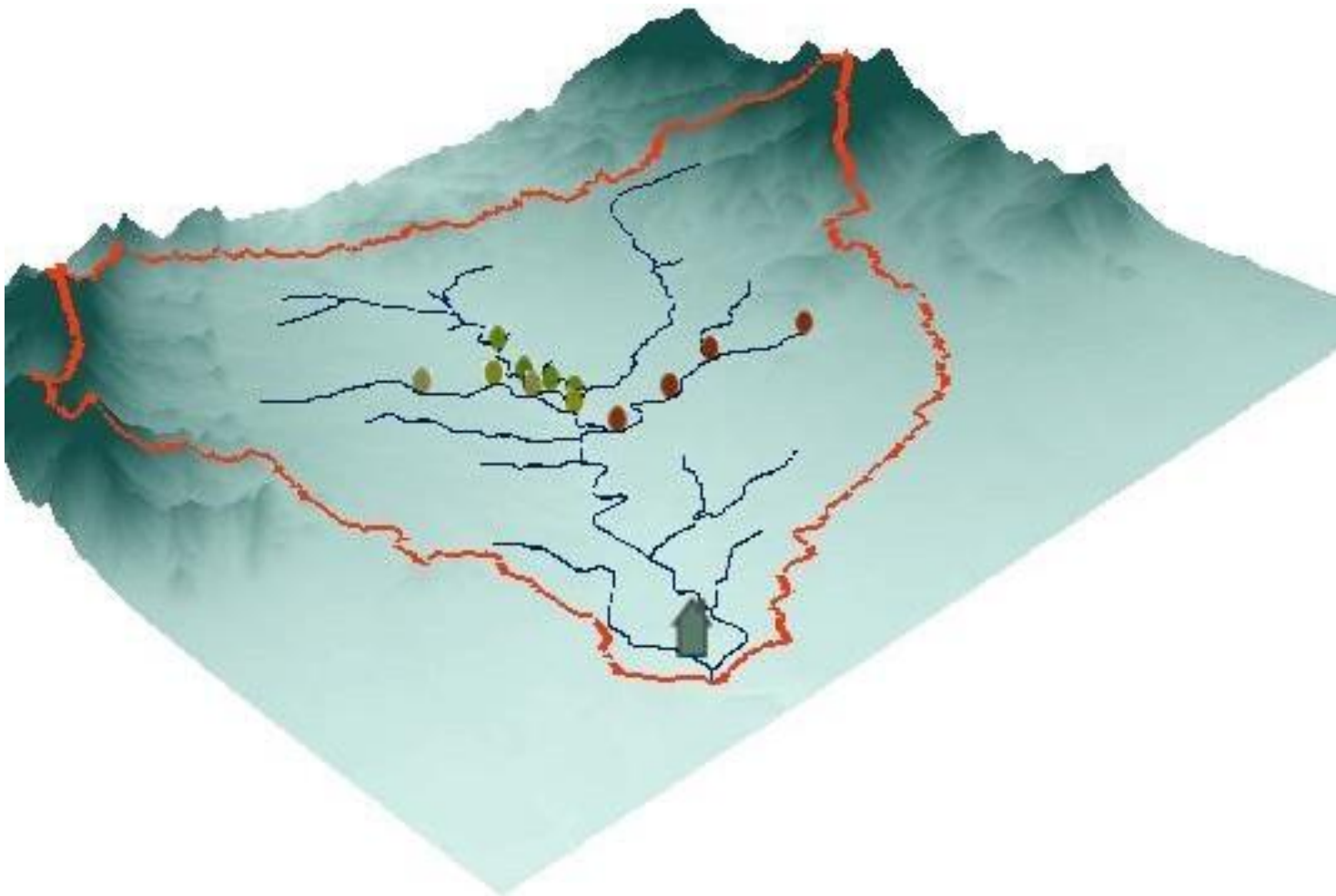
Anexo 113

Proyección de la cuenca Tugaduaja en 3D.



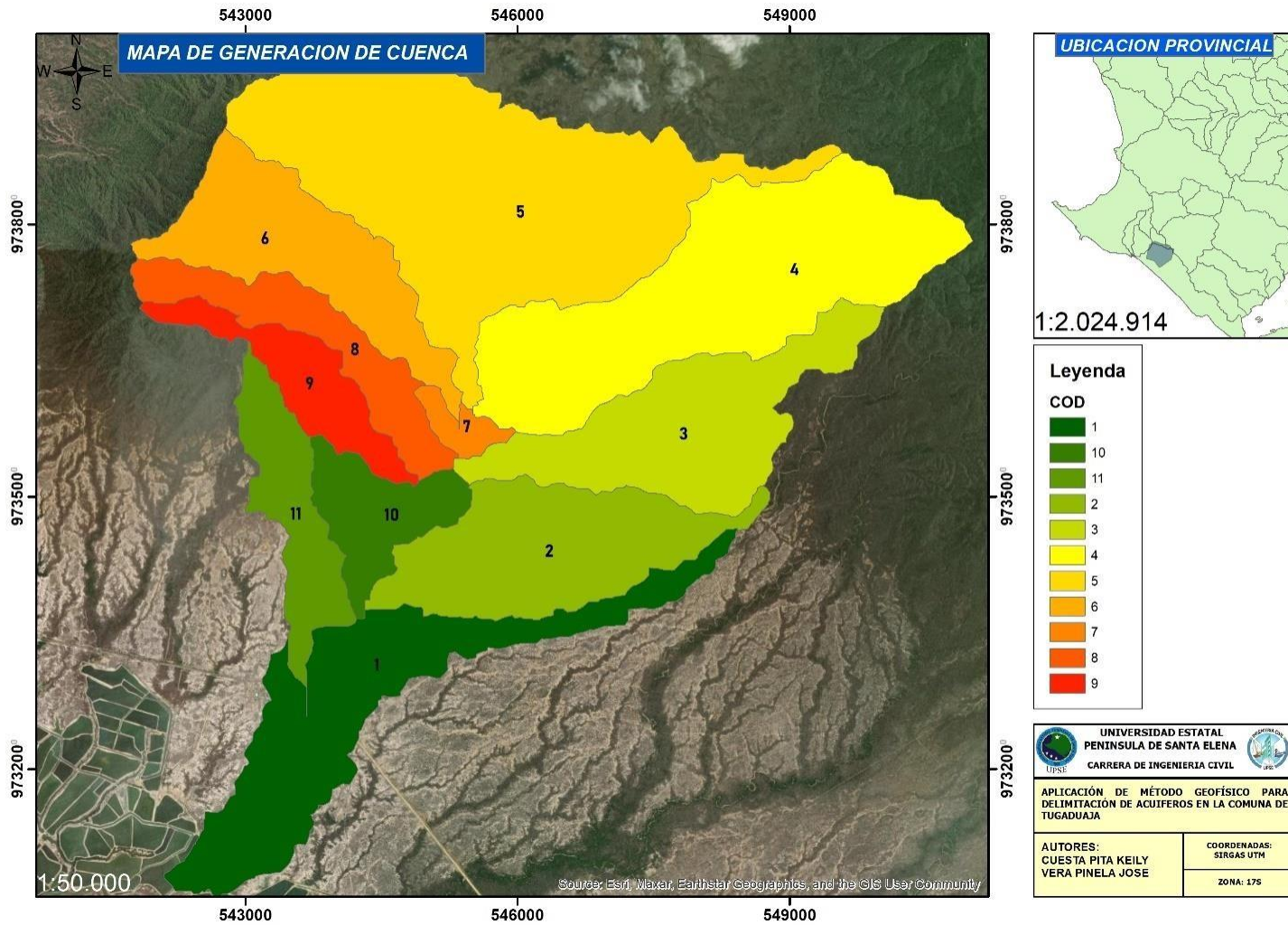
Anexo 114

Proyección de la cuenca Tugaduaja en 3D.



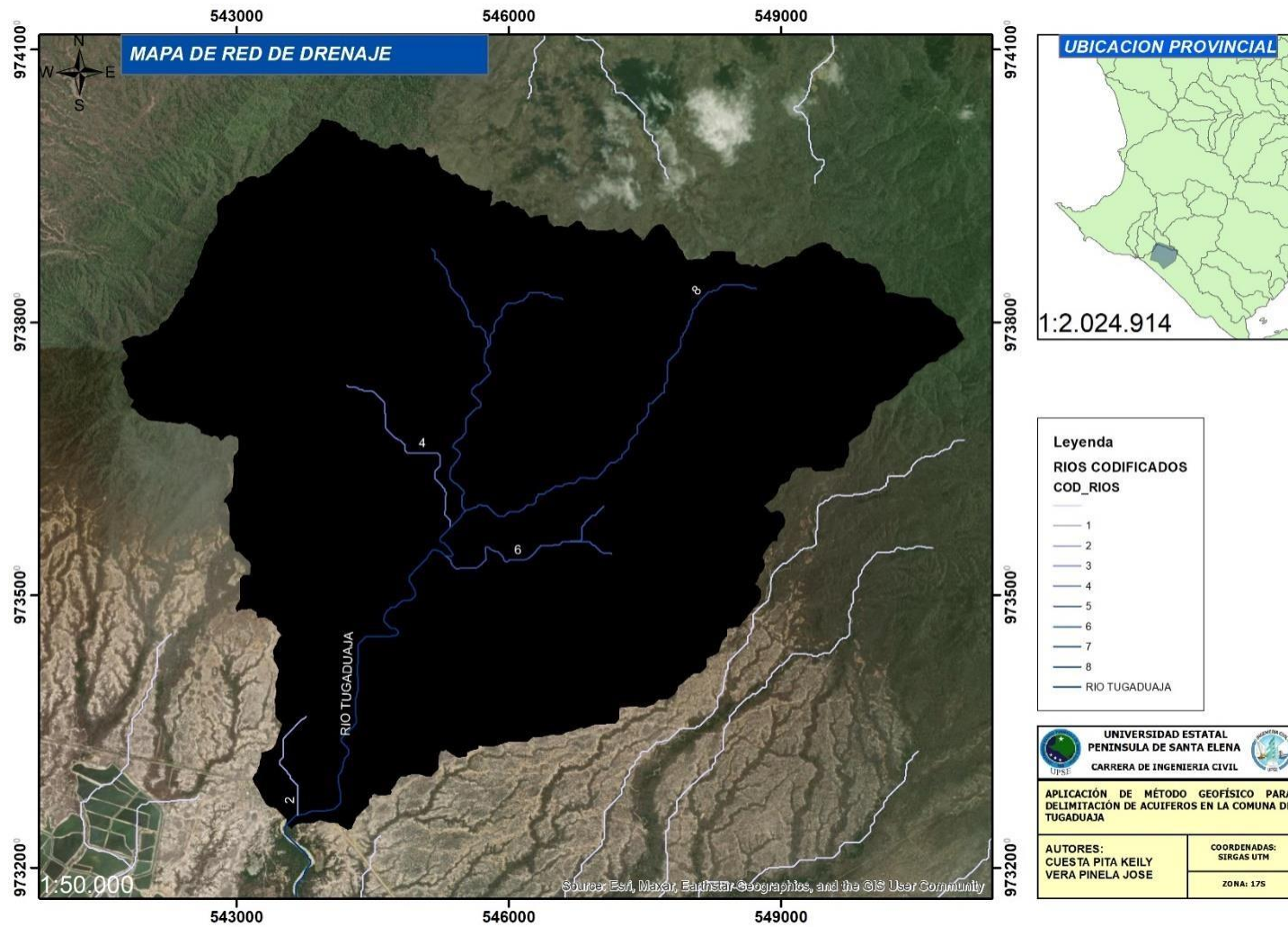
Anexo

Mapa de generación de cuenca.



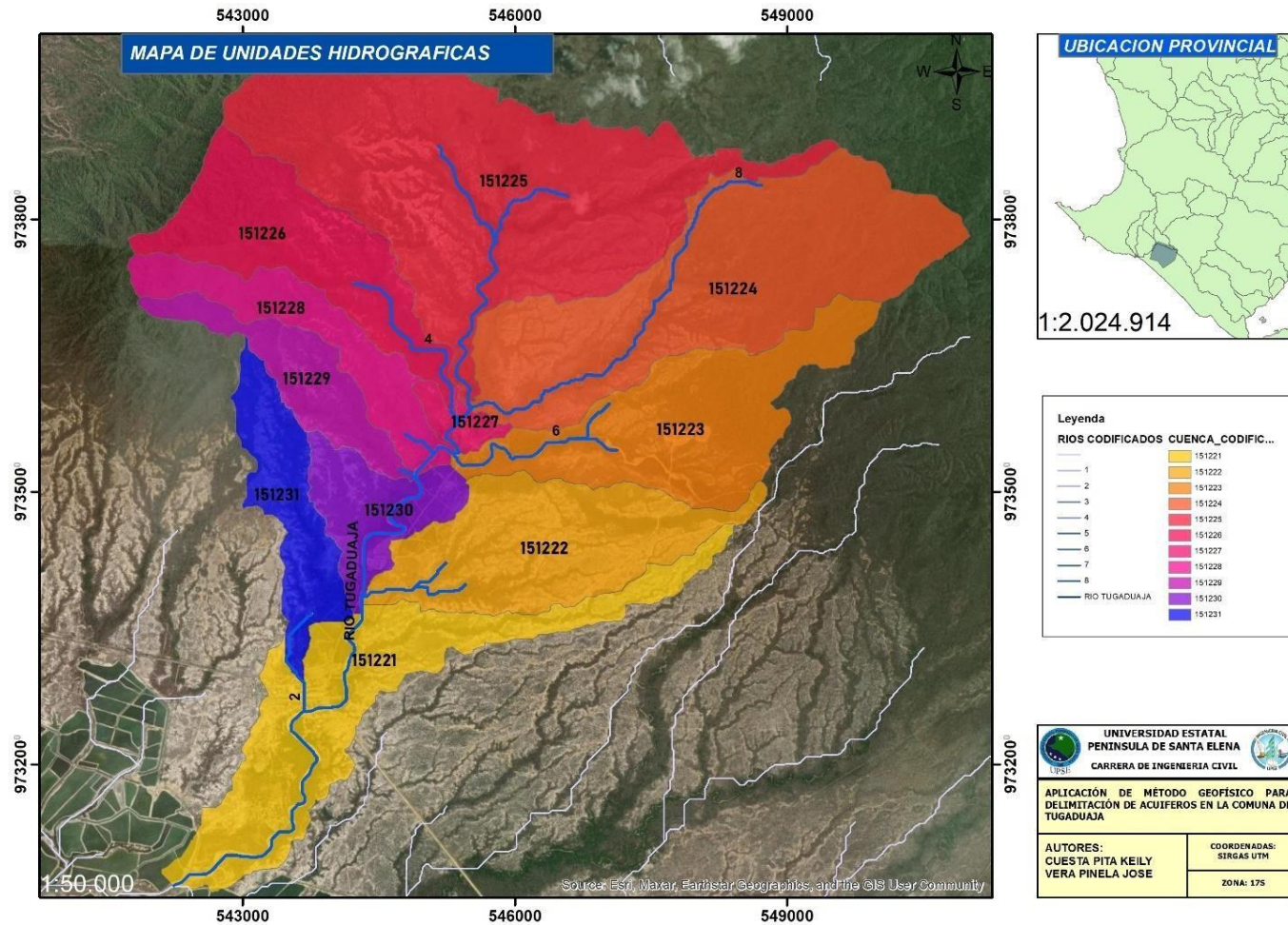
Anexo

Mapa de red de flujo.



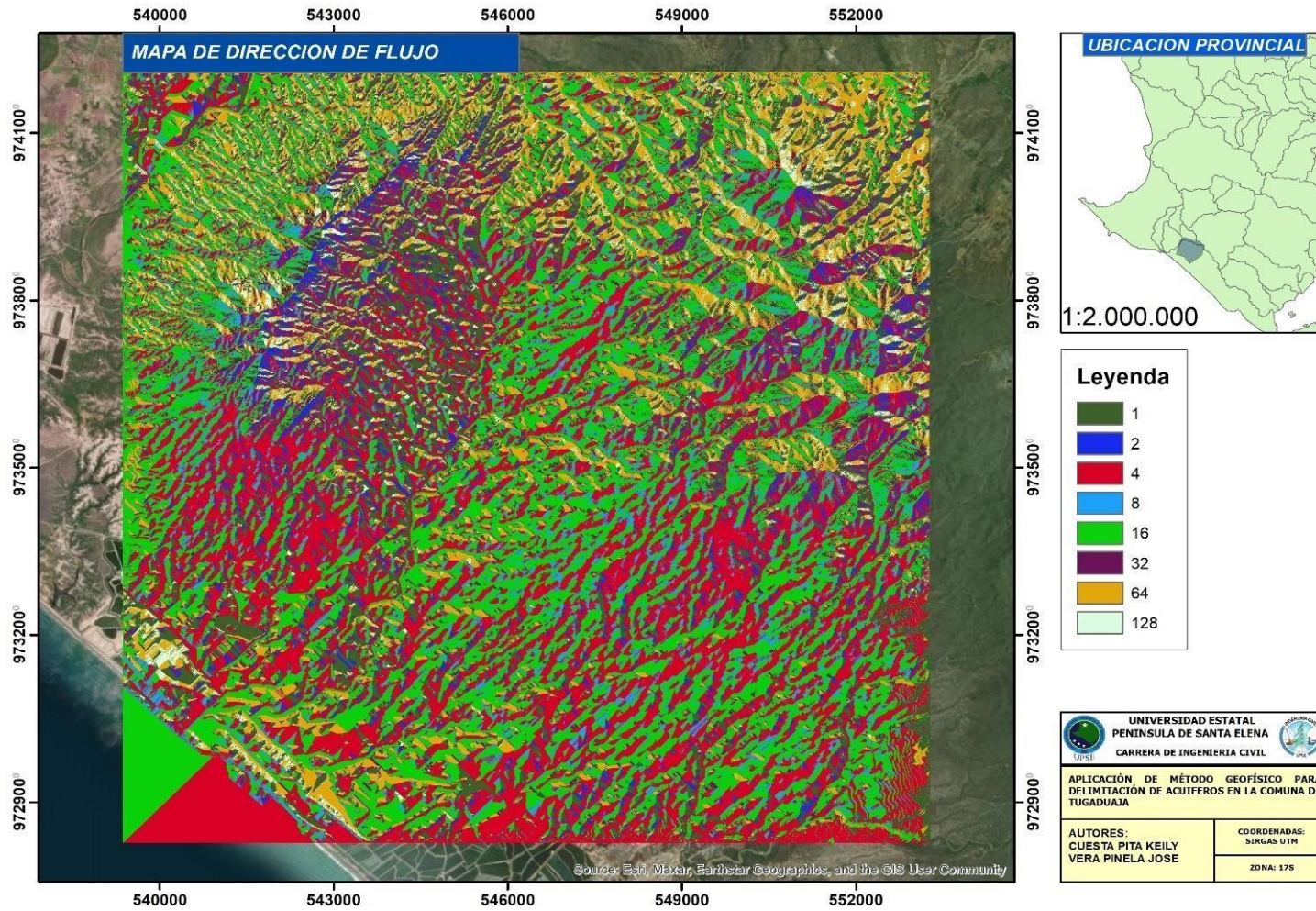
Anexo

Mapa de unidades hidrográficas.



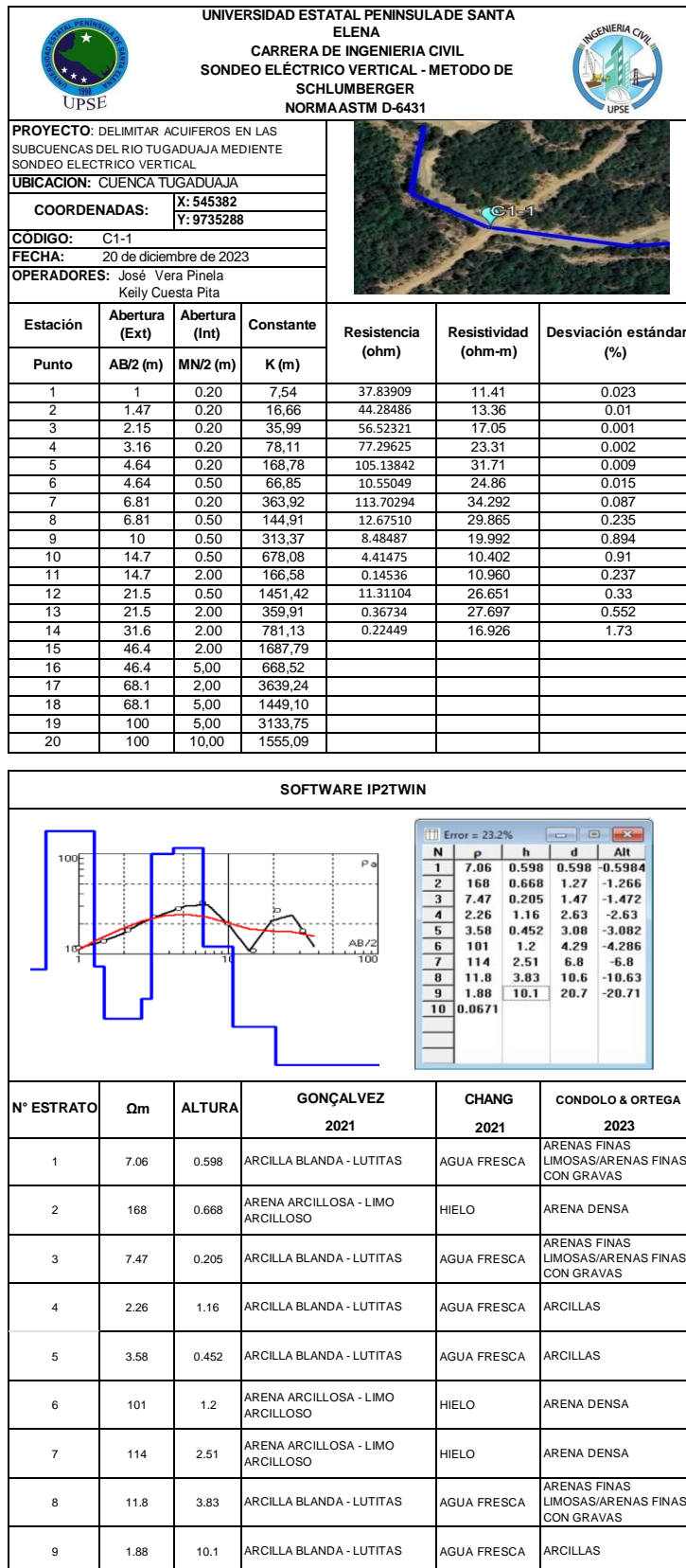
Anexo

Reacción de flujo




Anexo

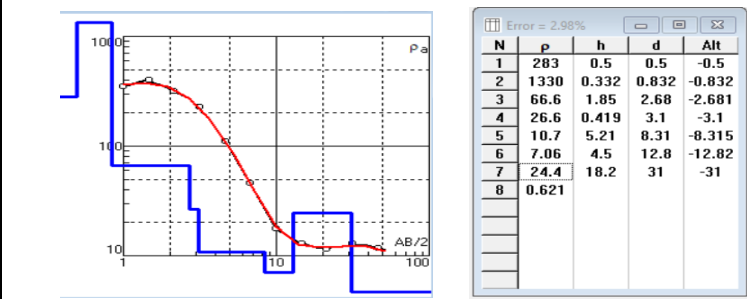
Datos de resistividad obtenidos en campo de la SUBCUENCA 1, primer punto de análisis.



Anexo

Datos de resistividad obtenidos en campo de la SUBCUENCA 1, segundo punto de análisis.

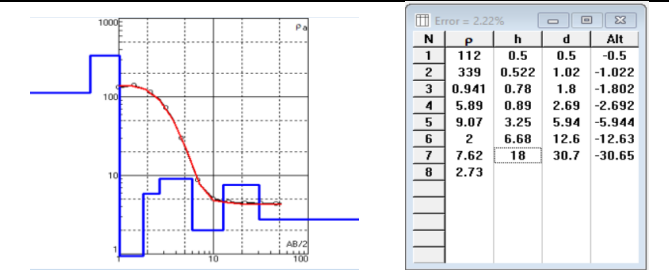
 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER NORMA ASTM D-6431 						
PROYECTO: DELIMITAR ACUIFEROS EN LAS SUBCUENCAS DEL RIO TUGADUAJA MEDIANTE SONDEO ELECTRICO VERTICAL UBICACIÓN: CUENCA TUGADUAJA COORDENADAS: X: 546062 Y: 9735396 CÓDIGO: C1-2 FECHA: 28 de diciembre de 2023 OPERADORES: José Vera Pinela Keily Cuesta Pita						
Estación	Abertura (Ext)	Abertura (Int)	Constante	Resistencia (ohm)	Resistividad (ohm-m)	Desviación estándar (%)
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K (m)			
1	1	0.20	7,54	1149.397105	346.65	0.051
2	1.47	0.20	16,66	1319.427636	397.93	0.013
3	2.15	0.20	35,99	1052.611005	317.46	0.006
4	3.16	0.20	78,11	748.558749	225.76	0.038
5	4.64	0.20	168,78	373.0193979	112.50	0.02
6	4.64	0.50	66,85	45.56075504	107.35	0.02
7	6.81	0.20	363,92	156.4725192	47.191	0.199
8	6.81	0.50	144,91	18.88765982	44.503	0.0476
9	10	0.50	313,37	7.419166827	17.481	0.275
10	14.7	0.50	678,08	6.025818352	14.198	0.311
11	14.7	2.00	166,58	0.155335224	11.712	0.014
12	21.5	0.50	1451,42	4.761491484	11.219	0.966
13	21.5	2.00	359,91	0.154897548	11.679	0.599
14	31.6	2.00	781,13	0.171065038	12.898	0.475
15	46.4	2.00	1687,79		14.600	0.456
16	46.4	5.00	668,52		9.3326	1.09
17	68.1	2.00	3639,24			
18	68.1	5.00	1449,10			
19	100	5.00	3133,75			
20	100	10.00	1555,09			

SOFTWARE IP2TWIN					
					
N° ESTRATO	Ωm	ALTURA	GONÇALVEZ 2021	CHANG 2021	CONDOLO & ORTEGA 2023
1	283	0.5	GRAVAS	HIELO	ARENA DENSA
2	1330	0.332	GRAVAS	HIELO	ROCA COQUINA
3	66.6	1.85	LIMOS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
4	26.6	0.419	ARCILLA ROJIZA - PIZARRA	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
5	10.7	5.21	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
6	7.06	405	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
7	24.4	18.2	ARCILLA ROJIZA - PIZARRA	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS

Anexo




Datos de resistividad obtenidas en campo de la SUBCUENCA 1, tercer punto de análisis.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER		NORMA ASTM D-6431	
							
PROYECTO: DELIMITAR ACUIFEROS EN LAS SUBCUENCAS DEL RIO TUGADUAJA MEDIANTE SONDEO ELECTRICO VERTICAL							
UBICACION: CUENCA TUGADUAJA							
COORDENADAS: X: 546727.15 Y: 9735564.69							
CODIGO: C1-3							
FECHA: 4 de enero de 2023							
OPERADORES: José Vera Pinela Keily Cuesta Pita							
							
Estación	Abertura (Ext)	Abertura (Int)	Constante	Resistencia (ohm)	Resistividad (ohm-m)	Desviación estándar (%)	
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K (m)				
1	1	0.20	7,54	434.1614218	130.9400	0.003	
2	1.47	0.20	16,66	462.4114242	139.4600	0.027	
3	2.15	0.20	35,99	384.6907604	116.0200	0.025	
4	3.16	0.20	78,11	241.2556836	72.7610	0.059	
5	4.64	0.20	168,78	121.6673225	36.6940	0.315	
6	4.64	0.50	66,85	10.24872951	24.1480	0.127	
7	6.81	0.20	363,92	33.20701573	10.0150	0.063	
8	6.81	0.50	144,91	3.26738732	7.6986	0.224	
9	10	0.50	313,37	2.104622526	4.9589	0.875	
10	14.7	0.50	678,08	2.159074737	5.0872	0.43	
11	14.7	2.00	166,58	0.054594124	4.1163	0.011	
12	21.5	0.50	1451,42	1.968640543	4.6385	0.536	
13	21.5	2.00	359,91	0.056074265	4.2279	0.2249	
14	31.6	2.00	781,13	0.058202963	4.3884	0.633	
15	46.4	2.00	1687,79	0.057107446	4.3058	2.15	
16	46.4	5.00	668,52	0.004628968	4.3627	2.32	
17	68.1	2.00	3639,24				
18	68.1	5.00	1449,10				
19	100	5.00	3133,75				
20	100	10.00	1555,09				

SOFTWARE IP2TWIN					
					
N° ESTRATO	Ωm	ALTURA	GONÇALVEZ 2021	CHANG 2021	CONDOLO & ORTEGA 2023
1	112.00	0.5	ARENA ARCILLOSA - LIMO ARCILLOSO	HIELO	ARENA DENSA
2	339.00	0.522	GRAVAS	HIELO	ARENA DENSA
3	0.94	0.78	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA SALADA	ARCILLAS
4	5.89	0.89	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARCILLAS
5	9.07	3.25	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
6	2.00	6.68	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARCILLAS
7	7.62	18	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS




Anexo 122

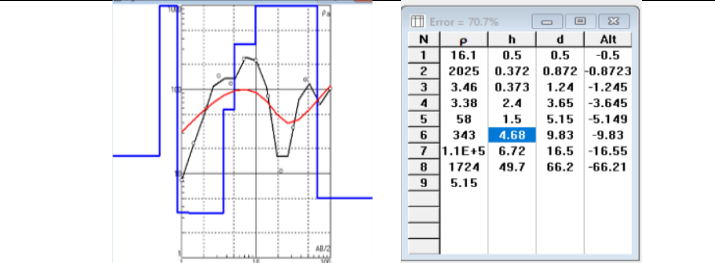
Datos de resistividad obtenidas en campo de la SUBCUENCA 1, cuarto punto de análisis.

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER NORMA ASTM D-6431					
PROYECTO: DELIMITAR ACUIFEROS EN LAS SUBCUENCAS DEL RIO TUGADUAJA MEDIANTE SONDEO ELECTRICO VERTICAL							
UBICACIÓN: CUENCA TUGADUAJA							
COORDENADAS:		X: 547618					
		Y: 9735304					
CÓDIGO: C1-4							
FECHA: 4 de enero de 2023							
OPERADORES: José Vera Pinela Keily Cuesta Pita							
Estación	Abertura (Ext)	Abertura (Int)	Constante	Resistencia (ohm)	Resistividad (ohm-m)	Desviación estándar (%)	
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K (m)				
1	1	0.20	7,54	11.79106027	3.5561	0.022	
2	1.47	0.20	16,66	-4.006062547	-1.2082	0.186	
3	2.15	0.20	35,99	-51.11194683	-15.4150	0.134	
4	3.16	0.20	78,11	-157.5899195	-47.5280	0.165	
5	4.64	0.20	168,78	-405.8451049	-122.4000	0.112	
6	4.64	0.50	66,85	6.048312251	14.2510	0.008	
7	6.81	0.20	363,92	-933.9742577	-281.6800	0.115	
8	6.81	0.50	144,91	-17.90896302	-42.1970	0.083	
9	10	0.50	313,37	-44.78832305	-105.5300	0.06	
10	14.7	0.50	678,08	-104.3080276	-245.7700	0.024	
11	14.7	2.00	166,58	-0.166980061	-12.5900	0.106	
12	21.5	0.50	1451,42	-233.3975409	-549.9300	0.085	
13	21.5	2.00	359,91	-0.467106495	-35.2190	0.044	
14	31.6	2.00	781,13	-1.173237189	-88.4600	0.068	
15	46.4	2.00	1687,79	-2.75576784	-207.7800	0.047	
16	46.4	5.00	668,52	-0.022904518	-21.5870	0.092	
17	68.1	2.00	3639,24	-6.409832704	-483.2900	0.048	
18	68.1	5.00	1449,10	-0.066084315	-62.2830	0.292	
19	100	5.00	3133,75	-0.169425742	-159.6800	0.076	
20	100	10.00	1555,09	-0.004468637	-30.8850	0.032	

Anexo 123


Datos de resistividad obtenidas en campo de la SUBCUENCA 1, cuarto punto de análisis.

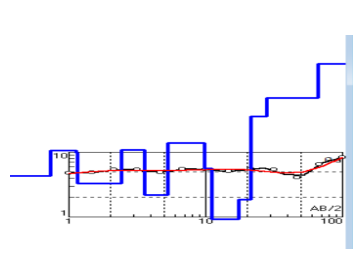
UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER		NORMA ASTM D-6431	
							
PROYECTO: DELIMITAR ACUIFEROS EN LAS SUBCUENCAS DEL RIO TUGADUAJA MEDIANTE SONDEO ELECTRICO VERTICAL							
UBICACIÓN: CUENCA TUGADUAJA							
COORDENADAS:				X: 547618 Y: 9735304			
CÓDIGO: C1-4							
FECHA: 12 de abril de 2024							
OPERADORES: José Vera Pinela Keily Cuesta Pita							
							
Estación	Abertura (Ext)	Abertura (Int)	Constante	Resistencia (ohm)	Resistividad (ohm-m)	Desviación estándar (%)	
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K (m)				
1	1	0.20	7,54	27.67638146	8.347		0.023
2	1.47	0.20	16,66	76.23853347	22.993		0.026
3	2.15	0.20	35,99	196.7652456	59.343		0.016
4	3.16	0.20	78,11	473.519113	142.810		0.026
5	4.64	0.20	168,78	1070.980138	323.000		0.025
6	4.64	0.50	66,85	17.8694926	42.104		0.078
7	6.81	0.20	363,92	1757.33583	530.000		0.039
8	6.81	0.50	144,91	41.24362416	97.178		0.04
9	10	0.50	313,37	93.28601731	219.800		0.065
10	14.7	0.50	678,08	207.3979894	488.670		0.043
11	14.7	2.00	166,58	0.185256354	13.968		0.092
12	21.5	0.50	1451,42	4391.827603	10.348.000		0.039
13	21.5	2.00	359,91	0.464652856	35.034		0.014
14	31.6	2.00	781,13	1.134496223	85.539		0.038
15	46.4	2.00	1687,79	2.592766652	195.490		0.045
16	46.4	5.00	668,52	0.011136602	10.496		0.208
17	68.1	2.00	3639,24	5.802523967	437.500		0.006
18	68.1	5.00	1449,10	0.069664241	65.657		0.005
19	100	5.00	3133,75	0.168322268	158.640		0.01
20	100	10.00	1555,09	0.005725093	39.569		0.269

SOFTWARE IP2TWIN					
					
N° ESTRATO	Ωm	ALTURA	GONÇALVEZ 2021	CHANG 2021	CONDOLO & ORTEGA 2023
1	16.1	0.5	ARCILLA ROJIZA - PIZARRA	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
2	2025	0.372	ROCA GRANULITA	HIELO	ROCA COQUINA
3	3.46	0.373	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARCILLAS
4	3.38	2.4	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARCILLAS
5	58	1.5	LIMOS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
6	343	4.68	GRAVAS	HIELO	ARENA DENSA
7	11000	6.72	ROCA GRANULITA	PERMAFROST	ROCA COQUINA
8	1724	49.7	GRAVAS	HIELO	ROCA COQUINA

Anexo




Datos de resistividad obtenidas en campo de la SUBCUENCA 1, quinto punto de análisis.

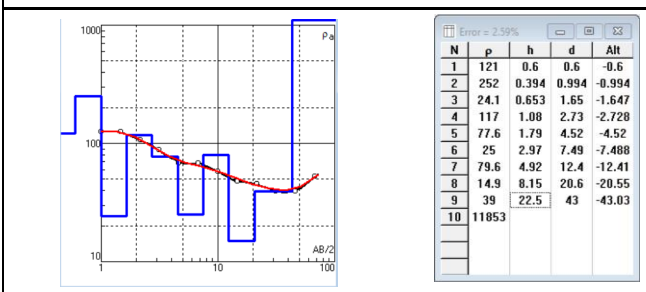
UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER NORMA ASTM D-6431						
						
PROYECTO: DELIMITAR ACUIFEROS EN LAS SUBCUENCAS DEL RIO TUGADUAJA MEDIANTE SONDEO ELECTRICO VERTICAL						
UBICACION: CUENCA TUGADUAJA						
COORDENADAS:		X: 548395.64 Y: 9734986.99				
CÓDIGO: C1-5						
FECHA: 17 de enero de 2023						
OPERADORES: José Vera Pinela Kelly Cuesta Pita						
Estación	Abertura (Ext)	Abertura (Int)	Constante	Resistencia (ohm)	Resistividad (ohm-m)	Desviación estándar (%)
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K (m)			
1	1	0.20	7,54	15.77590216	4.7579	0.014
2	1.47	0.20	16,66	16.11278012	4.8595	0.006
3	2.15	0.20	35,99	17.78025973	5.3624	0.009
4	3.16	0.20	78,11	17.78854905	5.3649	0.165
5	4.64	0.20	168,78	18.01633956	5.4336	0.063
6	4.64	0.50	66,85	1.856934993	4.3753	0.02
7	6.81	0.20	363,92	20.46898355	6.1733	0.443
8	6.81	0.50	144,91	2.110734076	4.9733	0.012
9	10	0.50	313,37	2.29535381	5.4083	0.106
10	14.7	0.50	678,08	2.390507245	5.6325	0.641
11	14.7	2.00	166,58	0.059681777	4.4999	0.015
12	21.5	0.50	1451,42	2.623679847	6.1819	0.036
13	21.5	2.00	359,91	0.064790651	4.8851	0.001
14	31.6	2.00	781,13	0.072225839	5.4457	0.354
15	46.4	2.00	1687,79	0.048129781	3.6289	0.484
16	46.4	5.00	668,52	0.004798097	4.5221	0.999
17	68.1	2.00	3639,24	0.082871979	6.2484	1.9
18	68.1	5.00	1449,10	0.007130672	6.7205	0.867
19	100	5.00	3133,75	0.008984827	8.4680	0.87
20	100	10.00	1555,09	0.001166895	8.0650	0.766

SOFTWARE IP2TWIN																																																							
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>p</th> <th>h</th> <th>d</th> <th>Alt</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5</td><td>10.8</td><td>1.2</td><td>3.61</td><td>-3.614</td></tr> <tr><td>6</td><td>2.18</td><td>1.71</td><td>5.32</td><td>-5.323</td></tr> <tr><td>7</td><td>13.8</td><td>4.52</td><td>9.84</td><td>-9.838</td></tr> <tr><td>8</td><td>5.58</td><td>1.14</td><td>11</td><td>-10.98</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.925</td><td>6.36</td><td>17.3</td><td>-17.33</td></tr> <tr><td>10</td><td>1.84</td><td>4.13</td><td>21.5</td><td>-21.46</td></tr> <tr><td>11</td><td>35.7</td><td>6.75</td><td>28.2</td><td>-28.21</td></tr> <tr><td>12</td><td>68.5</td><td>38</td><td>66.2</td><td>-66.21</td></tr> <tr><td>13</td><td>232</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			N	p	h	d	Alt	5	10.8	1.2	3.61	-3.614	6	2.18	1.71	5.32	-5.323	7	13.8	4.52	9.84	-9.838	8	5.58	1.14	11	-10.98	9	0.925	6.36	17.3	-17.33	10	1.84	4.13	21.5	-21.46	11	35.7	6.75	28.2	-28.21	12	68.5	38	66.2	-66.21	13	232			
N	p	h	d	Alt																																																			
5	10.8	1.2	3.61	-3.614																																																			
6	2.18	1.71	5.32	-5.323																																																			
7	13.8	4.52	9.84	-9.838																																																			
8	5.58	1.14	11	-10.98																																																			
9	0.925	6.36	17.3	-17.33																																																			
10	1.84	4.13	21.5	-21.46																																																			
11	35.7	6.75	28.2	-28.21																																																			
12	68.5	38	66.2	-66.21																																																			
13	232																																																						
N° ESTRATO	Ωm	ALTURA	GONÇALVEZ 2021	CHANG 2021	CONDOLO & ORTEGA 2023																																																		
1	10.8	1.2	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS																																																		
2	2.18	1.71	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARCILLAS																																																		
3	13.8	4.52	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS																																																		
4	5.58	1.14	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARCILLAS																																																		
5	0.925	6.36	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA SALADA	ARCILLAS																																																		
6	1.84	4.13	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARCILLAS																																																		
7	35.7	6.75	ARCILLA ROJIZA - PIZARRA	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS																																																		
8	68.5	38	LIMOS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS																																																		

Anexo

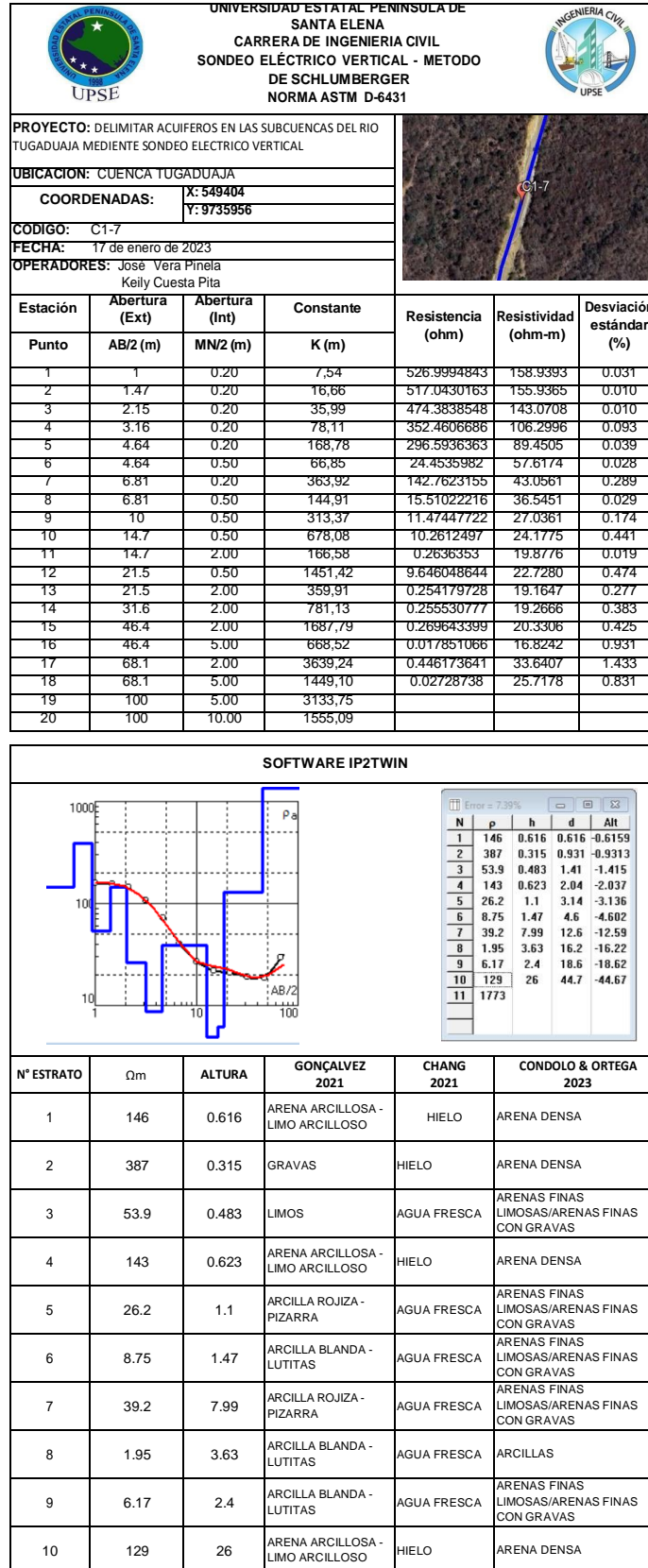
Datos de resistividad obtenidas en campo de la SUBCUENCA 1, sexto punto de análisis.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER NORMA ASTM D-6431						
PROYECTO: DELIMITAR ACUIFEROS EN LAS SUBCUENCAS DEL RIO TUGADUAJA MEDIANTE SONDEO ELECTRICO VERTICAL						
UBICACIÓN: CUENCA TUGADUAJA						
COORDENADAS: X: 548990 Y: 9735262						
CÓDIGO: C1-6						
FECHA: 17 de enero de 2023						
OPERADORES: José Vera Pinela Keily Cuesta Pita						
Estación	Abertura (Ext) AB/2 (m)	Abertura (Int) MN/2 (m)	Constante K (m)	Resistencia (ohm)	Resistividad (ohm-m)	Desviación estándar (%)
1	1	0.20	7.34	413.6234761	123.4100	0.010
2	1.47	0.20	16,66	415.5601879	125.3300	0.013
3	2.15	0.20	35,99	352.7602999	106.3900	0.032
4	3.16	0.20	78,11	291.0347078	87.7740	0.027
5	4.64	0.20	168,78	253.2155145	76.3680	0.023
6	4.64	0.50	66,85	25.94310455	61.1270	0.092
7	6.81	0.20	363,92	251.3454439	75.8040	0.032
8	6.81	0.50	144,91	25.53227259	60.1590	0.024
9	10	0.50	313,37	24.70891102	58.2190	0.042
10	14.7	0.50	678,08	22.3674235	52.7020	0.157
11	14.7	2.00	166,58	0.575888899	43.4210	0.059
12	21.5	0.50	1451,42	21.5529746	50.7830	0.254
13	21.5	2.00	359,91	0.542850985	40.9300	0.089
14	31.6	2.00	781,13	0.523301453	39.4560	0.127
15	46.4	2.00	1687,79	0.567161903	42.7630	0.066
16	46.4	5.00	668,52	0.038852905	36.6180	0.026
17	68.1	2.00	3639,24	0.809475303	61.0330	0.031
18	68.1	5.00	1449,10	0.047444089	44.7150	0.724
19	100	5.00	3133,75	0		
20	100	10.00	1555,09	0		

SOFTWARE IP2TWIN						
						
N° ESTRATO	Ωm	ALTURA	GONÇALVES 2021	CHANG 2021	CONDOLO & ORTEGA 2023	
1	121	0.6	ARENA ARCILLOSA - LIMO ARCILLOSO	HIELO	ARENA DENSA	
2	254	0.394	GRAVAS	HIELO	ARENA DENSA	
3	24.1	0.653	ARCILLA ROJIZA - PIZARRA	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS	
4	117	1.08	ARENA ARCILLOSA - LIMO ARCILLOSO	HIELO	ARENA DENSA	
5	77.6	1.79	ARENA ARCILLOSA - LIMO ARCILLOSO	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS	
6	25	2.97	ARCILLA ROJIZA - PIZARRA	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS	
7	79.6	4.92	ARENA ARCILLOSA - LIMO ARCILLOSO	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS	
8	14.9	8.15	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS	
9	39	22.5	ARCILLA ROJIZA - PIZARRA	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS	



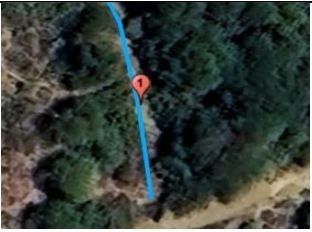
Anexo

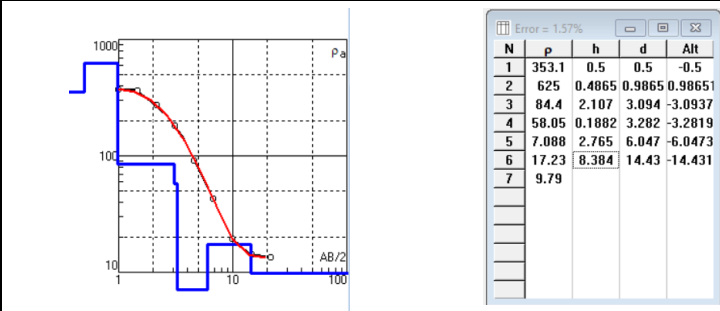
Datos de resistividad obtenidas en campo de la SUBCUENCA 1, séptimo punto de análisis.



Anexo

Datos de resistividad obtenidas en campo de la SUBCUENCA 2, primer punto de análisis.

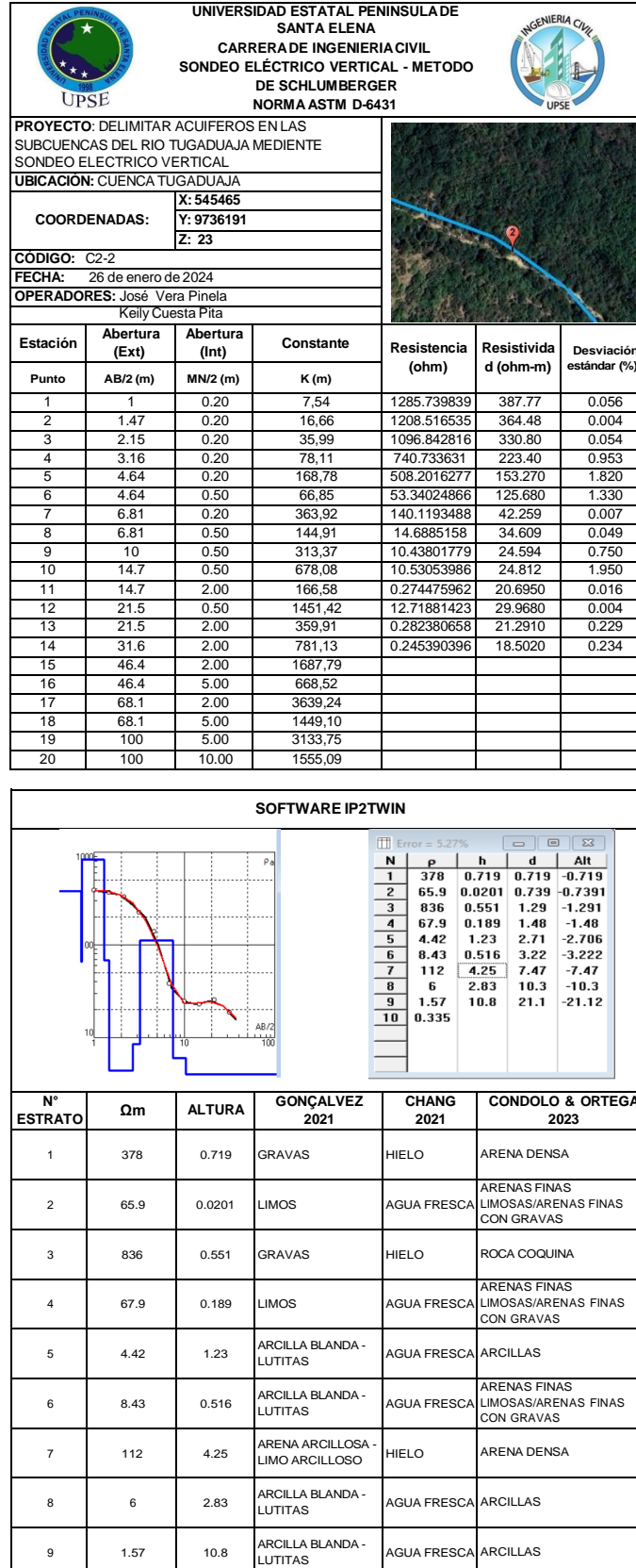
 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER NORMA ASTM D-6431						
PROYECTO: DELIMITAR ACUIFEROS EN LAS SUBCUENCAS DEL RIO TUGADUAJA MEDIANTE SONDEO ELECTRICO VERTICAL						
UBICACION: CUENCA TUGADUAJA						
COORDENADAS: X: 545507 Y: 9735942 Z: 18						
CODIGO: C2-1						
FECHA: 26 de enero de 2024 OPERADORES: José Vera Pinela Kelly Cuesta Pita						
Estación	Abertura (Ext)	Abertura (Int)	Constante	Resistencia (ohm)	Resistividad (ohm-m)	Desviación estándar (%)
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K (m)			
1	1	0.20	7,54	1215.777979	366.67	0.031
2	1.47	0.20	16,66	1196.248341	360.78	0.010
3	2.15	0.20	35,99	893.5223763	269.48	0.005
4	3.16	0.20	78,11	598.8702093	180.62	0.038
5	4.64	0.20	168,78	319.6129673	96.393	0.023
6	4.64	0.50	66,85	35.54863588	83.760	0.029
7	6.81	0.20	363,92	151.3513773	45.647	0.163
8	6.81	0.50	144,91	16.47062675	38.808	0.080
9	10	0.50	313,37	8.071277681	19.018	0.308
10	14.7	0.50	678,08	6.669016529	15.714	0.871
11	14.7	2.00	166,58	0.167848782	12.6555	0.052
12	21.5	0.50	1451,42	5.728729125	13.4980	0.605
13	21.5	2.00	359,91	0.175733583	13.2500	0.378
14	31.6	2.00	781,13			
15	46.4	2.00	1687,79			
16	46.4	5.00	668,52			
17	68.1	2.00	3639,24			
18	68.1	5.00	1449,10			
19	100	5.00	3133,75			
20	100	10.00	1555,09			

SOFTWARE IP2TWIN						
				Error = 1.57%		
N	p	h	d	Alt		
1	353.1	0.5	0.5	-0.5		
2	625	0.4865	0.9865	0.98651		
3	84.4	2.107	3.094	-3.0937		
4	58.05	0.1882	3.282	-3.2819		
5	7.088	2.765	6.047	-6.0473		
6	17.23	8.384	14.43	-14.431		
7	9.79					

N° ESTRATO	Ωm	ALTURA	GONÇALVEZ 2021	CHANG 2021	CONDOLO & ORTEGA 2023
1	353.1	0.5	GRAVAS	HIELO	ARENA DENSA
2	625	0.4865	GRAVAS	HIELO	ROCA COQUINA
3	84.4	2.107	ARENA ARCILLOSA - LIMO ARCILLOSO	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
4	58.05	0.1882	LIMOS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
5	7.088	2.765	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
6	17.23	8.384	ARCILLA ROJIZA - PIZARRA	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS




Anexo

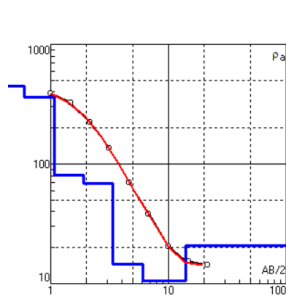
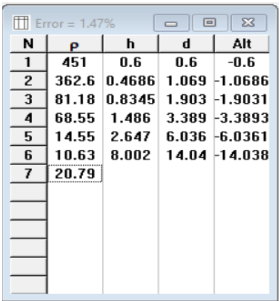
Datos de resistividad obtenidas en campo de la SUBCUENCA 2, segundo punto de análisis.



Anexo

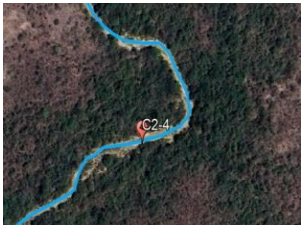
Datos de resistividad obtenidas en campo de la SUBCUENCA 2, tercer punto de análisis.

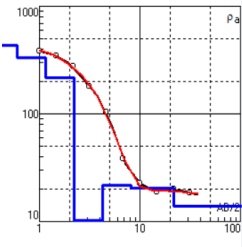
UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER NORMA ASTM D-6431		 				
PROYECTO: DELIMITAR ACUIFEROS EN LAS SUBCUENCAS DEL RIO TUGADUAJA MEDIANTE SONDEO ELECTRICO VERTICAL						
UBICACIÓN:						
COORDENADAS:	X: 545405	Y: 9736466	Z: 27			
CODIGO:	C2-3					
FECHA:	26 de enero de 2024					
OPERADORES: José Vera Pinela Keily Cuesta Pita						
Estación	Abertura (Ext)	Abertura (Int)	Constante	Resistencia (ohm)	Resistividad (ohm-m)	Desviación estándar (%)
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K (m)			
1	1	0.20	7,54	1282.158853	386.69	0.011
2	1.47	0.20	16,66	1073.069047	323.63	0.006
3	2.15	0.20	35,99	734.4337478	221.50	0.003
4	3.16	0.20	78,11	449.1816696	135.47	0.038
5	4.64	0.20	168,78	266.2065367	80.286	0.025
6	4.64	0.50	66,85	25.53651672	60.169	0.037
7	6.81	0.20	363,92	146.2302354	44.102	0.127
8	6.81	0.50	144,91	14.00563499	33.000	0.112
9	10	0.50	313,37	8.723388534	20.554	0.341
10	14.7	0.50	678,08	7.312214705	17.229	1.430
11	14.7	2.00	166,58	0.180362339	13.5990	0.090
12	21.5	0.50	1451,42	5.847140403	13.7770	0.243
13	21.5	2.00	359,91	0.196569618	14.8210	0.156
14	31.6	2.00	781,13			
15	46.4	2.00	1687,79			
16	46.4	5.00	668,52			
17	68.1	2.00	3639,24			
18	68.1	5.00	1449,10			
19	100	5.00	3133,75			
20	100	10.00	1555,09			

SOFTWARE IP2TWIN					
					
N° ESTRATO	Ωm	ALTURA	GONÇALVEZ 2021	CHANG 2021	CONDOLO & ORTEGA 2023
1	451	0.6	GRAVAS	HIELO	ARENA DENSA
2	362.6	0.4686	GRAVAS	HIELO	ARENA DENSA
3	81.18	0.8345	ARENA ARCILLOSA - LIMO ARCILLOSO	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
4	68.55	1.486	LIMOS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
5	14.55	2.647	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
6	10.63	8.002	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS

Anexo

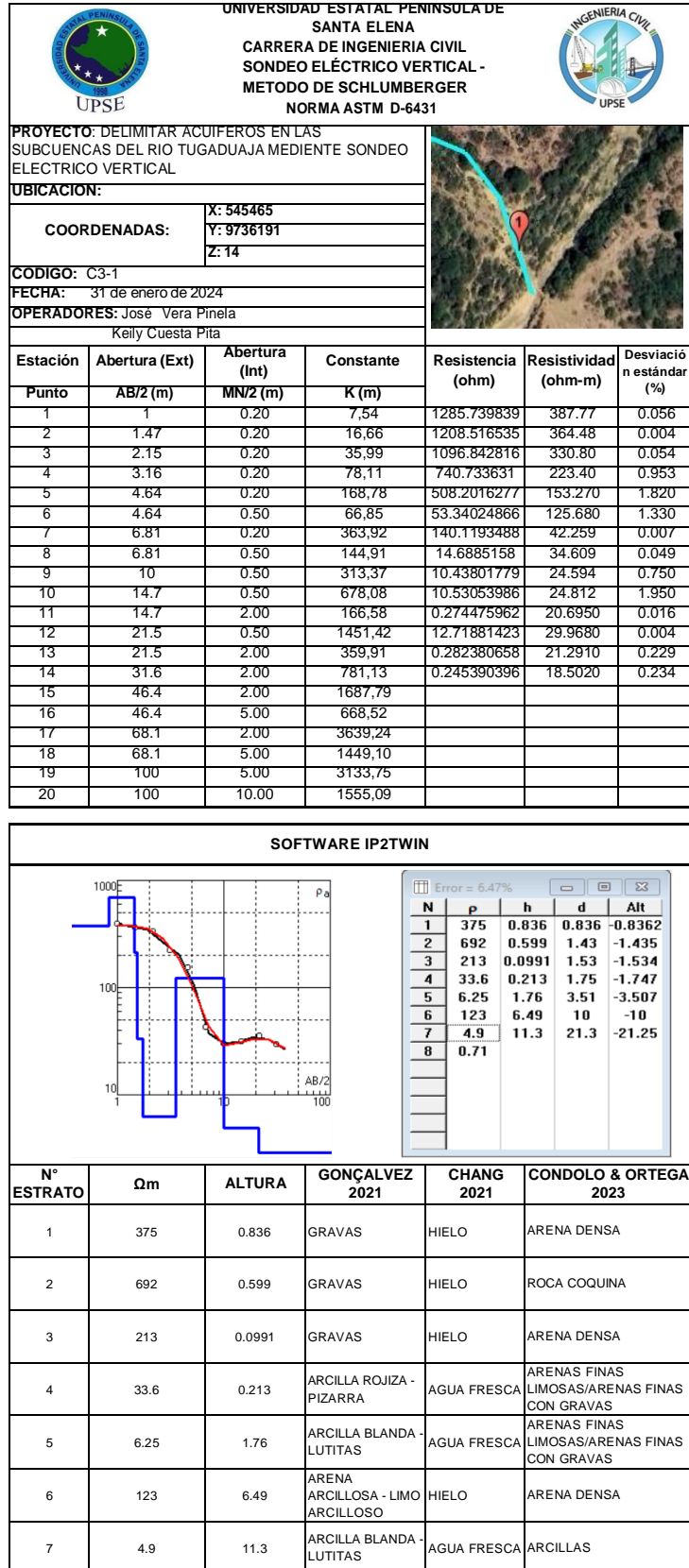
Datos de resistividad obtenidas en campo de la SUBCUENCA 2, cuarto punto de análisis.

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER		
NORMA ASTM D-6431						
PROYECTO: DELIMITAR ACUIFEROS EN LAS SUBCUENCAS DEL RIO TUGADUAJA MEDIANTE SONDEO ELECTRICO VERTICAL						
UBICACIÓN:						
COORDENADAS:		X: 545652 Y: 9737045 Z: 29				
CODIGO: C2-4						
FECHA: 2 de febrero de 2024						
OPERADORES: José Vera Pinela Keily Cuesta Pita						
Estación	Abertura (Ext)	Abertura (Int)	Constante	Resistencia (ohm)	Resistividad (ohm-m)	Desviación estándar (%)
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K (m)			
1	1	0.20	7,54	1283.949346	387.23	0.034
2	1.47	0.20	16,66	1140.792791	344.06	0.005
3	2.15	0.20	35,99	915.638282	276.15	0.029
4	3.16	0.20	78,11	594.9576503	179.44	0.496
5	4.64	0.20	168,78	387.2040822	116.778	0.923
6	4.64	0.50	66,85	39.43838269	92.925	0.684
7	6.81	0.20	363,92	143.1747921	43.181	0.067
8	6.81	0.50	144,91	14.3470754	33.805	0.081
9	10	0.50	313,37	9.580703161	22.574	0.546
10	14.7	0.50	678,08	8.921377283	21.021	1.690
11	14.7	2.00	166,58	0.227419151	17.1470	0.053
12	21.5	0.50	1451,42	9.282977314	21.8725	0.124
13	21.5	2.00	359,91	0.239475138	18.0560	0.193
14	31.6	2.00	781,13	0.245390396	18.5020	0.234
15	46.4	2.00	1687,79			
16	46.4	5.00	668,52			
17	68.1	2.00	3639,24			
18	68.1	5.00	1449,10			
19	100	5.00	3133,75			
20	100	10.00	1555,09			

SOFTWARE IP2TWIN																																													
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>N</th> <th>p</th> <th>h</th> <th>d</th> <th>Alt</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>433</td><td>0.6</td><td>0.6</td><td>-0.6</td></tr> <tr><td>2</td><td>330</td><td>0.554</td><td>1.15</td><td>-1.154</td></tr> <tr><td>3</td><td>218</td><td>1.07</td><td>2.22</td><td>-2.22</td></tr> <tr><td>4</td><td>10.3</td><td>2.05</td><td>4.27</td><td>-4.27</td></tr> <tr><td>5</td><td>21.8</td><td>3.94</td><td>8.21</td><td>-8.214</td></tr> <tr><td>6</td><td>20.4</td><td>13.3</td><td>21.5</td><td>-21.54</td></tr> <tr><td>7</td><td>13.8</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			N	p	h	d	Alt	1	433	0.6	0.6	-0.6	2	330	0.554	1.15	-1.154	3	218	1.07	2.22	-2.22	4	10.3	2.05	4.27	-4.27	5	21.8	3.94	8.21	-8.214	6	20.4	13.3	21.5	-21.54	7	13.8			
N	p	h	d	Alt																																									
1	433	0.6	0.6	-0.6																																									
2	330	0.554	1.15	-1.154																																									
3	218	1.07	2.22	-2.22																																									
4	10.3	2.05	4.27	-4.27																																									
5	21.8	3.94	8.21	-8.214																																									
6	20.4	13.3	21.5	-21.54																																									
7	13.8																																												
N° ESTRATO	Ωm	ALTURA	GONÇÁLVEZ 2021	CHANG 2021	CONDOLO & ORTEGA 2023																																								
1	433	0.6	GRAVAS	HIELO	ARENA DENSA																																								
2	330	0.554	GRAVAS	HIELO	ARENA DENSA																																								
3	218	1.07	GRAVAS	HIELO	ARENA DENSA																																								
4	10.3	2.05	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS																																								
5	21.8	3.94	ARCILLA ROJIZA - PIZARRA	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS																																								
6	20.4	13.3	ARCILLA ROJIZA - PIZARRA	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS																																								




Anexo

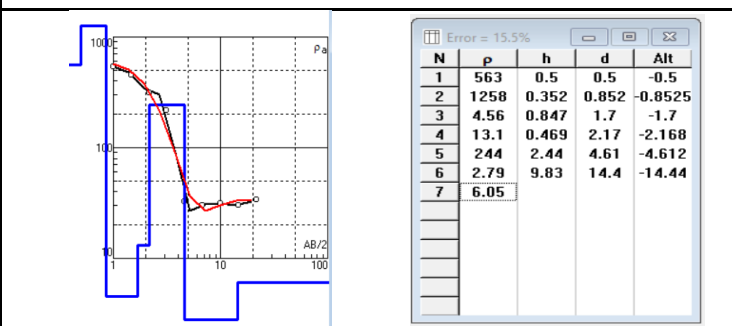
Datos de resistividad obtenidas en campo de la SUBCUENCA 3, primer punto de análisis



Anexo




Datos de resistividad obtenidas en campo de la SUBCUENCA 3, segundo punto de análisis.

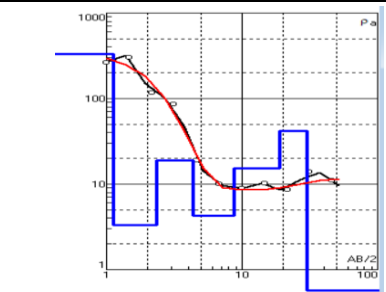
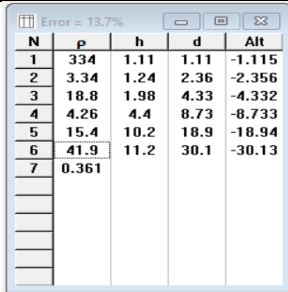
 UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER NORMA ASTM D-6431						
PROYECTO: DELIMITAR ACUIFEROS EN LAS SUBCUENCAS DEL RIO TUGADUAJA MEDIENTE SONDEO ELECTRICO VERTICAL						
UBICACION:						
COORDENADAS:		X:	545465			
		Y:	9736191			
		Z:	17			
CODIGO: C3-2						
FECHA: 31 de enero de 2024						
OPERADORES: Jose Vera Pinela Keily Cuesta Pita						
						
Estación	Abertura (Ext)	Abertura (Int)	Constante	Resistencia (ohm)	Resistividad (ohm-m)	Desviación estándar (%)
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K (m)			
1	1	0.20	7,54	1799,14716	542,61	0,055
2	1.47	0.20	16,66	1512,369847	456,12	0,094
3	2.15	0.20	35,99	1046,841638	316	0,459
4	3.16	0.20	78,11	725,5144395	218,81	0,352
5	4.64	0.20	168,78	106,5111299	32,123	0,213
6	4.64	0.50	66,85	10,36544313	24,423	0,029
7	6.81	0.20	363,92	101,9055838	30,734	0,778
8	6.81	0.50	144,91	9,148650542	21,556	0,153
9	10	0.50	313,37	9,781026183	23,046	0,593
10	14.7	0.50	678,08	9,395659014	22,138	0,388
11	14.7	2.00	166,58	0,198068327	14,9340	0,159
12	21.5	0.50	1451,42	7,122926426	16,7830	2,820
13	21.5	2.00	359,91			
14	31.6	2.00	781,13			
15	46.4	2.00	1687,79			
16	46.4	5.00	668,52			
17	68.1	2.00	3639,24			
18	68.1	5.00	1449,10			
19	100	5.00	3133,75			
20	100	10.00	1555,09			

SOFTWARE IP2TWIN						
						
N° ESTRATO	Ωm	ALTURA	GONÇALVEZ 2021	CHANG 2021	CONDOLO & ORTEGA 2023	
1	563	0.5	GRAVAS	HIELO	ROCA COQUINA	
2	1258	0.352	GRAVAS	HIELO	ROCA COQUINA	
3	4.56	0.847	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARCILLAS	
4	13.1	0.469	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS	
5	244	2.44	GRAVAS	HIELO	ARENA DENSA	
6	2.79	9.83	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARCILLAS	

Anexo


Datos de resistividad obtenidas en campo de la SUBCUENCA 3, tercer punto de análisis.

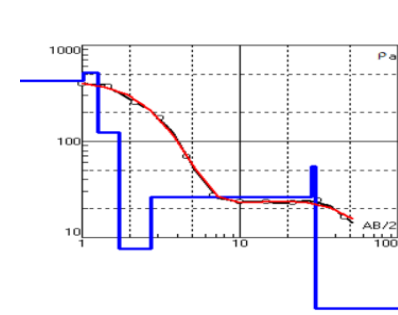
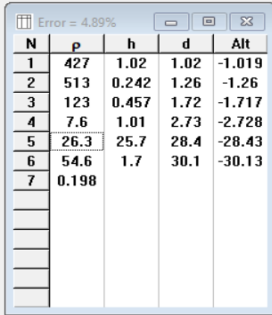
 UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER NORMA ASTM D-6431						
PROYECTO: DELIMITAR ACUIFEROS EN LAS SUBCUENCAS DEL RIO TUGADUAJA MEDIANTE SONDEO ELECTRICO VERTICAL						
UBICACION:						
COORDENADAS:						
X: 545141						
Y: 9736588 Z: 21						
CODIGO: C3-3						
FECHA: 7 de febrero de 2024						
OPERADORES: José Vera Pinela Kelly Cuesta Pita						
Estación	Abertura (Ext)	Abertura (Int)	Constante	Resistencia (ohm)	Resistividad (ohm-m)	Desviación estándar (%)
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K (m)			
1	1	0.20	7,54	878.7673868	265.03	0.002
2	1.47	0.20	16,66	1003.140343	302.54	0.023
3	2.15	0.20	35,99	387.5091291	117	0.015
4	3.16	0.20	78,11	283.1731168	85.40	0.055
5	4.64	0.20	168,78	66.62955378	20.095	0.087
6	4.64	0.50	66,85	7.61694337	17.947	0.044
7	6.81	0.20	363,92	35.33239737	10.656	0.033
8	6.81	0.50	144,91	3.913513947	9.221	0.152
9	10	0.50	313,37	3.790137035	8.930	0.143
10	14.7	0.50	678,08	4.099024949	9.658	0.041
11	14.7	2.00	166,58	0.142125364	10.7160	0.097
12	21.5	0.50	1451,42	3.17626581	7.4839	0.836
13	21.5	2.00	359,91	0.128408861	9.6818	1.900
14	31.6	2.00	781,13	0.183399546	13.8280	1.090
15	46.4	2.00	1687,79	0.144990153	10.9320	0.779
16	46.4	5.00	668,52			
17	68.1	2.00	3639,24			
18	68.1	5.00	1449,10			
19	100	5.00	3133,75			
20	100	10.00	1555,09			

SOFTWARE IP2TWIN					
					
N° ESTRATO	Ωm	ALTURA	GONÇALVEZ 2021	CHANG 2021	CONDOLO & ORTEGA 2023
1	334	1.11	GRAVAS	HIELO	ARENA DENSA
2	3.34	1.24	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARCILLAS
3	18.8	1.98	ARCILLA ROJIZA - PIZARRA	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
4	4.26	4.4	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARCILLAS
5	15.4	10.2	ARCILLA ROJIZA - PIZARRA	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
6	41.9	11.2	ARCILLA ROJIZA - PIZARRA	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS

Anexo

Datos de resistividad obtenidas en campo de la SUBCUENCA 3, cuarto punto de análisis.

UNIVERSIDAD ESTADAL PENINSULA DE SANTA ELENA		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL		SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER		NORMA ASTM D-6431	
				PROYECTO: DELIMITAR ACUIFEROS EN LAS SUBCUENCAS DEL RIO TUGADUJA MEDIANTE SONDEO ELECTRICO VERTICAL			
UBICACION:							
COORDENADAS:		X: 544625					
		Y: 9736876					
		Z: 27					
CODIGO: C3-4				FECHA: 9 de febrero de 2024			
OPERADORES: José Vera Pinela				Kelly Cuesta Pita			
Estación	Abertura (Ext)	Abertura (Int)	Constante	Resistencia (ohm)	Resistividad (ohm-m)	Desviación estándar (%)	
Punto	AB/2 (m)	MN/2 (m)	K (m)				
1	1	0.20	7,54	1321.218129	398.47		0.038
2	1.47	0.20	16,66	1241.342242	374.38		0.040
3	2.15	0.20	35,99	843.7311945	254		0.176
4	3.16	0.20	78,11	583.1403958	175.87		0.453
5	4.64	0.20	168,78	227.1141038	68.496		0.707
6	4.64	0.50	66,85	23.77421172	56.017		0.468
7	6.81	0.20	363,92	92.4524433	27.883		0.273
8	6.81	0.50	144,91	9.250226764	21.795		0.118
9	10	0.50	313,37	8.003060335	18.857		0.495
10	14.7	0.50	678,08	8.008407941	18.869		0.793
11	14.7	2.00	166,58	0.204889884	15.4483		0.091
12	21.5	0.50	1451,42	7.672668821	18.0783		1.220
13	21.5	2.00	359,91	0.205394759	15.4864		1.065
14	31.6	2.00	781,13	0.214394971	16.1650		0.662
15	46.4	2.00	1687,79	0.144990153	10.9320		0.779
16	46.4	5.00	668,52				
17	68.1	2.00	3639,24				
18	68.1	5.00	1449,10				
19	100	5.00	3133,75				
20	100	10.00	1555,09				

SOFTWARE IP2TWIN					
					
N° ESTRATO	Ωm	ALTURA	GONÇALVEZ 2021	CHANG 2021	CONDOLO & ORTEGA 2023
1	427	1.02	GRAVAS	HIELO	ARENA DENSA
2	513	0.242	GRAVAS	HIELO	ROCA COQUINA
3	123	0.457	ARENA ARCILLOSA - LIMO ARCILLOSO	HIELO	ARENA DENSA
4	7.6	1.01	ARCILLA BLANDA - LUTITAS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
5	26.3	25.7	ARCILLA ROJIZA - PIZARRA	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS
6	54.6	1.7	LIMOS	AGUA FRESCA	ARENAS FINAS LIMOSAS/ARENAS FINAS CON GRAVAS