



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

TEMA:

“ANALOGÍA DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO OBTENIDOS POR
MÉTODOS GEOFÍSICOS Y EXPLORACIÓN CON PERCUSIÓN Y LAVADO
EN EL PROYECTO UPSE”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR (ES):

ORTEGA VALAREZO ALLISON MAHOLY
CONDOLO RAMOS RONALD GEOVANNY

TUTOR:

ING. LUCRECIA CRISTINA MORENO ALCÍVAR PhD

LA LIBERTAD, ECUADOR

2023

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

“ANALOGÍA DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO OBTENIDOS POR
MÉTODOS GEOFÍSICOS Y EXPLORACIÓN CON PERCUSIÓN Y LAVADO
EN EL PROYECTO UPSE”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR:

ORTEGA VALAREZO ALLISON MAHOLY
CONDOLO RAMOS RONALD GEOVANNY


TUTOR:

ING. LUCRECIA CRISTINA MORENO ALCÍVAR PhD

LA LIBERTAD – ECUADOR

UPSE

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

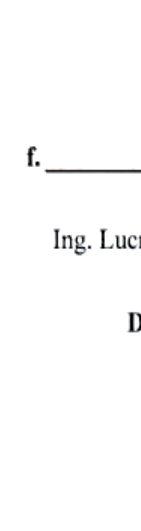
Ing. Jonny Raúl Villao Borbor, MSc.

DIRECTOR DE CARRERA

f. 

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, PhD.

DOCENTE TUTOR

f. 

Ing. Gastón Proaño Cadena, MSc.

DIRECTOR ESPECIALISTA

f. 

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, PhD

DOCENTE UIC

DEDICATORIA

A Dios por que puso cada recurso a mi disposición cuando lo necesité y gracias a él he culminado esta etapa.

A mis hermanas que son mi impulso y mayor motivación para jamás rendirme en los estudios y así poder llegar a ser un ejemplo para ellas.

A mis padres que han sabido guiarme, que pese a cualquier circunstancia han sido un soporte y apoyo en toda meta propuesta en mi vida, lo cual me ayudó a seguir de pie en momentos difíciles.

A mi pareja por creer en mis capacidades ya que su amor y confianza fueron un aliento para culminar esta carrera.

ORTEGA VALAREZO ALLISON MAHOLY

DEDICATORIA

Principalmente a Dios, por haberme permitido haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mis padres: Segundo Condolo y Rosario Ramos por ser los principales promotores de mi educación, por confiar cada día en mí, por la motivación constante, los sabios consejos dados, ese cariño de todos los días que me ha permitido ser una persona de bien, por haberme brindado todo su apoyo, por el amor y confianza que me brindaron en cada paso para poder culminar con éxito esta meta importante en mi vida.

A mis hermanos, por darme siempre esa motivación para llegar a ser mejor cada día.

Todo este trabajo logrado fue posible gracias a ustedes.

RONALD GEOVANNY CONDOLO RAMOS

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO



Facultad de
Ciencias de la Ingeniería
Ingeniería Civil

ID: 47addcf314d6ca85d42533161011acf7025ba50d

La Libertad, 12 de julio del 2023

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DOCENTE UIC LUCRECIA CRISTINA MORENO ALCIVAR-2023

En calidad de tutor del trabajo de titulación denominado “ANALOGÍA DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO OBTENIDOS POR MÉTODOS GEOFÍSICOS Y EXPLORACIÓN CON PERCUSIÓN Y LAVADO EN EL PROYECTO UPSE”, elaborado por los estudiantes **ORTEGA VALAREZO ALLISON MAHOLY** y **CONDOLO RAMOS RONALD GEOVANY** con C.I. 2450784695 y 0927369124 respectivamente, egresados de la Carrera de Ingeniería civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio **COMPILATIO**, luego de haber cumplido los requerimientos exigidos de valoración, el presente proyecto ejecutado, se encuentra con **3%** de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,

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

Archivo. CC.



TESIS ORTEGA Y CONDOLO.final

3%
Similitudes



< 1% Texto entre comillas
0% similitudes entre comillas
< 1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: TESIS ORTEGA Y CONDOLO.final.docx
ID del documento: 47addc314d6ca85642533161011ac7025ba50d
Tamaño del documento original: 5,23 MB

Depositante: LUCRECIA CRISTINA MORENO ALCIVAR
Fecha de depósito: 12/7/2023
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 12/7/2023

Número de palabras: 22.781
Número de caracteres: 146.960

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #618238 El documento proviene de otro grupo 19 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (208 palabras)
2	www.irasa.gob.imt.mx http://www.irasa.gob.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt220.pdf 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (185 palabras)
3	repositorio.upse.edu.ec Estudio de contraste geofísico con sismómetro en pozos pr... https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/5408/1/JPSE-TIP-2020-0012.pdf 16 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (169 palabras)
4	repositorio.upse.edu.ec Implementación de Nanosilice para mejorar las propiedades... https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6943/1/JPSE-TIC-2022-0009.pdf 16 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (149 palabras)
5	hdl.handle.net Aplicación de los métodos geoelectrónicos en la prospección geofísica https://hdl.handle.net/20.500.12672/12584 5 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (117 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	www.redalyc.org https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf#:~:text=La población de estudio es un conjunto d... < 1%	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (36 palabras)
2	jurnal.uns.ac.id A Comparison between Drilling and Standard Penetration Test (SPT... https://jurnal.uns.ac.id/jsp/entice/view/17962 < 1%	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (37 palabras)
3	PLAGIO CHECKTesis_Dominguez Limones & Ramos Orrala.docx PLAGIO C... #cc38a8 El documento proviene de mi grupo < 1%	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (30 palabras)
4	repositorio.upse.edu.ec Análisis comparativo de la estabilización del material de la... https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4763/1/JPSE-TIC-2019-0006.pdf < 1%	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
5	Documento de otro usuario #c2e6fd El documento proviene de otro grupo < 1%	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (16 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://doi.org/10.1088/1742-6596/995/1/012079>
- <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100220>
- <https://doi.org/10.13057/jap.v8i2.17962>
- <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.10.004>
- <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2008.09.012>

CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGIA

*Lcdo. Dennys Mauricio Panchana Yagual, Mgtr.
Celular: 0939211033*

Correo: dennys.panchana@educacion.gob.ec

CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, **DENNYS MAURICIO PANCHANA YAGUAL**, en mi calidad de **LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGISTER EN ADMINISTRACIÓN Y LIDERAZGO EDUCACIONAL**, 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 **"ANALOGÍA DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO OBTENIDOS POR MÉTODOS GEOFÍSICOS Y EXPLORACIÓN CON PERCUSIÓN Y LAVADO EN EL PROYECTO UPSE"** de los estudiantes **ORTEGA VALAREZO ALLISON MAHOLY** y **CONDOLO RAMOS RONAL GEOVANNY**.

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.

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

Santa Elena, 12 de julio del 2023



Lcdo. Dennys Panchana Yagual, Mgtr.

CI. 0919400176

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACION
MAGISTER EN GERENCIA Y LIDERAZGO EDUCACIONAL
N° DE REGISTRO DE SENE CYT 1031-2018-1947613

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **ORTEGA VALAREZO ALLISON MAHOLY** y **CONDOLO RAMOS RONALD GEOVANNY**, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“ANALOGÍA DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO OBTENIDOS POR MÉTODOS GEOFÍSICOS Y EXPLORACIÓN CON PERCUSIÓN Y LAVADO EN EL PROYECTO UPSE”**, 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 de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo 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,



RONALD GEOVANNY

CONDOLO RAMOS



ALLISON MAHOLY

ORTEGA VALAREZO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR


Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcívar, PhD.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo ANALOGÍA DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO OBTENIDOS POR MÉTODOS GEOFÍSICOS Y EXPLORACIÓN CON PERCUSIÓN Y LAVADO EN EL PROYECTO UPSE previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil elaborado por el Srta. ORTEGA VALAREZO ALLISON MAHOLY y el Sr. CONDOLO RAMOS RONALD GEOVANY, egresados 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 apruebo en todas sus partes.

FIRMA DEL TUTOR



Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcívar, PhD.
TUTOR

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por guiarnos en este trayecto de nuestras vidas, por darnos la posibilidad de ser mejores personas cada día, por darnos la sabiduría necesaria para terminar nuestros estudios y así afrontar con determinación nuestras vidas profesionales.

Agradecemos a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, a la carrera de ingeniería Civil, en cuyas aulas adquirimos conocimientos que nos ayudaran a seguir creciendo no solo como profesionales también como personas.

Con mucho respeto y admiración nuestros más sinceros agradecimientos a la Ingeniera Lucrecia Moreno Alcívar, quien con sus conocimientos, experiencia y motivación nos apoyó para ser posible la elaboración de este proyecto de investigación.

RONALD CONDOLO Y MAHOLY ORTEGA

Contenido

DEDICATORIA	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	viii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	ix
AGRADECIMIENTOS	x
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.2. ANTEDECENTES.....	6
1.3. HIPÓTESIS.....	9
1.3.1. Hipótesis General.....	9
1.3.2. Hipótesis Específicas	10
1.4. OBJETIVOS	10
1.4.1. Objetivo General	10
1.4.2. Objetivos Específicos.....	10
1.5. ALCANCE.....	11
1.6. VARIABLES	11
1.6.1. Variable Independiente.	11
1.6.2. Variable Dependiente.....	11
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1. EL SUELO.....	12
2.2. TÉCNICAS DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA.....	12

2.2.1. Calicatas a cielo abierto.	12
2.2.2. Cono de Penetración Dinámica (DCP).	13
2.2.3. Exploración con percusión y lavado.	13
2.2.4. Muestreo con Ensayo SPT.	14
2.3. PRUEBAS DE LABORATORIO PARA EL ANÁLISIS Y ESTUDIO DE SUELOS.....	14
2.3.1. Granulometría.	15
2.3.2. Densidad de Suelos.	17
2.4. MÉTODOS DE EXPLORACIÓN INDIRECTA PARA EL ANÁLISIS Y ESTUDIO DE SUELOS	18
2.4.1. Prospección geo eléctrica.....	18
2.5. MÉTODOS GEOELECTRICOS	18
2.5.1. Técnica del perfilaje o calicateo.....	18
2.5.2. Método de resistividad eléctrica.....	18
2.5.3. Medición de la resistividad eléctrica.....	21
2.5.4. Variación de la resistividad eléctrica en función de las propiedades del suelo.	22
2.5.5. Interpretación de la variación de resistividad eléctrica.....	24
2.5.6. Resistividad de algunas formaciones geológicas.	25
2.5.7. Ventajas y Desventajas de la resistividad eléctrica.....	27
2.6. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV).....	28
2.6.1. Método Schlumberger.....	29
2.6.2. Correlaciones entre resistividad e índice de penetración estándar.	30
CAPITULO III: METODOLOGÍA	32

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	32
3.1.1. Tipo.....	32
3.1.2. Nivel.....	32
3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3.2.1. Método.....	33
3.2.2. Enfoque.....	33
3.2.3. Diseño.....	34
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	34
3.3.1. Población.....	34
3.3.2. Muestra.....	34
3.3.3. Muestreo.....	35
3.4. UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO	35
3.5. METODOLOGIA DEL OE.1: RECOPIRAR DATOS DE PERFILES ESTRATIGRÁFICOS OBTENIDOS CON MUESTREOS DE ENSAYO SPT MEDIANTE REVISIÓN DOCUMENTAL DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS, PARA CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL ÁREA DESTINADA A LA CONSTRUCCIÓN DE BLOQUES DE LA UPSE Y DE VARIOS SITIOS DE DIVERSIDAD LITOLÓGICA	37
3.6. METODOLOGIA DEL OE.2: EJECUTAR ENSAYOS DE SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) CON ARREGLO DE ELECTRODOS SCHLUMBERGER PARA LA OBTENCIÓN DE RESISTIVIDADES A DIFERENTES PROFUNDIDADES DEL SUELO.....	38
3.7. METODOLOGIA DEL OE.3: CORRELACIONAR EL VALOR DE N-SPT OBTENIDO A PARTIR DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) CON EL VALOR N-SPT OBTENIDO DE LA RECOPIACIÓN DOCUMENTAL DE LOS PERFILES ESTRATIGRÁFICOS EN LOS PREDIOS DE LA UPSE Y EN ZONAS DE DIVERSA RIQUEZA LITOLÓGICA PARA VERIFICAR	

LA EFICACIA DE LOS MÉTODOS GEOFÍSICOS EN LA EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO.	40
3.8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	42
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	43
4.1. RESULTADOS DEL OE1: RECOPIRAR DATOS DE PERFILES ESTRATIGRÁFICOS OBTENIDOS CON MUESTREOS DE ENSAYO SPT MEDIANTE REVISIÓN DOCUMENTAL DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS, PARA CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL ÁREA DESTINADA A LA CONSTRUCCIÓN DE BLOQUES DE LA UPSE Y DE VARIOS SITIOS DE DIVERSIDAD LITOLÓGICA	43
4.2. RESULTADOS DEL O.E2: EJECUTAR ENSAYOS DE SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) CON ARREGLO DE ELECTRODOS SCHLUMBERGER PARA LA OBTENCIÓN DE RESISTIVIDADES A DIFERENTES PROFUNDIDADES DEL SUELO.....	51
4.3. RESULTADOS DEL O.E3: CORRELACIONAR EL VALOR DE N-SPT OBTENIDO A PARTIR DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) CON EL VALOR N-SPT OBTENIDO DE LA RECOPIACIÓN DOCUMENTAL DE LOS PERFILES ESTRATIGRÁFICOS EN LOS PREDIOS DE LA UPSE Y EN ZONAS DE DIVERSA RIQUEZA LITOLÓGICA PARA VERIFICAR LA EFICACIA DE LOS MÉTODOS GEOFÍSICOS EN LA EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO.	68
4.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	72
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1. CONCLUSIONES	76
5.2. RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Carta de Plasticidad SUCS	17
Figura 2 Valores de resistividad de acuerdo con la formación geológica	27
Figura 3 Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales	27
Figura 4 Flujo de corriente en el suelo al momento de realizar el sondeo eléctrico vertical.....	29
Figura 5 Arreglo de electrodos del método Schlumberger	29
Figura 6 Predios de la Universidad Estatal Península Santa Elena (UPSE)	35
Figura 7 Ubicación de los sondeos realizados en Ayangue, El Tambo y Libertador Bolívar.....	36
Figura 8 Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos	52
Figura 9 Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos	55
Figura 10 Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos ...	57
Figura 11 Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos ...	60
Figura 12 Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos ...	62
Figura 13 Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos del sexto sondeo	65
Figura 14 Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos del sexto sondeo	66
Figura 15 Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos del sexto sondeo	67
Figura 16 Número de golpes vs Profundidad	72
Figura 17 Gráficas de correlación entre resistividad y número de golpes	74
Figura 18 Gráficas de correlación entre resistividad y número de golpes	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Resistividades de diferentes materiales geológicos	25
Tabla 2 Rangos de variación de resistividad de diferentes tipos de rocas y agua	26
Tabla 3 Correlaciones entre resistividad y N-SPT según varios autores	31
Tabla 4 Puntos de muestreo	35
Tabla 5 Puntos de muestreo	36
Tabla 6 Resultados del ensayo SPT en el primer punto de muestreo	44
Tabla 7 Resultados del ensayo SPT del segundo punto de muestreo.....	45
Tabla 8 Resultados del ensayo SPT del tercer punto de muestreo.....	46
Tabla 9 Resultados del ensayo SPT del cuarto punto de muestreo.....	46
Tabla 10 <i>Resultados del ensayo SPT del quinto punto de muestreo.....</i>	<i>47</i>
Tabla 11 Resultados del ensayo SPT del sexto punto de muestreo	48
Tabla 12 Resultados del ensayo SPT del sexto punto de muestreo	49
Tabla 13 <i>Resultados del ensayo SPT del cuarto punto de muestreo.....</i>	<i>50</i>
Tabla 14 Resultados del ensayo SPT del séptimo punto de muestreo	51
Tabla 15 Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el primer punto de muestreo	54
Tabla 16 Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el segundo punto de muestreo	57
Tabla 17 Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el tercer punto de muestreo	59
Tabla 18 Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el cuarto punto de muestreo	62
Tabla 19 <i>Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el quinto punto de muestreo</i>	<i>64</i>

Tabla 20 Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el sexto punto de muestreo	65
Tabla 21 Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el sexto punto de muestreo	66
Tabla 22 Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el sexto punto de muestreo	67
Tabla 23 N-SPT calculado versus N-SPT real del primer sondeo	68
Tabla 24 N-SPT calculado versus N-SPT real del segundo sondeo	69
Tabla 25 N-SPT calculado versus N-SPT real del tercer sondeo.....	69
Tabla 26 N-SPT calculado versus N-SPT real del cuarto sondeo.....	69
Tabla 27 N-SPT calculado versus N-SPT real del quinto sondeo	69
Tabla 28 N-SPT calculado versus N-SPT real del sexto sondeo	70
Tabla 29 N-SPT calculado versus N-SPT real del sexto sondeo	70

Pág.

“ANALOGÍA DEL PERFIL ESTRATIGRÁFICO OBTENIDOS POR
MÉTODOS GEOFÍSICOS Y EXPLORACIÓN CON PERCUSIÓN Y LAVADO
EN EL PROYECTO UPSE”

Autor: ORTEGA VALAREZO ALLISON MAHOLY
CONDOLO RAMOS RONALD GEOVANY

Tutor: ING. LUCRECIA CRISTINA MORENO ALCÍVAR PhD

RESUMEN

Los métodos geofísicos han demostrado ser excelentes herramientas para la identificación y exploración del subsuelo al presentar ventajas inherentes a sus métodos de estudio como la no perturbación de la estructura de suelo a diferencia de lo métodos geotécnicos convencionales. Este trabajo de investigación tiene como objetivo Evaluar la analogía del perfil estratigráfico del suelo empleando métodos geotécnicos ensayo SPT y geofísicos sondeo eléctrico vertical (SEV) con arreglo de electrodos Schlumberger, en los predios de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), con el fin de correlacionar los resultados. La metodología de trabajo consistió en la obtención de perfiles estratigráficos de suelo mediante ensayo SPT y resistividad eléctrica aplicando el método de sondeo eléctrico vertical (SEV) y el arreglo de electrodos Schlumberger, posteriormente estos datos fueron correlacionados para evaluar el uso de resistividad eléctrica como herramienta complementaria al ensayo SPT y reducir costos de maquinaria y transporte en los estudios de suelo. Los resultados demuestran que ambas estratigrafías de suelo brindaron resultados muy cercanos por lo que se logró identificar un solo perfil de suelo demostrando la efectividad del método. También, se discuten las razones de la dispersión de los datos obtenidos con el estadístico r^2 y se sugiere n líneas de investigación futuras realizar más de un sondeo para disminuir los porcentajes de error y dispersión de datos.

PALABRAS CLAVE: Sondeo eléctrico vertical, ensayo SPT, analogía del perfil, resistividad eléctrica

“ANALOGY OF THE STRATIGRAPHIC PROFILE OBTAINED BY
GEOPHYSICAL METHODS AND EXPLORATION WITH PERCUSSION
AND WASH IN THE UPSE PROJECT”

Autor: ORTEGA VALAREZO ALLISON MAHOLY
CONDOLO RAMOS RONALD GEOVANY

Tutor: ING. LUCRECIA CRISTINA MORENO ALCÍVAR Ph.D

ABSTRACT

Geophysical methods have proven to be excellent tools for the identification and exploration of the subsoil as they present inherent advantages to their study methods such as the non-disturbance of the soil structure unlike conventional geotechnical methods. The objective of this research work is to evaluate the analogy of the stratigraphic profile of the soil using geotechnical methods SPT test and geophysical vertical electrical sounding (SEV) with Schlumberger electrode array, in the grounds of the Peninsula Santa Elena State University (UPSE), in order to correlate the results. The work methodology consisted of obtaining soil stratigraphic profiles by SPT and electrical resistivity testing using the vertical electrical sounding method (SEV) and the Schlumberger electrode array, then these data were correlated to evaluate the use of electrical resistivity as a complementary tool to the SPT test and reduce machinery and transportation costs in soil studies. The results show that both soil stratigraphies provided very close results, so that only one soil profile could be identified, demonstrating the effectiveness of the method. Also, the reasons for the dispersion of the data obtained with the r^2 statistic are discussed, and it is suggested in future lines of research to carry out more than one survey to reduce the percentages of error and data dispersion.

KEY WORDS: *Vertical electrical sounding, SPT test, profile analogy, electrical resistivity.*

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

La caracterización del subsuelo y la determinación de la resistencia del suelo es una de las fases más importantes previas a cualquier actividad de construcción, dado que, permiten conocer las condiciones geológicas, que, pueden ser extremadamente complejas, variables y sujetas a cambios con el tiempo (Hossain et al., 2018). Fundamentalmente en el diseño y construcción de cimentaciones la exploración del suelo permitirá obtener información que contribuya a la selección del tipo y profundidad de la cimentación para una estructura dada, evaluar la capacidad de soporte de carga, estimar el asentamiento probable de la estructura, determinar la ubicación del nivel freático, predecir la presión lateral de tierra en estructuras como muros de retención, muros de tabla estacas y cortes apuntalados, establecer los métodos de construcción para cambiar las condiciones del subsuelo, determinar problemas potenciales como expansión, colapsibilidad de suelos, etc. Por lo tanto, al constituir un requisito previo para el diseño y ejecución de obras civiles (Sudha et al., 2009), su estudio requiere del empleo de técnicas de exploración geotécnica de suelos que permitan obtener muestras representativas en campo para su posterior análisis y valoración.

Las técnicas de exploración del subsuelo dependerán de las necesidades del proyecto a ejecutarse, en este sentido, en un estudio vial convencionalmente se recurrirá a la realización de calicatas a cielo abierto, mientras que, en estudios enfocados a la construcción de edificaciones se optarán por técnicas de perforación con la intención de obtener un mejor detallamiento de los estratos del suelo y, a partir de esos datos identificar el estrato más resistente sobre el que será cimentada la estructura. Las técnicas de perforación son ideales porque permiten obtener información relevante sobre la constitución del suelo, no obstante, suelen considerarse invasivos porque el paso de la maquinaria por los estratos del suelo altera su estructura interna (Samouëlian et al., 2005).

Es por esto, que se ha recurrido a la aplicación de métodos no destructivos como la exploración geofísica que tiene por principio recopilar datos de manera no intrusiva sobre el medio que se investiga (Samouëlian et al., 2005). Estos métodos

alternativos se han logrado consolidar debido a la contribución científica de varios investigadores como Pozdnyakov, quien en 2006 demostró que las manifestaciones de los parámetros eléctricos del suelo están descritas por leyes electrofísicas como las leyes de Maxwell, Poisson, Laplace y Boltzmann, por lo que, estas leyes podrían haber constituido la base para la interpretación teórica del comportamiento de los parámetros eléctricos del suelo (Alekseev et al., 2017). Estos estudios conllevaron a establecer una relación entre la resistencia del suelo y la resistividad eléctrica, dicha relación, muy probablemente tenga su fundamento en los parámetros que controlan la resistencia del suelo, así como la resistividad eléctrica (grado de saturación, distribución del tamaño de grano, porosidad, cementación, etc.) (Alekseev et al., 2017).

Por lo tanto, el uso de métodos geofísicos indirectos no destructivos, como la tomografía de resistividad eléctrica (ERT), la polarización inducida (IP), la refracción sísmica y el análisis multicanal de ondas superficiales (MASW), ofrece (en conjunto con métodos directos) la oportunidad de superar las limitaciones y los problemas inherentes a los métodos convencionales de investigación de sitios (Gonçalves et al., 2021). Estos métodos han sido ampliamente adoptados como un elemento clave para investigar las características del subsuelo, especialmente el método de resistividad eléctrica se ha aplicado principalmente debido al contraste entre las propiedades eléctricas del agua y el suelo (Oh & Sun, 2008), por lo que, la resistividad eléctrica podría considerarse como un método rápido, fácil y prometedor para medir el contenido de agua, la resistencia del suelo o la variación de los mismos (Pereira De Barros-Da Silva et al., 2015),(Iffah Ismail & Wan Yaacob, 2018).

En el campo de las investigaciones hidrogeológicas, el sondeo eléctrico vertical es un método geofísico ampliamente utilizado, debido a su eficacia en la localización de estructuras y capas acuíferas, así como en la distinción entre materiales permeables e impermeables. Este método ha sido empleado también para el análisis geotécnico de los estratos de suelo, aunque, con menor impacto que en el área de la hidrología debido a la falta de estudios de carácter científico realizados (Ríos Ramírez & Sánchez Alvarez, 2020). Sin embargo, el refinamiento de este método podría representar un gran aporte a la comunidad científica en el área de la

geotecnia, ya que, brindaría la posibilidad de emplear este método alternativamente con una reducción de costos considerable en comparación a las técnicas de exploración del subsuelo tradicionales. El principal agente que afecta la resistividad del suelo es el contenido de humedad, debido que es el medio más eficaz para transmitir la corriente eléctrica. También, la permitividad dieléctrica, la temperatura, la frecuencia de operación y la composición del agua intersticial representan influencias de significancia menor que afectan la resistividad eléctrica del suelo. Además, se conocen otros factores que intervienen para algunos tipos y condiciones específicos del suelo, como es el caso, del contenido de iones, estos, tienen un efecto considerable en la conductividad eléctrica del suelo arcilloso debido a la interacción de la humedad con la carga superficial de la partícula de arcilla (Samouëlian et al., 2005).

En síntesis, la caracterización de los suelos in-situ es compleja y depende de varios factores, por lo que es esencial escudriñar el comportamiento a través de diferentes enfoques, como la geología, geomorfología, climatología y otras ciencias relacionadas con la tierra para su correcta comprensión (Akip Tan et al., 2018).

Las pruebas geotécnicas requieren mucho tiempo y son costosas. Por otro lado, los métodos geo eléctricos son más rápidos y comparativamente más baratos (Sudha et al., 2009). Al momento de planear y ejecutar una obra de ingeniería civil, se toman en consideración varios aspectos como las técnicas a emplear, el tiempo y costo de ejecución e implementación. Como parte de la innovación y mejoramiento de la calidad de educación superior en la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) se ha propuesto la iniciativa de construir nuevas instalaciones para el desarrollo académico de los estudiantes. Es por esta razón, que en el presente trabajo de titulación se pretende emplear un método de exploración geotécnica no intrusivo como es el sondeo eléctrico vertical, como alternativa a los métodos convencionales de perforación y muestreo directo. De este modo, evaluar la analogía del perfil estratigráfico con sondeos de penetración estándar y sondeos eléctrico vertical empleando el Método Schlumberger.

Para cumplir el objetivo de investigación propuesto, este trabajo se estructura como se describe a continuación. En el capítulo I se presenta el contenido preliminar de la investigación, describiendo la problemática, los antecedentes, variables, hipótesis

y objetivos de investigación. El segundo capítulo, describe la fundamentación teórica del trabajo de investigación referentes al método de sondeo eléctrico vertical, el arreglo Schlumberger, etc. El tercer capítulo aborda la metodología a emplear para el desarrollo de la investigación y la operacionalización de variables. El cuarto capítulo describe los resultados obtenidos al desarrollar la metodología propuesta, finalmente el último capítulo contiene las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La exploración del subsuelo es crucial en la construcción de obras de ingeniería civil, porque, permite la identificación del perfil estratigráfico, además, de las características físicas y mecánicas del suelo, con el fin de proporcionar información que permita al especialista tomar decisiones referentes al diseño y construcción de obras civiles. Existen diferentes técnicas de exploración subsuperficial, de las que sobresalen; el muestreo directo, la perforación por percusión y lavado, perforación con rotación, ensayo de penetración estándar (SPT), de placa y de carga estática y dinámica. La selección de estos métodos dependerá de la necesidad constructiva y la tipología del terreno.

Estos métodos convencionales de muestreo directo permiten determinar diferentes propiedades del suelo, sin embargo, al tratarse de métodos de investigación directa su alcance es limitado. En este sentido, obtener información del subsuelo de un área extensa es demasiado complejo, incluso utilizando una gran malla de instrumentación, existirán áreas sin información de datos, ya que los datos directos se recolectan en tiempo y forma. De modo que, varios puntos de adquisición de datos tardaran mucho en ejecutarse para obtener la vista completa del subsuelo a través de los datos de la perforación, incrementando el costo de la investigación (Gonçalves et al., 2021). Otra deficiencia, es la incertidumbre en la ejecución de los métodos de exploración, debido a errores humanos en la manipulación de la maquinaria pesada y la falta de estandarización de varillas y muestreadores empleados en las perforaciones y ensayos SPT. Mas allá de las limitaciones descritas, estas metodologías se caracterizan por ser intrusivos, puesto que, invaden en profundidad las capas del subsuelo, alterando la compactación y estructura de

la masa de suelo. No obstante, estas técnicas de exploración in situ son ampliamente utilizadas para la investigación de suelos en Brasil y muchos otros países de América del Sur (Gonçalves et al., 2021). Los métodos geo-eléctricos cobran relevancia al ser procedimientos no invasivos y de bajo coste de ejecución, Por lo tanto, el trabajo conjunto de estas dos metodologías permite cubrir las limitaciones existentes en la aplicación de ambos métodos, obteniendo un trabajo más detallado y preciso, esencial para la construcción de obras ingenieriles.

Considerando la peligrosidad sísmica del país, y la diversidad de formaciones geológicas presentes en la provincia de Santa Elena es preciso contar con técnicas de exploración geotécnica que permitan la obtención de muestras representativas acorde a la tipología del suelo. En este sentido, los métodos de prospección geo eléctrica como el sondeo eléctrico vertical (SEV) brindan la posibilidad de obtener las propiedades físicas y mecánicas del suelo, a través de la evaluación de la resistividad eléctrica (característica de cada material) de forma no intrusiva. Además, gracias al desarrollo científico de investigadores como Samouëlian et al. (2005) es posible correlacionar los valores de resistividad con el número de golpes de un ensayo SPT, a través del empleo de expresiones matemáticas obtenidas de un vasto desarrollo experimental. Estas nuevas aplicaciones de la prospección geofísica permiten al especialista realizar estudios mucho más extensos en área complementando los resultados de resistividad con los del ensayo SPT, obteniendo un estudio más completo y con una relativa disminución en los costos de operación.

En base a las consideraciones expuestas, surgen las siguientes interrogante general de investigación ¿ La evaluación de la analogía del perfil estratigráfico con sondeos de penetración estándar y sondeos eléctrico vertical por el método Schlumberger realizado en el proyecto UPSE, permitirá obtener relaciones de semejanza entre los resultados y para proponer un diseño de cimentación en el proyecto UPSE? de la que se desprenden las siguientes interrogantes específicas; **P.E1:** ¿La recopilación de los datos de perfiles estratigráficos obtenidos con muestreos de ensayo SPT mediante revisión documental de estudios geotécnicos permitirán conocer las características geomecánicas del área destinada a la construcción de bloques de la UPSE y de varios sitios de diversidad litológica?; **P.E2:**¿La ejecución de ensayos de sondeo eléctrico vertical (SEV) con arreglo de

electrodos Schlumberger permitirán la obtención de resistividades a diferentes profundidades del suelo? Y **P.E3:** ¿La correlación de valores de N (número de penetración estándar) obtenidos a partir del sondeo eléctrico vertical (SEV) con los N registrados de la recopilación documental de los perfiles estratigráficos realizados con ensayo SPT, en los predios de la UPSE y en zonas de diversa riqueza litológica, permitirán verificar la eficacia de los métodos geofísicos en la exploración del subsuelo?

1.2. ANTEDECENTES

A nivel internacional se cuenta con el trabajo de Sudha et al. (2009) denominado “SOIL CHARACTERIZATION USING ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY AND GEOTECHNICAL INVESTIGATIONS” tomografía de resistividad eléctrica (ERT) se ha utilizado en asociación con la prueba de penetración estándar (SPT) y la prueba de penetración de cono dinámico (DCPT) para investigaciones geotécnicas en dos sitios, propuestos para plantas de energía térmica, en Uttar Pradesh (UP), India. Se realizaron pruebas de SPT y DCPT en 28 puntos y se registraron dos perfiles de ERT, cada uno de 355 m de largo, utilizando 72 electrodos desplegados a una distancia de 5 m. Este estudio demostró ser útil, económico, eficiente y de menor consumo de tiempo en comparación con los otros métodos geotécnicos, como SPT y DCPT, utilizados para tal fin.

En el trabajo de Hatta & Syed Osman (2015) titulado “CORRELATION OF ELECTRICAL RESISTIVITY AND SPT-N VALUE FROM STANDARD PENETRATION TEST (SPT) OF SANDY SOIL”, se investiga la relación entre la resistividad eléctrica y los valores N del ensayo SPT de los suelos arenosos. El trabajo de investigación consistió en levantamientos de resistividad de campo, sondeos de suelos y ensayos de caracterización de suelos. El estudio de campo incluyó un sondeo eléctrico vertical (SEV) 1D y el método de prueba de penetración estándar (SPT) para obtener el valor N del ensayo SPT. La prueba se lleva a cabo en 3 áreas diferentes y 11 muestras de suelo arenoso con datos de caracterización eléctrica y física del suelo que se utilizan para el método de regresión de mínimos cuadrados. En esta parte del estudio, se evaluaron las correlaciones de la resistividad eléctrica con los valores SPT del suelo. Los hallazgos mostraron una

buena correlación entre la resistividad y las propiedades del suelo. Los resultados obtenidos demuestran la posibilidad de utilizar el estudio de resistividad eléctrica como una alternativa a SPT. El estudio de campo incluyó un sondeo eléctrico vertical (VES) 1D y el método de prueba de penetración estándar (SPT) para obtener el valor SPT-N. La prueba se lleva a cabo en 3 áreas diferentes y 11 muestras de suelo arenoso con datos de caracterización eléctrica y física del suelo que se utilizan para el método de regresión de mínimos cuadrados. En esta parte del estudio, se evaluaron las correlaciones de la resistividad eléctrica con los valores SPT del suelo. Los hallazgos mostraron una buena correlación entre la resistividad y las propiedades del suelo.

También se cuenta con el trabajo de Gonçalves et al. (2021) titulado “CORRELATION BETWEEN FIELD ELECTRICAL RESISTIVITY AND GEOTECHNICAL SPT BLOW COUNTS AT TROPICAL SOILS IN BRAZIL” En este estudio, se utilizó la tomografía de resistividad eléctrica (ERT) con la prueba de penetración estándar (SPT) para la investigación geotécnica en tres sitios de laderas con diferentes propiedades del suelo tropical en Bahía, Brasil. Los resultados de trece pozos fueron analizados contra datos de secciones invertidas 2D. SPT para un pozo. También se analizaron los valores utilizando suelos con composiciones y características físicas similares, los cuales mostraron buenos resultados. El coeficiente de correlación (R) fue de 0,94. Además, los resultados del coeficiente de pendiente de ajuste parecen depender de la descripción de la génesis del suelo (litología, textura y variación del contenido de arcilla) obtenida en los estudios SPT.

El trabajo de Abello (2018) titulado “VERIFICACIÓN DE LA EFICACIA DEL MÉTODO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA EL USO COMPLEMENTARIO AL ENSAYO SPT”, tuvo por objetivo investigar el método de resistividad eléctrica con el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) de configuración Schlumberger, como una herramienta para determinar las características del suelo. En el trabajo se ha realizado un estudio comparativo de estratigrafía y resistencias de suelos obtenidos del método de resistividad eléctrica y del Ensayo de Penetración Estándar (SPT), verificando la eficacia del método propuesto para su uso complementario al ensayo SPT. La eficacia del método propuesto estuvo sujeto

a factores del suelo como la humedad, compactación, sales solubles, etc. Estos aspectos alteraron de forma significativa los valores de resistividad, provocando que un valor de resistividad sea interpretado por otro material del subsuelo, y afectando a los resultados de las correlaciones existentes.

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

Los autores Calle & Suarez (2017) en su trabajo titulado “LA RESISTIVIDAD DE ROCAS Y SU RELACIÓN CON LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE EN MINA” tuvieron como objetivo evaluar un método de campo para correlacionar los valores de la resistencia a la compresión simple (RCS) y la resistividad en rocas para determinar el valor de la RCS y evaluar cuando es necesaria la realización de pruebas de laboratorio para obtener este parámetro. Para llevar a cabo este estudio se extrajeron muestras de roca de Cojitambo, provincia del Cañar Ecuador, para la elaboración de probetas de dimensiones de: 5 cm x 4 cm x 10 cm, luego se ejecutaron medidas de resistencia eléctrica sobre cada una de las aristas de las probetas generadas para la investigación y se correlacionaron los valores de resistividad de la roca con los valores de RCS, Los resultados obtenidos permitieron obtener una correlación positiva entre las propiedades antes descritas, para lo que se ha desarrollado y estructurado una metodología de cálculo para el empleo de este método.

Lo autores Sarzosa et al. (2020) en su trabajo “OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE CONOCOTO, QUITO-ECUADOR” tuvo por objetivo realizar el diagnóstico de la resistividad del terreno, sistema de puesta a tierra y sistema de pararrayos, de la planta de tratamiento de Conocoto, en el cantón de Quito, provincia de Pichincha, para evaluar el cumplimiento de las normativas ecuatorianas de bioseguridad (IEEE 80 Std. 2000 y CTE DB-SUA 8. Los resultados encontrados muestran que el uso del intensificador de terreno mejoró la resistividad ayudando a mantener su humedad sin considerar las estaciones climáticas y reduciendo los riesgos de daños físicos por transmisión de tensiones superiores de los valores máximos permitidos a edificaciones e infraestructura derivadas de descargas eléctricas,

atmosféricas la optimización del sistema puesta a marcha reducirá los accidentes laborales y mejorará la seguridad de los trabajadores del sistema de tratamiento de aguas.

El investigador Quelal (2019) en su estudio denominado “DETECCIÓN DE LA PLUMA DE CONTAMINACIÓN DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN BOLÍVAR-CARCHI MEDIANTE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES” tuvo por objetivo caracterizar el estado actual del subsuelo próximo a la plataforma 1 de desechos urbanos abandonada empleando técnicas geofísicas indirectas de inyección de corriente continua. Para el cumplimiento de este objetivo se realizaron cinco sondeos eléctricos verticales (SEV) estableciendo tres líneas principales de exploración, dos de amarre y una de referencia en el área del blanco, se usó la configuración de electrodos por el método de Schlumberger. Los resultados de este estudio fueron satisfactorios logrando identificar 5 capas de suelo; la primera ubicada cercana a la superficie, posee resistividades bajas provocadas por la interacción con factores climáticos como evaporación y precipitación. En la segunda capa de suelo se identificó un estrato de limo arenoso, en la tercera capa se observó un material rocoso altamente resistivo, en la cuarta capa se aprecia una disminución de la resistividad debido a la presencia de un estrato saturado y en la última se observaron resistividades correspondientes a un medio altamente compacto con un tamaño de poro reducido que dificulta el paso de corriente continua. Finalmente, no se identificaron valores de resistividad atribuibles a la presencia de lixiviados.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis General.

La evaluación de la analogía del perfil estratigráfico con sondeos de penetración estándar y sondeos eléctrico vertical por el método Schlumberger realizado en el proyecto UPSE, permitirá obtener relaciones de semejanza entre los resultados y para proponer un diseño de cimentación en el proyecto UPSE.

1.3.2. Hipótesis Específicas

H.E1.: La recopilación de los datos de perfiles estratigráficos obtenidos con muestreos de ensayo SPT mediante revisión documental de estudios geotécnicos permitirán conocer las características geomecánicas del área destinada a la construcción de bloques de la UPSE y de varios sitios de diversidad litológica.

H.E2.: La ejecución de ensayos de sondeo eléctrico vertical (SEV) con arreglo de electrodos Schlumberger permitirán la obtención de resistividades a diferentes profundidades del suelo.

H.E3.: La correlación de valores de N (número de postración estándar) obtenidos a partir del sondeo eléctrico vertical (SEV) con los N registrados de la recopilación documental de los perfiles estratigráficos realizados con ensayo SPT, en los predios de la UPSE y en zonas de diversa riqueza litológica, permitirán verificar la eficacia de los métodos geofísicos en la exploración del subsuelo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la analogía del perfil estratigráfico del suelo empleando métodos geotécnicos ensayo SPT y geofísicos sondeo eléctrico vertical (SEV) con arreglo de electrodos Schlumberger, en los predios de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), con el fin de correlacionar los resultados.

1.4.2. Objetivos Específicos

O.E1.: Recopilar datos de perfiles estratigráficos obtenidos con muestreos de ensayo SPT mediante revisión documental de estudios geotécnicos, para conocer las características geomecánicas del área destinada a la construcción de bloques de la UPSE y de varios sitios de diversidad litológica.

O.E2.: Ejecutar ensayos de sondeo eléctrico vertical (SEV) con arreglo de electrodos Schlumberger para la obtención de resistividades a diferentes profundidades del suelo.

O.E3.: Correlacionar los valores de N (número de postración estándar) obtenidos a partir del sondeo eléctrico vertical (SEV) con los N registrados de la recopilación documental de los perfiles estratigráficos realizados con ensayo SPT, en los predios de la UPSE y en zonas de diversa riqueza litológica, para verificar la eficacia de los métodos geofísicos en la exploración del subsuelo.

1.5. ALCANCE

El presente estudio pretende demostrar que los métodos geofísicos, como la resistividad eléctrica pueden ser empleados como métodos complementarios a las técnicas de exploración directa tradicionales como el muestreo con ensayo SPT, logrando obtener información confiable en un área de gran extensión disminuyendo los costos operativos y tiempos de ejecución. Por ello, el estudio interpreta y evalúa las resistividades obtenidas en cuatro sitios de estudio de diversidad litológica para identificar los estratos de suelos apoyados en la recopilación documental sobre resistividad y las estratigrafías obtenidas de cada sitio de estudio.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variable Independiente.

- ✓ Sondeos de penetración estándar (muestreo SPT)
- ✓ Sondeos eléctrico vertical (Método Schlumberger)

1.6.2. Variable Dependiente.

- ✓ Analogía del perfil estratigráfico

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. EL SUELO

El suelo es un cuerpo heterogéneo con propiedades fisicoquímicas y mecánicas apropiadas o no para una construcción (edificios, represas, hidroeléctricas, puentes, carreteras, etc.), cuya función es sostener a la construcción y absorber las cargas producidas por esta (Ramírez, 2017). Constituye un elemento crucial en la construcción de cimentaciones estructurales, ya que, es la base sobre la que se apoya la estructura y es responsable de transmitir las cargas de la estructura al terreno subyacente. Es de vital importancia contar con un estudio geotécnico que permita entender las propiedades del suelo, como capacidad de carga, resistencia y deformabilidad, para determinar el tipo de cimentación para cada tipo de estructura.

Una buena cimentación debe ser capaz de soportar las cargas de la estructura sin deformarse excesivamente, de modo que, la estructura se mantenga estable y segura a lo largo del tiempo. Si no se realiza un estudio adecuado del suelo durante la construcción de la cimentación, pueden surgir problemas como: hundimientos o asentamientos diferenciales que conlleva a daños estructurales. Por lo tanto, es importante realizar estudios de suelos y análisis geotécnicos adecuados antes de la construcción de cualquier estructura para garantizar que se elija el tipo de cimentación adecuada para las condiciones del suelo y las cargas esperadas.

2.2. TÉCNICAS DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

Las técnicas de exploración de suelo más empleadas en los estudios y evaluaciones geotécnicas se describen a continuación:

2.2.1. Calicatas a cielo abierto.

La excavación de pozos de prueba (calicatas) es el método más barato de exploración superficial. Los pozos se pueden excavar manualmente empleando

mano de obra local, pero las pequeñas excavadoras mecánicas en un tractor son, si están disponibles localmente, económicas y rápidas.

2.2.2. Cono de Penetración Dinámica (DCP).

Este instrumento es utilizado esencialmente para evaluar la resistencia de suelos tanto no disturbados como compactados y estimar un valor de CBR en campo. Además, estima la capacidad estructural de las diferentes capas que conforman a un pavimento, detecta simultáneamente el grado de heterogeneidad que puede encontrarse en una sección y la uniformidad de compactación del material, de una manera rápida, continua y bastante precisa. Las principales ventajas de esta técnica de exploración son su simplicidad y economía de uso.

2.2.3. Exploración con percusión y lavado.

La exploración con percusión y lavado es una técnica geotécnica utilizada para obtener información sobre el subsuelo en proyectos de construcción e ingeniería civil. Esta técnica implica la utilización de un equipo de perforación que utiliza una herramienta de perforación con martillo percutor para penetrar en el subsuelo y recolectar muestras de suelo y roca. El proceso de exploración comienza con la introducción de la herramienta de perforación en el subsuelo, que se realiza mediante un sistema de golpeo que puede ser mecánico o hidráulico. A medida que la herramienta de perforación penetra en el suelo, se va formando un agujero que se va llenando de material de perforación. Una vez que se alcanza una profundidad determinada, se retira la herramienta de perforación y se procede a lavar el agujero con agua. El agua se utiliza para eliminar el material suelto y para permitir la identificación de las diferentes capas de suelo y roca a través de la inspección visual de las paredes del agujero.

La exploración con percusión y lavado es una técnica útil para la recolección de muestras de suelo y roca, ya que permite obtener información sobre las características físicas y mecánicas del subsuelo. Además, esta técnica también puede utilizarse para la instalación de piezómetros y la obtención de datos sobre la presencia de agua subterránea en el subsuelo. Esta técnica es útil para obtener

información sobre las características físicas y mecánicas del subsuelo y también se puede utilizar para la instalación de piezómetros y la obtención de datos sobre la presencia de agua subterránea.

2.2.4. Muestreo con Ensayo SPT.

El ensayo de penetración estándar (SPT, por sus siglas en inglés) es un método de exploración geotécnica utilizado para determinar la resistencia del suelo y su capacidad portante. El ensayo se realiza mediante la introducción de un tubo de acero o de una barra hueca en el suelo mediante una serie de golpes de un martillo pesado. La barra hueca contiene un tramo de tubo de ensayo con un peso de 63.5 kg que se deja caer desde una altura de 762 mm y se registra el número de golpes necesarios para que el tubo de ensayo penetre 30 cm en el suelo después de los primeros 15 cm. Este número se llama número de golpes o índice de resistencia SPT y se utiliza para determinar la densidad del suelo y su capacidad portante. Cuanto mayor sea el número de golpes, mayor será la resistencia del suelo. El ensayo SPT es ampliamente utilizado en la industria de la construcción para determinar las características del suelo y su capacidad de soportar cargas. También es útil para la planificación de proyectos de construcción, como la construcción de cimentaciones, puentes, presas, carreteras y edificios, así como para la evaluación de la estabilidad del suelo y la prevención de deslizamientos de tierra.

Como lo puede notar el lector son varios los métodos de exploración geotécnica empleados en el análisis de la estratigrafía y características del suelo. Sin embargo, se ha ahondado en la exploración por percusión y lavado y la obtención de muestras empleando el ensayo SPT por ser los métodos que se desarrollarán en el presente trabajo de titulación.

2.3. PRUEBAS DE LABORATORIO PARA EL ANÁLISIS Y ESTUDIO DE SUELOS

Las pruebas de laboratorio son un conjunto de procedimientos estandarizados y regulados por American Society for Testing and Materials (ASTM International) una guía para la determinación de las propiedades físicas del suelo.

2.3.1. Granulometría.

La granulometría es la distribución del tamaño de partículas de un material, su procedimiento se encuentra regido y normado por la American Society Testing Materials (ASTM International) condensado en los documentos ASTM D421-85 y ASTM D422-63. La distribución granulométrica se determina mediante el tamizado de una muestra de suelo a través de una serie de tamices con diferentes diámetros de abertura de malla, la muestra es agitada mecánicamente y luego se pesa el porcentaje de material retenido en cada tamiz, finalmente, con estos resultados se obtiene una gráfica denominada curva granulométrica y representa la distribución del tamaño de las partículas en la muestra. Este ensayo además permite la clasificación del material empleando dos metodologías reconocidas AASHTO y SUCS. Es muy importante conocer la distribución de la partícula y el tipo de suelo para diversos proyectos de construcción, sobre todo, durante el diseño y construcción de vías debido el tamaño de las partículas incide en el grado de compactación y la resistencia al desgaste del material.

2.3.1.1 Clasificación de Suelos.

La clasificación de suelos es un proceso que consiste en categorizar y agrupar los diferentes tipos de suelos según sus propiedades geotécnicas y características físicas. Esta clasificación es esencial para comprender el comportamiento de los suelos bajo diversas condiciones de carga y esfuerzo, necesario para el diseño y la construcción de diversas obras civiles. En el diseño y construcción de vías, la clasificación de suelos influye en la selección del tipo y espesor de los materiales que conformarán el pavimento, debido a que generan una afectación directa en relación con la durabilidad y serviceabilidad de las carreteras. Los métodos de clasificación más empleados en geotecnia corresponden al método AASHTO y SUCS. Ambos ofrecen un procedimiento de categorización del suelo en función de la distribución y tamaño de partículas obtenidas mediante ensayos granulométricos. Estos métodos contribuyen a la toma de decisiones para la construcción de obras civiles.

a) **Método AASHTO.** El método de clasificación de suelos de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), es un sistema de clasificación de suelos ampliamente utilizado en la ingeniería civil para describir y categorizar los suelos con fines de diseño y construcción de carreteras, puentes y otros proyectos de infraestructura vial. Este método se basa en la textura, la gradación y el tipo de suelo, y utiliza un sistema de símbolos y letras para clasificar los suelos en diferentes categorías. Los suelos se clasifican en función de su contenido de partículas gruesas y finas, y se les asigna un número de grupo (GW, GP, GM, GC, SW, SP, SM, SC) y un identificador de subgrupo (basado en las características adicionales del suelo).

El número de grupo se basa en el tamaño de las partículas del suelo y se asigna de acuerdo con la tabla de clasificación AASHTO. Los suelos con una proporción mayor de partículas gruesas se asignan a un número de grupo más alto, mientras que los suelos con una proporción mayor de partículas finas se asignan a un número de grupo más bajo. El identificador de subgrupo se basa en características adicionales del suelo, como la plasticidad, la densidad y la composición mineralógica.

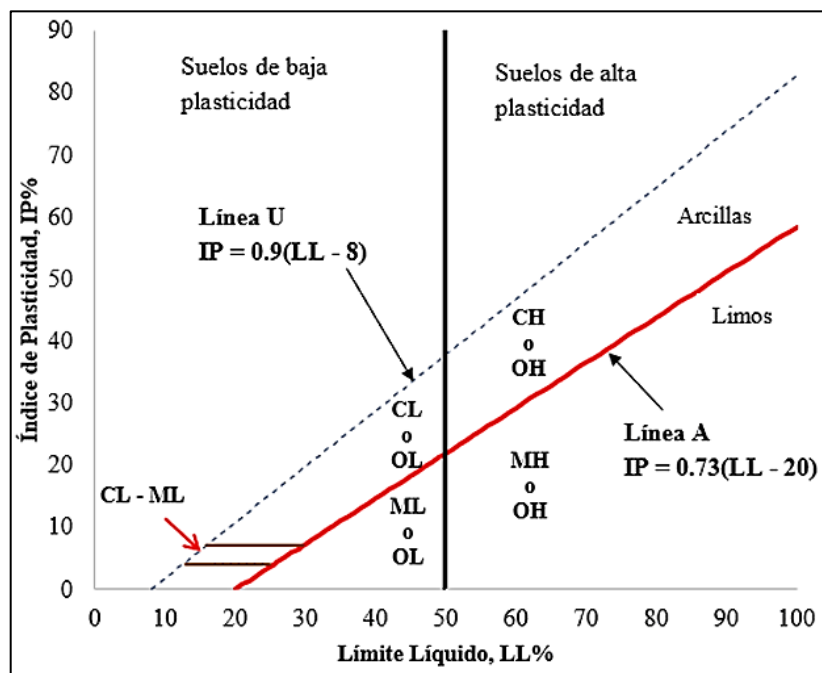
b) **Método de Clasificación SUCS.** El método de clasificación de suelos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es un sistema de clasificación de suelos ampliamente utilizado en la ingeniería civil para describir y categorizar los suelos con fines de diseño y construcción de carreteras, puentes y otros proyectos de infraestructura vial. Este método se basa en cuatro criterios principales: el tamaño de las partículas, la plasticidad, la densidad y la composición mineralógica. Los suelos se clasifican en función de su textura, es decir, la distribución relativa del tamaño de las partículas, y se les asigna un identificador de letra y un identificador de número.

El identificador de letra indica la textura del suelo, y se basa en la proporción relativa de partículas de diferentes tamaños en el suelo. Los suelos se clasifican en tres categorías principales: arenas (A), limos (L) y arcillas (C). El identificador de número indica la plasticidad y la compresibilidad del suelo, y se basa en el índice de plasticidad del suelo.

Los suelos se clasifican en dos categorías principales: suelos no plásticos (0) y suelos plásticos (1 a 7). Además, el método SUCS utiliza un sistema de prefijos y sufijos para reflejar la densidad y la composición mineralógica del suelo. Los sufijos indican la composición mineralógica del suelo, y se basan en la presencia de minerales específicos en el suelo. Este método es ampliamente utilizado en la ingeniería civil debido a su simplicidad y facilidad de uso, es fácil de entender y aplicar, y proporciona información útil sobre las propiedades de los suelos que son importantes para el diseño y construcción de proyectos de infraestructura vial.

Figura 1

Carta de Plasticidad SUCS



Nota. Obtenido de Urdanivia (2019)

2.3.2. Densidad de Suelos.

La densidad de los suelos es una medida de la masa de los componentes sólidos del suelo por unidad de volumen. Se utiliza comúnmente en la ingeniería y la geología para evaluar las propiedades físicas de los suelos y su capacidad para soportar cargas y transmitir fuerzas. La densidad se calcula dividiendo la masa de

la muestra seca por su volumen, además, también puede afectar su resistencia a la erosión y la capacidad para retener agua, lo que puede tener implicaciones importantes para la agricultura y la conservación del suelo.

2.4. MÉTODOS DE EXPLORACIÓN INDIRECTA PARA EL ANÁLISIS Y ESTUDIO DE SUELOS

2.4.1. Prospección geo eléctrica.

Los métodos de prospección geo eléctrica en corriente continua se fundamentan en la teoría general del campo eléctrico estacionario y se basan en detectar los efectos superficiales que produce el flujo de una corriente eléctrica, natural o inducida, por el subsuelo, son utilizados como práctica común en la investigación de la prospección geofísica, para obtener información de las propiedades del subsuelo.

2.5. MÉTODOS GEOELECTRICOS

2.5.1. Técnica del perfilaje o calicateo.

En este ensayo se mantiene fijo el arreglo de electrodos mientras que, el centro del sondeo cambia. La profundidad de exploración permanece constante, conociendo la variación horizontal de la resistividad, durante un sondeo y calicata se mide la resistividad aparente de las distintas capas en función de la profundidad Cárdenas & Gavis (2011).

2.5.2. Método de resistividad eléctrica.

El propósito de los estudios de resistividad eléctrica es determinar la distribución de resistividad del volumen del suelo sondeado. Las corrientes eléctricas generadas artificialmente se suministran al suelo y se miden las diferencias de potencial resultantes. Los patrones de diferencia de potencial proporcionan información sobre la forma de las heterogeneidades del subsuelo y de

sus propiedades eléctricas. Cuanto mayor sea el contraste eléctrico entre la matriz del suelo y la heterogeneidad, más fácil será la detección (Samouëlian et al., 2005).

Debido a que el método no es destructivo y es muy sensible, ofrece una herramienta muy atractiva para describir las propiedades del subsuelo sin excavar. Ya se ha aplicado en varios contextos como: exploración de aguas subterráneas, delimitación de rellenos sanitarios y transferencia de solutos, gestión agronómica identificando áreas de compactación excesiva o espesor del horizonte del suelo y profundidad del lecho rocoso, y al menos evaluando las propiedades hidrológicas del suelo. Los levantamientos, dependiendo de las heterogeneidades de las áreas, se pueden realizar en una, dos o tres dimensiones y también a diferentes escalas de resolución, desde la escala centimétrica hasta la escala regional (Samouëlian et al., 2005).

2.5.2.1 Resistividad Eléctrica.

Cárdenas & Gavis (2011) definen a la resistividad eléctrica como el grado de dificultad que encuentran los electrones en sus desplazamientos. Se designa por la letra griega rho “ ρ ” y se mide en ohm por metro. La resistividad eléctrica del suelo (ρ) es una de las propiedades físicas inherentes del suelo, permite describir la conductividad eléctrica y el comportamiento del suelo. El valor de la resistividad depende de varios parámetros como la mineralogía, composición, contenido de humedad (w), índice de plasticidad (I), sensibilidad (St) y porosidad (Zhang et al., 2018). Las distribuciones de línea de flujo actual dependen del medio de investigación, para un cuerpo simple, la resistividad r (Ω m) se define como sigue:

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

Donde:

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

L = *longitud del cilindro* (m)

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

La resistencia eléctrica del cuerpo cilíndrico (Ω), que está definida por la ley de Ohm siguiendo la siguiente ecuación:

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

La característica eléctrica también se describe comúnmente por el valor de conductividad σ (Sm^{-1}), igual al recíproco de la resistividad del suelo.

Describiendo la siguiente ecuación:

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

$\sigma =$ el potencial (V)

$I =$ corriente (A)

Samouëlian et al. (2005) refiere que, cuando se trabaja en un semi-espacio homogéneo e isotrópico, las líneas equipotenciales eléctricas son hemisféricas, cuando los electrodos de corriente están ubicados en la superficie del suelo. Entonces se debe calcular la densidad de corriente J (A/m^2) para todas las direcciones radiales, mediante la siguiente expresión matemática:

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

Donde:

$J =$ conductividad

$I =$ corriente

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

Para calcular el potencial V se debe emplear la siguiente ecuación:

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

$V = \text{potencial}$

$l = \text{longitud del cuerpo cilíndrico}$

$2\pi r^2 = \text{es la superficie de una esfera hemisférica de radio } r$

2.5.3. Medición de la resistividad eléctrica.

La medición de la resistividad eléctrica generalmente requiere cuatro electrodos: dos electrodos llamados A y B que se usan para inyectar la corriente ("electrodos de corriente"), y otros dos electrodos llamados M y N que se usan para registrar la diferencia de potencial resultante ("electrodos de potencial"). La diferencia de potencial ΔV medida entre los electrodos M y N viene dada por la 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 $B = \text{electrodos de corriente}$

M y $N = \text{electrodos de potencial}$

$AM = \text{distancia geométrica entre los electrodos } A \text{ y } M$

$BM = \text{distancia geométrica entre los electrodos } B \text{ y } M$

$AN = \text{distancia geométrica entre los electrodos } A \text{ y } N$

$BN = \text{distancia geométrica entre los electrodos } B \text{ y } N$

A partir de esta expresión, la resistividad eléctrica se obtiene de:

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

$K = \text{coeficiente geométrico dependiente de electrodos } A, B, M \text{ y } N.$

2.5.4. Variación de la resistividad eléctrica en función de las propiedades del suelo.

La resistividad eléctrica está en función de las propiedades de suelo, de modo que, la naturaleza de los sólidos, el contenido de agua y aire del suelo afectarán los valores de resistividad en diferentes formas y extensiones. En los granos de suelo, la resistividad está relacionada con la densidad de cargas eléctricas en la superficie de los sólidos constituyentes. En el contenido de agua, la resistividad dependerá de la concentración iónica y el contenido de aire actuará como un medio aislante, es decir, infinitamente resistivo.

2.5.4.1 Naturaleza y disposición de los sólidos constituyentes.

La naturaleza y disposición de los sólidos constituyentes del suelo está en dependencia de la distribución del tamaño de partículas, mineralogía, tamaño y geometría de los poros del suelo, afectando los valores de resistividad de los diferentes tipos de suelo. De acuerdo con el mapeo de suelos propuesto por Samouëlian et al. (2005) la resistividad eléctrica del suelo se encuentra en rangos de valores que varían entre 1 Ω para suelos salinos hasta 5 Ω para suelos secos superpuestos a rocas cristalinas. Principalmente, el flujo de corriente eléctrica a través de los sólidos está ampliamente relacionada con la distribución de las partículas del suelo debido a la densidad de las cargas eléctricas presentes en la superficie del suelo. La geometría de los poros del suelo es una propiedad de gran relevancia en la variación de los valores de resistividad, porque la configuración de los espacios intersticiales determinará la proporción de aire y agua contenidos en los vacíos. Por su parte Robain et al. (1996) como se cita en Samouëlian et al. (2005) refiere que, las variaciones de resistividad están en función de la macro y meso estructura de los poros de los materiales edafológicos.

- a) **Resistividad de la arcilla.** El contenido de arcilla en la matriz del suelo puede afectar la resistencia del suelo (Sudha et al., 2009). Esto se debe a que, la propiedad de intercambio iónico de la arcilla forma una nube

móvil de iones adicionales alrededor de cada partícula de arcilla. Estos iones facilitan el flujo fácil de corriente eléctrica. Por lo tanto, en suelos de grano fino como la arcilla, la resistividad eléctrica siempre es más baja de lo esperado sobre la base del análisis químico del agua extraída del suelo. Por ello, el contenido de arcilla en el suelo puede cambiar la relación entre el parámetro eléctrico y la resistencia del suelo (Sudha et al., 2009). Por esta razón, en suelos arcillosos, siempre se espera que la resistividad eléctrica sea menor que en suelos arenosos. Sin embargo, se espera que los suelos arenosos presenten mayores resistencias al corte (Gonçalves et al., 2021).

2.5.4.2 Contenido de Humedad.

La conducción de corriente eléctrica a través del suelo se lleva a cabo mediante un proceso electrolítico, en el que los iones se desplazan en el agua contenida en los poros del suelo. Dicho contenido de agua, ante la presencia de sales disueltas se incrementa. Este proceso, establece una relación de dependencia entre el contenido, calidad de agua y la resistividad eléctrica. De acuerdo con los autores McCarter (1984) y Fukue et al, (1999) como se cita en Samouëlian et al. (2005) la resistividad eléctrica decrece con el aumento del contenido de agua, efecto que es contrastable en materiales con contenidos de agua menores al 15%.

2.5.4.3 Contenido del fluido de los poros.

Dado que, la conductividad eléctrica está sujeta a la movilidad de los iones presentes en el agua contenido en los poros, la conductividad va a depender del contenido y viscosidad del agua. Entonces, la resistividad eléctrica decrece cuando la conductividad del agua se incrementa, es decir que, los diferentes iones presentes en la solución no afectan la conductividad en la misma forma a causa de las diferencias en la movilidad de los iones. Esto explica porque diferentes soluciones de suelo a la misma concentración, pero teniendo diferentes composiciones iónicas presentan conductividades eléctricas diferentes. Esto da como resultado una amplia gama de posibles

conductividades debido a las variaciones en composición y concentración iónica. El gran contraste de resistividad entre las zonas saturadas de agua salada y agua dulce es especialmente útil al estudiar la intrusión de agua salada en las áreas costeras, consideraron los valores de resistividad del suelo de 40, 12 y 3 Ω m como representativos de agua dulce, salobre y salina, respectivamente.

2.5.4.4 Temperatura.

La temperatura tiene una incidencia importante en la variación de la resistividad, puesto que, la agitación de los iones se incrementa cuando la viscosidad del fluido decrece conllevando a un decrecimiento de la resistividad eléctrica cuando se incrementa la temperatura. De manera general, la variación de la temperatura del suelo durante un año ocurre en dos escalas temporales; por día y temporada. En los estudios en los que no se corrige el efecto de la temperatura, se supone que la temperatura permanece estable principalmente porque las mediciones se realizan todos los días a la misma hora durante un período breve. Sin embargo, en la escala anual, no es posible evitar el efecto de la temperatura en las mediciones de resistividad del campo eléctrico. Por lo tanto, el conocimiento de la variación estacional de la temperatura y sus consecuencias sobre la resistividad eléctrica es esencial para evitar malas interpretaciones de las mediciones de campo al comparar la adquisición de resistividad en el mismo lugar, pero en diferentes fechas.

2.5.5. Interpretación de la variación de resistividad eléctrica.

En el caso de sondeo eléctrico vertical los datos se trazan en un gráfico (curvas) que expresa la variación de la resistividad aparente con el aumento de la separación entre electrodos. Estas curvas representan, de forma cualitativa, la variación de la resistividad con la profundidad. En casos relativamente sencillos, la estimación de la profundidad de la capa se puede realizar comparando los datos de campo con las curvas de resistividad aparente teórica. Esta técnica proporciona una

interpretación aproximada en ausencia de instalaciones informáticas o permite derivar un modelo aproximado que se requiere como punto de partida para uno de los esquemas de modelado iterativo.

2.5.6. Resistividad de algunas formaciones geológicas.

La resistividad de los materiales geológicos incluyendo el agua pueden variar desde unos cuantos ohms-metro hasta cientos de ellos por arriba o por abajo dependiendo de la alteración, fracturamiento, grado de saturación, iones en solución, temperatura, porosidad y compacidad. Debido a esta gran variación de resultados, los autores de esta propuesta investigativa han recopilado las sugerencias y resultados de otros autores, quienes han realizado diseños experimentales para demostrar los efectos de la geología y características mecánicas en la variación de las medidas de resistividad. Principalmente, se ha observado una gran dispersión entre las resistividades de las arcillas, lo que es comprensible por su naturaleza mineralógica, por esta razón se han considerado las investigaciones de (Gonçalves et al., 2021), Gia et all (2003) tomado de (Samouëlian et al., 2005) , (Tarmizi et al., 2016)y (Listanti et al., 2018).

Tabla 1

Resistividades de diferentes materiales geológicos

Tipo de material	Resistividad Ωm	Autor
Esquisto o arcilla blanda con materia orgánica	0-15	(Gonçalves et al., 2021)
Arcilla	1-12	Gia et all (2003) tomado de (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 & Sanango (2021) refieren que una forma de correlacionar la resistividad de la roca y sus características es considerando los siguientes criterios propuestos por los autores:

- ✓ Si la roca presenta una baja o nula porosidad se tendrá una elevada resistividad.
- ✓ Si la roca se encuentra sobre el nivel freático su resistividad será elevada.
- ✓ La resistividad será baja si la roca es arcillosa o impermeable, o también que presenta un contenido de agua alta en sal.

Mientras que, Álvarez (2003) presenta la siguiente tabla con los rangos de variación de resistividad de algunos tipos de roca y agua.

Tabla 2

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

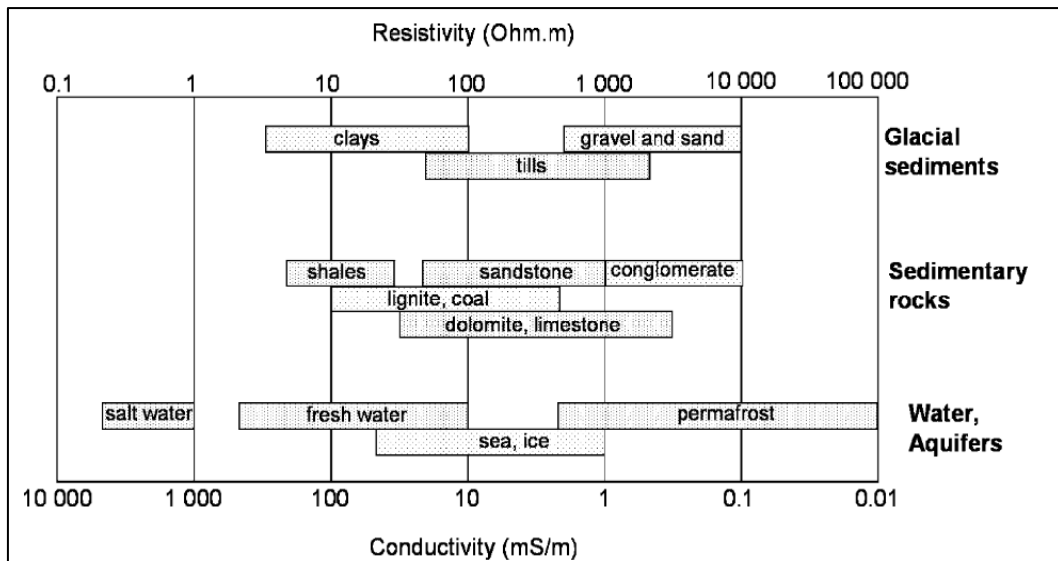
Rangos usuales de variación de resistividad de tipos de roca y agua	
Material Tipo	Resistividad eléctrica (ohms-metro)
Agua superficial en detritos de rocas ígneas	30 500
Agua superficial en detritos de rocas sedimentarias	10 100
Agua subterránea en detritos de rocas ígneas	30 150
Agua subterránea en 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 Álvarez (2003)

Otros autores como Samouëlian et al. (2005) y Nokendangba Chang et al., (2021) proponen rangos de resistividades de diferentes materiales mediante diagramas en el que se proponen distintos rangos de resistividad en escala logarítmica en la parte superior y valores de conductividad en escala logarítmica en la parte inferior. En ambos diagramas, se observa una relación de dependencia entre la resistividad y conductividad, de modo que, a medida que los valores de resistividad se incrementan se observa una disminución de los rangos de conductividad. En este sentido, se observa que para el agua salobre se observa que la resistividad es inferior a $1 \Omega m$, mientras que, su conductividad es igual a 1000 mS/m incrementándose hasta 10000 mS/m . En cambio, en materiales como grava y arena se observan resistividad de 1000 a $10000 \Omega m$ y conductividad entre 1 y $0,1 \text{ mS/m}$.

Figura 2

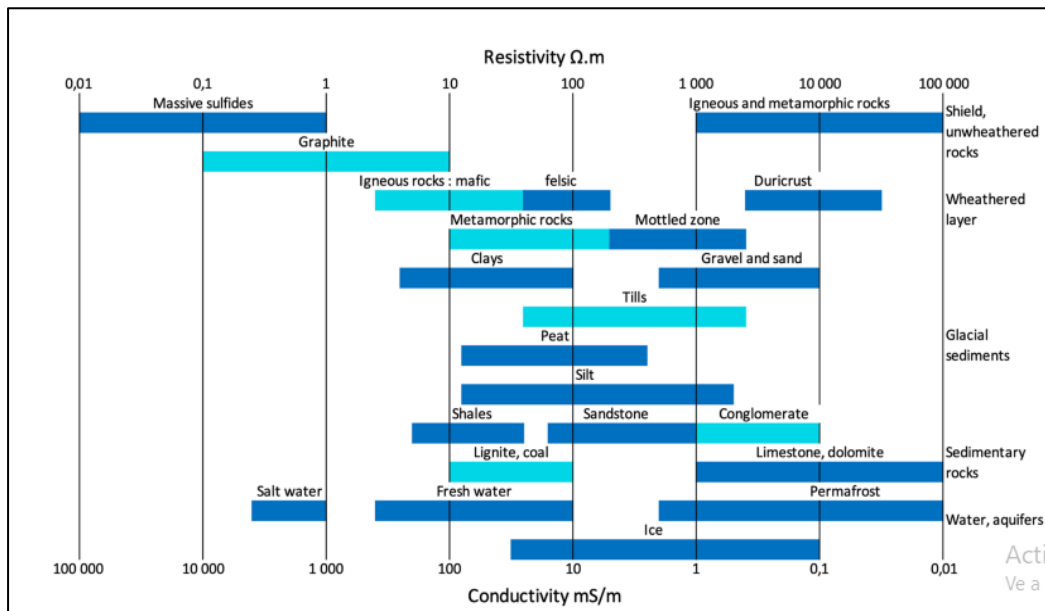
Valores de resistividad de acuerdo con la formación geológica



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)

2.5.7. Ventajas y Desventajas de la resistividad eléctrica.

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

2.5.7.1 Ventajas.

- ✓ Es una técnica de mapeo del suelo no destructiva, conveniente para monitorear los cambios temporales en la distribución del agua del suelo.
- ✓ Proporciona mediciones espacialmente densas y detalladas en grandes áreas a bajo costo, brindando facilidades de adquisición de datos.
- ✓ SEV presenta una gran sensibilidad a la medición que se extiende sobre un amplio rango dependiendo de las propiedades físicas del suelo.
- ✓ Es una técnica que requiere menor tiempo de ejecución, abarcando grandes profundidades de suelo.
- ✓ Es relativamente más barata en comparación con la ejecución de perforaciones y extracciones de muestras mediante ensayo SPT, en relación con el costo de maquinaria, mantenimiento y operarios.

2.5.7.2 Desventajas.

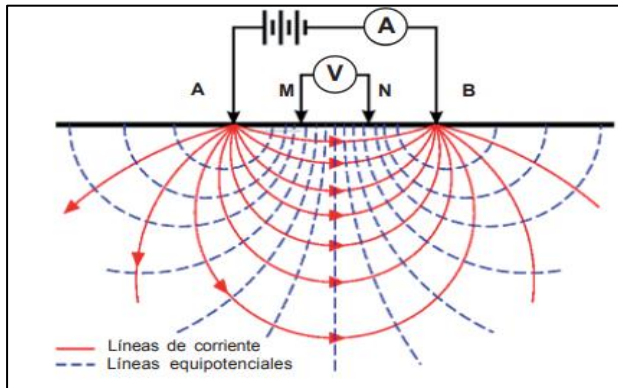
- ✓ En el aspecto técnico, existe la posibilidad de presentar errores sistemáticos debidos a un mal contacto de los electrodos con el suelo.
- ✓ La calibración de los estudios de laboratorio de muestras de suelo con mediciones de resistividad eléctrica es limitada y no puede ser aplicada a todos los tipos de suelo existentes.
- ✓ Se requiere una alta cantidad de datos para la resolución y creación de imágenes que consideren la heterogeneidad del perfil del suelo. Los datos demasiado escasos pueden hacer que se pasen por alto características importantes o pueden crear imágenes falsas del subsuelo.

2.6. SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV)

El Sondeo Eléctrico Vertical SEV, es un método geofísico que permite estimar la resistividad aparente de un suelo. Al introducir dos electrodos y aplicar un voltaje a los mismos se produce una corriente eléctrica; a lo largo del terreno se crea un campo eléctrico y diferencias de potencial (Nuñez et al., 2013).

Figura 4

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



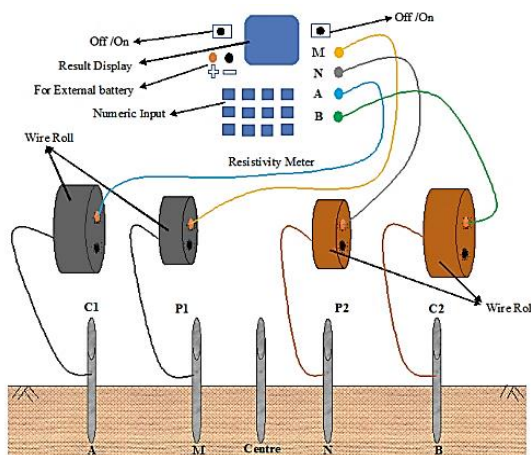
Nota. Tomado de (Nuñez et al., 2013)

2.6.1. Método Schlumberger.

En 1912 Schlumberger introdujo la idea de utilizar mediciones de resistividad eléctrica para estudiar los cuerpos rocosos del subsuelo. Este método fue adoptado por primera vez en geología por las compañías petroleras que buscaban yacimientos de petróleo y delineaban formaciones geológicas. (Samouëlian et al., 2005). Este método consiste en colocar los electrodos en línea separados a una cierta distancia, donde AB (distancia entre los electrodos de corriente) es mayor a cinco veces de MN (distancia entre los electrodos de caída de potencial) (Cano & Sanango, 2021).

Figura 5

Arreglo de electrodos del método Schlumberger



Nota. Tomado de Hedge y Anan (2021).

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

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

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 arreglo Schlumberger los electrodos “M” y “N” permanecen fijos mientras que los de corriente “A” y “B” se mueven paulatinamente incrementando la distancia AB, con esto la profundidad de exploración. Debe cumplir la relación $AB > 5MN$. La expresión para el cálculo de la resistividad aparente en el sondeo Schlumberger está dada por:

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

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

2.6.2. Correlaciones entre resistividad e índice de penetración estándar.

La autora Abello (2018) presenta una recopilación de expresiones matemáticas de varios autores para relacionar resistividad con el número de golpes del ensayo SPT.

Tabla 3*Correlaciones entre resistividad y N-SPT según varios autores*

Autor	Tipo de Suelo		
	General	Arenas	Arcillas
Braga et al., (1999)	–	$N = \left(\frac{\rho}{3862,72}\right)^{-1,33}$	$N = \left(\frac{\rho}{6839,72}\right)^{0,7}$
Akiniabi y Adeyemi (2014)	–	$N = 0,001\rho + 21,89$	–
Booblan y Ramanujam (2015)	$\frac{N = 1,401\rho - 51,893}{N = 1,953\rho - 7,782}$	–	$N = 0,623\rho - 12,649$
Haita y Syed (2015)	–	$\rho = 20,942N + 281,56$	–
Syed et al., (2016)	–	–	$N = -0,0003\rho^2 + 0,2553\rho - 6,2856$
Kalyane (2017)	$N = 0,1805\rho + 19,557$	–	–
Liu et all(2008)	$N = 2,3\rho + 2,7$	–	–

Nota. Tomado de (Abello, 2018)

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.

La investigación es de tipo aplicada porque se lleva a la práctica el conocimiento existente. Al respecto, Moreno Tapia (2014) refiere que, el principal interés de la investigación aplicada es el uso y aplicación práctica de los frutos del conocimiento adquiridos de la teoría pura o fundamental. En relación con el tema de estudio, se busca aplicar de manera práctica la teoría pura existente sobre resistividad eléctrica, para la correlación de parámetros mecánicos con el ensayo SPT con la intención de generar nuevo conocimiento en un área de la ciencia aún poco explorada en la provincia de Santa Elena.

3.1.2. Nivel.

La investigación es de nivel exploratorio-relacional. Es de nivel exploratorio porque se orienta a la identificación del fenómeno a través de la recopilación documental, formulación de nuevas hipótesis o teorías y la obtención e interpretación de resultados de manera práctica. Es relacional, porque los resultados obtenidos se asocian y correlacionan para la propuesta de nuevas aplicaciones. En relación con la investigación, se realizó una búsqueda exhaustiva de documentación bibliográfica para identificar las nuevas aplicaciones de la resistividad eléctrica para la predicción de las propiedades mecánicas del suelo, los métodos existentes para el uso del equipo TERRAMETER SAS, el arreglo de electrodos, la formulación de nuevas hipótesis y las formulaciones existentes para la correlación de resultados de resistividad con el ensayo SPT. Para luego, a través

de la obtención de resultados de resistividad y ensayos SPT en la zona de estudio, relacionarlos y asociarlos con las formulaciones propuestas por varios autores.

3.2. MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El método, diseño y enfoque de una investigación permite al investigador desarrollar una propuesta metodológica única que se adapte a sus necesidades de experimentación, logrando medir las variables de estudio y contrastar hipótesis.

3.2.1. Método.

El método empleado es el de análisis y síntesis, que consiste en llevar a cabo procesos que permiten al investigador conocer la realidad. A través del análisis se inicia un proceso de conocimiento que consiste en la identificación y determinación de la relación causa efecto entre los elementos que componen el objeto de investigación. En cambio, durante el proceso de síntesis se considera como un todo para establecer relaciones entre los factores que rodean la variable de estudio (Vásquez Hidalgo, 2020). En el caso de estudio, se analiza de manera aislada el efecto de la resistividad eléctrica en el subsuelo mediante revisiones bibliográficas, la incidencia del contenido de humedad del suelo, distribución granulométrica, geometría y tamaño de poros y demás parámetros que afecten los resultados. Una vez comprendido variables independientes se revisan los resultados, se contrastan y relacionan con los del ensayo SPT de manera sintética.

3.2.2. Enfoque.

La investigación es de enfoque mixto porque se emplean variables cualitativas y cuantitativas. Al respecto, Hernández Sampieri (2014) menciona que, la recolección de los datos se fundamenta en la medición de las variables e hipótesis, que pueden ser cualitativas y cuantitativas. Si bien, un estudio puede ser puramente cualitativo o cuantitativo, el empleo de ambos enfoques enriquece la investigación al proponer dos enfoques de estudio. Las variables cuantitativas se ven reflejadas en la mayoría de los procesos de recolección de datos como los resultados de resistividad y de ensayo SPT, no obstante, para el conocimiento previo y

descripción del suelo antes del desarrollo de los ensayos se requiere de una valoración cualitativa.

3.2.3. Diseño.

El diseño de la investigación es de tipo experimental. De acuerdo con (Álvarez, 2020) este método consiste en la obtención de datos por observación de hechos condicionados por el investigador, en la que se manipula una sola variable y se espera la respuesta de otra variable. En el campo de aplicación se espera obtener en base a los resultados de resistividad eléctrica y ensayo SPT (variable independiente del estudio), la analogía del perfil estratigráfico de la zona de estudio (variable dependiente del estudio).

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

La población, muestra y muestreo permiten al investigador aplicar diseño experimental a un grupo representativo para la obtención de resultados.

3.3.1. Población.

Hernández Sampieri (2014) define a la población de estudio como el conjunto de casos, definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios predeterminados. Este término no hace referencia únicamente a seres humanos, también, hace referencia a animales, muestras biológicas, expedientes, hospitales, objetos, organizaciones, etc. En este caso, la población o universo de estudio es el suelo.

3.3.2. Muestra.

Hernández Sampieri (2014), define a la muestra como un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión y que debe ser representativo de la población. El investigador pretende que los resultados encontrados en la muestra se generalicen o extrapolen a la población. Para efectos de esta investigación, la muestra corresponde al subsuelo sujeto a análisis.

3.3.3. Muestreo.

Para el presente estudio se localizaron 5 sitios de muestreo dentro de los predios de la Universidad, de los que se obtuvieron resultados del ensayo SPT y se realizaron los sondeos de resistividad eléctrica.

3.4. UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO

La zona de estudio comprende cuatro sitios de diversidad litológica localizados en la provincia de Santa Elena, en los que se realizaron 7 sondeos. Estos sitios corresponden a los predios de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), Ayangue, El Tambo y Libertador Bolívar. En todos los puntos se consideró los siguientes criterios para su selección 1) información disponible sobre perfil estratigráfico, 2) distancias horizontales superiores a los 20 metros, 2) superficie limpia y 3) superficies planas, 4). Los cuatro primeros puntos de sondeo se registran en la tabla 6.

Tabla 4

Puntos de muestreo

Puntos	Coordenadas	Tipo de Ensayo
P1-1 Bloque 1 UPSE	Norte 9753278.94	Ensayo SPT
	Este 513875165	Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)
P2-1 Bloque 2 UPSE	Norte 9753275.65	Ensayo SPT
	Este 513863.89	Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)
P3-2 Bloque 2 UPSE	Norte 9753263.22	Ensayo SPT
	Este 513853.86	Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)
P4-3 Bloque 3 UPSE	Norte 9753292.397	Ensayo SPT
	Este 513183966	Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

Figura 6

Predios de la Universidad Estatal Península Santa Elena (UPSE)



Los otros tres sitios seleccionados corresponden a sitios de donde se logró obtener el perfil estratigráfico del suelo de al menos 6m de profundidad, es importante recalcar que esta documentación fue proporcionada por la empresa INGEOTOPS.A. Las coordenadas de estos sitios de se describen en la tabla 7.

Tabla 5

Puntos de muestreo

Puntos	Coordenadas		Tipo de Ensayo
P5- AYANGUE	Norte	9753278.94	Ensayo SPT
	Este	513875165	Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)
P6- TAMBO	Norte	9753263.22	Ensayo SPT
	Este	513853.86	Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)
P7-SIMON BOLIVAR	Norte	9753263.22	Ensayo SPT
	Este	513853.86	Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

Figura 7

Ubicación de los sondeos realizados en Ayangue, El Tambo y Libertador Bolívar

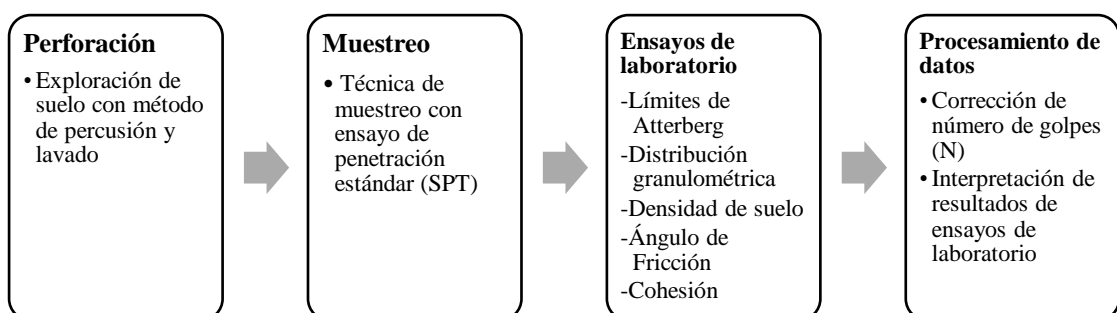


3.5. METODOLOGIA DEL OE.1: RECOPIRAR DATOS DE PERFILES ESTRATIGRÁFICOS OBTENIDOS CON MUESTREOS DE ENSAYO SPT MEDIANTE REVISIÓN DOCUMENTAL DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS, PARA CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL ÁREA DESTINADA A LA CONSTRUCCIÓN DE BLOQUES DE LA UPSE Y DE VARIOS SITIOS DE DIVERSIDAD LITOLÓGICA

En respuesta del primer objetivo se realizó la búsqueda exhaustiva de perfiles estratigráficos disponibles en toda el área de la provincia de Santa Elena, de donde en colaboración de la empresa INGEOTOP S.A se obtuvieron datos de nueve perforaciones; cuatro de UPSE, tres del sector El Tambo, una de Ayangue y la última obtenida de Libertador Bolívar. Con especial importancia para el desarrollo de esta investigación, se verificó que todos los perfiles estratigráficos obtenidos contaran con el valor de número de golpes de cada estrato, puesto que, este valor es fundamental para la correlación con las medidas de resistividad. En las cuatro perforaciones realizadas en UPSE se tuvo la oportunidad de colaborar con el equipo técnico de INGEOTOP S.A. El procedimiento empleado para cada perforación por el equipo técnica de la empresa se resume a continuación en el cuadro 1

Cuadro 1

Resumen metodológico de las perforaciones



3.6. METODOLOGIA DEL OE.2: EJECUTAR ENSAYOS DE SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) CON ARREGLO DE ELECTRODOS SCHLUMBERGER PARA LA OBTENCIÓN DE RESISTIVIDADES A DIFERENTES PROFUNDIDADES DEL SUELO.

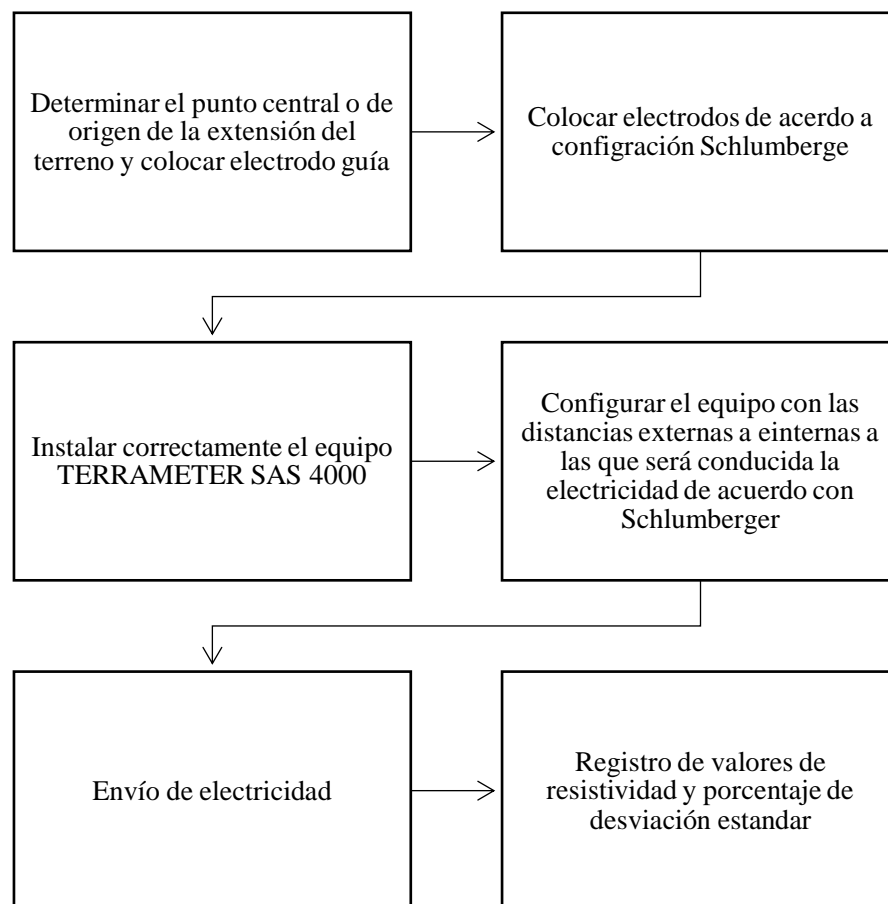
Para el cumplimiento del segundo objetivo de estudio se realizaron cuatro salidas de campo a los predios de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE), una en Ayangue, el Tambo y Libertador Bolívar, cada salida correspondiente a un punto de muestreo. En cada punto de muestreo se empleó el equipo TERRAMETER SAS 4000 adquirido por el laboratorio de suelos, hormigón y asfalto de UPSE, el mismo que fue solicitado para llevar a cabo el ensayo. Para el desarrollo de este ensayo en cada punto de muestreo primero se determinó el punto central o de origen, el mismo que depende de la distancia horizontal del terreno, en este punto se coloca un electrodo que servirá de guía para la colocación de las cintas métricas y los demás electrodos, luego, en base a la configuración Schlumberger se colocan uno por uno los electrodos a las distancias especificadas, a continuación, se calibra el equipo y se verifica que los conectores de entrada de la batería del equipo se encuentren bien posicionados, posteriormente, se distinguen los conductores de electricidad externos e internos y se colocan paulatinamente en los electrodos conforme se avance las distancias especificadas por la configuración de electrodos Schlumberger. A medida que se realiza esta acción se anotan los valores de resistividad correspondientes y el porcentaje de desviación estándar en la ficha de campo. Por último, se retiran los electrodos del sitio y todo el equipo empleado para el desarrollo del ensayo. El cuadro 2 muestra un resumen metodológico del sondeo eléctrico vertical (SEV).

En el primer punto de muestreo el sondeo eléctrico vertical se llevó a cabo a una distancia aproximada de 50 m de longitud en sentido horizontal, obteniendo valores de resistividad hasta una profundidad de 14 m. Se ubicó un electrodo a una distancia de 25m, que sirvió de guía para la colocación de los demás electrodos. La disposición de los electrodos se estableció de acuerdo con la configuración de electrodos Schlumberger, como se aprecia en la figura 6. Una vez que los electrodos fueron ubicados correctamente, se calibró el equipo TERRAMETER

SAS 4000 y se verificó que todas las conexiones se encuentren en buen estado y en orden. A continuación, se realizaron las mediciones de acuerdo con lo establecido por la configuración Schlumberger y se anotaron los valores de resistividad y el porcentaje de desviación estándar en una ficha de campo elaborada por los autores para efectos de este ensayo. El porcentaje de desviación estándar es un excelente indicador de la dispersión de datos, este, permitió controlar la magnitud de la corriente que se emitía a los electrodos y corroborar que cada punto arrojará valores de resistividad coherentes, garantizando que el ensayo se haya realizado correctamente. En el anexo 6 se aprecia la ficha de campo empleada para el registro de datos. A diferencia del primer punto de muestreo, en los puntos subsiguientes se obtuvieron valores de resistividad a profundidades mayores llegando hasta los 30m. Para todos los demás puntos de muestreo se tuvieron en cuenta las mismas consideraciones que para el primer punto de muestreo.

Cuadro 2

Resumen metodológico del sondeo eléctrico vertical (SEV)



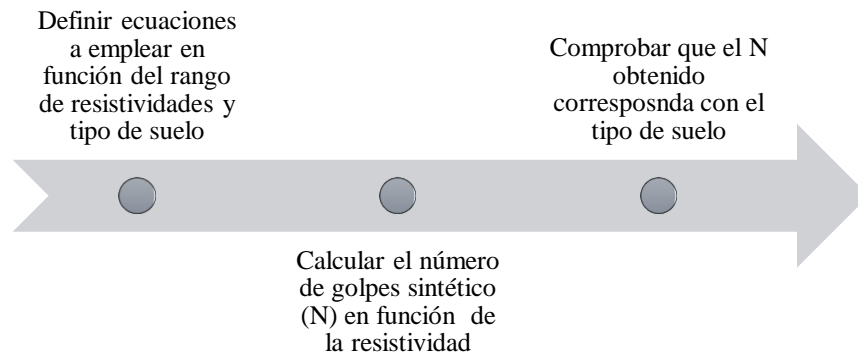
3.7. METODOLOGIA DEL OE.3: CORRELACIONAR EL VALOR DE N-SPT OBTENIDO A PARTIR DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) CON EL VALOR N-SPT OBTENIDO DE LA RECOPIACIÓN DOCUMENTAL DE LOS PERFILES ESTRATIGRÁFICOS EN LOS PREDIOS DE LA UPSE Y EN ZONAS DE DIVERSA RIQUEZA LITOLÓGICA PARA VERIFICAR LA EFICACIA DE LOS MÉTODOS GEOFÍSICOS EN LA EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO.

La correlación de los resultados obtenidos mediante ensayo de penetración estándar (SPT) y sondeo eléctrico vertical (SEV) se realizó modelos matemáticos propuestos por distintos autores para diversos tipos de suelo, para esto, se tomó como referencia las ecuaciones descritas en la tabla 4 del marco teórico tomadas del trabajo de Abello (2018). De este modo, primero se determinó la ecuación a emplear en función a los resultados de resistividad del objetivo 2, luego, se evaluaron esas ecuaciones y se calcularon el número de golpes en función de la resistividad (N).

En consideración al lector, se ha establecido el nombre de “N calculado” al resultado obtenido de las ecuaciones, se ha dado esta denominación para identificar que es un valor calculado y no confundir la terminología con el número de golpes real obtenido con ensayo. La intención, de obtener el N calculado es comprobar la posibilidad de emplear sondeo eléctrico vertical (SEV) como método de exploración del suelo sustituto del ensayo de penetración estándar o como parte complementaria para limitar el número de perforaciones a realizar en el terreno, y, a su vez, obtener valores de N calculados que puedan ser utilizados para el diseño de elementos estructurales en proyectos de ingeniería. Una vez obtenido el N calculado se realizará una etapa de comprobación en la que se evaluarán lo siguiente; 1) rango de dispersión de los resultados (N calculado vs N real), 2) analogía entre estratigrafías de suelo. El cuadro 3 resume los pasos a seguir para emplear esta correlación de resultados.

Cuadro 3

Procedimiento para correlacionar los resultados con ecuaciones propuestas por distintos autores



3.8. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 7

Cuadro de Operacionalización de Variables

	Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable Independiente	Estratigrafía del suelo con ensayo de penetración estándar (SPT)	Técnica de muestreo para identificar estratos y determinar propiedades mecánicas del suelo	Se sigue el procedimiento normativo de ASTM	ASTM D1586	N (número de golpes)	Adimensional
	<i>Estratigrafía del suelo con sonda eléctrica vertical (SEV)</i>	Procedimiento geofísico que mide resistividades de suelo para identificar el tipo de suelo	Se sigue el procedimiento normativo de ASTM	ASTM-D6431	Resistividad Desviación estándar	$\Omega \cdot m$ %
Variable Dependiente	<i>Analogía del perfil</i>	Relación de semejanza entre ambos perfiles de suelos	Comparación de perfiles de suelo	Estratos de suelo	Tipo de suelo	Adimensional
			Correlacionar los resultados mediante ecuaciones propuestas por distintos autores	Ecuaciones	N sintético (número de golpes calculado)	Adimensional

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DEL OE1: RECOPIRAR DATOS DE PERFILES ESTRATIGRÁFICOS OBTENIDOS CON MUESTREOS DE ENSAYO SPT MEDIANTE REVISIÓN DOCUMENTAL DE ESTUDIOS GEOTÉCNICOS, PARA CONOCER LAS CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DEL ÁREA DESTINADA A LA CONSTRUCCIÓN DE BLOQUES DE LA UPSE Y DE VARIOS SITIOS DE DIVERSIDAD LITOLÓGICA




En cumplimiento con el primer objetivo se recopilaron los datos geotécnicos obtenidos de perforaciones en los siguientes sitios de muestreo; i) en el área de extensión de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, se acopiaron cuatro perforaciones, tres de 8 metros y una de cuatro metros de profundidad; en Ayangué datos de una perforación de 8 metros; en El Tambo, tres perforaciones de 6 metros y en Libertador Bolívar información geotécnica de 1 formación de 10 metros de profundidad. Los resultados obtenidos de los datos geotécnicos obtenido por métodos geotécnicos de exploración se describen y detallan a continuación;

En la Perforación 1-1 Bloque UPSE. - *i) 0.00m-1.00m* Arcilla con presencia de arena fina color café claro; clasificación SUCS “CL” $\omega = 27,44\%$ e $IP = 32\%$ y pasante # 200 de 62,56%. *ii) 1.00 m – 2.00 m de profundidad.* Arena fina limosa color beige, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 19,93\%$ e $ip = 6\%$ y pasante #200 de 29,86 %. *iii) 2.00m – 3.00m de profundidad.* - Arena fina limosa color beige, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 25,27\%$, NP y pasante del tamiz # 200 de 26,66%, *iv) 3.00m – 4.00m de profundidad.* - Arena fina limosa color beige, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 28,52\%$, NP y pasante # 200 de 29,44%; *v) 4.00m – 5.00m de profundidad.* - Arena fina limosa, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 28,54\%$, $IP = 6\%$ y pasante #200 de 29,66%; *vi) 5.00m – 6.00m de profundidad.* - Arcilla gris

claro, clasificación SUCS “CH”, $\omega = 25,57\%$, $i_p = 30\%$ y pasante #200 de 72,82%;
vii) 6.00m – 7.00m de profundidad. -Arcilla gris claro, clasificación SUCS “CH”,
 $\omega = 24,40\%$, $i_p = 33\%$ y pasante #200 de 84,26%; **viii) 7.00m – 8.00m de
profundidad.** - Arcilla gris claro, clasificación SUCS “SH”, $\omega = 26,33\%$, $IP = 39\%$
y pasante #200 de 98,38%.

Tabla 6

Estratigrafía del primer punto de muestreo

	Estratos	Descripción	Prof.	N
E1		Arcilla con presencia de arena fina color café claro con materia orgánica (restos de raíces), humedad baja de consistencia compacta.	0-1	9
E2		Arena fina limosa color beige con algo de conchilla, humedad baja de compacidad medianamente densa a muy densa	1-2	16
			2-3	28
			3-4	41
			4-5	57
E3		Arcilla gris claro con pintas de oxidación y algo de arena fina, humedad baja de consistencia dura	5-6	62
			6-7	51
			7-8	53

Nota. Resultados obtenidos en colaboración de la empresa Ingeotop S.A.

En la Perforación P2-1 Bloque 2 UPSE. - 0.00m – 1.00m de profundidad. - Arcilla café claro; clasificación SUCS “CH”, $\omega = 21\%$, e $I_p = 47\%$ y pasante # 200 de 63,27%; 1.00 m – 2.00 m de profundidad. - Grava con presencia de arena fina y arcilla color beige, clasificación SUCS “GC”, $\omega = 17,22\%$, e $I_p = 16\%$ y pasante #200 de 25,09 %.; 2.00m – 3.00m de profundidad. - Arena fina limosa color café claro con fragmentos de roca, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 24,22\%$, y pasante # 200 de 19,87%; 3.00m – 4.00m de profundidad. -Arena fina limosa color café claro con fragmentos de roca, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 23,67\%$ y pasante # 200 de 26,74%.; 4.00m – 5.00m de profundidad. - Arena fina limosa color café claro con fragmentos de roca, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 17,08\%$, y pasante #200 de 28,02%; 5.00m – 6.00m de profundidad. - Arena fina limosa color café claro con fragmentos de roca, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 27,16$ sin plasticidad y pasante del tamiz #200 de 16,63 %; 6.00m – 7.00m de profundidad. - Arcilla color gris claro con pintas de oxidación, clasificación SUCS “CH”, 34,47%, $\omega = 38\%$ y pasante #200 de 97,34%; 7.00m – 8.00m de profundidad. - Arcilla color gris claro con

pintas de oxidación, clasificación SUCS “CH”, $\omega = 25,68\%$, e $I_p = 43\%$ y pasante #200 de 98,80%; 8.00m – 9.00m de profundidad. - Arcilla color gris claro con pintas de oxidación, clasificación SUCS “CH”, $\omega = 24,48\%$, e $I_p = 42\%$ y pasante #200 de 98,48%. Datos que se detallan en la tabla número 9.

Tabla 7

Resultados del ensayo SPT del segundo punto de muestreo

Estrato	Descripción	Prof.	N
E1 	Arcilla café con presencia de arena fina y algo de materia orgánica (raíces, humedad baja de compactación)	0-1	10
E2 	Grava (fragmentos de roca con presencia de arena fina y arcilla color beige, humedad baja compactación medianamente densa)	1-2	16
E3 	Arena fina limosa color café claro con fragmentos de roca, humedad baja de consistencia medianamente densa a muy densa	2-3	24
		3-4	75
		4-5	50
		5-6	79
E4 	Arcilla gris claro con pintas de oxidación y algo de arena fina, humedad baja de consistencia dura	6-7	51
		7-8	
		8-9	




Nota. Resultados obtenidos en colaboración de la empresa Ingeotop S.A.

En la Perforación P3-2 Bloque UPSE. - **i) 0.00m – 1.00m de profundidad.** - arcilla café claro; clasificación SUCS “cl”, $\omega = 15,42\%$, e $i_p = 24\%$ y pasante # 200 de 60,3%; **ii) 1.00 m – 2.00 m de profundidad.** - arena fina limosa color beige con fragmentos de roca, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 19,24\%$ e $i_p = 7\%$ y pasante del tamiz #200 de 20,61 %.; **iii) 2.00m – 3.00m de profundidad.** - arena fina limosa, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 20,04\%$, y pasante # 200 de 21,84%; **iv) 3.00m – 4.00m de profundidad.** - arena fina limosa color beige con fragmentos de roca, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 26,19\%$ y pasante # 200 de 23,69%.; **v) 4.00m – 5.00m de profundidad.** - arena fina limosa, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 25,90\%$, y pasante #200 de 29,75%; **vi) 5.00m – 6.00m de profundidad.** - arena fina limosa color café, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 22,85$ y pasante #200 de 24,01 %; **vii) 6.00m – 7.00m de profundidad.** - arcilla gris claro, clasificación SUCS “CH”, $\omega = 22,30\%$, e $i_p = 35\%$ y pasante #200 de 40,47%.; **viii) 7.00m – 8.00m de profundidad.** - arcilla gris claro con pintas de oxidación y poco contenido de arena

fina, clasificación SUCS “CH”, $\omega = 34,35\%$, e $i_p = 32\%$ y pasante #200 de 99,08%. Datos que se detallan en la tabla número 10.

Tabla 8

Resultados del ensayo SPT del tercer punto de muestreo

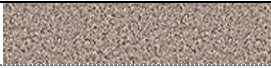

Estrato	Descripción	Prof.	N
E1	 Arcilla café claro con presencia de arena fina, humedad, baja de consistencia compacta	0-1	14
E2		1-2	16
		2-3	18
		3-4	33
		4-5	84
		5-6	85
E3	 Arcilla color gris claro con pintas de oxidación, humedad baja de consistencia muy compacta a dura	6-7	Tubo Shelby
		7-8	33

Nota. Resultados obtenidos en colaboración de la empresa Ingeotop S.A.

En la perforación P4-3 Bloque UPSE. - **0.00m – 1.00m de profundidad.** - arena limosa; clasificación SUCS “SM”, $\omega = 13,32\%$, e $I_p = 4\%$ y pasante del tamiz # 200 de 32,61%; **ii) 1.00 m – 2.00 m de profundidad.** Arena fina limosa color beige con fragmentos de roca, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 11,10\%$ y pasante del tamiz #200 de 24,81 %.; **2.00m – 3.00m de profundidad.** - arena fina limosa color beige con fragmentos de roca, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 15,97\%$, y pasante # 200 de 23,62%.; **iv) 3.00m – 4.00m de PROFUNDIDAD.** - arena fina limosa color beige con fragmentos de roca, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 16,63\%$ y pasante # 200 de 23,10 %. Datos que se detallan en la tabla número 11.

Tabla 9

Resultados del ensayo SPT del cuarto punto de muestreo






Estratos	Descripción	Prof.	N-SPT
E1	 Material de relleno (arena limosa con presencia de grava)	0-1	75
E2		1-2	78
		2-3	99
		3-4	50

Nota. Resultados obtenidos en colaboración de la empresa Ingeotop.S.A

En la Perforación P5. - *i)0.00m – 1.00m de profundidad.* -Arena limosa meteorizada color beige; clasificación SUCS: “SM”, $\omega = 4,65\%$, *NP* y pasante #200 de 9,73%.; *ii)1.00 m – 2.00 m de profundidad.* -Arena limosa meteorizada color beige; clasificación SUCS: “SM”, $\omega = 6,42\%$, *NP* y pasante #200 de 14,5%.; *iii)2.00m – 3.00m de profundidad.* - Grava mal graduada meteorizada color beige; clasificación SUCS: “GP”, $\omega = 9,19\%$, *NP* y pasante #200 de 18,1%.; *iv) 3.00m – 4.00m de profundidad.* - Arena limosa meteorizada color beige; clasificación SUCS: “SM”, $\omega = 9,17\%$, *NP* y pasante #200 de 21,4%. *v)4.00m – 4.70m de profundidad.* roca formación tablazo intercalación arena color beige, RQD = 0%, es decir de calidad muy mala, *vi)4.70m – 6.20m de profundidad.* - roca formación tablazo color beige; se ha realizado la perforación, RQD = 0, *vii) 6.20m – 8.00m de profundidad.* - roca formación tablazo color beige; RQD = 0% calidad muy mala. Datos que se detallan en la tabla número 10.

Tabla 10

Resultados del ensayo SPT del quinto punto de muestreo

	Estratos	Descripción	Prof.	N
E1		Arena limosa	0-1	14
			1-2	37
E3		Grava mal graduada	2-3	46
E4		Arena limosa	3-4	50
E5		Roca formación Tablazo intercalación arena	4-4,50	-
E6		Roca formación Tablazo (Coquina)	4,50-6,20	-
			6,20-8,00	-






Nota. Resultados obtenidos en colaboración de la empresa Ingeotop S.A.

En la Perforación P6-1.- *i) 0.00m – 1.00m de profundidad.* -arcilla gris claro; clasificación SUCS “cl”, $\omega = 16,37\%$, e *IP* = 17% y pasante # 200 de 71,78%; *ii)1.00 m – 2.00 m de profundidad.* - arcilla gris claro con vetas de arcilla café, clasificación SUCS “cl”, $\omega = 25,80\%$ e *IP* = 19% y pasante del tamiz #200 de 87,76 %.; *iii)2.00m – 3.00m de profundidad.* – arcilla gris claro, clasificación SUCS “CL”, $\omega = 33,39\%$, *IP* = 26% y pasante # 200 de 89,81%; *iv) 3.00m – 4.00m de*

profundidad. – arcilla gris claro, clasificación SUCS “CL”, $\omega = 22,43\%$, $ip = 20\%$ y pasante # 200 de 79,92%.; **v) 4.00m – 5.00m de profundidad.** – arcilla gris claro, clasificación SUCS “SM”, $\omega = 21,86\%$, $ip = 26\%$ y pasante #200 de 75,43%; **vi) 5.00m – 6.00m de profundidad.** - arcilla gris claro con pintas de oxidación y presencia de gravilla y yeso, clasificación SUCS “CL”, $\omega = 21,55\%$, e $ip = 49\%$ y pasante #200 de 75,43%. Datos que se detallan en la tabla número 11.

Tabla 11

Resultados del ensayo SPT del sexto punto de muestreo

Estratos	Descripción	Prof.	N
E1 	Arcilla gris claro con oxidación y arena fina	0-1	27
E2 	Arcilla gris claro con vetas de arcilla café y con algo arena fina	1-2 2-3	26 26
E3 	Arcilla café claro con vetas de arcilla gris claro y oxidación con algo de gravilla	3-4	42
E4 	Arcilla gris claro con algo de gravilla	4-5	36
E5 	Arcilla gris claro con oxidación, con algo de gravilla y yeso	5-6	47



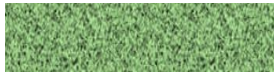
Nota. Resultados obtenidos en colaboración de la empresa Ingeotop S.A

En la perforación P6-2 - **i) 0.00m – 1.00m de profundidad.** -arcilla gris claro; clasificación SUCS “CL”, $\omega = 14,42\%$, e $IP = 17\%$ y pasante # 200 de 42,82%; **ii) 1.00 m – 2.00 m de profundidad.** - arcilla gris claro con oxidación y arena fina, clasificación SUCS “CL”, $\omega = 21,76\%$ e $IP = 20\%$ y pasante del tamiz #200 de 71,42 %.; **iii) 2.00m – 3.00m de profundidad.** – arcilla gris claro con oxidación y arena fina, clasificación SUCS “CL”, $\omega = 22,19\%$, $IP = 17\%$ y pasante # 200 de 76,17%; **iv) 3.00m – 4.00m de profundidad.** – arcilla gris claro con oxidación y arena fina, clasificación SUCS “CL”, $\omega = 22,64\%$, $IP = 26\%$ y pasante # 200 de 86,18 %.; **v) 4.00m – 5.00m de profundidad.** – arcilla gris verdosa con arena, clasificación SUCS “CL”, $\omega = 20,50\%$, $ip = 22\%$ y pasante #200 de 79,82%; **vi) 5.00m – 6.00m de profundidad.** - arcilla gris verdosa con arena, clasificación SUCS

“cl”, $\omega = 15,96\%$, e $ip = 20\%$ y pasante #200 de 67,66%. Datos que se detallan en la tabla número 14.

Tabla 12

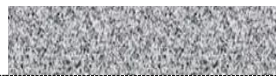



Resultados del ensayo SPT del sexto punto de muestreo

Estratos	Descripción	Prof.	N
E1	 Arcilla gris claro con arena	0-1	30
E2	 Arcilla gris claro con oxidación y con arena fina	1-2 2-3 3-4	26 38 41
E3	 Arcilla gris verdosa con arena	4-5 5-6	62 50

Nota. Resultados obtenidos en colaboración de la empresa Ingeotop S.A.

En la perforación P6-3. - *i) 0.00m – 1.00m de profundidad.* - arcilla gris claro con oxidación yeso y arena; clasificación SUCS “CL”, $\omega = 16,65\%$, e $IP = 29\%$ y pasante # 200 de 59,90%; *ii) 1.00 m – 2.00 m de profundidad.* - arcilla gris claro con oxidación y arena, clasificación SUCS “CH”, $\omega = 27,91\%$ e $IP = 35\%$ y pasante del tamiz #200 de 90,68%.; *iii) 2.00m – 3.00m de profundidad.* – arcilla café claro con vetas de arcilla gris con arena, clasificación SUCS “CL”, $\omega = 21,96\%$, $IP = 25\%$ y pasante # 200 de 91,47%; *iv) 3.00m – 4.00m de profundidad.* – arcilla café claro con vetas de arcilla y arena, clasificación SUCS “CL”, $\omega = 22,46\%$, $IP = 25\%$ y pasante # 200 de 86,62 %.; *v) 4.00m – 5.00m de profundidad.* – arcilla gris claro con arena, clasificación SUCS “CL”, $\omega = 19,69\%$, $IP = 27\%$ y pasante #200 de 65,60%; *vi) 5.00m – 6.00m de profundidad.* - arcilla gris claro con oxidación y arena, clasificación SUCS “CL”, $\omega = 20,19\%$, e $IP = 27\%$ y pasante #200 de 81,26%. Datos que se detallan en la tabla número 15.






Tabla 13*Resultados del ensayo SPT del sexto punto de muestreo*

Estratos	Descripción	Prof.	N
E1 	Arcilla gris claro con oxidación, yeso y arena	0-1 1-2	18 21
E2 	Arcilla gris claro con oxidación y arena	2-3	21
E3 	Arcilla café claro con vetas de arcilla gris a	3-4	51
E5	claro con arena	4-4,50	77
E6 	Arcilla gris claro con oxidación y arena	4,50-6,20	42

Nota. Resultados obtenidos en colaboración de la empresa Ingeotop S.A.

En la perforación P 7. - *i) 0.00m – 1.00m de profundidad.* - arena fina arcillosa color fe claro; clasificación SUCS “sc”, $\omega = 19,80\%$, e IP =27% y pasante # 200 de 30,90%; *ii) 1.00 m – 2.00 m de profundidad.* - arcilla color café claro con presencia de arena fina, clasificación SUCS “CH”, $\omega = 34,741\%$ e IP =39% y pasante del tamiz #200 de 76,67%.; *iii) 2.00m – 3.00m de profundidad.* – arcilla color café claro con presencia de arena fina, clasificación SUCS “CH”, $\omega = 54,08$, IP =31% y pasante # 200 de 65,70%; *iv) 3.00m – 4.00m de profundidad.* – arena fina arcillosa color gris verdosa, clasificación SUCS “SC”, $\omega = 40,90\%$, IP =22% y pasante # 200 de 38,08 %.; *v) 4.00m – 5.00m de profundidad.* – turba, clasificación SUCS “Pt”, $\omega = 86,49\%$, IP =70% y pasante #200 de 77,55%; *vi) 5.00m – 6.00m de profundidad.* - arcilla gris claro con presencia de turba, clasificación SUCS “CH”, $\omega = 69,84\%$, e IP =63% y pasante #200 de 92,42%; *vii) 6.00m – 7.00m de profundidad.* - arcilla gris claro con algo de arena, clasificación SUCS “CH”, $\omega = 39,83\%$, e IP =55% y pasante #200 de 90,53%; *ix) 7.00m – 8.00m de profundidad.* – arcilla gris claro con algo de arena, clasificación SUCS “CH”, $\omega = 36,09\%$, e IP = 50% y pasante #200 de 88,26; *x) 8.00m – 9.00m de profundidad.* - arcilla gris claro con algo de arena, clasificación SUCS “CH”, $\omega = 39,32\%$, e IP = 48% y pasante #200 de 86,56%; *xi) 9.00m – 10.00m de profundidad.* - arcilla gris claro con algo de arena, clasificación SUCS “CH”, $\omega = 36,77\%$, e IP =43% y pasante #200 de 81,26%. Datos que se detallan en la tabla número 16.

Tabla 14*Resultados del ensayo SPT del séptimo punto de muestreo*

	Estratos	Descripción	Prof.	N
E1		Arena fina arcillosa color café claro, humedad baja de consistencia medianamente compacta	0-1	6
E2		Arcilla color café claro con presencia de arena fina, humedad de media a alta de consistencia medianamente compacta	1-2 2-3	7 7
E3		Arena fina arcillosa color gris verdosa, humedad media de consistencia medianamente compacta	3-4	14
E4		Turba	4-5	Tubo Shelby
E5		Arcilla gris claro con presencia de turba, humedad alta de consistencia blanda	5-6	Tubo Shelby
E7		Arcilla gris claro con algo de arena fina y oxidación, humedad media de consistencia compacta a muy compacta	6-7 7-8 8-9 9-10	15 15 16 15

Nota. Resultados obtenidos en colaboración de la empresa Ingeotop S.A.

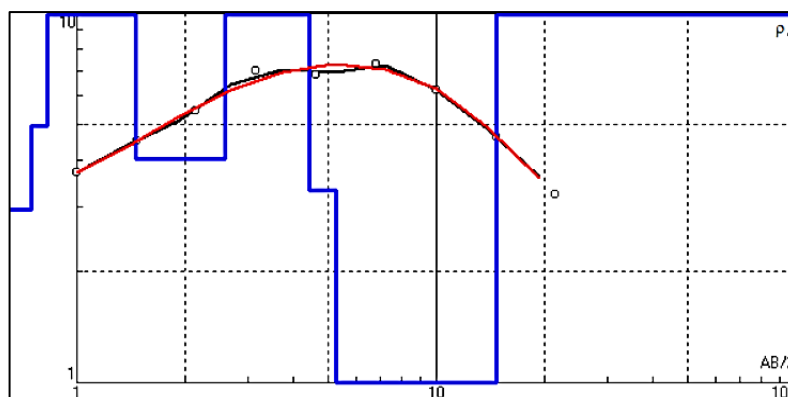
4.2. RESULTADOS DEL O.E2: EJECUTAR ENSAYOS DE SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) CON ARREGLO DE ELECTRODOS SCHLUMBERGER PARA LA OBTENCIÓN DE RESISTIVIDADES A DIFERENTES PROFUNDIDADES DEL SUELO.

Como resultado del segundo objetivo se obtuvo los valores de resistividad a diferentes profundidades, las mismas que fueron procesadas en el software ip2twin para su interpretación y categorización.

SEV 1-1 Bloque 1 UPSE. - Los resultados del primer sondeo mostraron un error correspondiente al 2,27 %, en la figura 7 se aprecia la curva teórica (línea roja) y práctica (línea negra) utilizadas para la corrección e identificación de estratos de suelo en relación con la resistividad.

Figura 8

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos



Nota. Obtenido de ip2twin

La estratigrafía de las capas identificadas durante el sondeo del primer muestreo se interpreta a continuación:

0.00 m– 0.747m de profundidad. -en el primer estrato de suelo identificado con el programa ip2twin se obtuvo una resistividad de $2,89 \Omega\text{m}$ que, de acuerdo con los resultados propuestos por Gia et al. (2003) y Gonçalves et al. (2021) corresponde a un estrato de arcilla con contenido de materia orgánica. Es importante, recordar que de acuerdo con Samouëlian et al. (2005) las arcillas debido a su composición mineralógica presentan resistividades menores a las arenas y gravas dado que la resistividad es medida en la capa superficial que están formadas con los iones y el agua contenida en los espacios intersticiales a diferencia de las arenas y demás materiales granulares que la resistividad responde únicamente al agua contenida en sus espacios intersticiales.

0.747m – 0.831 m de profundidad. - este estrato de suelo se observa la resistividad se incrementa levemente en comparación con el análisis anterior, obteniendo como resultado una medición de $4,94 \Omega\text{m}$ que se mantiene entre el rango sugerido por Gia et al. (2003) y Gonçalves et al. (2021) y por lo tanto se considera un material arcilloso de consistencia blanda con presencia de material orgánico.

0.831m – 1.46m de profundidad. –a esta profundidad de análisis, cercana a la superficie la resistividad se incrementó a $27,70 \Omega\text{m}$ casi un 70% más que la última lectura. De acuerdo con la literatura estos cambios de resistividades se deben a un

cambio de estrato o material predominante, ya que, la resistividad es una medida sensible a la distribución y tamaño de partícula, humedad, saturación, temperatura del suelo, poros, etc. Este valor de resistividad no se encuentra encasillado en los valores propuestos en la tabla 3, sin embargo, se observa que la arcilla arenosa y la grava y arena se encuentran en rangos de 30-225 Ωm , por lo que podría considerarse que el incremento de resistividad se deba a la presencia de arena, sin embargo, se mantiene en rangos de resistividad menores por la presencia de contenido de finos. Para aclarar mejor la clasificación de este trato se recurre a los diagramas de las figuras 2 y 3 propuestas por Samouëlian et al. (2005) y Nokendangba Chang et al. (2021), se observa que los limos se encuentran en un rango superior a 1 hasta 100 $\omega. m$, en consecuencia, se puede concluir que este estrato pertenece a una arena fina o una arena con contenido de arcilla o limo.

1.46m – 2.58m de profundidad. – en el siguiente estrato se observa una disminución de la resistividad con un valor de 4,02 Ωm , similar al estrato 3 analizado previamente, por lo tanto, se evalúa este estrato como una arcilla de acuerdo con Gia et al. (2003) y debido a la profundidad del muestreo no se considerará la presencia de materia orgánica.

2.58m – 4.43m de profundidad. – a los 4,43 m de profundidad se incrementó la resistividad a 14,0 $\omega. m$. Como bien lo podrá apreciar el lector la tendencia de la resistividad para contenidos de arcilla este sondeo se encuentra de 2 a 5 Ωm , por consiguiente, el valor de resistividad apreciado en este estratos se asocia con un cambio del contenido de material, por esta razón, aunque el valor obtenido se encuentra en el rango propuesto por Gonçalves et al. (2021) se optará por considerar un material limoso de acuerdo con el diagrama propuesto por Nokendangba Chang et al. (2021). No obstante, debido a la geología del sector, también se considerará la presencia de arena fina y se determina que este estrato corresponde a una arena limosa o un limo arcilloso.

4.43m – 5.26m de profundidad. - se observa una resistividad de 3,32 Ωm evidenciando una reducción de la resistividad del 70%, lo que sugiere un cambio en la estratigrafía y de acuerdo con gia et al. (2003), Gonçalves et al. (2021)







el diagrama de Samouëlian et al. (2005) y la tendencia en los valores de resistividad de esta columna de suelo, se identifica este estrato como arcilloso.

5.26m – 14.70m de profundidad. – este estrato de suelo particularmente comprende un espesor de 9,44 m y la resistividad más baja de 0,996 Ω m. De acuerdo con los rangos especificados en la tabla 3, estos valores corresponden a arcilla según lo propuesto por Gonçalves et al. (2021). Sin embargo, los valores de la tabla propuestos por Abello (2018) y el diagrama de Samouëlian et al. (2005) sugieren la presencia de agua salobre. De acuerdo, con la perforación 1 a los 8m se sitúa un estrato arcilloso, con este indicio se descarta la posibilidad de yacimiento de agua salobre, no obstante, se debería realizar más sondeos a mayor profundidad para descartar esa formación.

14.70m – infinito. – finalmente, el último estrato corresponde a una resistividad de 19,8 Ω m que corresponde a un estrato de arena fina limosa o arcilla con una disminución del contenido de humedad e incremento de la rigidez o compacidad del estrato.

Tabla 15

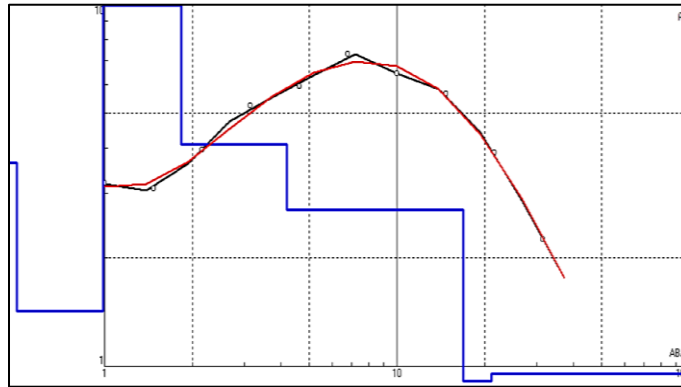
Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el primer punto de muestreo

	Estratos	Descripción	Prof.	ρ
E1		Arcilla blanda con presencia de material orgánico	0-0,747 0,7,47 - 0,831	2,89 4,94
E2		Arena fina limosa	0,831- 1,46	27,70
E3		Arcilla	1,46-2,58	4,02
E4		Arena fina limosa	2,58- 4,43	14,0
E5		Arcilla	4,43-5,26 5,26-14,70	3,32 0,996
E6		Arena fina con contenido de limo o arcilla	14,70- infinito	19,8

SEV N°2-1 Bloque 2 UPSE. – En el segundo punto de muestreo se obtuvo un error del 2,27 % al realizar el ajuste de la curva teórica (línea roja) y práctica (línea negra), como se observa en la figura 8.

Figura 9

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos



Nota. Obtenido de ip2twin

La estratigrafía de las capas identificadas durante el sondeo del primer muestreo se interpreta a continuación en el segundo punto de muestreo se identificaron 4 estratos de suelo, que corresponden a:

0.00 m– 0.5 m de profundidad. - en el primer estrato de suelo identificado en el sondeo 2, se obtuvo una resistividad de $3,66 \Omega m$ cuyo valor coincide con los resultados propuestos por Gia et al. (2003) y Gonçalves et al. (2021) para materiales arcillosos, además como corresponde al estrato más superficial en concordancia con Gonçalves et al. (2021) se estima un contenido de materia orgánica poco significativo. Por lo tanto, se considera que el primer estrato es arcilloso con presencia de materia orgánica.

0.5m – 0.99 m de profundidad. -en el segundo estrato de suelo se observa un valor de resistividad baja correspondiente a $1,42 \Omega m$ al igual que el caso anterior se acoge lo expuesto por Gia et al. (2003) y Gonçalves et al. (2021) y por lo tanto se considera un material arcilloso probablemente de consistencia blanda.

0.99m – 1.83m de profundidad. – cercano a los 2 metros de profundidad se observa un incremento significativo de la resistividad, ahora correspondiente a un valor de $48,2 \omega.m$ lo que sugiere un cambio de estrato de suelo debido a un material

diferente a la arcilla o a su vez a unas condiciones diferentes de humedad, saturación o densidad de la arcilla. Para el análisis de este estrato se consideraron los rangos correspondientes a arena arcillosa y arena y grava en conformidad a lo expuesto por Lisanti et al. (2018) en la tabla 3, cuya resistividad se sitúa en un rango de 30-225 Ωm . En síntesis, este estrato corresponde a una arena arcillosa con presencia de grava.

1.83m – 4.21m de profundidad. – en el siguiente estrato se observa una disminución de la resistividad con un valor de 4,11 Ωm , en consecuencia, se evalúa este estrato como una arcilla de acuerdo con Gia et al. (2003).

4.21m – 16.8m de profundidad. – este estrato de suelo situado a los 4 m de profundidad se caracteriza por concentrar un espesor de 12,6 m y una resistividad baja que permanece constante en todo el estrato de 2,71 Ωm . Dado que es un valor de resistividad bajo se clasificará siguiendo criterio del estrato anterior y de acuerdo con lo referido por Gia et al. (2003). Por lo tanto, se identifica este estrato como material arcilloso.





16.8m – 21m de profundidad. – a los 16,8 metros de profundidad se distingue una capa de suelo con una resistividad de 0,109 Ωm un valor de resistividad bastante bajo que puede estar asociado a dos condiciones principales 1) incremento de la humedad natural del suelo o 2) presencia de yacimientos correspondientes a agua salobre. Debido a las características de la formación geológica de Santa Elena se descarta la presencia de agua salobre y se considera la causa a un incremento de la compactación natural conforme se avanza en profundidad del sondeo. De acuerdo con la teoría propuesta por Samouëlian et al. (2005) la resistividad de las arcillas es cada vez menor conforme se incrementa la humedad, en general un medio con agua siempre tendrá resistividades de suelo menores porque el medio electrolítico favorece a una mejor conducción de la electricidad. Por lo tanto, este estrato se considera como arcilla con alto contenido de humedad.

21m – infinito. – por último, a partir de los 21m de sondeo se aprecia un incremento de la resistividad poco significativo de 0,954 Ωm . De acuerdo con los rangos especificados en la tabla 3, estos valores corresponden a arcilla según lo propuesto

por Gonçalves et al. (2021). Sin embargo, los valores de la tabla propuestos por Abello (2018) y el diagrama de Samouëlian et al. (2005) sugieren la presencia de agua salobre. A esta profundidad no se cuenta con información contrastable para determinar la presencia de yacimientos de agua salobre, sin embargo, se plantean las dos posibles causas tratadas anteriormente.

Tabla 16

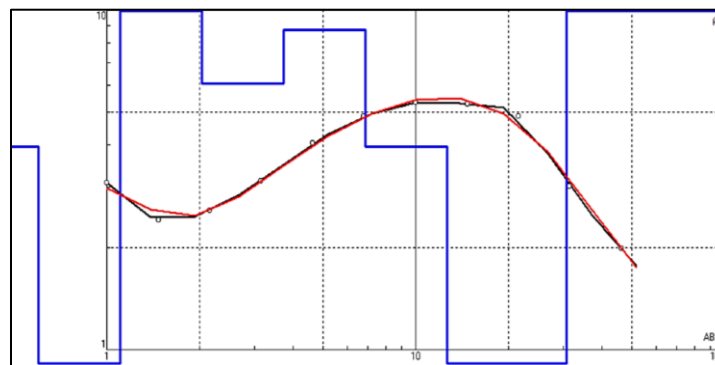
Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el segundo punto de muestreo

	Estratos	Tipo de suelo	Prof.	ρ
E1		Arcilla blanda con presencia de material orgánico	0,0-0,5	3,66
			0,5-0,99	1,42
E2		Arena fina limosa con fragmentos de roca o grava	0,99-1,83	48,2
E3		Arcilla	1,83-4,21	4,11
			4,21-16,8	2,71
E4		Arcilla con alto contenido de humedad	16,8-21	0,109
			21-infinito	0,954

SEV N°3-1 Bloque 2 UPSE. - En el tercer punto de muestreo se identificaron 6 clasificaciones de suelo distintas que se describen en la tabla 14 adjunta a continuación

Figura 10

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos



Nota. Obtenido de ip2twin

0.00 m– 0.6 m de profundidad. - el primer estrato de suelo obtuvo una resistividad de $3,97 \omega. m$, este resultado se encuentra acorde a lo propuesto por gia et all. (2003) y Gonçalves et al. (2021) para materiales arcillosos, además al ser el estrato más superficial se estima un contenido de materia organica poco significativo. Por lo tanto, se considera que el primer estrato es arcilloso con presencia de materia orgánica.

0.6m – 1.1 m de profundidad. - cuando se llega al 1.1 metros de profundidad se observa una disminución de la resistividad del suelo de $0,749 \Omega m$ se acoge lo expuesto por gia et all. (2003) y Gonçalves et al. (2021) considerándose un material arcilloso. Como se ha expuesto anteriormente la disminución paulatina de la resistividad conforme se incrementa la profundidad puede estar asociada a cambios en las condiciones del material, es decir, incremento de humedad natural, aumento de la densidad o compacidad del estrato debido a esfuerzos de pre-consolidación, tamaño de la partícula o el espacio y geometría de los poros. Estos elementos pueden examinarse a través de un estudio mineralógico o pruebas de laboratorio en las que se alteren todos estos factores para conocer su incidencia.

1.1m – 2.03m de profundidad. – a los 2 metros de profundidad la resistividad incrementó a $24,2 \omega. m$, lo que sugiere un cambio de estrato de suelo o un cambio en las propiedades del material. Para este estrato se consideró el rango establecido en el diagrama de Nokendangba Chang et al. (2021) para contenido de limos, ya que, se sitúa en un rango superior a 1 hasta $100 \Omega m$. En relación con los sondeos anteriores se han obtenido incrementos de resistividad a los 2 m de profundidad correspondiendo en su mayoría a arena fina limosa, en consecuencia, se identificó este estrato como arena con contenido de limo.

2.03m – 3.73 m de profundidad. – en el siguiente estrato se observa una disminución de la resistividad correspondiente a $6,09 \Omega m$, en consecuencia, se evalúa este estrato como una arcilla de acuerdo con gia et all. (2003).

3.73 m – 6.86 m de profundidad. - en este estrato de suelo se incrementó levemente la resistividad, alcanzando un valor de $8,76 \Omega m$. Dado que es un valor de resistividad un poco alto a los valores que comúnmente se han asociado a arcillas

en este estudio se considera la presencia de limos o arena fina bajo siguiendo el criterio de Nokendangba Chang et al. (2021).





6.86m – 12.6m de profundidad. – a los 12,6 metros de profundidad se distingue una disminución de la resistividad de 3,96 Ωm , que sugiere un cambio de material. En este caso, se acoge la descripción de tipo de suelo propuesta por Gonçalves et al. (2021) y Gia et al. (2003) y se determina que este estrato de 6 m de profundidad corresponde a un material arcilloso.

12.6m – 30.8m de profundidad. - en el penúltimo estrato al igual que en los sondeos anteriores se observa una disminución de la resistividad considerable de 0,43 Ωm y de conformidad como se ha expuesto en líneas anteriores se atribuye este comportamiento a un cambio en las propiedades de la arcilla principalmente el contenido de humedad y la densidad, en consecuencia, se establece un estrato de arcilla de acuerdo con lo detallado por Gonçalves et al. (2021).

30.8m - infinito. – la última capa de suelo evaluada a los 30,8 m en adelante se observó un incremento de la resistividad de 31,1 Ωm , que podría deberse a cambios en las propiedades de la arcilla sobre la humedad y compactación o a la presencia de materiales granulares como arena y grava que incrementan su valor de resistividad.

Tabla 17

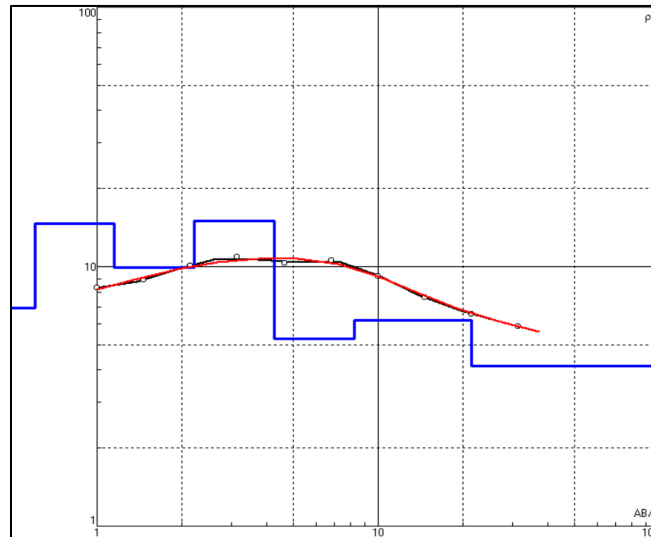
Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el tercer punto de muestreo

	Estratos	Descripción	Prof.	ρ
E1		Arcilla blanda con presencia de material orgánico	0,0-0,6	3,97
			0,6-1,1	0,749
E2		Arena fina limosa	1,1-2,03	24,2
			2,03-3,73	6,09
			3,73-6,86	8,76
E3		Arcilla	6,86-12,6	3,96
			12,6-30,8	0,43
E5		Arena fina o grava	30,8 -infinito	31,1

SEV N°4-3 Bloque 3 UPSE. - En el cuarto sondeo se logró una profundidad de 13, 25 m en la que se identificaron tres estratos de suelo que se detallan en la tabla 14.

Figura 11

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos



Nota. Obtenido de ip2twin

0.00 m–0.6 m de profundidad. - a los primeros 0,6 metros de profundidad se obtuvo una resistividad de 6,941 Ω m, un valor superior a las medidas obtenidas en los tres sondeos anteriores en superficie cuyas resistividades oscilan de 1-5 Ω m, este pequeño análisis sugiere que existen cambios en las propiedades del material, por lo tanto, no se estaría tratando con un material arcilloso, más bien, se infiere en base al diagrama propuesto por (Nokendangba Chang et al., 2021) que el estrato se encuentra constituido por limo y arena fina. Este tipo de suelo como se ha observado en el sondeo 1, 2 y 3 generan un incremento en la resistividad del suelo.

0.6m – 1.154 m de profundidad. - los resultados de la segunda capa de suelo presentan una resistividad de 14,25 Ω m superior al valor observado en la capa anterior. Nuevamente se acoge lo presentado (Nokendangba Chang et al., 2021) y se identifica un tipo de suelo arena fina con limo, sin embargo, se asocia el incremento de esta medida a la presencia de grava o roca fragmentada en pequeñas proporciones.

1.154m – 2.22m de profundidad. - en la tercera de capa de estudio la resistividad disminuyó a $9,94 \Omega m$, se asocia la disminución de la resistividad con la ausencia de contenido de grava o roca fracturada. Para este estrato se consideró el rango establecido en el diagrama de (Nokendangba Chang et al., 2021) para contenido de limos, ya que, se sitúa en un rango superior a 1 hasta $100 \omega. m$ y se establece que el tipo de suelo corresponde a arena fina limosa como se ha observado a esta profundidad de análisis en los sondeos 1,2 y 3.

2.22m – 4.27 m de profundidad. – se observa un incremento de la resistividad de $15 \Omega m$, en consecuencia, se evalúa este estrato con el mismo análisis de la capa anterior y se establece que el suelo corresponde a arena fina limosa.







4.27 m – 8.214 m de profundidad. - la quinta capa presentó una disminución de la resistividad correspondiente a un valor de $5,282 \Omega m$. Por lo tanto, acogiendo el criterio de Gonçalves et al. (2021) y Gia et all. (2003) se considera que el estrato pertenece a arcilla.

8.214m – 21.46m de profundidad. - a los 8,21 metros de profundidad se distingue un incremento de la resistividad correspondiente a $6,189 \Omega m$. Este valor al ser cercano al evidenciado en la primer capa y quinta capa se acogen ambos criterios y se establece que este material corresponde a una arena fina con presencia de limo y arcilla.

21.46m – infinito. - finalmente, la última capa de análisis presenta una resistividad de $4,143 \Omega m$ identificándose como suelo arcilloso de acuerdo con Gonçalves et al. (2021) y Gia et all. (2003).

Tabla 18

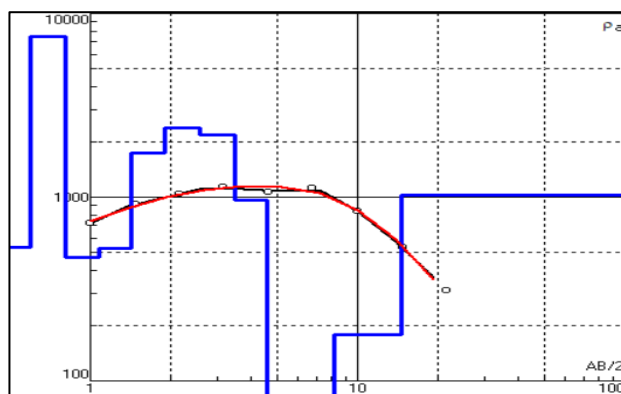
Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el cuarto punto de muestreo

Estratos	Tipo de suelo	Prof.	ρ
E1 	Arena fina limosa	0-0,6	6,941
E2 	Arena fina limosa con fragmento de grava	0,6-1,154	14,65
E3 	Arena fina limosa	1,154-2,22 2,22-4,27	9,947 15,01
E4 	Arcilla	4,27-8,214	5,282
E5 	Arena fina limosa	8,214-21,46	6,189
E6 	Arcilla con alto contenido de humedad	21,46-infinito	4,143

SEV N°5-Ayangue. - Los resultados del sondeo realizado en Ayangue obtuvieron como resultado un porcentaje de error de 2,88% inferior al 3% por lo que se considera aceptable. En la figura 24 se observa el encuadre de la curva práctica con la curva teórica empleado para el ajuste y procesamiento de las resistividades en el software Ip2win.

Figura 12

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos



Nota. Obtenido de ip2twin

0.00 m– 0.6 m de profundidad. - el primer estrato obtuvo una resistividad de 532 Ωm correspondiendo con el rango de valores especificados en el diagrama de la figura 3 en el que se observa que las gravas y arenas se encuentran en un rango de 100- 10000 $\omega. m$ de acuerdo con (Nokendangba Chang et al., 2021). Este resultado coincide con el sitio de estudio correspondiente a un acantilado costero y tal como lo demuestran los resultados en superficie se observó arena con contenido de finos en menor proporción, por lo tanto, en este estrato se identifica una arena limosa.

0.6m – 0.804 m de profundidad. - el segundo estrato de estudio está conformado por una capa que presenta la mayor resistividad observada en los resultados de la columna de suelo, este valor corresponde a 7457 Ωm . Este valor es coherente con el sitio de estudio porque el acantilado costero corresponde con la formación litológica tablazo que se caracteriza por ser una roca caliza compuesta de agrega 400 y 1000 $\omega. m$. En consecuencia, este estrato se identifica como arena, sin embargo, las muestras observadas en campo presentaban contenidos de finos. Por lo tanto, se identifica una arena limosa.

1.43m-4.59 m de profundidad. – el cuarto estrato de la columna de suelo se encuentra conformado por cuatro capas de resistividad, cuyos valores corresponden a 1733, 23,81 y 961 Ωm . Los dos valores corresponden a una formación rocosa, como se mencionó antes dicha formación es el “tablazo”, por lo tanto, se aprecia que los resultados son consecuentes y se clasifican con los rangos de resistividades correspondientes a rocas calizas y areniscas. También, se observa que la última resistividad disminuyó considerablemente, esto se explica porque al ser un acantilado costero conformado por una roca con sedimentos pobremente cementados, puede esta encontrarse intercalada con arena. Por consiguiente, se identifica una roca perteneciente a la formación tablazo intercalada con arena.

4.59 m – 14.5 m de profundidad. - este estrato se encuentra compuesto de tres resistividades 53,8, 47,8 y 179 $\Omega. m$, que, se caracterizan por ser las más bajas de toda la columna de suelo. Estos valores de acuerdo con el diagrama de la figura 2 corresponden a valores de limos, esto es coherente con el análisis del estrato







anterior que indicaba que correspondía con una roca intercalada con arena y en este estrato se puede concluir que corresponde a una arena limosa.

14.5 m – infinito. - el último estrato observado presenta una resistividad de 1025 $\omega.m$ que corresponde a una roca de la formación tablazo, como se describió anteriormente. De acuerdo con el diagrama presentado por Nokendangba Chang et al. (2021), los rangos de resistividad para las formaciones de roca correspondientes a calizas y areniscas se encuentran entre 500 y 10000 Ωm . Por lo tanto, se identifica este estrato como roca perteneciente a la formación tablazo.

0.804m – 1.43m de profundidad. - este estrato se encuentra conformado por dos capas que poseen resistividades de 468 y 528 Ωm respectivamente. Nuevamente, para la identificación de este estrato se considera el diagrama de resistividades para rocas y minerales de Nokendangba Chang et al. (2021), en el que se establece que a las arenas y gravas les corresponde una medida de resistividad que oscila entre

Tabla 19

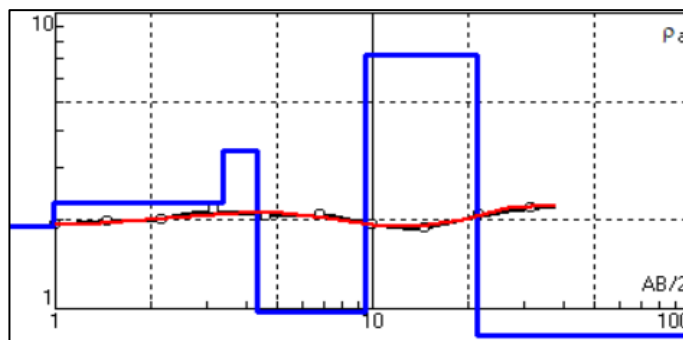
Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el quinto punto de muestreo

Estratos	Descripción	Prof.	ρ
E1 	Arena limosa	0-0,6	532
E2 	Roca o grava	0,6-0,804	7457
E3 	Arena limosa	0,804-1,07	468
E4 	Roca formación Tablazo intercalada con arena	1,43-1,91 1,91-2,56 2,56-3,46 3,46-4,59	1733 2381 2181 961
E5 	Arena limosa	4,59-6,14 6,14-8,16 8,16-14,5	53,8 47,8 179
E6 	Roca formación Tablazo (Coquina)	14,5-infinito	1025

SEV N°6-1 El Tambo. - Los resultados del sondeo realizado en el Tambo se obtuvieron con un porcentaje de error de 0,836% inferior al 3% por lo que se considera aceptable. En la figura 24 se observa el encuadre de la curva práctica con la curva teórica empleado para el ajuste y procesamiento de las resistividades en el software Ip2win.

Figura 13

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos del sexto sondeo




Nota. Obtenido de ip2twin

0.804m – 21,31m de profundidad. - En este sector de estudio se midieron resistividades que oscilan entre 0 y 7 Ω .m, de acuerdo con los autores Gia et al. (2003) y Gonçalves et al. (2021) y los resultados de las perforaciones realizadas en el sitio, estos rangos de resistividad corresponden a un material arcilloso, por lo tanto, se establece que toda esta columna de suelo corresponde a arcilla.

Tabla 20

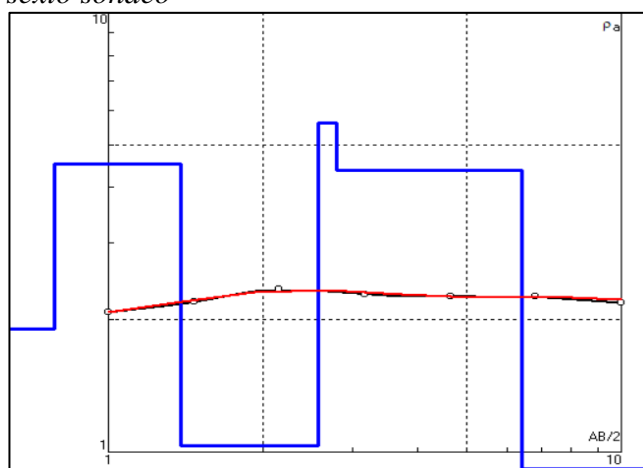
Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el sexto punto de muestreo

Estratos	Descripción	Prof.	ρ
	Arcilla	0,0-0,9875	1,889
		0,9875-3,3745	2,274
		3,3745-4,3129	3,42
		4,3129-9,5136	0,9693
		9,5136-21,31	7,183
		21,31-infinito	0,1712

SEV N°6-2 El Tambo. - Los resultados del sondeo realizado en el Tambo se obtuvieron con un porcentaje de error de 0,836% inferior al 3% por lo que se considera aceptable. En la figura 14 se observa el encuadre de la curva práctica con la curva teórica empleado para el ajuste y procesamiento de las resistividades en el software Ip2win.

Figura 14

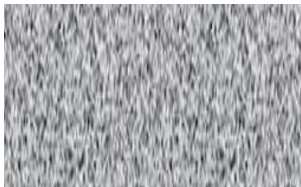
Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos del sexto sondeo



Nota. Obtenido de Ip2win

Tabla 21

Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el sexto punto de muestreo

Estratos	Descripción	Prof.	ρ
E1 	Arcilla	0,0-0,7831	1,905
		0,5-1,385	4,528
		0,804-2,57	1,034
		1,04-2,786	5,608
		1,59-6,410	4,377
		6,410- infinito	0,5775
		0,0-0,7831	1,905

0.804m – 6.410m de profundidad. - En el segundo sondeo de El tambo se midieron resistividades que oscilan entre 0 y 5 Ω . m, de acuerdo con los autores Gia et al. (2003) y Gonçalves et al. (2021) y los resultados de las perforaciones realizadas en el sitio, estos rangos de resistividad corresponden a un material arcilloso, por lo tanto, se establece que toda esta columna de suelo corresponde a arcilla.

SEV N°6-2 El Tambo. - Los resultados del sondeo realizado en Libertador Bolívar se obtuvieron con un porcentaje de error del 10% superior al 3% por consiguiente, se establece que estos resultados presentan una dispersión considerable, esto se debe a que en el sitio del sondeo se encontraron presencia de pilotes de hormigón que muy probablemente las líneas equipotenciales que conducen electricidad toparon, alterando sus resultados. En la figura 15 se observa el encuadre de la curva práctica con la curva teórica empleado para el ajuste y procesamiento de las resistividades en el software Ip2win.

Figura 15

Curva teórica y práctica utilizada para la identificación de estratos del sexto sondeo

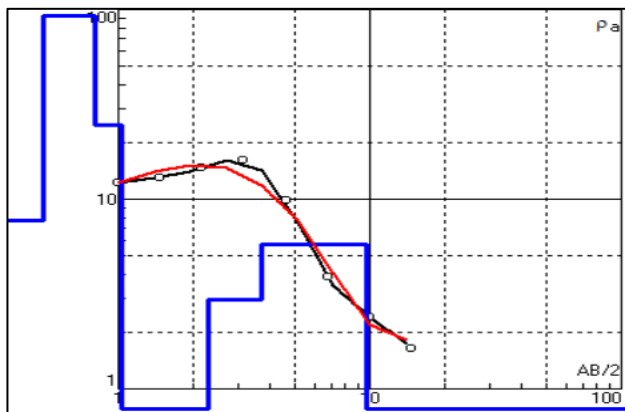






Tabla 22

Resultados del Sondeo eléctrico vertical (SEV) realizado en el sexto punto de muestreo

	Estratos	Descripción	Prof.	ρ
E1		Arena fina limosa	0,0-0,5	7,73
			0,5-0,804	93,20
			0,804-1,04	24,60
E2		Turba	1,04-1,59	0,27
			1,59-2,27	0,28
			2,27-3,71	2,97
E3		Arcilla	3,71-9,68	5,75
E4		Arcilla con alto contenido de humedad	9,68- infinito	0,497

4.3. RESULTADOS DEL O.E3: CORRELACIONAR EL VALOR DE N-SPT OBTENIDO A PARTIR DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV) CON EL VALOR N-SPT OBTENIDO DE LA RECOPIACIÓN DOCUMENTAL DE LOS PERFILES ESTRATIGRÁFICOS EN LOS PREDIOS DE LA UPSE Y EN ZONAS DE DIVERSA RIQUEZA LITOLÓGICA PARA VERIFICAR LA EFICACIA DE LOS MÉTODOS GEOFÍSICOS EN LA EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO.

En cumplimiento del último objetivo de investigación se ponderó el N-SPT calculado a partir de modelos matemáticos presentados por Abello (2018) en el segundo capítulo. Es importante destacar que para los estratos identificados como arcilla se empleo la ecuación de Liu et al. (2008), sin embargo, los estratos identificados como arena limosa y gravas se utilizó la ecuación de Akiniabi y Adeyemi (2014), debido a que, los modelos empleados para este analisis corresponden a estudios realizadas en zonas de estudio de diferente naturaleza litológica, a pesar de que los autores establecen que estas ecuaciones pueden ser empleadas para todo tipo de suelo, los resultados obtenidos en este estudio sugieren que no se obtienen valores iguales en todos los casos, sin embargo, se logran valores cercanos o aproximados. Los resultados de cada sondeo se exponen en las tablas 23,24, 25, 26, 27, 28 y 29 que corresponden a cada sitio de estudio abordado en esta investigación.

Tabla 23

N-SPT calculado versus N-SPT real del primer sondeo

Prof.	ρ	N real	N calculado	Autor
0-0,747	2,89	9	9,347	Liu et al. (2008)
0,747-0,831	4,94		14,062	
0,831-1,46	27,70	16	22,167	Akiniabi y Adeyemi (2014)
1,46-2,58	4,02	28	11,946	Liu et al. (2008)
2,58-4,43	14,0	41	22,03	Akiniabi y Adeyemi (2014)
4,43-5,26	3,32	57	10,336	Liu et al. (2008)
5,26-8,00	0,996	62-51	4,9908	
8,00-14,70	0,996	-	2,7	
14,70-infinito	19,80	-	48,24	Akiniabi y Adeyemi (2014)

Tabla 24*N-SPT calculado versus N-SPT real del segundo sondeo*

Prof.	ρ	N real	N calculado	Autor
0-1,42	3,66	10	11	Liu et al. (2008)
1,42-1,83	1,42	16	6	
1,83-4,21	48,2	24-75	22	Akiniabi y Adeyemi (2014)
4,21-6,00	4,11	50-79	12	Liu et al. (2008)
6,00-9,00	2,71	51	9	
9,00-16,8	0,109	-	3	
16,8-infinito	0,954	-	5	

Tabla 25*N-SPT calculado versus N-SPT real del tercer sondeo*

Prof.	ρ	N real	N calculado	Autor
0,0-0,6	3,97	14	12	Liu et al. (2008)
0,6-1,1	0,749		4	Akiniabi y Adeyemi (2014)
1,1-2,03	24,2	16	22	
2,03-3,73	6,09	18-85	22	
3,73-6,86	8,76	33	22	
6,86-12,6	3,96	-	12	
12,6-30,8	0,43		4	Liu et al. (2008)
30,8 -infinito	31,1		74	Akiniabi y Adeyemi (2014)

Tabla 26*N-SPT calculado versus N-SPT real del cuarto sondeo*

Prof.	ρ	N real	N calculado	Autor
0-0,6	6,941	75	22	Akiniabi y Adeyemi (2014)
0,6-1,154	14,65	78-50	22	
1,154-2,22	9,947	99	22	
2,22-4,27	15,01	50	22	
4,27-8,214	5,282	-	15	Liu et al. (2008)
8,214-21,46	6,189	-	22	Akiniabi y Adeyemi (2014)
21,4-infinito	4,143	-	12	

Tabla 27*N-SPT calculado versus N-SPT real del quinto sondeo*

Prof.	ρ	N real	N calculado	Autor
0-0,6	532	14	27	Akiniabi y Adeyemi (2014)
0,6-0,804	7457		96	
0,804-1,07	468		27	
1,07-1,43	528	37	27	
1,43-1,91	1733		39	
1,91-2,56	2381	46	46	
2,56-3,46	2181		44	
3,46-4,59	961	50	32	
4,59-6,14	53,8	-	22	
6,14-8,16	47,8	-	22	
8,16-14,5	179	-	24	
14,5-infinito	1025	-	32	

Tabla 28*N-SPT calculado versus N-SPT real del sexto sondeo*

Prof.	ρ	N real	N calculado	Autor
0,0-0,9875	1,889	27	7	Liu et al. (2008)
0,9875-3,3745	2,274	26	8	
3,3745-4,3129	3,42	37	11	
4,3129-9,5136	0,9693	26-42	5	
9,5136-21,31	7,183	47	19	
21,31- infinito	0,1712	-	3	

Tabla 29*N-SPT calculado versus N-SPT real del sexto sondeo*

Prof.	ρ	N SPT real	N calculado	Autor
0,0-0,783	1,905	18	7	Liu et al. (2008)
0,783-1,385	4,528		13	
1,385-2,565	1,034	21	5	
2,565-2,786	5,600	21	16	
2,786-6,410	4,377	21	13	
6,410-infinito	0,5775	51	4	

Tabla 30*N-SPT calculado versus N-SPT real del séptimo sondeo*

Prof.	ρ	N real	N calculado	Autor
0,0-0,5	7,73	6	22	Akiniabi y Adeyemi (2014)
0,5-0,804	93,20		23	
0,804-1,04	24,60		22	
1,04-1,59	0,27	7	3	Liu et al. (2008)
1,59-2,27	0,28	7	3	
2,27-3,71	2,97	7	10	
3,71-9,68	5,75	14-16	16	
9,68- infinito	0,497	-	4	

De los resultados obtenidos se observa que en los estratos superior de los sondeos 1 a 5 los valores de N calculado corresponden o se encuentran muy cercanos, mientras que, en los últimos estratos estos valores no corresponden, esto se debe a que la resistividad decrece conforme se incrementa la profundidad. Sin embargo, en los tres últimos sondeos los valores de N calculado no se relacionan, como en el caso de los sondeos 6-1 y 6-2 realizados en El Tambo, se observa que la ecuación de Liu et al. (2008) empleada para arcillas presenta resistividades entre 1 y 5 Ωm , por lo tanto, al ser reemplazados en el modelo matemático da como resultados valores menores que no corresponden a los N reales obtenidos en campo y del mismo modo, en el séptimo sondeo que tuvo lugar en Libertador Bolívar, se observa que al emplear la ecuación de Akiniabi y Adeyemi (2014) los valores de N calculado son mayores que los obtenidos en campo y se debe a que las resistividades

obtenidas en este sondeo a medio metro de profundidad varían de 7 a 93 Ωm , esta amplia dispersión se debe a la presencia de pilotes en el sector donde se realizaron los sondeos interfiriendo en las lecturas del equipo TERRAMETER empleado para este proceso, este material de acuerdo al perfil estratigráfico obtenido por perforaciones y muestreo SPT corresponde a material orgánico y arcilla, en consecuencia, esta dispersión denota uno de las desventajas de emplear este método en terrenos que han sufrido procesos antrópicos como rellenos o intrusión de pilotes.

Si bien, los modelos matemáticos empleados en este estudio muestran un grado de dispersión alto, los autores de este estudio sugieren que debe realizarse un número de sondeos tal que sea posible obtener modelos matemáticos propios y característicos de cada sitio de estudio que reflejen la realidad de la zona estudiada, de este modo, se podrán obtener valores de N calculados cercanos o iguales a los obtenidos en campo. Con los resultados de este objetivo de investigación se demuestra que es posible emplear modelos matemáticos generales realizados en otros países para obtener el número de golpes de un sitio, sin embargo, debido a la heterogeneidad del suelo se recomienda obtener modelos matemáticos propios.

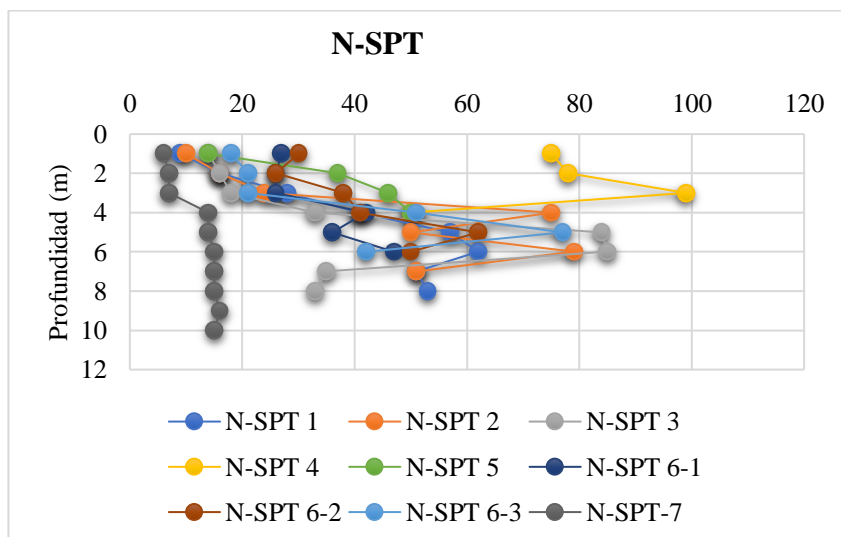
4.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este trabajo de investigación se han sumado esfuerzos para obtener resultados contrastables y lo suficientemente robustos para demostrar que los métodos geofísicos como la resistividad pueden ser empleados como métodos alternativos o complementarios a las técnicas de exploración de subsuelo actuales. Sin embargo, los resultados obtenidos en esta investigación sobre todo en la ponderación del N calculado han evidenciado ciertas incongruencias por lo que este apartado pretende solucionar todas aquellas dudas.

En primera instancia se observa una tendencia creciente de incrementarse el número de golpes conforme se avanza en profundidad, todos los ensayos realizados confirman este postulado, no obstante, en algunas perforaciones estos valores decrecen en los últimos estratos como se observa en la figura 16.

Figura 16

Número de golpes vs Profundidad

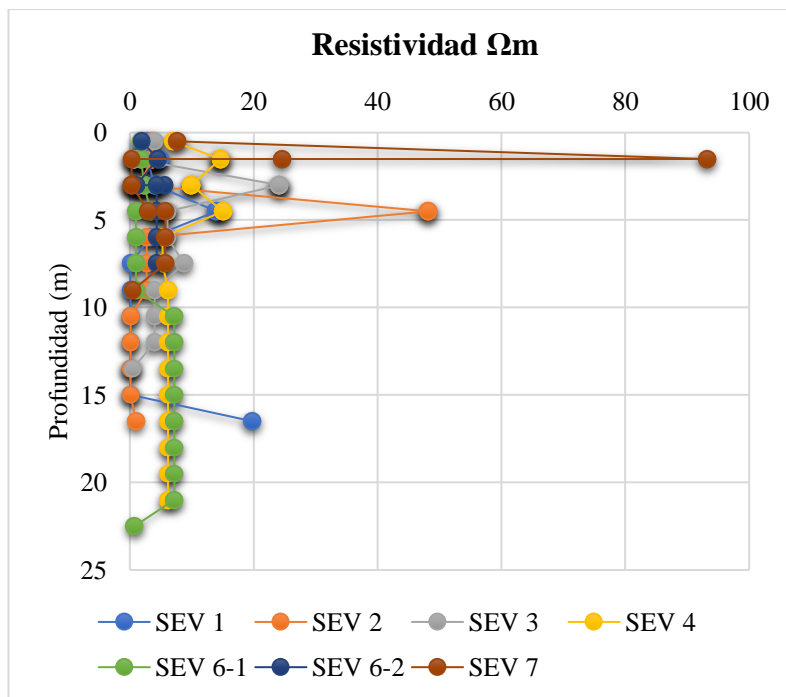


Por lo tanto, para existir una relación entre número de golpes y resistividad estas variables deben seguir una tendencia similar, no obstante, al realizar el mismo análisis con las medidas de resistividad se observa una tendencia contraria a la expuesta en líneas anteriores, en este caso particular, en la mayoría de los valores de resistividad se observa un decrecimiento conforme se avanza en

profundidad. Por lo tanto, aunque, en los primeros estratos los valores de N calculado y real se corresponden, en los últimos estratos no van a relacionarse porque se obtendrán resistividades bajas que al ser reemplazadas en la ecuación como resultado se obtendrán valores de N muy bajos, ni siquiera cercanos a los obtenidos en campo.

Figura 17

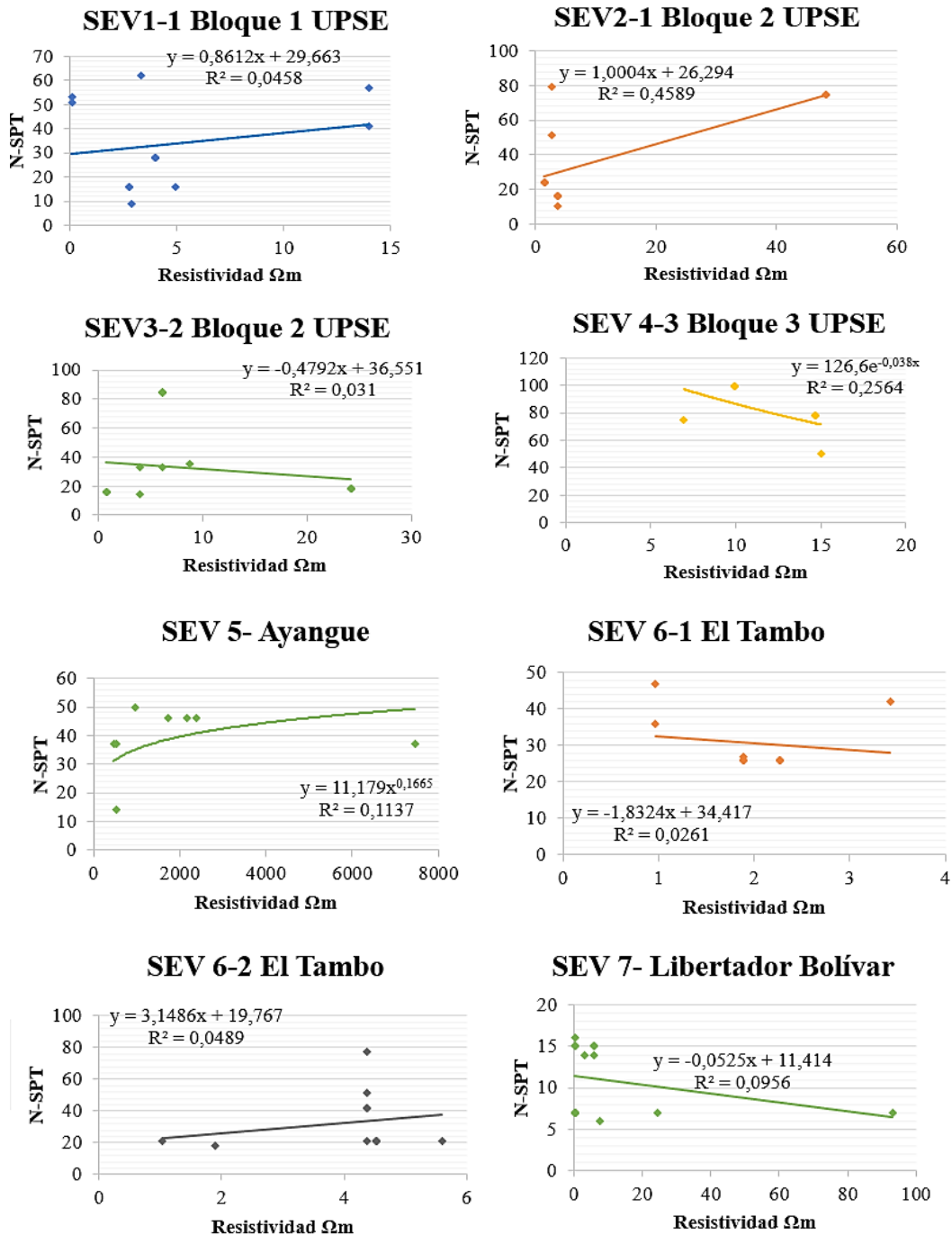
Resistividad vs Profundidad



Este aspecto es más apreciable en las gráficas de correlación entre N-SPT y resistividad presentadas en la figura 17, en las que se observan correlaciones entre medias y bajas que van de un r^2 igual a 0 hasta 30. La dispersión en estos datos denota que no existe una correlación entre número de golpes y resistividad, a pesar de que la evidencia científica así lo sugiere. El factor de mayor incidencia en estos resultados es la falta de datos, debido a que solo se realizó un solo sondeo por cada sitio de estudio, no existe información suficiente para establecer una tendencia ni proponer una ecuación propia de cada sitio para el cálculo de N. Sin embargo, el hecho que estos resultados no se correlacionen no quiere decir que los estratos de suelo no correspondan, puesto que, la interpretación de la resistividad con estos valores fue muy cercanos a los obtenidos en campo con la extracción de muestras de suelo.

Figura 18

Gráficas de correlación entre resistividad y número de golpes

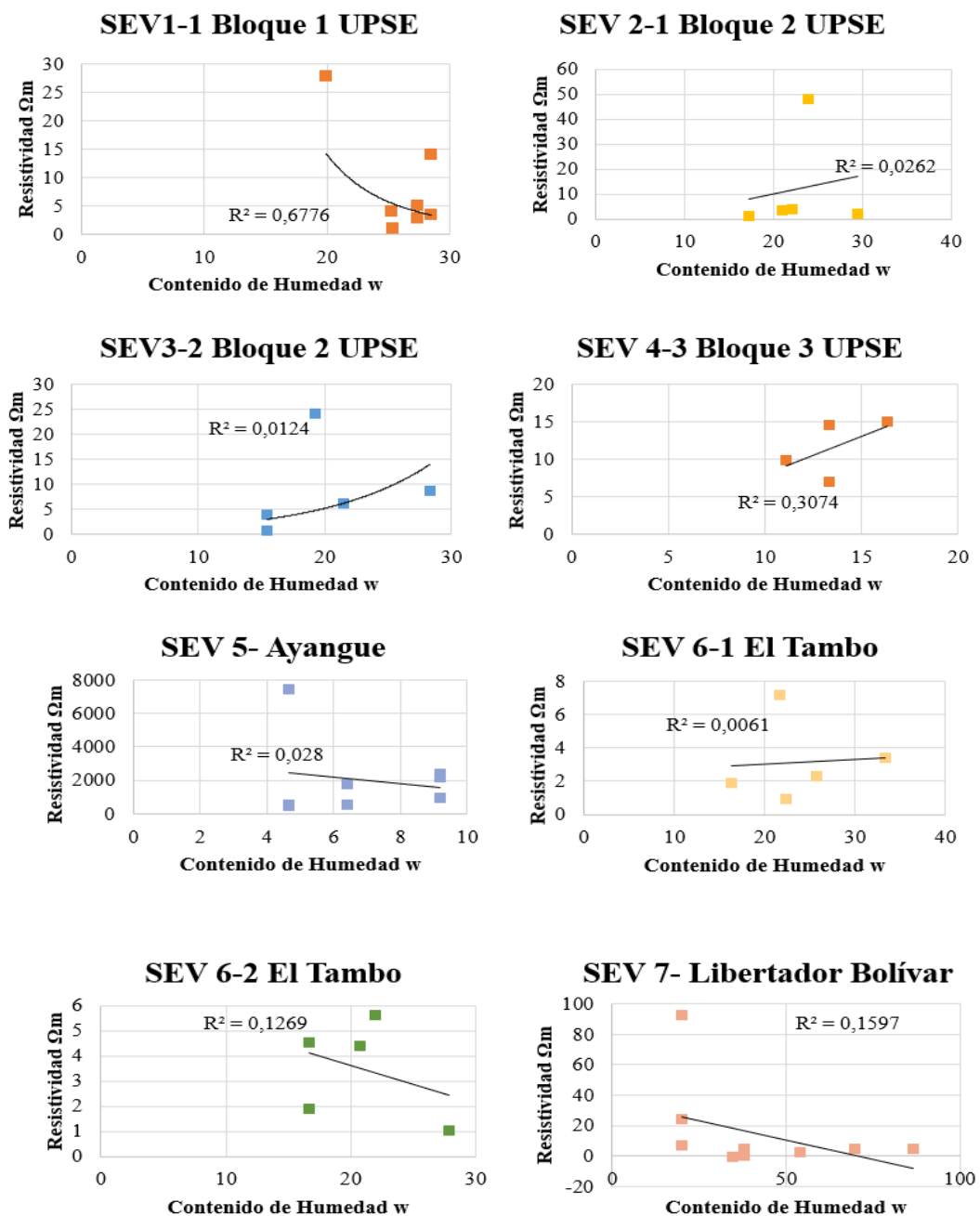


Dado que, la mayoría de los estratos de suelos identificados corresponden se realizaron unas graficas de correlación entre resistividad y contenido de humedad que se observan en la figura 18. Como lo sugiere la teoría estudiada en el capítulo 2, un incremento en el contenido de humedad provoca bajos niveles de resistividad, en todos los casos de estudio se obtuvieron valores de

resistividad bajos por lo que se puede estimar que el contenido de humedad incide estos resultados. Como era de esperarse no todos los resultados muestran esta tendencia, sin embargo, se obtuvo un r^2 de 0,67 en el primer sondeo realizado en UPSE en donde se obtuvieron resistividades bajas para los estratos de arcilla. AL igual que el análisis anterior la falta de datos inciden en estos resultados.

Figura 19

Gráficas de correlación entre resistividad y número de golpes



CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se combinaron esfuerzos para analizar la posibilidad de emplear métodos geofísicos como herramientas complementarias para la exploración del subsuelo y la obtención de características geomecánicas del suelo, en relación con los objetivos planteados se han obtenido los siguientes logros. En relación con el primer objetivo de estudio, se cumplió satisfactoriamente recopilando los perfiles estratigráficos de ocho columnas de suelo localizadas en los predios de la universidad UPSE, en Ayangue, el Tambo y Libertador Bolívar. Además, de la estratigrafía se obtuvieron algunos parámetros geomecánicas de resistencia como la cohesión, ángulo de fricción, distribución granulométrica, contenido de humedad, densidad de la muestra del suelo, índice de plasticidad, entre otros, que sirvieron para la identificación del tipo de suelo presente en cada estrato.

En el segundo objetivo de investigación se obtuvieron los valores de resistividad a diferentes profundidades de muestreo que fueron analizadas mediante rangos de resistividad propuestas por varios autores. Se registraron rangos de resistividades que oscilan entre los 0,1745 Ωm y 2381 Ωm , de los cuales los rangos de 0-6 Ωm corresponden a estratos de arcilla, mientras que los valores de 6 a 100 Ωm correspondieron a estratos de arena fina limosa, y arena fina con presencia de roca triturada o grava, de 100 a 500 Ωm estratos de arena y finalmente los rangos de 500 a 3000 Ωm correspondieron a roca coquina con un nivel de sedimentación pobre similar al material que se encuentra en la formación tablazo

También se verificaron los resultados obtenidos tanto con ensayo SPT y sondeo eléctrico vertical mediante una comprobación de estratigrafías en las que se evaluó si ambos métodos identificaban el mismo tipo de suelo, los resultados fueron favorables ya que, se encontraron muy cercanos ambos métodos logrando identificar el mismo perfil de suelo mediante dos metodologías diferentes. En adición, se realizaron gráficas de dispersión que permitieron concluir que existe una

dispersión muy amplia de datos debido probablemente a un número limitado de sondeos en cada una de las zonas de estudio.

Finalmente, se concluye que los métodos geofísicos como la resistividad eléctrica obtenida con sondeo eléctrico vertical permiten correlacionar la estratigrafía de una columna de suelo con otro perfil obtenido a partir de métodos geotécnicos de exploración del subsuelo con muestreo mediante el ensayo SPT. Por lo tanto, se ha demostrado la eficacia del método como herramienta complementaria en las exploraciones del subsuelo.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda ser muy cautelosos a l momento de realizar a la extracción de muestras mediante ensayo SPT, sobre todo, tener cuidado de no alterar las muestras de suelo para que los resultados sean lo más acercado posible a lo que sucede en el terreno natural.

También se recomienda tener cuidado en la manipulación del equipo TERRAMETER SAS 4000 al momento de emitir la corriente a los electrodos para que los resultados sean coherentes con la estratigrafía del suelo, además, se sugiere la revisión de las formaciones geológicas presentes en la zona de estudio al momento de realizar la interpretación de los valores de resistividad para identificar l tipo de suelo. En adición, se sugiere realizar más de un sondeo en el sitio de interés para obtener la mayor cantidad de datos posibles y evitar tener dispersiones tan altas al momento de correlacionar los valores de resistividad y número de golpes.

En adición, se sugiere en estudios posteriores realizar perforaciones tales que se logre una profundidad igual o muy cercana a las que se obtiene con el arreglo de electrodos empleado , de este modo, al realizar las correlaciones se asegura que todos los datos de resistividad puedan ser representados en la gráfica de correlación con un valor de N que le corresponda a la misma profundidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Abello, Y. M. (2018). *VERIFICACIÓN DE LA EFICACIA DEL MÉTODO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA EL USO COMPLEMENTARIO AL ENSAYO SPT*.
- Akip Tan, S. N. M., Tonnizam, M. E., Saad, R., Md Dan, M. F., Nordiana, M. M., Hazreek, Z. A. M., & Madun, A. (2018). Correlation of Resistivity Value with Geotechnical N-Value of Sedimentary Area in Nusajaya, Johor, Malaysia. *Journal of Physics: Conference Series*, 995(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/995/1/012079>
- Alekseev, I., Kostecki, J., & Abakumov, E. (2017). Vertical electrical resistivity sounding (VERS) of tundra and forest tundra soils of Yamal region. *International Agrophysics*, 31(1), 1–8. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0037>
- Calle Ernesto Patricio, F., & Suarez Jhenifer Cristina, P. (2017). La Resistividad De Rocas Y Su Relación Con La Resistencia a Compresión Simple En Mina. *CIENCIA y TECNOLOGÍA*, 21, 61–67.
- 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, J. D., & Gavis, 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.
- Gonçalves, J. T. D., Botelho, M. A. B., Machado, S. L., & Netto, L. G. (2021). Correlation between field electrical resistivity and geotechnical SPT blow counts at tropical soils in Brazil. *Environmental Challenges*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100220>
- Hatta, K. A., & Syed Osman, S. B. A. (2015). Correlation of Electrical Resistivity and SPT-N Value from Standard Penetration Test (SPT) of Sandy Soil.

Applied Mechanics and Materials, 785, 702–706.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.785.702>

Hernández Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación: Selección de la muestra*. www.elosopanda.com

Iffah Ismail, N., & Wan Yaacob, W. Z. (2018). APPLICATION OF ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY (ERT) FOR SLOPE FAILURE INVESTIGATION: A CASE STUDY FROM KUALA LUMPUR. *Jurnal Teknologi*, 80(5), 2180–3722. www.jurnalteknologi.utm.my

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>

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, M., Chuk, D., & Rossini, B. (2013). Determinación de perfiles de humedad en suelos homogéneos a través de un método geoelectrico. *Ciencia Del Suelo*, 31(2), 271–277.

Oh, S., & Sun, C. G. (2008). Combined analysis of electrical resistivity and geotechnical SPT blow counts for the safety assessment of fill dam. *Environmental Geology*, 54(1), 31–42. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0790-y>

Quelal, A. (2019). *DETECCIÓN DE LA PLUMA DE CONTAMINACIÓN DE LIXIVIADOS DEL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN BOLÍVAR-CARCHI MEDIANTE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES* (Vol. 2, Issue 1). http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84865607390&partnerID=tZOtx3y1%0Ahttp://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=2LIMMD9FVXkC&oi=fnd&pg=PR5&dq=Principles+of+Digital+Image+Processing+fundamental+techniques&ots=HjrHeuS_

- Ramírez, A. (2017). *EVALUACIÓN POR MÉTODOS NO CONVENCIONALES DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DEL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA DE SAN MARTÍN-REGION DE SAN MARTÍN*". UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO.
- Samouëlian, A., Cousin, I., Tabbagh, A., Bruand, A., & Richard, G. (2005). Electrical resistivity survey in soil science: A review. In *Soil and Tillage Research* (Vol. 83, Issue 2, pp. 173–193). <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.10.004>
- Sarzosa, D., Chipugsi, J., Caicedo, H., Murillo, L., & Peña, B. (2020). Optimización del sistema de puesta a tierra en la Planta de Tratamiento de Conocoto, Quito-Ecuador. *Revista Científica A.S.A.*, 23(43), 69–84.
- 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>
- Tarmizi, Saad, R., Muztaza, N. M., Ismail, N. A., Saidin, M. M., & Mohamad, E. T. (2016). *Jurnal Teknologi INTEGRATION OF SPT (N-VALUE), MACKINTOSH PROBE (M-VALUE) AND RESISTIVITY VALUES*. 6, 87–92.
- Urdanivia, H. (2019). *Relación entre el tipo de suelo (SUCS y AASHTO) y el asentamiento de suelos para determinar asentamientos diferenciales en cimientos de concreto armado*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Zhang, T., Liu, S., & Cai, G. (2018). Correlations between electrical resistivity and basic engineering property parameters for marine clays in Jiangsu, China. *Journal of Applied Geophysics*, 159, 640–648. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.10.012>

ANEXOS

Anexo 1

Ejecución de perforaciones con el método de percusión y lavado y muestreo SPT



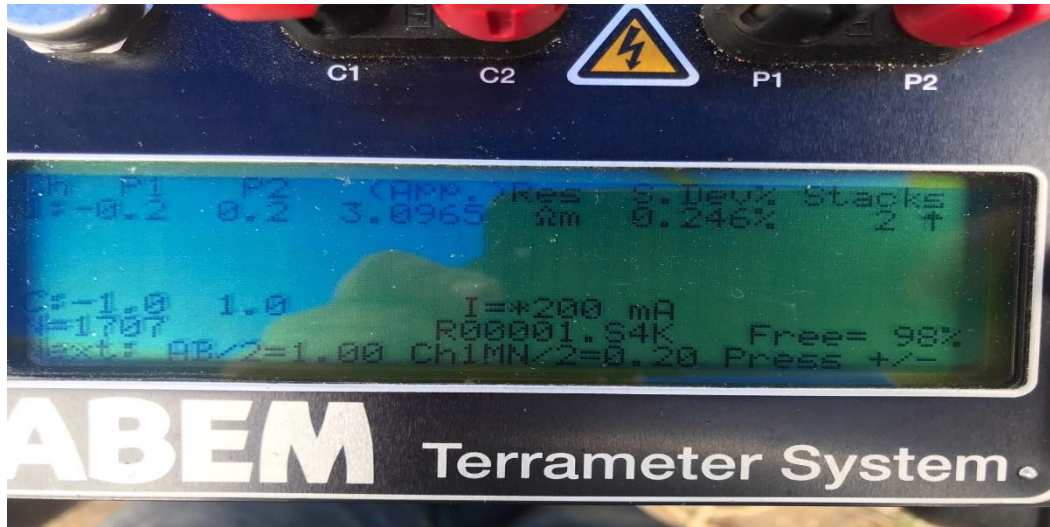
Anexo 2

Ejecución de perforaciones con el método de percusión y lavado y muestreo SPT



Anexo 3

Ejecución de sondeo eléctrico vertical en el área destinada a la construcción de bloques de aulas de la UPSE



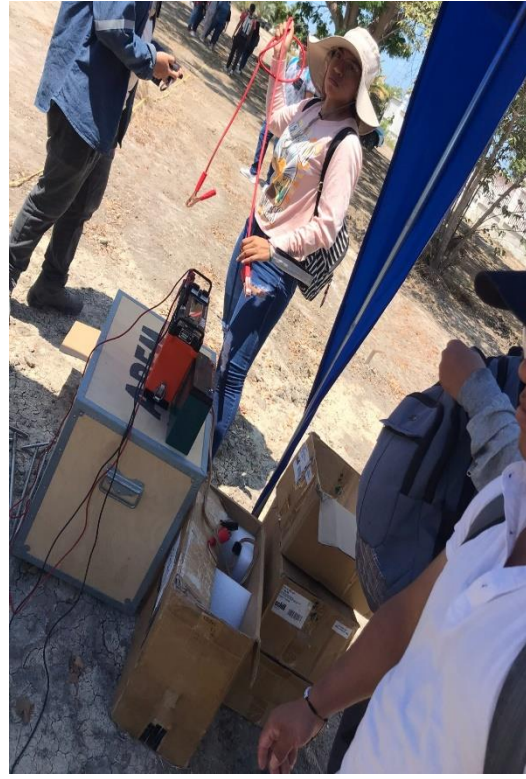
Anexo 4

Ejecución de sondeo eléctrico vertical en el área destinada a la construcción de bloques de aulas de la UPSE



Anexo 5

Ejecución de sondeo eléctrico vertical en el área destinada a la construcción de bloques de aulas de la UPSE



Anexo 6

Ejecución de sondeo eléctrico vertical en el sector “El Tambo”



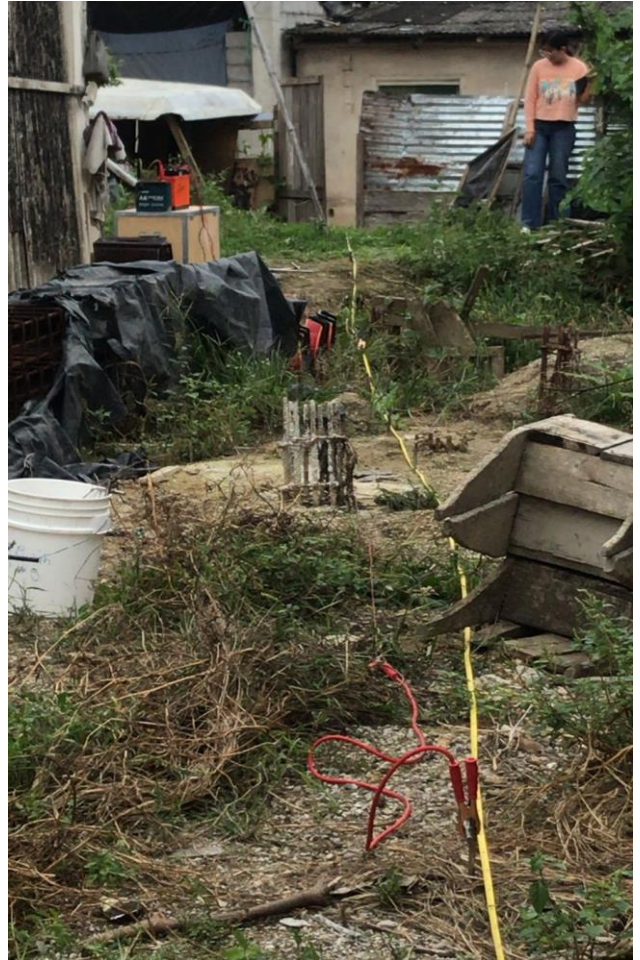
Anexo 7

Ejecución de sondeo eléctrico vertical en el sector “El Tambo”



Anexo 8

Ejecución de sondeo eléctrico vertical en el sector "Simón Bolívar"



Anexo 9

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



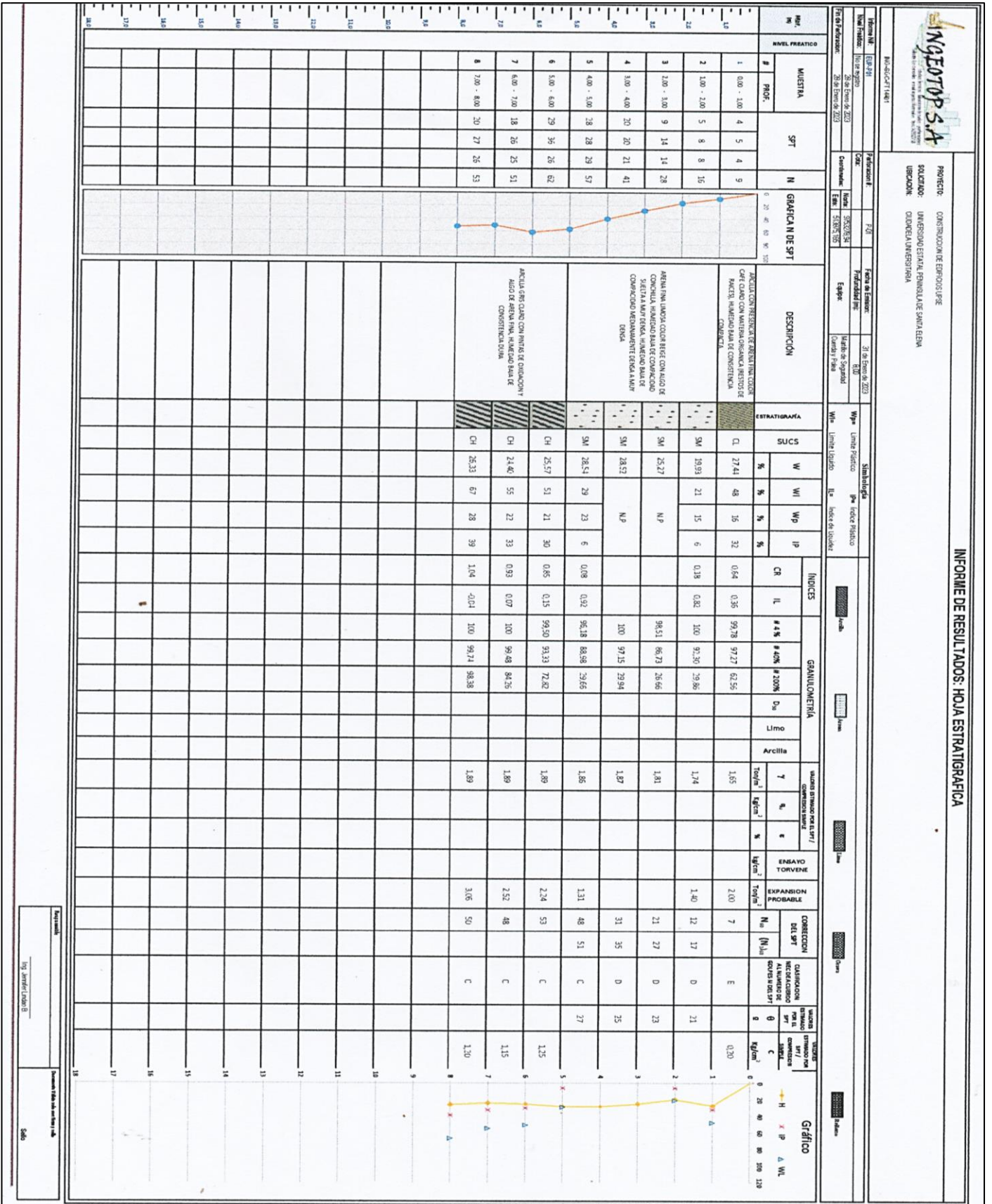
Anexo 10

Medición de los estratos de roca identificados en Ayangue



Anexo 11

Perfil estratigráfico mediante ensayo SPT del prime punto de análisis



INGENIERO: _____

PROYECTO: _____

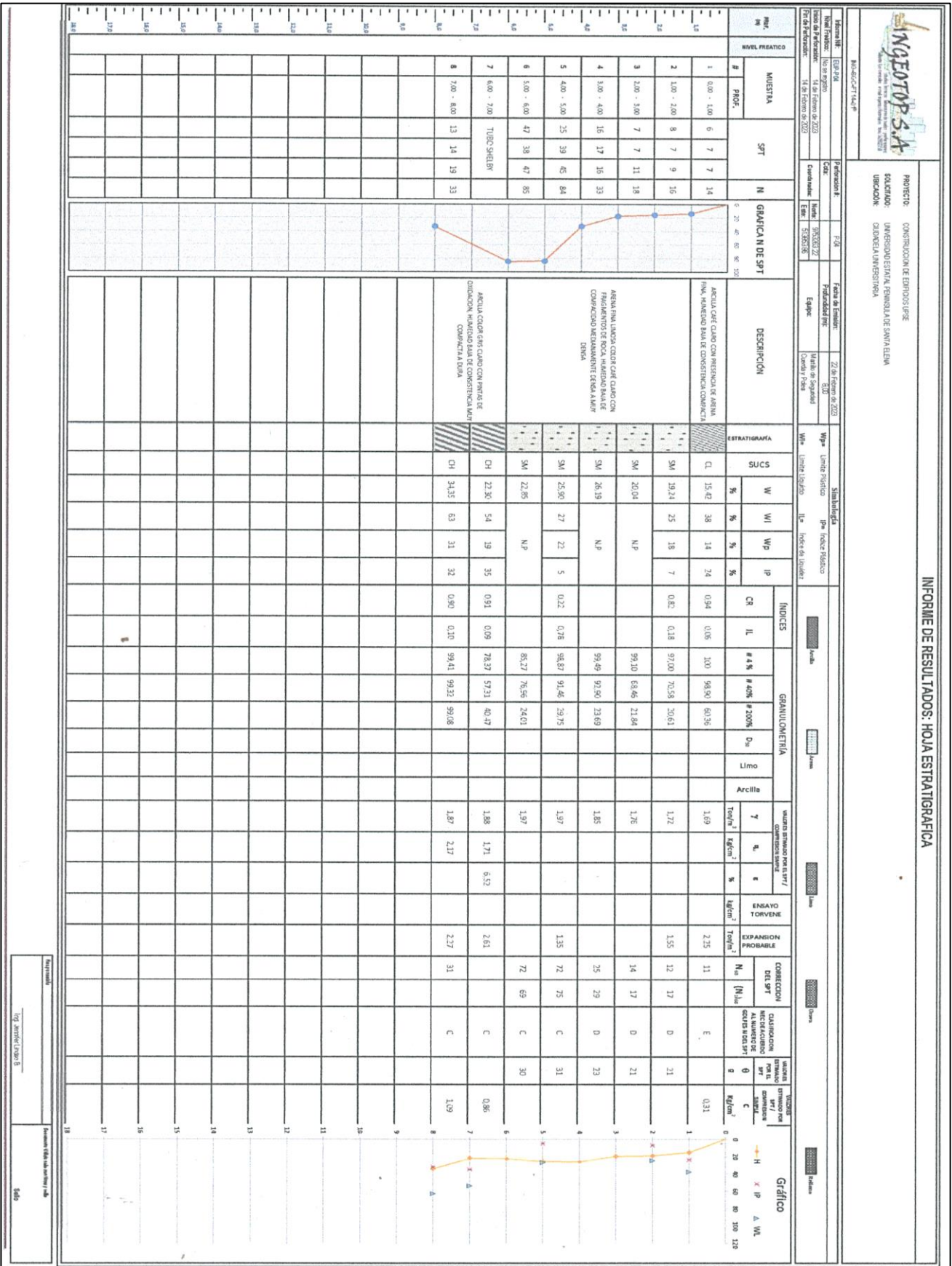
UBICACION: _____

FECHA: _____

ESCALA: _____

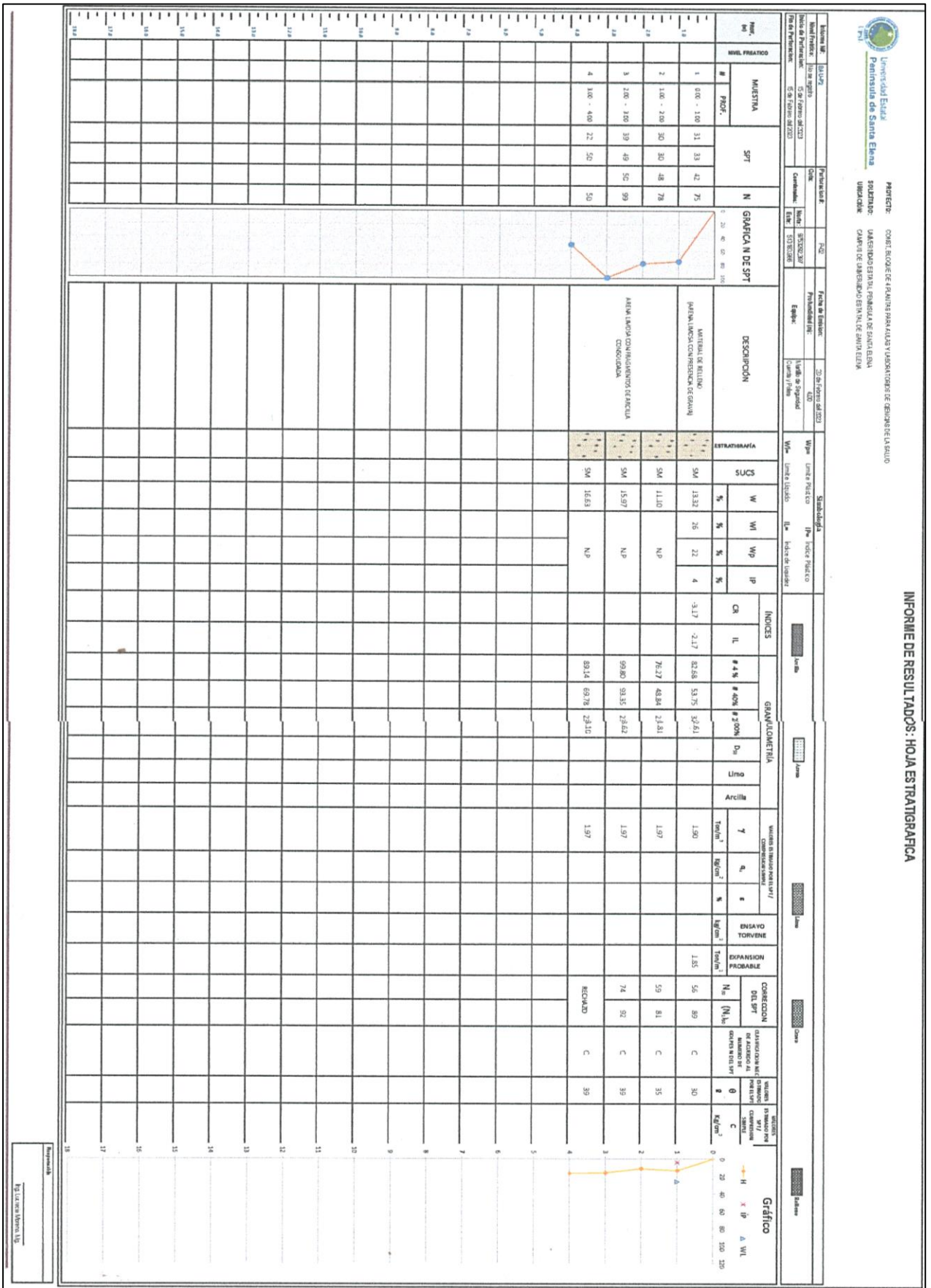
Anexo 13

Perfil estratigráfico mediante ensayo SPT del tercer punto de análisis



Anexo 14

Perfil estratigráfico mediante ensayo SPT del cuarto punto de análisis



Anexo 15

Perfil estratigráfico mediante ensayo SPT del quinto punto de análisis

Información del Proyecto		Información del Cliente		Información del Sitio		Información del Muestreo		Información del Laboratorio	
Proyecto:	ELITE EQUIPOS S.A	Cliente:	INTEC	Ubicación:	BOYACÁ DE PERFORACIÓN	Fecha de Emisión:	16 de Junio de 2023	Wp	Unidad Práctico
Contratante:	WICONSPECTORIALBOYACA	Forma:	5732275	Descripción:	BOYACA DE PERFORACIÓN	Fecha de Perforación:	6 de Junio de 2023	Pp	Índice Práctico
Contratado:	WICONSPECTORIALBOYACA	Tip. de Perforación:	32798	Profundidad:	18 m de Perforación	Fecha de Perforación:	6 de Junio de 2023	Wp	Unidad Práctico
Ubicación:	CALLE CALA DEL SOL C.A. FINCA - SANTA ELENA							Wp	Unidad Práctico
Profundidad (m)	0.00	Longitud Tramo (m)		Perforación	18 m	Perforación	18 m	Perforación	18 m
	1.00	Perforación (m)		Revoluciones (rpm)	150	Revoluciones (rpm)	150	Revoluciones (rpm)	150
	2.00	Cercha W/D (mm)		Método (S/R/P)	0-0	Método (S/R/P)	0-0	Método (S/R/P)	0-0
	3.00	Revoluciones (rpm)		Velocidad avance (m/s)	0-0	Velocidad avance (m/s)	0-0	Velocidad avance (m/s)	0-0
	4.00	Fluido utilizado (S/R/A/L/U)		Fluido utilizado (S/R/A/L/U)		Fluido utilizado (S/R/A/L/U)		Fluido utilizado (S/R/A/L/U)	
	5.00								
	6.00								
	7.00								
	8.00								
	9.00								
	10.00								
	11.00								
	12.00								
	13.00								
	14.00								
	15.00								
	16.00								
	17.00								
	18.00								
	19.00								
	20.00								
	21.00								
	22.00								
	23.00								
	24.00								
	25.00								
	26.00								
	27.00								
	28.00								
	29.00								
	30.00								
	31.00								
	32.00								
	33.00								
	34.00								
	35.00								
	36.00								
	37.00								
	38.00								
	39.00								
	40.00								
	41.00								
	42.00								
	43.00								
	44.00								
	45.00								
	46.00								
	47.00								
	48.00								
	49.00								
	50.00								
	51.00								
	52.00								
	53.00								
	54.00								
	55.00								
	56.00								
	57.00								
	58.00								
	59.00								
	60.00								
	61.00								
	62.00								
	63.00								
	64.00								
	65.00								
	66.00								
	67.00								
	68.00								
	69.00								
	70.00								
	71.00								
	72.00								
	73.00								
	74.00								
	75.00								
	76.00								
	77.00								
	78.00								
	79.00								
	80.00								
	81.00								
	82.00								
	83.00								
	84.00								
	85.00								
	86.00								
	87.00								
	88.00								
	89.00								
	90.00								
	91.00								
	92.00								
	93.00								
	94.00								
	95.00								
	96.00								
	97.00								
	98.00								
	99.00								
	100.00								

Anexo 18

Perfil estratigráfico mediante ensayo SPT del séptimo punto de análisis



PROYECTO: DINAMIC ANIS HOSITAL
 PROPIETARIO: SR. VICTOR GUAJE MINOZ
 SOLICITADO: ARIQ CARLOS GONZALEZ, ARIQ EFREN GONZALEZ

INFORME DE RESULTADOS: HOJA ESTRATIGRAFICA

Información		Categoría		Fecha de Emisión		Simbología		ÍNDICES		GRANULOMETRÍA				VALORES ESTIMADOS POR EL SPT / COMPRESIÓN SIMPLE				ENSAYO TORVENE		CORRECCION		VALORES ESTIMADOS POR EL SPT / COMPRESIÓN SIMPLE							
Nombre del Proyecto	13.00m	Indicador	17 de Mayo del 2021	Indicador	302208	Indicador	302208	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador	Indicador						
Prof. (m)	NIVEL FREÁTICO	#	POZOS	SPT	N	GRÁFICA N DE SPT	DESCRIPCIÓN	ESTRATIGRAFÍA	SUCS	W	WI	WP	IP	CR	IL	# 4 %	# 40 %	# 200 %	D ₅₀	Limo	Arcilla	γ	q _c	σ	EXPANSION PROBABLE	N ₆₀	CLASIFICACION	ESTIMADO	ESTIMADO
1.0		1	0.20 - 1.00	3	4	2	ARENA FINA ARIQUILUSA COLORES CAJERO HUMEDAD BAJA DE CONSISTENCIA COMPACTA	ESQUEMAS	SC	19.80	44	17	27	-0.90	0.10	99.61	98.52	30.90				1.58	0.87		2.26	5	E	0.29	
2.0		2	1.00 - 2.00	3	3	4	ARENA FINA ARIQUILUSA COLORES CAJERO HUMEDAD DE MEDIA A ALTA DE CONSISTENCIA MEDIANAMENTE COMPACTA		CH	34.74	64	25	39	-0.8	0.2	100	97.21	76.67				1.61	0.98		2.30	5	E	0.33	
3.0		3	2.00 - 3.00	4	2	5	ARENA FINA ARIQUILUSA COLORES CAJERO HUMEDAD DE MEDIA A ALTA DE CONSISTENCIA MEDIANAMENTE COMPACTA		CH	54.08	55	24	31	0.0	1.0	100	98.29	65.70				1.61	0.98		1.13	5	E	0.33	
4.0		4	3.00 - 4.00	2	2	12	ARENA FINA ARIQUILUSA COLORES CAJERO HUMEDAD DE MEDIA A ALTA DE CONSISTENCIA MEDIANAMENTE COMPACTA		SC	40.90	44	22	22	-0.14	0.86	100	98.86	38.08				1.72	0.94		1.28	11	E	0.31	
5.0		5	4.00 - 5.00				TURBA		PT	86.49	111	41	70	-0.35	0.65	99.39	94.28	77.55				1.40	0.11	11.38	1.52		E	0.06	
6.0		6	5.00 - 6.00				ARENA FINA ARIQUILUSA COLORES CAJERO HUMEDAD ALTA DE CONSISTENCIA BANDA		CH	69.84	106	43	63	-0.57	0.43	100	97.74	92.42				1.70	0.50	11.18	2.14		D	0.25	
7.0		7	6.00 - 7.00	4	6	9	ARENA FINA ARIQUILUSA COLORES CAJERO HUMEDAD ALTA DE CONSISTENCIA BANDA		CH	39.83	89	34	55	-0.89	0.11	100	99.11	90.53				1.80	1.44		3.37	14	D	0.48	
8.0		8	7.00 - 8.00	6	7	8	ARENA FINA ARIQUILUSA COLORES CAJERO HUMEDAD ALTA DE CONSISTENCIA BANDA		CH	36.09	80	30	50	-0.88	0.12	100	98.84	86.26				1.80	1.44		3.09	14	D	0.48	
9.0		9	8.00 - 9.00	7	8	8	ARENA FINA ARIQUILUSA COLORES CAJERO HUMEDAD ALTA DE CONSISTENCIA BANDA		CH	39.32	72	24	48	-0.68	0.32	100	96.76	86.56				1.85	1.49		2.40	15	D	0.50	
10.0		10	9.00 - 10.00	7	7	8	ARENA FINA ARIQUILUSA COLORES CAJERO HUMEDAD ALTA DE CONSISTENCIA BANDA		CH	36.77	74	31	43	-0.87	0.13	100	99.23	95.03				1.80	1.44		2.88	14	D	0.48	

Responsable: _____
 Ing. Jennifer Echeverri B. _____
 Página: 5 de 6

Perfil estratigráfico mediante ensayo SPT del quinto punto de análisis

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA					
		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL					
		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS					
		SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER					
Proyecto:	Analogía del perfil estratigráfico obtenidos por métodos geofísicos y exploración con percusión y lavado en el proyecto UPSE.			Croquis			
Ubicación:	Predio UPSE						
Coordenadas	Norte	9753278,94					
	Este	513875,165					
	Z:	0					
Codigo:	SEV-1						
Fecha:	1/2/2023						
Estación	Abertura			Constante	Resistencia	Resistividad	Desviación estándar (%)
Punto	AB/2 (m)	MN (m)	MN/2 (m)	K	(Ohm)	(Ohm-m)	
1	1,00	0,40	0,20	7,54	12,2553	3,6961	0,007
2	1,47	0,40	0,20	16,66	14,9311	4,5031	0,001
3	2,15	0,40	0,20	35,99	18,0701	5,4498	0,0087
4	3,16	0,40	0,20	78,11	23,2101	7,0000	0,0028
5	4,64	0,40	0,20	168,78	27,3637	8,2527	0,075
6	4,64	1,00	0,50	66,85	2,3893	5,6297	0,018
7	6,81	0,40	0,20	363,92	29,2822	8,8313	0,013
8	6,81	1,00	0,50	144,91	2,5595	6,0306	0,173
9	10,00	1,00	0,50	313,37	2,6244	6,1837	0,107
10	14,70	1,00	0,50	678,08	2,1985	5,1800	0,854
11	14,70	4,00	2,00	166,58	0,0549	4,1429	0,445
12	21,50	1,00	0,50	1451,42	1,5802	3,7232	5,9
13	21,50	4,00	2,00	359,91	0,0373	2,8131	4,56

Anexo 20

Datos de resistividad obtenidos en campo del segundo punto de análisis

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA						
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL						
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
	SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER						
Proyecto:	Analogía del perfil estratigráfico obtenidos por métodos geofísicos y exploración con percusión y lavado en el proyecto UPSE.			Croquis 			
Ubicación:	Predio UPSE						
Coordenadas	Norte	9753275,65					
	Este	513863,89					
	Z:	0					
Codigo:	SEV-2						
Fecha:	1/2/2023						
Estación	Abertura			Constante	Resistencia	Resistividad	Desviación estándar (%)
Punto	AB/2 (m)	MN (m)	MN/2 (m)	K	(Ohm)	(Ohm-m)	
1	1,00	0,40	0,20	7,54	10,6103	3,2	0,113
2	1,47	0,40	0,20	16,66	10,2456	3,09	0,240
3	2,15	0,40	0,20	35,99	13,1412	3,9633	0,592
4	3,16	0,40	0,20	78,11	17,4414	5,2602	0,480
5	4,64	0,40	0,20	168,78	22,4458	6,7695	0,471
6	4,64	1,00	0,50	66,85	2,2152	5,2194	0,077
7	6,81	0,40	0,20	363,92	27,7792	8,378	0,075
8	6,81	1,00	0,50	144,91	2,6935	6,3464	0,077
9	10,00	1,00	0,50	313,37	2,7310	6,4347	0,251
10	14,70	1,00	0,50	678,08	2,5355	5,9742	0,390
11	14,70	4,00	2,00	166,58	0,0714	5,3802	0,112
12	21,50	1,00	0,50	1451,42	1,5507	3,6537	0,000
13	21,50	4,00	2,00	359,91	0,0550	4,1468	0,459
14	31,60	4,00	2,00	781,13	0,0298	2,2474	0,829

Anexo 21

Datos de resistividad obtenidos en campo del tercer punto de análisis

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA						
		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL						
		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
		SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER						
Proyecto:	Analogía del perfil estratigráfico obtenidos por métodos geofísicos y exploración con percusión y lavado en el proyecto UPSE.			Croquis				
Ubicación:	Predio UPSE							
Coordenadas	Norte	9753263,22						
	Este	513853,86						
	Z:	0						
Codigo:	SEV-3							
Fecha:	14/2/2023							
Estación	Abertura			Constante	Resistencia	Resistividad	Desviación	
Punto	AB/2 (m)	MN (m)	MN/2 (m)	K	(Ohm)	(Ohm-m)	estándar (%)	
1	1,00	0,40	0,20	7,54	10,26715	3,0965	0,246	
2	1,47	0,40	0,20	16,66	7,97002	2,4037	0,067	
3	2,15	0,40	0,20	35,99	8,53402	2,5738	0,777	
4	3,16	0,40	0,20	78,11	10,40741	3,1388	0,290	
5	4,64	0,40	0,20	168,78	13,35509	4,0278	0,129	
6	4,64	1,00	0,50	66,85	1,73203	4,0810	0,059	
7	6,81	0,40	0,20	363,92	16,02491	4,8330	0,919	
8	6,81	1,00	0,50	144,91	2,07487	4,8888	0,102	
9	10,00	1,00	0,50	313,37	2,26624	5,3397	0,677	
10	14,70	1,00	0,50	678,08	2,11583	4,9853	0,8019	
11	14,70	4,00	2,00	166,58	0,07426	5,5987	0,188	
12	21,50	1,00	0,50	1451,42	2,11494	4,9832	0,812	
13	21,50	4,00	2,00	359,91	0,06314	4,7604	0,407	
14	31,60	4,00	2,00	781,13	0,04013	3,0254	0,028	
15	46,40	4,00	2,00	1687,79	0,03513	2,6487	0,083	
16	46,40	10,00	5,00	668,52	0,00157	1,4786	10,70	

Anexo 22

Datos de resistividad obtenidos en campo del cuarto punto de análisis

	UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA						
	CARRERA DE INGENIERIA CIVIL						
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS						
	SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER						
Proyecto:	Analogía del perfil estratigráfico obtenidos por métodos geofísicos y exploración con percusión y lavado en el proyecto UPSE.			Croquis 			
Ubicación:	Predio UPSE						
Coordenadas	Norte	9753292,397					
	Este	513183,966					
	Z:	0					
Codigo:	SEV-4						
Fecha:	17/2/2023						
Estación	Abertura			Constante	Resistencia	Resistividad	Desviación
Punto	AB/2 (m)	MN (m)	MN/2 (m)	K	(Ohm)	(Ohm-m)	estándar (%)
1	1,00	0,40	0,20	7,54	27,48672	8,2898	0,023
2	1,47	0,40	0,20	16,66	29,52391	8,9042	0,000
3	2,15	0,40	0,20	35,99	33,49880	10,103	0,012
4	3,16	0,40	0,20	78,11	36,04528	10,871	0,017
5	4,64	0,40	0,20	168,78	37,80261	11,401	0,001
6	4,64	1,00	0,50	66,85	3,96780	9,3489	0,097
7	6,81	0,40	0,20	363,92	38,69123	11,669	0,903
8	6,81	1,00	0,50	144,91	4,05531	9,5551	0,014
9	10,00	1,00	0,50	313,37	3,90965	9,2119	0,172
10	14,70	1,00	0,50	678,08	3,16201	7,4503	0,428
11	14,70	4,00	2,00	166,58	0,10309	7,7726	0,393
12	21,50	1,00	0,50	1451,42	2,75495	6,4912	0,296
13	21,50	4,00	2,00	359,91	0,08779	6,6193	0,021
14	31,60	4,00	2,00	781,13	0,07799	5,8802	0,216

Anexo 23

Datos de resistividad obtenidos en campo del quinto punto de análisis

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA					
		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL					
		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS					
		SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER					
Proyecto:	Analogía del perfil estratigráfico obtenidos por métodos geofísicos y exploración con percusión y lavado en el proyecto UPSE.			Croquis			
Ubicación:	Ayangue						
Coordenadas	Norte	9782275					
	Este	527596					
	Z:	0					
Codigo:	SEV-5						
Fecha:	14/6/2023						
Estación	Abertura			Constante	Resistencia	Resistividad	Desviación estándar (%)
Punto	AB/2 (m)	MN (m)	MN/2 (m)	K	(Ohm)	(Ohm-m)	
1	1,00	0,40	0,20	7,54	2394,58559	722,19	0,053
2	1,47	0,40	0,20	16,66	3036,64316	915,83	0,047
3	2,15	0,40	0,20	35,99	3435,75733	1036,2	0,055
4	3,16	0,40	0,20	78,11	3780,26147	1140,1	0,058
5	4,64	0,40	0,20	168,78	4072,70868	1228,3	0,070
6	4,64	1,00	0,50	66,85	390,31583	919,66	0,081
7	6,81	0,40	0,20	363,92	4284,25212	1292,1	0,031
8	6,81	1	0,50	144,91	410,50092	967,22	0,063
9	10,00	1	0,50	313,37	354,21949	834,61	0,055
10	14,70	1	0,50	678,08	229,52265	540,80	0,075
11	14,70	4	2,00	166,58	6,92908	522,44	0,067
12	21,50	1	0,50	1451,42	133,67742	314,97	0,028
13	21,50	4	2	359,91	4,06535	306,52	0,006

Anexo 24

Datos de resistividad obtenidos en campo del sexto punto de análisis

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA					
		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL					
		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS					
		SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER					
Proyecto:	Analogía del perfil estratigráfico obtenidos por métodos geofísicos y exploración con percusión y lavado en el proyecto UPSE.			Croquis			
Ubicación:	Tambo						
Coordenadas	Norte	9750461,427					
	Este	514549,692					
	Z:	0					
Codigo:	SEV-1						
Fecha:	11/7/2023						
Estación	Abertura			Constante	Resistencia	Resistividad	Desviación
Punto	AB/2 (m)	MN (m)	MN/2 (m)	K	(Ohm)	(Ohm-m)	estándar (%)
1	1,00	0,40	0,20	7,54	6,3758	1,9229	0,024
2	1,47	0,40	0,20	16,66	6,5181	1,9658	0,235
3	2,15	0,40	0,20	35,99	6,6076	1,9928	0,006
4	3,16	0,40	0,20	78,11	7,1374	2,1526	0,303
5	4,64	0,40	0,20	168,78	7,6932	2,3202	0,041
6	4,64	1,00	0,50	66,85	0,7644	1,8010	0,685
7	6,81	0,40	0,20	363,92	7,7439	2,3355	0,832
8	6,81	1,00	0,50	144,91	0,7858	1,8515	0,497
9	10,00	1,00	0,50	313,37	0,8169	1,9248	0,490
10	14,70	1,00	0,50	678,08	0,8276	1,9499	0,682
11	14,70	4,00	2,00	166,58	0,0237	1,7851	0,260
12	21,50	1,00	0,50	1451,42	0,9301	2,1914	0,490
13	21,50	4,00	2,00	359,91	0,0259	1,9503	0,413
14	31,60	4,00	2,00	781,13	0,0289	2,1824	0,690

Anexo 25

Datos de resistividad obtenidos en campo del sexto punto de análisis

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA					
		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL					
		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS					
		SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER					
Proyecto:	Analogía del perfil estratigráfico obtenidos por métodos geofísicos y exploración con percusión y lavado en el proyecto UPSE.			Croquis			
Ubicación:	Tambo						
Coordenadas	Norte	9750454					
	Este	514502					
	Z:	0					
Codigo:	SEV-2						
Fecha:	11/7/2023						
Estación	Abertura			Constante	Resistencia	Resistividad	Desviación
Punto	AB/2 (m)	MN (m)	MN/2 (m)	K	(Ohm)	(Ohm-m)	estándar (%)
1	1,00	0,40	0,20	7,54	6,9063	2,0829	0,002
2	1,47	0,40	0,20	16,66	7,2963	2,2005	0,049
3	2,15	0,40	0,20	35,99	7,7794	2,3462	0,012
4	3,16	0,40	0,20	78,11	7,5917	2,2896	0,116
5	4,64	0,40	0,20	168,78	8,3865	2,5293	0,440
6	4,64	1,00	0,50	66,85	0,8528	2,0094	0,023
7	6,81	0,40	0,20	363,92	8,3802	2,5274	0,042
8	6,81	1,00	0,50	144,91	0,8537	2,0116	0,247
9	10,00	1,00	0,50	313,37	0,9265	2,1831	0,011

Anexo 26

Datos de resistividad obtenidos en campo del séptimo punto de análisis

		UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA ELENA					
		CARRERA DE INGENIERIA CIVIL					
		LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS					
		SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL - METODO DE SCHLUMBERGER					
Proyecto:	Analogía del perfil estratigráfico obtenidos por métodos geofísicos y exploración con percusión y lavado en el proyecto UPSE.			Croquis			
Ubicación:	Libertador Bolívar						
Coordenadas	Norte	9792068					
	Este	529472					
	Z:	0					
Codigo:	SEV-7						
Fecha:	13/7/2023						
Estación	Abertura			Constante	Resistencia	Resistividad	Desviación
Punto	AB/2 (m)	MN (m)	MN/2 (m)	K	(Ohm)	(Ohm-m)	estándar (%)
1	1,00	0,40	0,20	7,54	6,3758	1,9229	0,024
2	1,47	0,40	0,20	16,66	6,5181	1,9658	0,235
3	2,15	0,40	0,20	35,99	6,6076	1,9928	0,006
4	3,16	0,40	0,20	78,11	7,1374	2,1526	0,303
5	4,64	0,40	0,20	168,78	7,6932	2,3202	0,041
6	4,64	1,00	0,50	66,85	0,7644	1,8010	0,685
7	6,81	0,40	0,20	363,92	7,7439	2,3355	0,832
8	6,81	1,00	0,50	144,91	0,7858	1,8515	0,497
9	10,00	1,00	0,50	313,37	0,8169	1,9248	0,490
10	14,70	1,00	0,50	678,08	0,8276	1,9499	0,682
11	14,70	4,00	2,00	166,58	0,0237	1,7851	0,260