



**UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CUENCA**
COMUNIDAD EDUCATIVA AL SERVICIO DEL PUEBLO

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS
GEOTÉCNICOS Y FACTIBILIDAD DE
USO DE LOS POSIBLES SITIOS PARA
DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS
SÓLIDOS EN LA PROVINCIA DEL
AZUAY**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

Autor

MIGUEL ANGEL ROMAN ORELLANA

Director

ING. LUIS MARIO ALMACHE

Subdirector

ING. SANDRA LUCIA COBOS

FECHA: Cuenca, 15 enero 2020

DECLARACIÓN

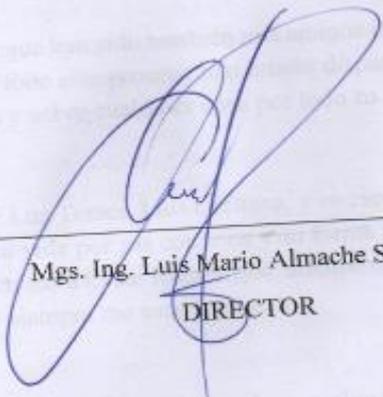
Yo, Miguel Ángel Román Orellana declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluye en este documento.



MIGUEL ANGEL ROMAN ORELLANA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Miguel Ángel Román Orellana, bajo mi supervisión



Mgs. Ing. Luis Mario Almache Sánchez
DIRECTOR

DEDICATORIA

A DIOS: Por regalarme la oportunidad y la fortaleza para llegar hasta esta etapa de mi vida, por darme la fuerza de voluntad y suficiente confianza para saber cumplir mis objetivos y sobre todo por guiarme en mi camino, por ser mi compañía y mi amigo infaltable.

A MIS PADRES: Cesar Patricio Román Pérez y Diana Alexandra Orellana Torres por ser siempre mi apoyo emocional e incondicional, por todo su sacrificio y entrega, por guiarme siempre en el camino de los valores, por su infinito amor, cariño y comprensión y sobre todo por confiar en mí y regalarme la oportunidad de estudiar y superarme cada día.

A MIS HERMANOS: que han sido también mis amigos incondicionales porque siempre han creído en mí y en todo este proceso han estado dispuestos a brindarme su ayuda sin esperar nada a cambio y sobre cualquier cosa por todo su cariño y aprecio.

A MIS ABUELITOS: Luz Torres, Luis Orellana, y en especial a Martha Pérez por formar parte importante en mi vida por sus consejos y su forma altruista de esperar que siempre siga adelante en mi camino a Cesar Román que, aunque no esté aquí físicamente conmigo sé que en algún lugar siempre me estará guiando.

A MI NOVIA: que en estos 8 años ha estado conmigo incondicionalmente en toda esta etapa, apoyándome, comprendiéndome y alentándome a siempre seguir adelante y a nunca darme por vencido, por todo el amor que me demuestra diariamente con sus acciones, por hacerme creer que soy capaz de lograr lo que me propongo, y por siempre confiar en mí.

A MIS AMIGOS: con los que siempre compartí y compartiré momentos amemos, llenos de una amistad sincera y desinteresada, por su apoyo en los momentos difíciles de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

En toda mi vida nunca estuve solo y en esta etapa no ha sido la excepción, siempre he tendido personas a mi alrededor que han estado conmigo en los momentos más difíciles como también en los buenos, y simplemente un agradecimiento es corto para todo el gran aprecio que les tengo.

Agradezco a mis papas por todo el apoyo moral, económico además del inmenso cariño que me hacen sentir todos los días, a mis hermanos, mis abuelitos, mi familia en general, a mis amigos que todo el tiempo me han demostrado que una amistad verdadera y sincera si existe, a mi novia sinónimo de apoyo y de un amor infinito quien ha estado para mí en todo este proceso y como no agradecer a Dios quien ha sabido darme fuerza de voluntad y regalarme una vida maravillosa junto a personas grandiosas.

Mis más profundos agradecimientos a las personas que siempre creyeron en mí y supieron levantarme cuando los ánimos se desvanecían, a aquellas personas que hicieron que toda esta etapa sea más llevadera, que me regalaron un sabor a compañía y no a soledad, gracias por enseñarme a disfrutar cada momento de la vida incluso aquellos amargos; santa madre Teresa de Calcuta decía “A veces sentimos que lo que hacemos es tan solo una gota en el mar, pero el mar seria menos si le faltara una gota” muchas personas en mi vida podrán haber pensado que lo que hicieron fue una simple gota en el mar, pero espero que con estas palabras sepan lo agradecido que estoy por esa “gota”.

Agradezco a la EMAC EP por el financiamiento de este proyecto de titulación.

Finalmente, solo me queda dar las gracias a todos aquellos docentes que confiaron en mí y me ayudaron de una forma altruista a completar esta meta, a mi tutor y cotutora a quienes con una enorme gratitud les retribuyo el permitirme formar parte de esta investigación y guiarme con el afán de culminar esta meta más en mi vida.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE HICEIRON ESTO POSIBLE GRACIAS INFINITAS

INDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCION.....	12
2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
3.	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
4.	JUSTIFICACION.....	16
5.	MARCO TEORICO	18
5.1	ENSAYOS DE CAMPO	18
5.1.1	ENSAYOS GEOTECNICOS	18
5.1.2	ENSAYOS GEOFISICOS.....	20
5.2	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	21
5.2.1	GRANULOMETRÍA DEL SUELO.....	21
5.2.2	LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO	22
5.2.3	CLASIFICACIÓN DEL SUELO	22
5.2.4	PESO ESPECIFICO	23
5.2.5	PERMEABILIDAD.....	24
5.2.6	ENSAYOS PARA CONOCER PARAMETROS GEOMECHANICOS	24
5.3	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS ARCILLAS EN FUNCIÓN DE SU CONSISTENCIA	27
5.4	ARCILLAS EXPANSIVAS.....	28
5.5	GENESIS DEL SUELO	30
6.	DESCRIPCIÓN DE LOS POSIBLES SITIOS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA PROVINCIA DEL AZUAY	32
6.1	SITIO 1 (Santa Isabel).....	32
6.1.1	EXTRACCION DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE CAMPO.....	37
6.1.2	Ensayo SPT.....	38
6.2	SITIO 2 (Cuenca – Quingeo).....	39
6.2.1	EXTRACCION DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE CAMPO.....	43
6.2.2	Ensayo SPT.....	45
6.3	SITIO 3 (Paute)	46
6.3.1	EXTRACCION DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE CAMPO.....	50
6.3.2	Ensayo SPT.....	51
7.	RESULTADOS	52
7.1	RESULTADOS GEOFISICOS	52

7.2 DE RESULTADOS GENERALES.....	55
7.2.1 SANTA ISABEL.....	57
7.2.2 QUINGEO.....	58
7.2.3 PAUTE.....	59
7.3 PERFILES ESTRATIGRAFICOS.....	60
7.3.1 SANTA ISABEL.....	60
7.3.2 QUINGEO.....	61
7.3.3 PAUTE.....	62
8. MATRICES DE COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	63
8.1 COMPARACIÓN DE PARES (PRIORIZACION DE VARIABLES).....	63
8.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	64
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
10. BIBLIOGRAFÍA.....	70
11. ANEXOS.....	72
10.1 ENSAYOS DE LABORATORIO.....	72
10.1.1 SITIO 1.....	72
10.1.2 SITIO 2.....	109
10.1.3 SITIO 3.....	134
10.2 ENSAYOS DE CAMPO.....	147
10.2.1 SITIO 1 (Santa Isabel).....	147
10.2.2 SITIO 2 (Quingeo).....	151
10.2.2 SITIO 3 (Paute).....	154
10.3 ANEXOS FOTOGRAFICOS.....	156

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estadísticas del servicio de gestión integral de residuos sólidos en el Ecuador 2016.....	14
Tabla 2: Disposición final de residuos sólidos según su infraestructura en Ecuador 2016.....	14
Tabla 3: Correlaciones empíricas de densidad y ángulo de fricción en suelos granulares.....	20
Tabla 4: Correlaciones empíricas de densidad y capacidad ultima en suelos cohesivos.....	20
Tabla 5: Valores típicos de la resistividad de las rocas más comunes y fluidos.....	21
Tabla 6: pesos específicos en condiciones normales de los tipos de suelo más comunes.....	23

Tabla 7: Ensayos de laboratorio y campo para determinar la permeabilidad del suelo	24
Tabla 8: coeficiente de conductividad hidráulico.....	24
Tabla 9: Resistencia a la compresión de las arcillas en función de su consistencia.....	28
Tabla 10: Expansividad de las arcillas	29
Tabla 11: Expansividad de las arcillas	29
Tabla 12: Coordenadas del polígono de extracción de muestras Santa Isabel	37
Tabla 13: Coordenadas de las calicatas Santa Isabel.....	37
Tabla 14: Coordenadas del ensayo SPT Santa Isabel.....	38
Tabla 15: Coordenadas del polígono de extracción de muestras Cuenca (Quingeo)	43
Tabla 16: Coordenadas de las calicatas Cuenca (Quingeo).....	44
Tabla 17: Coordenadas del ensayo SPT Cuenca (Quingeo).....	45
Tabla 18: Coordenadas del polígono de extracción de muestras Paute.....	50
Tabla 19: Coordenadas de las calicatas Paute	50
Tabla 20: Coordenadas del ensayo SPT Paute	52
Tabla 21: Resultados del ensayo de sísmica de refracción cantón Santa Isabel	53
Tabla 22: Resultados del ensayo de sondeo eléctrico cantón Paute.....	53
Tabla 23: resultados del ensayo de sondeo eléctrico cantón Cuenca parroquia Quingeo	54
Tabla 24: Coordenadas del ensayo de sondeo eléctrico cantón Cuenca parroquia Quingeo	54
Tabla 25: Coordenadas del ensayo de sondeo eléctrico cantón Paute.....	55
Tabla 26: Normativa de los ensayos realizados en laboratorio	55
Tabla 27: Resumen general Santa Isabel (Elaboración propia).....	57
Tabla 28: Resumen general Quingeo (Elaboración propia)	58
Tabla 29: Resumen general Paute (Elaboración propia)	59
Tabla 30: Perfil Estratigráfico Santa Isabel.....	60
Tabla 31: Perfil Estratigráfico Quingeo	61
Tabla 32: Perfil Estratigráfico Paute	62
Tabla 33: Comparación de pares	63
Tabla 34: Matriz de valores reales obtenidos en ensayos de laboratorio, campo y formulación.....	65
Tabla 35: Matriz de puntajes	66
Tabla 36: Sumas totales.....	67

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Valores en función al ángulo de fricción	25
Ilustración 2: Influencia de la composición mineralógica en la plasticidad	30
Ilustración 3: Relación entre la composición mineral de la arcilla y factores climáticos de temperatura y precipitaciones	31
Ilustración 4: Polígono de extracción de muestras Santa Isabel.....	37
Ilustración 5: Polígono de ubicación de calicatas Santa Isabel	38
Ilustración 6: Polígono de extracción de muestras del ensayo SPT Santa Isabel	39
Ilustración 7: Polígono de extracción de muestras Quingeo.....	44
Ilustración 8: Polígono de ubicación de calicatas Quingeo	44

Ilustración 9: Polígono de extracción de muestras del ensayo SPT Quingeo.....	45
Ilustración 10: Polígono de extracción de muestras Paute	51
Ilustración 11: Polígono de ubicación de calicatas Paute	51
Ilustración 12: Polígono de extracción de muestras del ensayo SPT Paute.....	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del cantón Santa Isabel en la Provincia del Azuay.....	33
Figura 2: Rango de temperatura en el cantón Santa Isabel	33
Figura 3: Rango de precipitaciones en el cantón Santa Isabel	34
Figura 4: Rango de evapotranspiración en el cantón Santa Isabel.....	34
Figura 5: Rango de temperatura del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Santa Isabel	35
Figura 6: Rango de precipitaciones del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Santa Isabel	36
Figura 7: Rango de evapotranspiración del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Santa Isabel.....	36
Figura 8: Ubicación del cantón Cuenca en la Provincia del Azuay	40
Figura 9: Rango de temperatura en el cantón Cuenca.....	40
Figura 10: Rango de precipitaciones en el cantón Cuenca.....	41
Figura 11: Rango de evapotranspiración en el cantón Cuenca	41
Figura 12: Rango de temperatura del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Cuenca.....	42
Figura 13: Rango de precipitaciones del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Cuenca.....	42
Figura 14: Rango de evapotranspiración del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Cuenca	43
Figura 15: Ubicación del cantón Paute en la Provincia del Azuay	46
Figura 16: Rango de temperatura en el cantón Paute.....	47
Figura 17: Rango de precipitaciones en el cantón Paute.....	47
Figura 18: Rango de evapotranspiración en el cantón Paute	48
Figura 19: Rango de temperatura del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Paute.....	49
Figura 20: Rango de precipitaciones del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Paute	49
Figura 21: Rango de evapotranspiración del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Paute	50

OBJETIVOS

GENERAL

- Determinar los parámetros geotécnicos y la factibilidad de uso de los posibles sitios para la disposición final de residuos sólidos en la provincia del Azuay

ESPECÍFICOS

- Conocer los valores teóricos más adecuados dentro del campo de la geotecnia, para establecer un sitio óptimo para un relleno sanitario.
- Analizar tres muestras de suelo de sitios diferentes mediante los ensayos de campo y laboratorio necesarios que permitan obtener los parámetros físicos-mecánicos del suelo.
- Ejecutar ensayos de laboratorio, con el fin de obtener los parámetros geomecánicas y físicos de las diferentes muestras recuperadas en las posibles zonas de emplazamiento
- Proponer la mejor alternativa entre tres muestras de sitios distintos efectuando un análisis comparativo y discriminativo, basado en los resultados obtenidos mediante los ensayos.
- Analizar la información proporcionada por los estudios de campo entregados.

RESUMEN

El proyecto de investigación de la Universidad Católica de Cuenca denominado “SISTEMA MANCOMUNADO DE TRANSPORTE, TRATAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS SOLIDOS PARA LA PROVINCIA DEL AZUAY” tras una investigación preliminar ha determinado 3 posibles sitios óptimos para el emplazamiento de un relleno sanitario, estos son Santa Isabel, Quingeo y Sigsig; pero debido a la negativa política y oposición social en la parroquia Cuchil cantón Sigsig no se realizó el estudio en esta zona por lo tanto el sitio fue remplazo por un sector ubicado en el cantón Paute. En estos sectores se realizaron ensayos de campo, geofísicos y de laboratorio con la finalidad de obtener resultados para su comparación y análisis, con el objetivo de poder aquel que desde el punto de vista geotécnico sea el más adecuado, sin embargo, pese a que un sitio resulte jerárquicamente superior en la lista, no quiere decir que cumpla con las condiciones necesarias para establecer una obra de este tipo.

Palabras Clave: RELLENO SANITARIO, AZUAY, VARIABLES, GEOTECNIA, COMPARACIÓN, PONDERACIÓN, ADECUADO.

ABSTRACT

This research project of the Catholic University of Cuenca entitled “A JOINT SYSTEM FOR COLLECTING, PROCESSING AND DUMPING OF SOLID WASTE FOR THE PROVINCE OF AZUAY” after a previous research, 3 potential sites have been identified as optimal for the use of a landfill, these are Santa Isabel, Quingeo and Sigsig, due to the negative policy and social disapproval in the Cuchil parish of the Sigsig canton, the research was not undertaken in this site; therefore, the site was changed to an area located in the Paute canton. In these areas, geophysical, laboratory and field tests were carried out in order to gather results for their comparison and analysis, to decide which geotechnical area is the most suitable, however, despite the fact that a site is higher ranked in the list, does not imply that it fulfils the requirements for establishing a project of this nature.

KEY WORDS: LANDFILL, AZUAY, VARIABLES, GEOTECHNICS, COMPARISON, WEIGHTING, SUITABLE

1. INTRODUCCION

En la actualidad el t3pico de los residuos y desechos concierne a todos debido a la decadencia cada vez m3s marcada de nuestro planeta, por lo que un relleno sanitario es una soluci3n ambientalmente viable ya que este es una forma de minimizar los impactos ambientales negativos. Para que esta soluci3n sea posible, debe tener un sitio adecuado para la construcci3n del mismo, ciertas caracter3sticas t3cnicas, ambientales, adem3s de viabilidad social y econ3mica, deben considerarse. Una caracter3stica sumamente importante es el apartado geol3gico y geot3cnico, ya que este permitir3 en funci3n a las caracter3sticas f3sico-mec3nicas del terreno establecer un sitio adecuado para un relleno sanitario.

Uno de los problemas m3s grandes para la elecci3n de un sitio, es el tipo de suelo, ya que preferencialmente, debe ser impermeable. Debe ser un suelo tipo arcilloso, debido a que de esta forma los lixiviados producidos por la humedad de los desechos y las precipitaciones de la zona deben ser retenidos en la superficie (Rivera, 2011) y conducidos a pozos especiales. Adem3s, un suelo con estas caracter3sticas no permite la filtraci3n de estas sustancias ya que, si lo hicieran, las implicaciones tales como contaminaci3n de fuentes h3dricas subterr3neas, contaminaci3n del suelo y producci3n de malos olores ser3an un impacto negativo para la zona; motivo por el cual un an3lisis del suelo es requerido.

Un estudio de suelos para este tipo de obras de ingen3ra debe contemplar ensayos tales como: granulometr3a con el cual se podr3 conocer el tama3o de las part3culas del suelo; clasificaci3n por el m3todo SUCS o AASHTO para obtener informaci3n del tipo de suelo; l3mites de Atterberg o l3mite l3quido y l3mite pl3stico para poder conocer la plasticidad del terreno; capacidad portante la cual depender3 de par3metros tales como: cohesi3n y 3ngulo de fricci3n, estos son determinados mediante 3 tipos de ensayos: triaxial, corte directo y compresi3n simple; ensayo de penetraci3n est3ndar o SPT, empleado para realizar un reconocimiento geot3cnico del terreno y finalmente ensayo de permeabilidad, que para que este tipo de obras es sumamente importante ya que sus resultados dar3n a conocer la capacidad del suelo para permitir la entrada de un fluido a su interior.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

según el Ministerio del Ambiente del Ecuador (2015) se define como contaminación a la presencia de uno o varios contaminantes en el entorno natural, en concentraciones y tiempo de permanencia necesario para que afecte de forma negativa al bienestar, la vida humana, la flora, la fauna, los ecosistemas o de plano produzca un deterioro considerable en los medios de vida antrópicos, en el aire, en el agua, en los paisajes o en el hábitat de los seres vivos en general. De la misma forma se puede definir a un contaminante como un elemento, compuesto o sustancia derivado de actividades antrópicas o naturales que puedan afectar al ambiente en cualquiera de sus formas. En base a lo expuesto, un desecho o un residuo puede ser clasificado como contaminante.

Se dice que un desecho es todo material o materiales que no tiene un uso práctico o específico para la actividad que lo genera, es de carácter sólido, orgánico o inorgánico que se puede o no descomponer o pudrir y que tiene su origen en las actividades comerciales, industriales, domesticas o de cualquier tipo, a excepción de las excretas humanas (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015). Un residuo es un desecho más material aprovechable.

Tomando en consideración las definiciones expuestas con anterioridad, se encuentra que lo concerniente a la basura es un problema de contaminación debido a que estos son fuente productora de metano uno de los gases causantes del efecto invernadero, por lo que se requiere una solución ambiental, técnica, social y económicamente viable.

Se dice que en el 2012 las ciudades del mundo generaban aproximadamente 1.3 billones de toneladas de desechos sólidos por año. Para el 2025 este volumen aumentará considerablemente a 2.2 billones de toneladas según estimaciones. A nivel mundial, los costos de gestión de residuos sólidos aumentarán de \$ 205.4 mil millones anuales en 2012 a \$ 375.5 mil millones en 2025 (Hoornweg, Perinaz , 2012). Los residuos sólidos no recolectados aportan a las inundaciones, la contaminación del aire y los impactos en la salud, como la diarrea, la fiebre del dengue y problemas respiratorios.

A medida que un país o ciudad se desarrolla urbanísticamente, sus ingresos económicos y nivel de vida aumenta, de la mano a esto el consumo de bienes y servicios es mayor y como consecuencia se produce una cantidad mayor de desechos y residuos, por lo tanto, se dice que los residuos sólidos están fuertemente vinculados a la urbanización y desarrollo económico de un territorio. Hoornweg, Perinaz (2012) estiman en su informe "What a Waste A Global Review of Solid Waste Management" que en el año 2002 la generación per cápita de desechos sólidos era de 0.64 kilogramos por habitante y por día, valor que con el paso del tiempo sufrió un aumento para llegar a 1.2 kilogramos por habitante por día, al año 2012. El panorama no es alentador, ya que las proyecciones estiman que para el año 2025 esta cifra aumentara a 1.42 kg por habitante y por día.

La situación en el Ecuador tampoco es alentadora, en el año 2012 se producían semanalmente 58.829 toneladas de residuos sólidos de las cuales únicamente el 20% se disponían en condiciones adecuadas. El porcentaje restante se distribuía entre vertederos a cielo abierto, botaderos controlados, ríos e incineradores (Torres, 2015). En ese mismo año, el 45.5 % de los municipios contaban con la presencia de recicladores informales.

En cuanto al modelo de gestión implementados por los gobiernos autónomos descentralizados (GADs) en el año 2016 en Ecuador se contaba con el 72.9 % de municipios que utilizaban la gestión directa, mientras que el 20.8 % utilizaban una mancomunidad como recurso para brindar este servicio; mientras que tan solo el 6.3% tenían una empresa municipal (INEC , 2016).

La tabla 1 muestra estadísticas importantes del año 2016 relacionadas con el servicio de gestión integral de residuos sólidos en el Ecuador.

Tabla 1: Estadísticas del servicio de gestión integral de residuos sólidos en el Ecuador 2016

Región	Cobertura del servicio de barrido	Procesos de separación de la fuente	Producción per cápita de residuos sólidos a nivel urbano
Costa	89,1%	9,50%	0,61 kg/hab.día
Sierra	88,5%	52,70%	0,56 kg/hab.día
Amazonia	88,0%	53,70%	0,57 kg/hab.día
Insular	61,3%	100,00%	0,73 kg/hab.día
General	88,7%	37,10%	0,58 kg/hab.día

Fuente: elaboración propia basado en (INEC , 2016)

Según la publicación del instituto nacional de estadística y censos (INEC) denominada “Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales” en el año 2016 en el área urbana existía un 58.5 % de desechos orgánicos, un 10.7 % de plástico, un 5.6 % de cartón, un 4.6 % de papel y un 15.9 % de otro tipo de desechos.

Toda la información que se dio a conocer en los párrafos anteriores demuestra que los desechos en el país son un problema, por lo que una solución es necesaria, y para ello se cuentan con obras destinadas a dar soluciones ambientalmente viables, estas son los rellenos sanitarios. Que según el Ministerio del ambiente del Ecuador (2015) los cuales se pueden definir como: Un método de ingeniería para el apropiado encierro o confinamiento de los residuos y desechos sólidos; para ello hay que ubicarlos en celdas diseñadas para este propósito, en una superficie o área del menor tamaño, esto con el objetivo de causar el menor impacto o perjuicio al medio ambiente, principalmente a los cuerpos de agua superficiales o subterráneos, a los suelos, atmosfera y siempre precautelando la seguridad y salud pública. Esta técnica comprende el esparcimiento, acomodo y compactación de los residuos y desechos, de tal forma que se reduzca el volumen al mínimo, para posteriormente recubrirlos con una capa de tierra u otro material inerte, por lo menos diariamente y efectuando el debido control de lixiviados, gases y la proliferación de vectores sanitarios (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015).

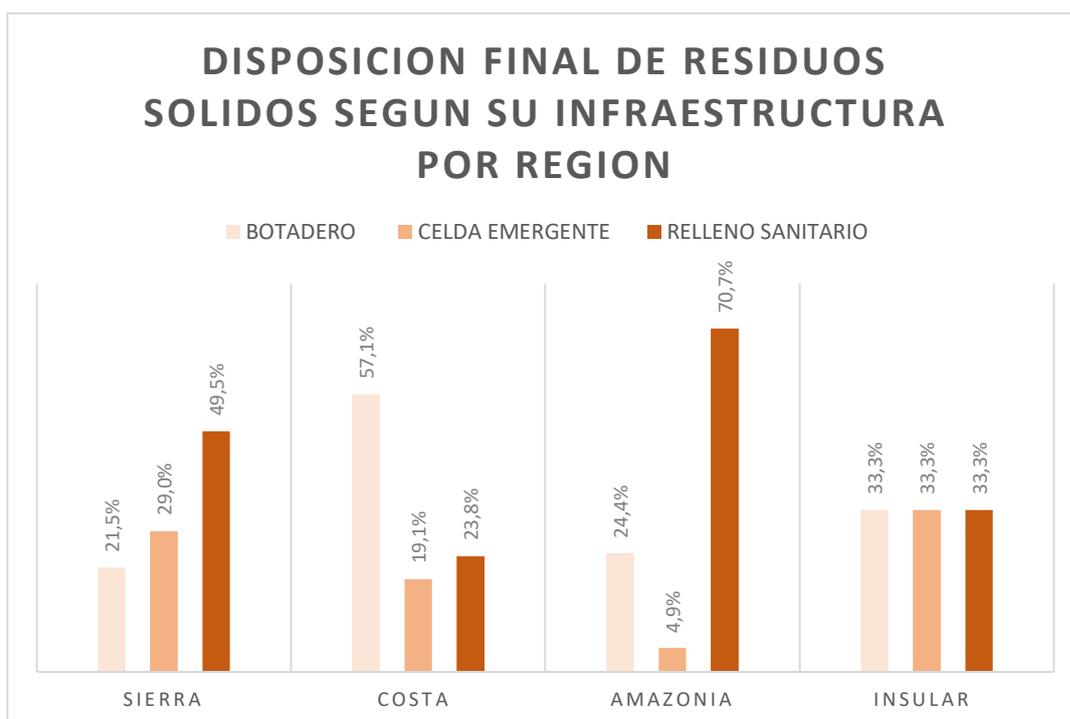
La disposición final de residuos sólidos según su infraestructura analizada por región en el año 2016 según el INEC es la que muestra en la tabla 2 y gráfico 1.

Tabla 2: Disposición final de residuos sólidos según su infraestructura en Ecuador 2016

Región	Botadero	Celda emergente	Relleno sanitario	Suma
Sierra	21,5%	29,0%	49,5%	100%
Costa	57,1%	19,1%	23,8%	100%
Amazonia	24,4%	4,9%	70,7%	100%
Insular	33,3%	33,3%	33,3%	100%

Fuente: elaboración propia basado en (INEC , 2016)

Gráfico 1: Disposición final de residuos sólidos según su infraestructura en Ecuador 2016



Fuente: elaboración propia basado en (INEC , 2016)

Como se observa en el gráfico anterior el 49.5 % de infraestructura para la disposición final de residuos sólidos pertenece a rellenos sanitarios en el sector de la sierra, mientras que en la costa este valor es de 23.8 %, en la amazonia un 70.7 % y en la región insular es de 33.33%. Lo óptimo e ideal es que se contara con el 100% de rellenos sanitarios en cada región, ya que esta es la solución más viable para evitar la contaminación por desechos sólidos. Pero para poder establecer una obra de ingeniería de este tipo, se debe contar con un lugar adecuado que reúna los requerimientos económicos, sociales, técnicos y ambientales. Uno de estos requerimientos es el apartado geotécnico, en el cual un determinado sitio debe cumplir con características de permeabilidad, capacidad portante, valores de límites de Atterberg adecuados, granulometría y clasificación del suelo adecuada, entre otras variables. Allí radica el cimiento de este estudio, el cual analiza desde el enfoque geotécnico la factibilidad de determinados sitios para el emplazamiento de un relleno sanitario en la provincia del Azuay, basándose y siendo parte del estudio previo realizado por la Universidad Católica de Cuenca denominado “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”.

3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

A partir de tres posibles sitios ubicados en los cantones de (Santa Isabel, Cuenca y Paute) para la implantación del relleno sanitario en la provincia del Azuay, establecidos por el proyecto de investigación de la Universidad Católica de Cuenca denominado “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”, se pretende realizar un estudio geotécnico basado en ensayos de laboratorio y análisis discriminador de los resultados obtenidos; para lo cual, se deben realizar ensayos de laboratorio tales como permeabilidad, granulometría, clasificación del suelo, límites de Atterberg; y, el ensayo de campo SPT o ensayo penetración estándar, permitirá inferir en el tipo y comportamiento del suelo, en función de la facilidad de penetración del suelo con el tubo muestreador. Se realizará también ensayos geofísicos ya sea sondeo eléctrico vertical o sísmica de refracción.

Para conocer la capacidad portante del terreno y consecuentemente sus parámetros geomecánicas, se puede realizar ensayos de corte directo, compresión simple o triaxial dependiendo del tipo de suelo que se analice. Una vez realizados los ensayos se procederá a efectuar los cálculos pertinentes, con el fin de realizar una comparación crítica entre los sitios, y concluir con la elección del más apto para la implementación de un relleno sanitario en cuanto a características geotécnicas se refiere.

4. JUSTIFICACION

Un relleno sanitario es una obra de gran magnitud necesaria para mejorar la salubridad de una o varias ciudades y sus habitantes. Aunque, con regularidad es complicada llevarla a cabo debido al gran número de variables que debe cumplir para poder establecerlo, además de la poca acogida social que tienen obras de este estilo; un relleno sanitario tiene muchos beneficios ambientales y económicos como:

- La inversión inicial de capital es inferior a la necesaria para instaurar el tratamiento de residuos mediante plantas de incineración o de compost.
- Tiene menores costos de operación y mantenimiento que los métodos de tratamiento.
- Genera empleo de mano de obra poco calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo.
- Recupera gas metano en los rellenos sanitarios que reciben más de 500 t/día, lo que puede constituir una fuente alternativa de energía para algunas ciudades.
- Permite recuperar terrenos que se consideraban improductivos o marginales, tornándolos útiles para la construcción de parques, áreas recreativas y verdes, etc.
- Un relleno sanitario puede comenzar a funcionar en corto tiempo como método de eliminación de residuos.
- Se considera flexible porque puede recibir mayores cantidades adicionales de residuos con poco incremento de personal (Jaramillo, Daza, Cantanhede, Sandoval, Ramírez, 1991).
- El cierre adecuado de un relleno sanitario permite usar este espacio generado como un medio natural ya sea para actividades antrópicas, o bien para beneficio del medio ambiente.

Esta investigación se realizó para proporcionar alternativas de posibles sitios para la implementación de un relleno sanitario en la provincia del Azuay desde un enfoque geotécnico, ya que muchos cantones de esta no cuentan con rellenos y utilizan rellenos de cantones aledaños además de botaderos de basura los cuales no son ambientalmente amigables; o, simplemente cuentan con rellenos sanitarios que están próximos a expirar su vida útil. Cabe recalcar que esta tesis es parte del proyecto de investigación mencionado anteriormente, por lo que otras variables técnicas y ambientales son analizadas en el mismo, mientras que aquí básicamente, se estudió la línea geotécnica en tres sitios.

El factor geotécnico es un punto muy sensible ya que forma parte de las variables técnicas que tienen un alto peso en cuanto a la elección de un sitio adecuado para el emplazamiento de un relleno sanitario. Para poder llevarlo a cabo, se debe realizar ensayos tanto de campo como de laboratorio, estos son:

- Granulometría para de esta forma obtener el tamaño de las partículas.
- Clasificación del suelo con el fin de conocer información sobre el tipo de suelo lo cual normalmente se hace por medio de los métodos S.U.C.S, AASHTO. y ASTM.
- Límites de Atterberg ensayo que permite conocer el estado del suelo refiriéndose al estado sólido, líquido y plástico.
- Para determinar parámetros geomecánicas como la cohesión y el ángulo de fricción, se realizará ensayos como: triaxial, corte directo y comprensión simple, para seleccionar unos de estos se analizará previamente la muestra, todo esto con el fin de conocer la capacidad portante del terreno.
- Permeabilidad es sumamente importante ya que con este se podrá conocer el coeficiente de conductividad hidráulica.
- S.P.T o ensayo de penetración estándar, aplicado en el campo, para realizar un reconocimiento geotécnico del terreno, a más de recuperación de muestras.
- Para conocer el potencial de expansivo, la presión de hinchamiento y el porcentaje de hinchamiento libre dentro de los suelos arcillosos se acudirá a valores del límite líquido y porcentaje de finos ya que en función de estos y con la ayuda de tablas teóricas se puede conocer las variables antes mencionadas.
- Los ensayos in situ de carácter geofísicos serán: sondeo vertical eléctrico y sísmica de refracción.

5. MARCO TEORICO

Un relleno sanitario es una obra muy importante para una ciudad ya que mejora la salubridad de la misma, además de contribuir de manera positiva con el medio ambiente. En la actualidad, el crecimiento demográfico y las actividades antropogénicas son causa de la producción cada vez más acelerada de residuos. Se ha estimado que el promedio mundial de producción por persona se encuentra por encima de un kilogramo diario (Noguera , Olivero, 2010). Para que un relleno sanitario se convierta en realidad, primero debe contar con un sitio óptimo para su construcción. Sin embargo, encontrarlo es una tarea que requiere un gran análisis debido a que factores técnicos, ambientales, sociales y económicos que debe cumplir para poder calificarlo como apto.

Este tipo de obras generan altos contenidos de lixiviados debido a la acumulación de residuos orgánicos, que se definen como líquidos que se generan por la liberación del exceso de agua de los residuos sólidos y por la percolación de agua pluvial a través de los estratos de residuos sólidos que se encuentran en las fases de descomposición. (Rivera, 2011); por lo tanto, la filtración de estos, en dirección a fuentes de agua subterránea es un grave problema que afecta al medio ambiente.

La permeabilidad, el tamaño, tipo de suelo, plasticidad, capacidad portante, estratigrafía del suelo son variables geotécnicas sumamente importantes que juegan un papel fundamental en la elección de un sitio adecuado para la implementación de una obra de este tipo, para poder conocer el valor de estas variables se deben realizar varios ensayos, tanto de campo, como de laboratorio y consecuentemente, el procesamiento de esta información.

5.1 ENSAYOS DE CAMPO

5.1.1 ENSAYOS GEOTECNICOS

5.1.1.1 CALICATAS A CIELO ABIERTO

Los pozos de prueba proporcionan una amplia visión de la estratigrafía de los suelos además facilitan la extracción de muestras, permiten la investigación de la naturaleza del material por medio de la vista, por lo que son confiables para una interpretación rápida in-situ.

Estas excavaciones por lo general se realizan con anchos y diámetros de entre 1.20 a 1.50 m (Chumpitaz, 2007), y profundidades de acuerdo a lo que se requiera en el proyecto. Las muestras que se obtienen son de suma importancia para posteriores ensayos de laboratorio. Existen dos tipos de muestras estas son: alteradas o inalteradas.

Una muestra alterada se define como aquella que no guarda las mismas condiciones que tenía al encontrarse en el terreno de extracción. Por su lado, una muestra inalterada es aquella que guarda sus propiedades físicas. (Crespo, 1980)

Existen varias ventajas de realizar una calicata a cielo abierto, estas son:

- Identificación in situ del terreno siguiendo la normativa ASTM.

- Extracción de muestras alteradas para ensayos de clasificación.
- Extracción cuando sea posible de muestras inalteradas para la ejecución de ensayos especiales de laboratorio.
- Ejecución de ensayos de densidad natural al interior de cada calicata por medio del ensayo de cono de arena, siguiendo la norma ASTM D1556 (Chumpitaz, 2007).

De la misma forma pueden existir varias dificultades al momento de realizar este tipo de ensayo de campo, entre las que se destaca:

- Topografía pronunciada en la zona.
- Nivel freático superficial.
- Y en caso de realizar este ensayo en rellenos sanitarios la producción de gases tóxicos es una desventaja.

5.1.1.2 S.P.T O ENSAYO DE PENETRACION ESTANDAR

El ensayo S.P.T consiste en encontrar el número de golpes necesarios para poder introducir un aparato denominado toma-muestras (cuchara partida), dentro de una capa o estrato de suelo a diferentes profundidades; generalmente con variaciones de metro a metro. Él toma- muestras es golpeado con energía constante, con un peso de 140 lb (63.5 kilogramos) en caída libre a una altura de 76.2 cm (30 pulgadas). En este se indica la correlación entre el número de golpes para penetrar 30 cm y la densidad relativa y características de resistencia al corte. (Carmona, 2014). Estos ensayos normalmente se los realiza en depósitos de suelo arenoso y de arcilla blanda. No es recomendable realizarlos sobre gravas, roca o arcilla consolidada, por el daño que podría sufrir el equipo de perforación debido a la dureza del material.

En este ensayo se deben realizar máximo 50 golpes ya que posterior a este número, penetrar el equipo de perforación dentro del estrato podría dañarlo. Pasado de este número de golpes, se puede afirmar que se está trabajando con rechazo (roca o suelo de muy bueno). El resultado del ensayo es el golpeo SPT (NSPT) o Resistencia a la Penetración Estándar es:

$$NSPT = N_{15-30} + N_{30-45}$$

Mediante el ensayo S.P.T., Norma ASTM D 1586, se pueden establecer los parámetros geo mecánicos del suelo a través del número de golpes N, de donde este valor debe ser corregido (N_{60}) para ser correlacionado con los parámetros geotécnicos, de donde para el caso de suelos granulares se establecen fórmulas propuestas por diferentes autores, tal y como se describe a continuación:

$$\phi = \sqrt{20 * N_{60}} + 15$$

Osaki (Kitazume, 2005)

$$\phi = \sqrt{12 * N_{60}} + 25$$

Dunham (Kitazume, 2005)

$$\phi = 20 + 3.4 \sqrt{N_{60}}$$

Muromachi (Alvarez, 2016)

En el caso de suelos cohesivos, la literatura técnica contiene muchas correlaciones entre el número de penetración estándar y la resistencia cortante (c_u). Stroud sugirió que:

$$c_u = K * N \quad \text{Stroud (1974)}$$

K = constante = 3.5 – 6.5 kPa.

N = número de penetración estándar obtenido en el campo

Existen correlaciones empíricas para determinar la densidad del material y el ángulo de fricción en suelos granulares según (Bowles, 1982), estas se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Correlaciones empíricas de densidad y ángulo de fricción en suelos granulares

N (número de golpes)	Descripción del material	γ , Kgf/m ³	ϕ
0-4	Muy suelto	1100-1600	25-30°
4-10	Suelto	1400-1800	27-32°
10-30	Medio	1750-2050	30-35°
30-50	Denso	1800-2250	35-40°
50	Muy denso	2080-2400	30-43°

Fuente: elaboración propia basado en (Bowles, 1982)

Entre los suelos cohesivos, también existen correlaciones entre el peso específico y la capacidad última (q_u). Esta relación se muestra en la tabla 4. (Peck, Hanson, Thornburn, 1974)

Tabla 4: Correlaciones empíricas de densidad y capacidad última en suelos cohesivos

N (número de golpes)	Descripción del material	γ , Kgf/m ³	q_u Kgf/cm ²
0-2	Muy blando	1600	0.25
2-4	blando	1600-1800	0.50
4-8	Medio	1750-2100	1.00
8-16	Duro	1800-2200	2.00
16-32	Muy duro	1950-2200	4.00

Fuente: elaboración propia basado en (Peck, Hanson, Thornburn, 1974)

5.1.2 ENSAYOS GEOFÍSICOS

5.1.2.1 REFRACCIÓN Y REFLEXIÓN SÍSMICA

En el campo de la geofísica aplicada existen métodos conocidos como refracción y reflexión sísmica. El objetivo de estos es medir el tiempo de propagación de las ondas sísmicas generadas con la ayuda de un martillo o por la detonación de explosivos, los cuales propagan vibraciones en el terreno que son medidas por sensores colocados en una línea recta de distancia conocida entre un punto A y en punto B denominada línea de refracción (Zevallos, 2017).

En la refracción sísmica se analiza el tiempo de llegada de las primeras ondas a cada sensor desde el punto de disparo. Un sismograma es el registro de información de los movimientos del terreno en función del tiempo tomados por cada sensor. El sismograma

es analizado por completo en la reflexión sísmica para conseguir información de las ondas reflejadas en los diferentes interfaces del suelo.

5.1.2.2 SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.

Los sondeos verticales eléctricos conocidos como SEV son ensayos geofísicos, los cuales permiten obtener un perfil estratigráfico vertical con la ayuda de la corriente eléctrica, esta es introducida al subsuelo desde la superficie por medio de electrodos de corriente (A y B), los electrodos M y N (electrodos de potencial) miden el potencial eléctrico.

Estos dos tipos de electrodos se desplazan horizontalmente en línea recta alejándose de forma equidistante desde el lugar de origen, mientras más grande es la distancia, mayor será la profundidad de indagación.

Este método se basa en medir la resistividad de los materiales, es decir la oposición al paso de la corriente en función a variables como humedad, permeabilidad, dureza y mineralización. De esta forma, cada material tiene una resistividad diferente con lo que se puede armar un perfil estratigráfico vertical (Arévalo, 2019). En la tabla 5 se muestran valores típicos de la resistividad de las rocas más comunes y fluidos. (López, Loke, Fanton, Cara, 2010).

Tabla 5: Valores típicos de la resistividad de las rocas más comunes y fluidos

Material	Resistividad (ohm.m)
Granito	$5 \times 10^3 - 10^6$
Basalto	$10^3 - 10^6$
Pizarra	$6 \times 10^3 - 4 \times 10^6$
Mármol	$10^2 - 2.5 \times 10^8$
Cuarcita	$10^2 - 2 \times 10^8$
Arenisca	$8 - 4 \times 10^3$
Esquisto	$20 - 2 \times 10^3$
Limolita	$50 - 4 \times 10^2$
Arcilla	1-100
Aluvión	10-800

Fuente: elaboración propia basado en (López, Loke, Fanton, Cara, 2010)

5.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

5.2.1 GRANULOMETRÍA DEL SUELO

El suelo está formado por partículas orgánicas y minerales en variadas formas y tamaños, estas son consecuencia de un fenómeno denominado meteorización que se define como la desintegración de las rocas y descomposición de los residuos vegetales; propiedades físicas del suelo como la estructura, porosidad, densidad aparente y permeabilidad son establecidas por la disposición espacial en la que se hallan estas partículas. (Gabriels, Lobo, 2006).

Las partículas de tamaño mayor que 0.06 milímetros pueden ser observadas por medio de una lupa o a simple vista, estas forman parte de la fracción gruesa y muy gruesa del suelo, por otro lado, aquellas que se encuentran en el rango de 0.06 milímetros y 2 micrones son considerados dentro de la fracción fina de los suelos, estos pueden ser examinados por

microscopio, finalmente aquellas partículas con un tamaño menor a los 2 micrones son consideradas como muy finas (Terzaghi, Peck , 1973).

Para la determinación de la granulometría se usan varios métodos: tamizado (en seco y en húmedo), textura al tacto, sedimentación (método de la pipeta, método del hidrómetro), uso del microscopio electrónico, turbidimetría; cada uno de ellos con sus variantes (Gabriels,Lobo, 2006). Para partículas de diámetro inferior a 75 μ se aplica el método del hidrómetro el cual es basado en la ley de Stokes (Rivera, 2009).

5.2.2 LÍMITE LÍQUIDO Y LÍMITE PLÁSTICO

También llamados límites de Atterberg se pueden definir de la siguiente forma:

Límite líquido: según Shuan, 2006 se denomina límite líquido al contenido de humedad por debajo del cual un suelo empieza a comportarse como un material plástico, es decir un material en este punto está en el límite de comportarse como un líquido viscoso.

Límite plástico: se denomina límite plástico al contenido de humedad por debajo del cual el suelo se transforma en un material no plástico.

La diferencia entre el límite líquido y el límite plástico se denomina índice de plasticidad. La plasticidad se define como la propiedad que tiene el suelo de ser moldeado en función de la cantidad de agua. El contenido de humedad determinado define la facilidad con la que un suelo puede ser deformado a esto se le conoce como consistencia, en el caso de los suelos cohesivos se definen cuatro tipos de consistencia estos son: líquido, plástico, semisólido y sólido; los límites de Atterberg son la frontera entre estos estados.

Para rellenos sanitarios se recomienda los siguientes valores de las variables expuestas anteriormente. Valores para el límite líquido de 35-45%, para el límite plástico de 20-45% y para el índice de plasticidad de 10-25%, característicos en suelos de baja plasticidad, ó 30-40% en suelos mezclados arcilla/limo. (Badilla, Rojas, Vargas, 2007)

En un relleno sanitario se busca que el suelo no se comporte como un líquido ya que si lo hiciera no tendría la capacidad de soportar cargas, tampoco es conveniente que actúe en su rango plástico es decir que se deforme sin poder regresar a su estado original, lo ideal es que se encuentre en su estado sólido.

5.2.3 CLASIFICACIÓN DEL SUELO

Según su comportamiento los suelos con propiedades semejantes se clasifican en grupos y subgrupos. Un lenguaje común son los sistemas de clasificación, estos expresan características generales y comportamiento de los suelos (Braja, 1999) los métodos más comunes de clasificación del suelo son el sistema unificado de clasificación de los suelos también conocido como sistema S.U.C.S por sus siglas, y el sistema AASHTO.

5.2.3.1 Sistema de clasificación AASHTO

Este sistema conocido como “Public Road Administration Classification System (Sistema de Clasificación de la Oficina de Caminos Públicos)” fue inventado en el año de 1929. Ha sido examinado en diversas ocasiones, y actualmente se cuenta con una versión propuesta por el Committee on Classification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads of the Highway Research Board (Comité para la Clasificación de Materiales

para Subrasantes y Caminos Tipo Granulares del Consejo de Investigaciones Carreteras) realizada en el año de 1945. (Braja, 1999)

5.2.3.2 Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

En 1942 Casagrande sugirió este tipo de sistema de clasificación en su forma original, con el fin de ser utilizado durante la segunda guerra mundial por el cuerpo de ingenieros del ejército para la construcción de aeropuertos, en el año de 1952 en cooperación con la oficina de restauración de los Estados Unidos, el sistema fue revisado y se hicieron algunos cambios, los cuales se utilizan hasta la actualidad, este método de clasificación tuvo un gran éxito por lo que hoy es ampliamente utilizado por ingenieros alrededor del mundo. (Braja, 1999)

En este método si el 50 % o más del material tamizado es retenido en el tamiz número 4 el suelo es gravoso, esto es representado con el prefijo G, en el caso de que más del 50 % del material es pasante del tamiz número 4 se considera como arena y se le asigna el prefijo S, finalmente para que un suelo sea considerado de carácter fino más del 50 % del material tendrá que pasar por el tamiz 200 , en este caso los prefijos asignados serán C en el caso de las arcillas y M para limos, para poder determinar el tipo de suelo con exactitud se revisa la carta de plasticidad y se lo clasifica según corresponda.

En el caso de un relleno sanitario lo que se requiere es que el suelo sea impermeable, para que esta condición se cumpla, el suelo debe ser arcilloso o limoso.

5.1.4 PESO ESPECÍFICO

Para conocer la densidad de un suelo se puede realizar el ensayo de laboratorio denominado Proctor modificado o estándar, cuya diferencia nace en la energía de compactación, el primero utilizado en su mayoría para obras de carácter vial, en este se compacta 5 capas de 50 golpes, a diferencia del estándar en donde es tan solo 3 capas de 25 golpes cada una, además de las evidentes diferencias entre sus moldes y martillos de compactación.

El suelo es un material formado por partículas sólidas rodeadas de espacios vacíos comúnmente usados por el agua o aire (Leoni, 2010), las cuales forman parte del volumen y peso del suelo, En geotecnia el peso específico es la relación entre el peso de la sustancia o material y su propio volumen. En la tabla 6 se muestran los pesos específicos en condiciones normales de los tipos de suelo más comunes.

Tabla 6: pesos específicos en condiciones normales de los tipos de suelo más comunes

Tipo de suelo	Peso específico kg/m³
Arena compacta	1900
Arena semi-compacta	1800
Arena suelta	1700
Limo firme	2000
Limo	1900
Limo blando	1800
Arcilla arenosa firme	1900
Arcilla media	1800
Arcilla blanda	1700

Fuente: elaboración propia basado en relaciones volumétricas y gravimétricas de José Leoni

5.2.5 PERMEABILIDAD

Los vacíos continuos existen dentro de todos los tipos de suelo, ya sean muy notorios como en el caso de las gravas o microscópicos como en el caso de las arcillas compactas, se dice que un material es permeable cuando contiene estos vacíos, por lo tanto, todos los materiales son permeables, pero a diferentes escalas, también se puede definir la permeabilidad como la capacidad de un cuerpo para permitir el paso de un líquido a su interior. Su estudio es muy importante ya que repercute directamente en costos constructivos (Angelone, Garibay, Cauhapé, 2006). Para conocer los valores de permeabilidad se pueden realizar varios ensayos divididos en pruebas de campo y pruebas de laboratorio (véase tabla 7).

Tabla 7: Ensayos de laboratorio y campo para determinar la permeabilidad del suelo

Pruebas de campo	Pruebas de laboratorio
Pozos de absorción	Permeámetro de carga constante
Pozos de filtración	Permeámetro de carga variable
Pozos en material homogéneo	Permeámetro de capilaridad horizontal

Fuente: elaboración propia basado en (Rivera, 2011)

Se puede obtener valores teóricos aproximados del coeficiente de conductividad hidráulico. En la siguiente tabla 8 se presentan valores típicos de este.

Tabla 8: coeficiente de conductividad hidráulico

Tipo de suelo	Conductividad hidráulica cm/s
grava limpia	1 a 100
arena y grava mezclada	10^{-2} a 10
arena gruesa limpia	10^{-2} a 1
arena fina	10^{-2} a 10^{-1}
arena limosa	10^{-3} a 10^{-2}
arena arcillosa	10^{-4} a 10^{-2}
Limo	10^{-8} a 10^{-2}
Arcilla	10^{-10} a 10^{-6}

Fuente: Geotechnical Engineering: Principles and Practices (Coduto, 1999)

En un relleno sanitario se busca que la permeabilidad sea baja o casi impermeable, un valor adecuado de permeabilidad de un suelo o estrato en un relleno sanitario es de $K=10^{-7}$ cm/s (Cadilla, Rojas, Vargas, 2007; Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015). Se busca que en el sitio exista materia impermeabilizante. (Astorga, Avilés, 1995) Normalmente los suelos que cumplen con este valor de coeficiente de conductividad hidráulico (k) son las arcillas las cuales poseen un rango que va desde 10^{-10} a 10^{-6} (Coduto, 1999), por lo tanto se podría considerar suelos de permeabilidad muy baja o casi impermeable (Whitlow, 1944).

5.2.6 CAPACIDAD PORTANTE Y ENSAYOS PARA CONOCER PARAMETROS GEOMECÁNICOS

Según Braja (1999). la resistencia al corte se define como la resistencia interna por unidad de área que proporciona una masa del suelo al deslizamiento o falla en cualquier plano interno, este depende de:

- Cohesión de las partículas
- Resistencia a la fricción entre partículas solidas

- Presión intersticial o presión de poros

Una vez obtenidos parámetros como el ángulo de fricción y la cohesión se puede calcular la capacidad de carga en función del tipo de cimentación:

C' = cohesión del suelo

γ = densidad o peso específico del suelo

$q = \gamma \times D_f$

D_f = profundidad de cimentación

N_c, N_q, N_γ = factores de capacidad de carga que son adimensionales y funciones sólo del ángulo de fricción del suelo ϕ'

Cimentación continua o corrida

$$q_u = N_c c' + q N_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

Cimentación cuadrada

$$q_u = 1.3 N_c c' + q N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma$$

Cimentación circular

$$q_u = 1.3 N_c c' + q N_q + 0.3 \gamma B N_\gamma$$

Los valores de los parámetros de las fórmulas anteriores se pueden obtener mediante la siguiente ilustración

Ilustración 1: (valores en función del ángulo de fricción)

ϕ'	N_c	N_q	N_γ^a	ϕ'	N_c	N_q	N_γ^a
0	5.70	1.00	0.00	26	27.09	14.21	9.84
1	6.00	1.10	0.01	27	29.24	15.90	11.60
2	6.30	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.70
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.10	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.00	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.50	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.60
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6.00	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.50	415.14	1072.80
25	25.13	12.72	8.34				

Fuente: (Braja, Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Séptima edición, 2011)

Para conocer la capacidad portante del suelo se necesita tener datos sobre los parámetros geomecánicos de ángulo de fricción y cohesión, estos se obtienen mediante uno de los 3 ensayos de laboratorio estos se mencionan a continuación en orden de complejidad y exactitud en sus resultados: comprensión simple, corte directo y ensayos triaxiales.

5.2.6.1 COMPRESIÓN SIMPLE

Para poder determinar el esfuerzo ultimo de un suelo cohesivo a la comprensión no confina se realiza un ensayo de comprensión simple, en el cual se talla una muestra de suelo inalterada en forma de cilindro con una relación de alto sobre diámetro igual o semejante a 2, en este se aplica una carga axial con control de deformación. Este tipo de ensayo es sencillo en comparación a los ensayos de corte directo y triaxial, de igual forma los resultados no son tan exactos debido a que se trabaja en un solo eje, pero son utilizables para trabajos de rutina que no demanden alta exactitud (Braja,1999).

5.2.6.2 CORTE DIRECTO

El ensayo de corte directo sirve para medir la resistencia al corte en una situación donde el suelo ha tenido consolidación por medio de esfuerzos normales actuantes. Este ensayo es adecuado para una determinación rápida de las propiedades de resistencia de materiales drenados y consolidados, esto se debe a las cortas trayectorias de drenaje de las muestras, lo cual permite que la presión de poros o presión intersticial sea disipada más rápida en comparación a otros ensayos. Una de las ventajas de este ensayo es que se lo puede realizar en cualquier tipo de suelo en muestras alteradas e inalteradas, con una limitación de tamaño máximos de partículas.

En el ensayo de corte directo se coloca un espécimen en una caja de corte directo o caja CD y se aplica un esfuerzo normal, humedeciendo o drenando la muestra o ambas cosas a la vez. El esfuerzo normal consolida el espécimen haciendo que los marcos que contienen la muestra se suelten y un marco se desplaza horizontalmente respecto al otro a una velocidad constante de deformación, permitiendo medir la fuerza de corte y los desplazamientos horizontales a medida que la muestra es llevada al límite de falla (Arévalo, 2019).

5.2.6.3 ENSAYOS TRIAXIALES

Uno de los métodos más confiables para medir la resistencia al corte es el ensayo triaxial.

Para un ensayo triaxial coloca una muestra de suelo de forma cilíndrica previamente tallada y recubierta de una membrana de látex dentro de una cámara de presión. En la parte superior e inferior del espécimen se ubica discos porosos, estos son conectados al sistema de drenaje con el objetivo de saturar o drenar la muestra. (Salas,2011) Un compresor comunica el agua con la cámara y gracias a esto el agua puede tener cualquier presión deseada. Un vástago atraviesa la parte superior de la cámara transmite la carga axial hasta el espécimen.

La presión del agua se da en todas las direcciones por lo que el espécimen experimentara esfuerzos en todas estas, por este motivo se dice que este ensayo es el más apegado a la realidad de la muestra. Existen 3 tipos de ensayos triaxiales estos son:

- Triaxial CD (consolidado drenado)

- Triaxial CU (consolidado no drenado)
- Triaxial UU (no consolidado no drenado)

Triaxial CD (consolidado drenado)

En este ensayo los esfuerzos que se aplican son efectivos. El suelo se expone a una presión hidrostática, se deja pasar el tiempo necesario para que exista consolidación bajo una presión actuante, mientras se conserva abierta la válvula de comunicación con la bureta. Una vez que el equilibrio estático interno se restablezca, todas las fuerzas exteriores empiezan a actuar sobre la fase sólida del suelo esto quiere decir que se producen esfuerzos efectivos, en tanto que los esfuerzos neutrales en el agua son parte de la condición hidrostática (Salas,2011).

Triaxial CU (consolidado no drenado)

En este tipo de triaxial la presión hidrostática es la que consolida la muestra, de forma que el esfuerzo llega a ser efectivo cuando actúa sobre la fase sólida del suelo. La carga axial lleva a la falla rápidamente sin que exista ninguna variación de volumen. En este ensayo no se puede permitir ninguna consolidación adicional durante el transcurso de tiempo de falla, de la aplicación de la carga axial. El ensayo triaxial consolidado no drenado se realiza con medición de la presión de poros o neutral con el objetivo de determinar la cohesión y el ángulo de fricción en términos de esfuerzos efectivos y totales (Salas, 2011).

Triaxial UU (no consolidado no drenado)

Este ensayo es realizado con frecuencia en suelos de carácter arcilloso, es decir que se ocupa principalmente para suelos cohesivos saturados, los resultados se expresan en términos de esfuerzos totales (Salas,2011). La línea horizontal se transforma en el envolvente de falla, en consecuencia, el ángulo de fricción es cero, y $\tau_f = C_u$, donde la cohesión es la resistencia al cortante no drenada y será igual al radio de los círculos de Mohr. En este tipo de triaxial no se permite la consolidación de la muestra en ninguna etapa. Para impedir el drenaje la válvula de comunicación entre el espécimen y la bureta siempre estará cerrada.

5.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS ARCILLAS EN FUNCIÓN DE SU CONSISTENCIA

Para obras de este tipo, los subsuelos más adecuados no deben subsidir bajo el peso de los residuos, ni presentar asentamientos ni rupturas, por lo que se recomienda que los valores de módulo de deformación del subsuelo sean mayores a 45 MN/m^2 (Knoblich, Manz, 1993).

La consistencia de las arcillas y de otros suelos cohesivos se representa generalmente con los términos blando, compacto, resistente y duro. La medida cuantitativa más directa de la consistencia es la resistencia a la compresión simple. Las arcillas comparten con muchas otras sustancias coloidales la propiedad de perder resistencia por ablandamiento cuando son amasadas a un contenido inalterado de humedad. En la tabla 9 se muestra la

consistencia de las arcillas saturadas en función de la resistencia a la compresión simple (Terzaghi, Peck , 1973).

Tabla 9: Resistencia a la compresión de las arcillas en función de su consistencia

Consistencia	Resistencia a la compresión simple en kg/cm²
Muy blanda	Menos de 0.25
Blanda	0.25-0.5
Medianamente compacta	0.5-1
Compacta	1-2
Muy compacta	2-4
Dura	Mayor de 4

Fuente: (Terzaghi, Peck , 1973)

5.4 ARCILLAS EXPANSIVAS

Se puede definir como arcilla expansiva aquella que tiene el potencial para cambiar de volumen en relación directa con la humedad del suelo. Pérdidas económicas considerables y daños estructurales son causados por las arcillas expansivas dentro de la construcción, es por esto que es importante realizar un estudio adecuado, así como mantener un control óptimo en este tipo de suelos (Ordóñez,Auvinet,Juárez, 2014).

Los factores que inciden en la expansión pueden dividirse en dos grupos. El primero incluye factores de estratigrafía y cualidades intrínsecas del suelo tales como el tipo de mineral arcilloso, tamaño y superficie específica de partículas, contenido de arcilla y contenido de agua. Por otro lado, el segundo grupo acapara las condiciones ambientales de precipitación, evaporación y temperatura (Ordóñez,Auvinet,Juárez, 2014).

Por causa del agua las arcillas sufren cambios, en época de lluvia la superficie se satura, y por el contrario en época de sequía o estiaje se produce desecación debido a esto la capa superficial se comporta como un suelo parcialmente saturado.

Para poder determinar la expansividad existen dos métodos los indirectos y directos. Dentro del primer grupo, el ensayo de laboratorio más frecuente es los límites de Atterberg. En el segundo grupo existen varios ensayos, los más comunes son: ensayo de Lambe, ensayo de hinchamiento libre o edómetro y ensayo de presión de hinchamiento en edómetro.

La expansividad se puede clasificar mediante la tabla 10

Tabla 10: Expansividad de las arcillas

Expansividad	Finos %	límite líquido	Índice pvc lambe kpa	Presión de hinchamiento kpa	Hinchamiento libre %
Baja	<30	<35	<80	<25	<1
Baja a media	30-60	35-50	80-150	25-125	1-4
Media a alta	60-95	50-65	150-230	125-300	4-10
Muy alta	>95	>65	>230	>300	>10

Fuente: elaboración propia basado en (Ortiz, 1975)

Otra manera de clasificar se muestra en la tabla 11 según (González, 2002).

Tabla 11: Expansividad de las arcillas

Expansividad	% Pasa por tamiz 200	Límite líquido	S.P. T	Expansión probable %	Presión de hinchamiento
muy alto	>95	>60	>30	>10	>10
alto	60-95	40-60	20-30	3-10	2,5-10
medio	30-60	30-40	10-20	1-5	1,5-2,5
bajo	<30	<30	<10	<1	<0,5

Fuente: elaboración propia basado en (González, 2002)

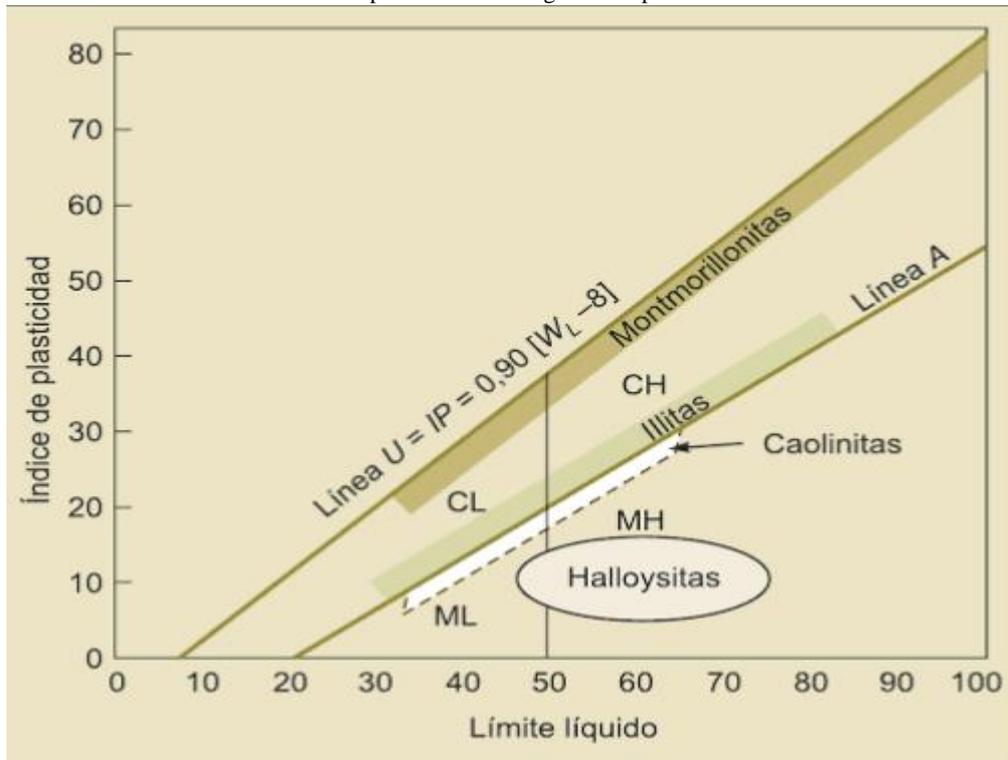
Las arcillas son materiales geotécnicamente complejos e inciertos ya que su comportamiento está en función de la composición mineralógica, la cual influencia propiedades geotécnicas tales como la plasticidad, resistencia, comprensibilidad, cambio de volumen, entre otras. Además, su conducta también depende de las condiciones geoquímicas y ambientales del medio (González, 2002). La cantidad de agua adsorbida por los minerales de la arcilla depende de la capacidad de cambio catiónico y de la superficie específica. Las arcillas mediante su composición mineralógica se pueden dividir en:

- **Caolinitas:** Principal grupo de arcillas que presenta baja capacidad de intercambio es decir de 10-12 miliequivalentes cada 100 gramos, estas arcillas son moderadamente plásticas, de mayor permeabilidad y mayor fricción interna, las caolinitas dentro de la carta de plasticidad se encuentran bajo la línea A lo que equivale a limos.
- **Illita:** Es un tipo de arcilla que tiene una capacidad de intercambio de 40 miliequivalentes cada 100 gramos, lo cual la convierte en algo expansiva. Su coeficiente de fricción interno y la permeabilidad son menores que la caolinita y mayores que la montmorillonita.
- **Montmorillonita:** este tipo de arcilla es muy plástico y prácticamente impermeable debido a que se contrae cuando se seca. Este grupo posee una capacidad de intercambio de 120 miliequivalentes cada 100 gramos, lo que provoca que sean

muy expansivas. En este tipo de arcillas la unión entre minerales individuales es débil, por lo que el agua se introduce con n moléculas para producir hinchamiento en el suelo.

La influencia de la composición mineralógica en la plasticidad según (Carretero,Pozo, 2008) se puede observar en la ilustración 2.

Ilustración 2: Influencia de la composición mineralógica en la plasticidad



Fuente: (Carretero,Pozo, 2008)

5.5 GENESIS DEL SUELO

Factores como clima, geomorfología, factores bióticos, material original y tiempo dan lugar al perfil del suelo a este proceso se conoce como génesis. La formación de las arcillas se da en el medio natural y por factores atmosféricos, que en función de sus valores determinaran los diferentes tipos de mineral que forman las arcillas.

Dentro de los factores climáticos los más importantes son: precipitación, temperatura y vientos.

La precipitación, dentro de la formación del suelo aporta disolviendo el material soluble del terreno, permite el crecimiento de vegetación y formación de fauna que aportan con materia orgánica, disgrega físicamente el material parental al conglomerarse o por el efecto de salpicadura de lluvia, determina la velocidad de las reacciones químicas, modifica el PH del suelo (Román,Martínez,Pantoja, 2013).

Por su parte, la temperatura es también un condicionante importante, ya que también influyen en la velocidad de las reacciones químicas que se dan en el suelo, además que este factor que incide en el control sobre la lluvia efectiva y fenómenos comoLa evapotranspiración, cuando la temperatura está por debajo de los cero grados centígrados

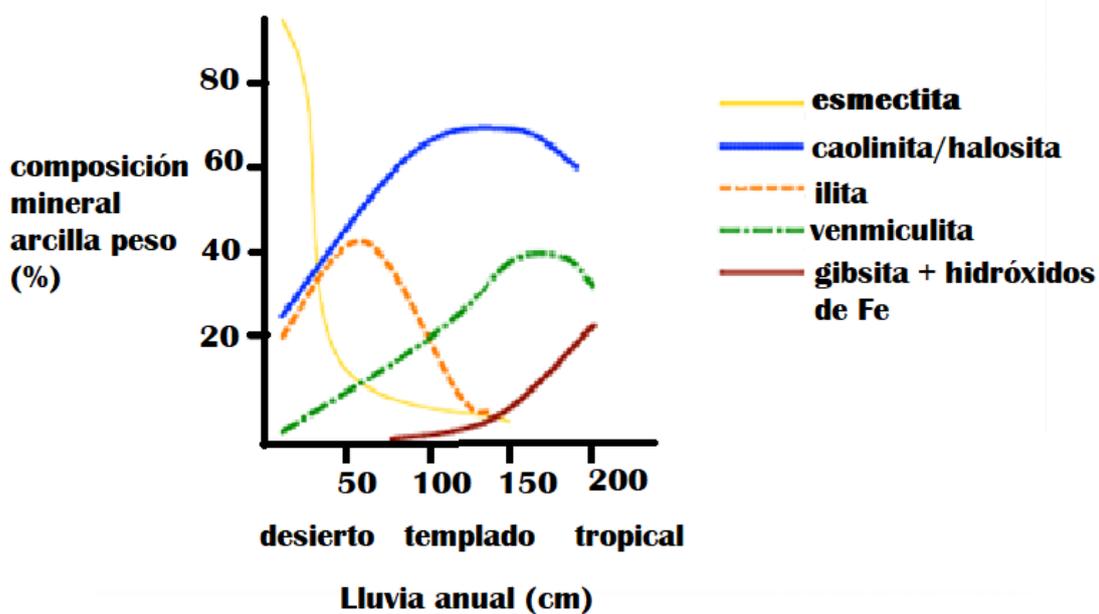
el agua se congela y como consecuencia de esto todas las reacciones en las que esta participa se detienen, pero esto hace que se produzca alteraciones físicas al fracturarse el material ya que el volumen del agua sufre incrementos al pasar de estado líquido a sólido. Una significativa influencia es ejercida por la temperatura en la vegetación, y a través de ella y de su efecto sobre la actividad microbiana, interviene en los procesos de descomposición de la materia orgánica (FAO, 2006).

Por su parte los vientos son un fenómeno importante ya que transportan las partículas, al trasladarlas a diferentes tipos de depósitos cambias las reacciones químicas formándose diferentes minerales. Los suelos que son transportados por el viento se pueden clasificar en ceniza volcánica con tamaños en rangos de entre 0.25 y 4 mm y el polvo volcánico con tamaño de grano menor que 0.25 mm. La degradación de la ceniza volcánica resulta en arcillas altamente plásticas y comprensibles (Braja,2011).

Los depósitos sedimentarios se convierten en diferentes tipos de arcillas dependiendo de la intensidad de los factores atmosféricos, quienes, al producir diferentes reacciones químicas, permiten clasificarlas en: esmectita, caolinita/halosita, illita, vermiculita, gibsita. A este proceso se le denomina génesis de las arcillas.

En la siguiente grafica se presenta la relación entre la composición mineral de la arcilla y factores climáticos de temperatura y precipitaciones.

Ilustración 3: Relación entre la composición mineral de la arcilla y factores climáticos de temperatura y precipitaciones



Fuente: Elaboración propia basado en (Braja, Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Séptima edición, 2011)

6. DESCRIPCIÓN DE LOS POSIBLES SITIOS PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA PROVINCIA DEL AZUAY

Se plantea 3 posibles sitios para disposición final de residuos sólidos en la provincia del Azuay (Santa Isabel, Cuenca (Quingeo) y Paute), estos fueron proporcionados después de un análisis previo por el proyecto de investigación de la Universidad Católica de Cuenca denominado “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”. A continuación, se presenta cada uno de ellos con una breve descripción de variables de temperatura, precipitación y evapotranspiración.

La temperatura, precipitación y evapotranspiración son variables importantes no solo dentro de la elección de un sitio adecuado para un relleno sanitario, sino también en la génesis y tendencia del material que compone el suelo. En el caso de un relleno sanitario son variables que se emplean para calcular cantidad de lixiviados generados. Además, la precipitación y temperatura son importantes en la generación de olores, y la evapotranspiración es un indicador de la posible cantidad de flora existente.

6.1 SITIO 1 (Santa Isabel)

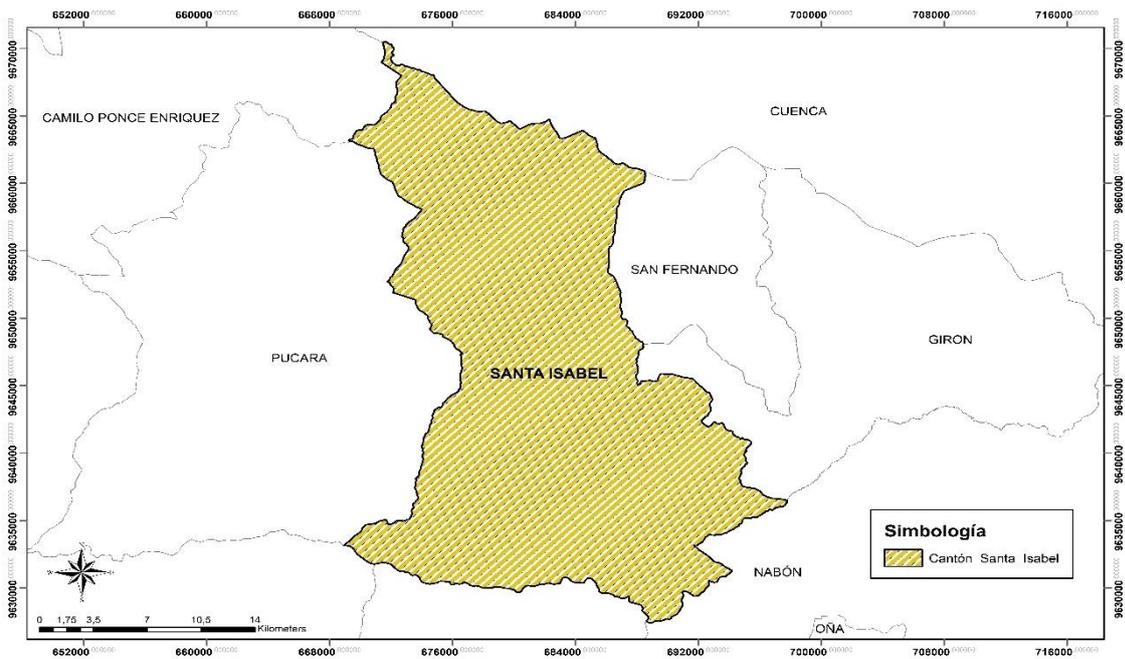
El primer sitio se encuentra en el cantón Santa Isabel.

La evapotranspiración se puede medir en mm por año. Dentro del cantón Santa Isabel el valor más pequeño es de 825 mm por año en una pequeña zona que limita con Nabón y Girón, mientras que el máximo valor es de 1075 en el límite con el cantón Pucara.

En cuanto a la temperatura el valor máximo es de 22. 5° centígrados mientras el valor mínimo es de 3.5° centígrados, por otra parte, la precipitación máxima en el cantón Santa Isabel es de 1050 mm por año y la mínima es de 200 mm por año.

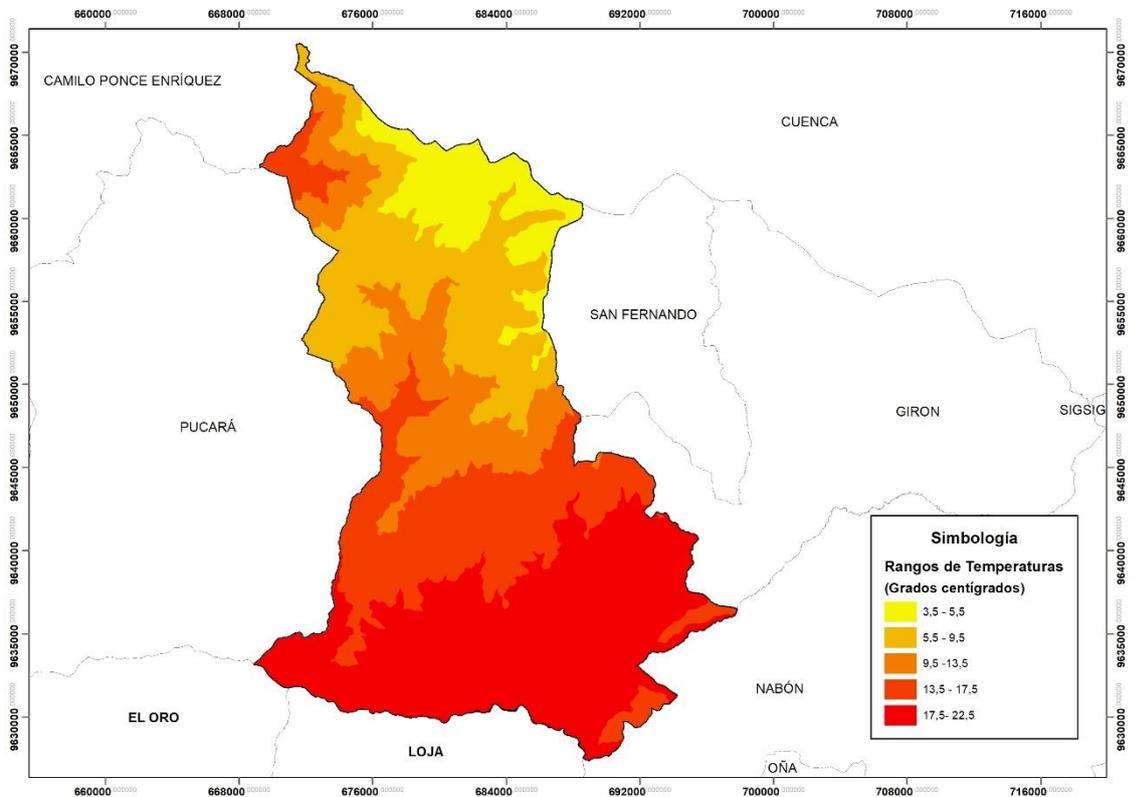
En las siguientes figuras: 1,2,3,4 se puede observar la ubicación, Temperatura, precipitación y evapotranspiración del cantón santa Isabel.

Figura 1: Ubicación del cantón Santa Isabel en la Provincia del Azuay



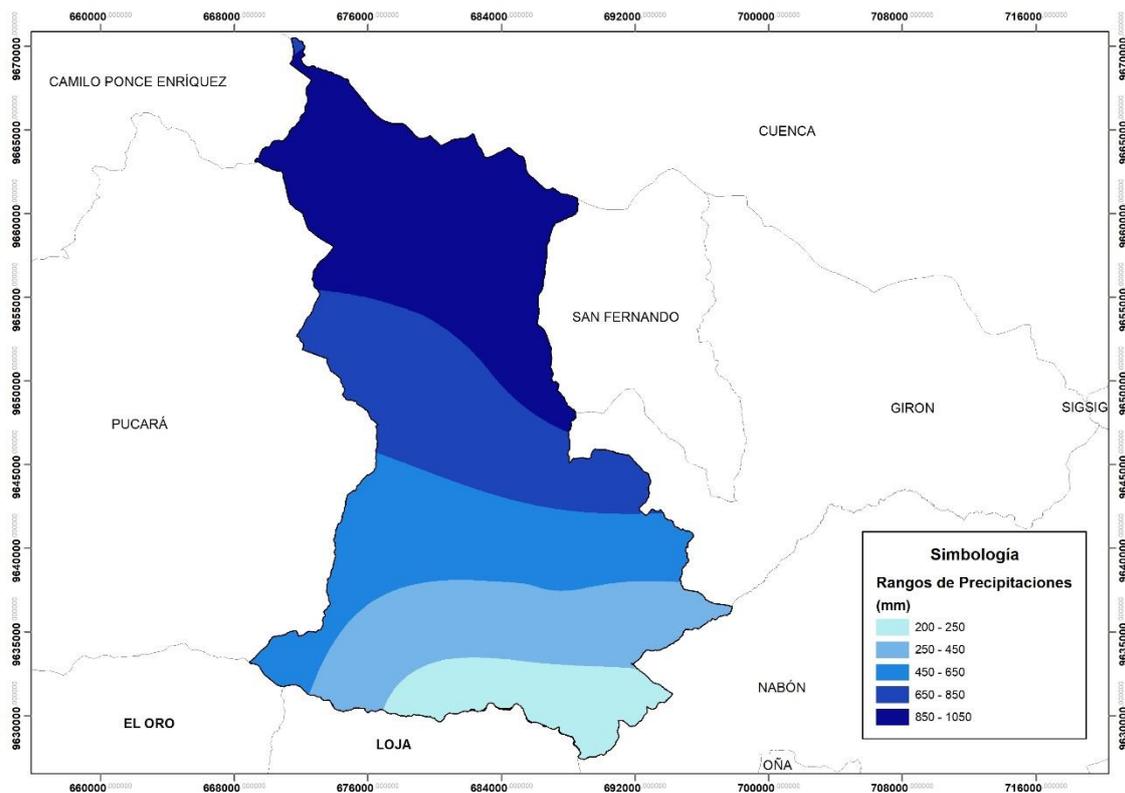
Fuente: Elaboración propia

Figura 2: Rango de temperatura en el cantón Santa Isabel



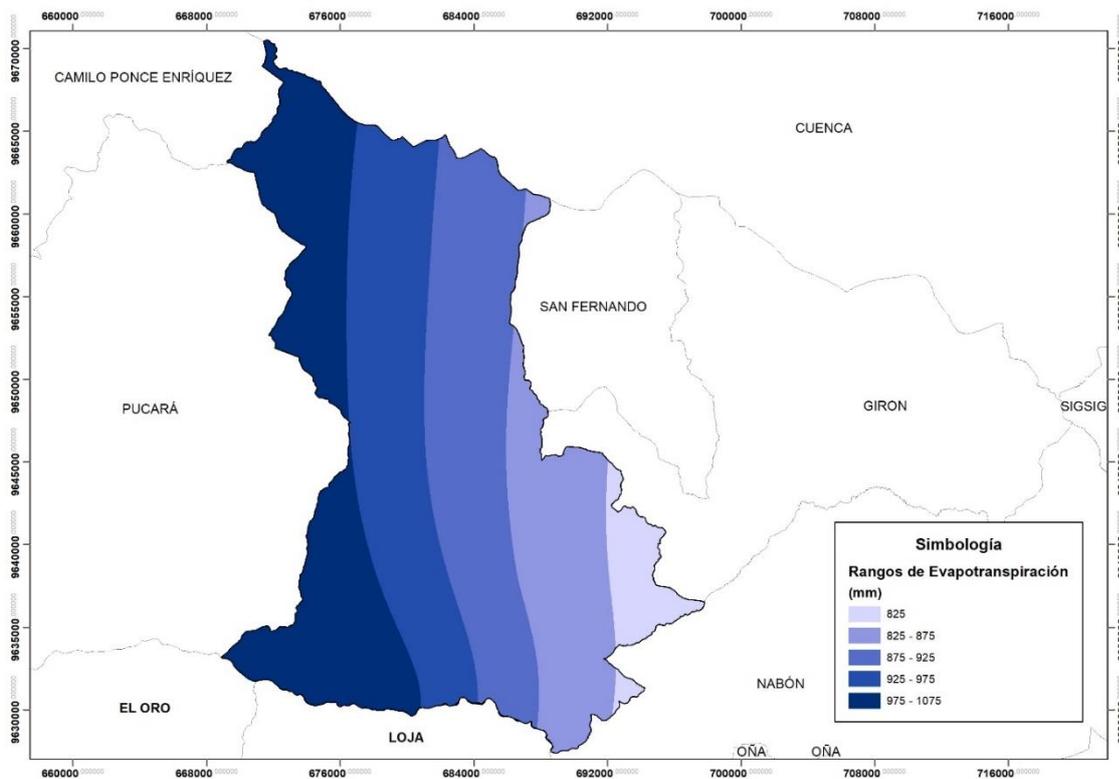
Fuente: Elaboración propia

Figura 3: Rango de precipitaciones en el cantón Santa Isabel



Fuente: Elaboración propia

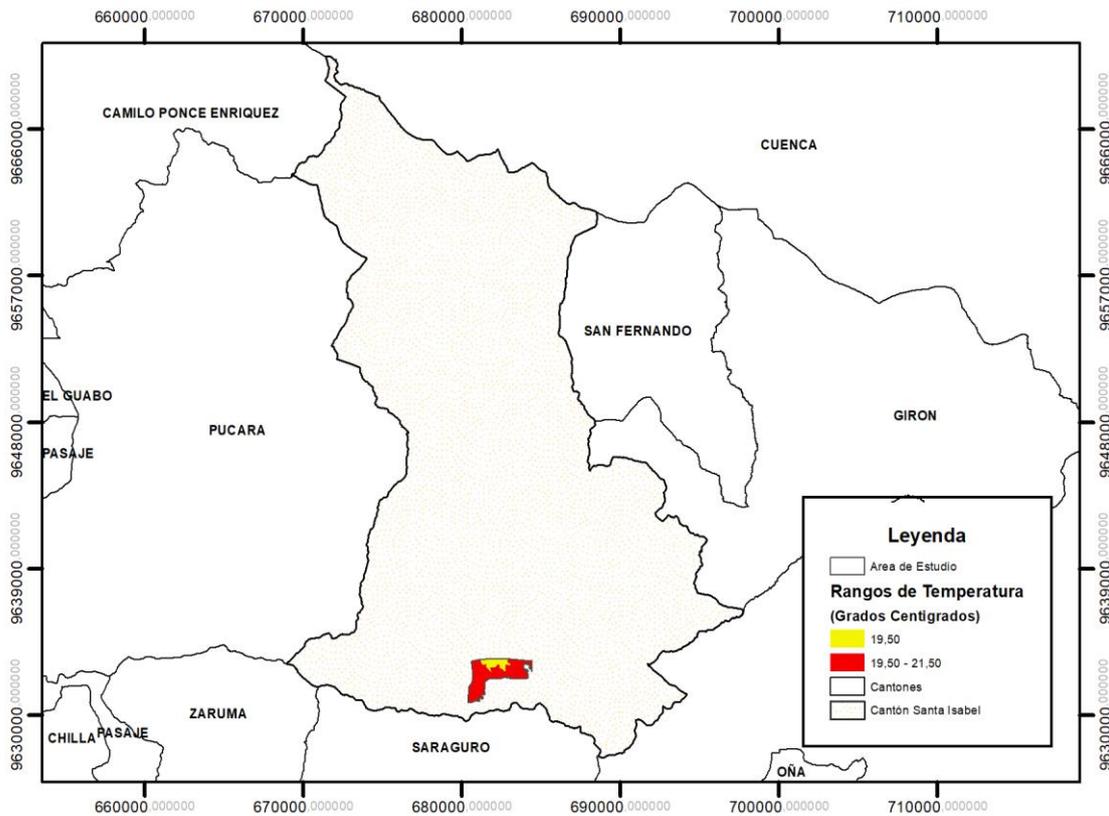
Figura 4: Rango de evapotranspiración en el cantón Santa Isabel



Fuente: Elaboración propia

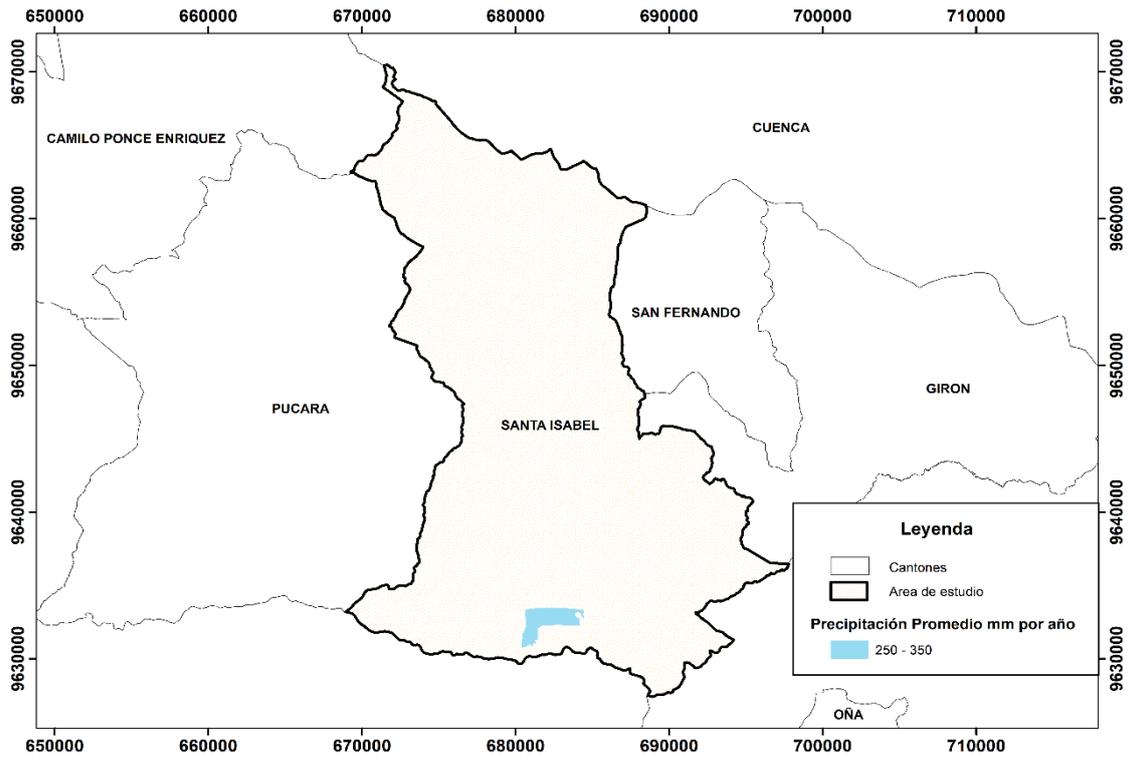
La temperatura del sitio de extracción de muestras ubicado en Santa Isabel tiene un rango de 19.5° a 21.5° grados centígrados, mientras el promedio de precipitación es de 250 a 350 mm por año y finalmente la evapotranspiración medida en mm por año es de 925 a 1025. Todo esto puede ser observado en las figuras 5,6,7.

Figura 5 :Rango de temperatura del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Santa Isabel



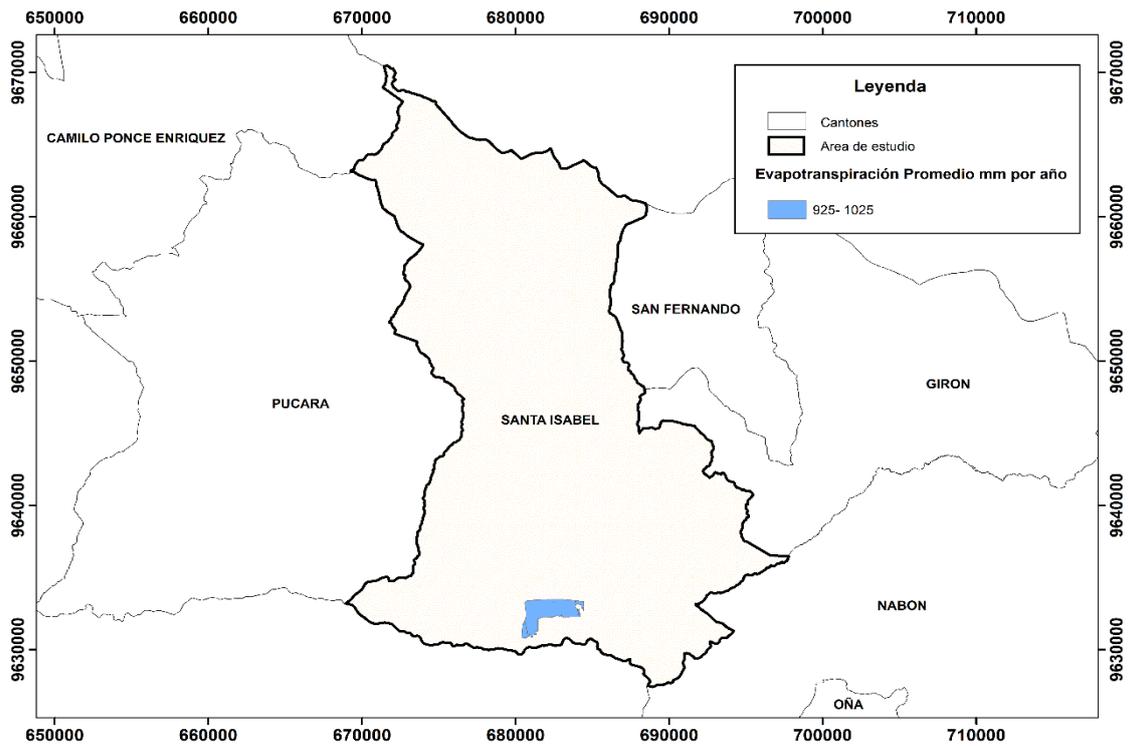
Fuente: Elaboración propia

Figura 6: Rango de precipitaciones del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Santa Isabel



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7: Rango de evapotranspiración del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Santa Isabel



Fuente: Elaboración propia

6.1.1 EXTRACCIÓN DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE CAMPO

En la zona de estudio, se realizó 6 calicatas a cielo abierto, cuya profundidad oscilo entre los 5.5 m y 6 m, desde la cota actual de terreno. Las muestras extraídas fueron mayoritariamente de cada estrato presente en la excavación. El total de muestras es 14 alteradas de las 6 trincheras ejecutadas.

En las siguientes tablas se muestran las coordenadas del polígono de extracción de muestras (tabla 12) y de cada una de las calicatas (tabla 13).

Tabla 12: Coordenadas del polígono de extracción de muestras Santa Isabel

Puntos polígono	X	Y	Altura m.s.n.m.
1	680801	9631290	1208
2	681122	9632076	1255
3	682021	963244	1390
4	681293	9633098	1392

Fuente: Elaboración propia basado en ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón Santa Isabel, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

Tabla 13: Coordenadas de las calicatas Santa Isabel

Calicata	X	Y	Altura m.s.n.m.
1	680807.08	9631290.10	1212
2	680917.03	9631830.05	1268
3	681266.71	9632383.56	1368
4	682200.03	9632721.35	1376
5	682020.27	9632395.16	1391
6	681289.51	9633092.20	1388

Fuente: Elaboración propia basado en ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón Santa Isabel, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

En las siguientes imágenes se muestra el polígono de extracción de muestras (ilustración 3) y la ubicación de cada una de las calicatas (ilustración 4).

Ilustración 4: Polígono de extracción de muestras Santa Isabel



Fuente: Ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón Santa Isabel, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

Ilustración 5: Polígono de ubicación de calicatas Santa Isabel



Fuente: Ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón Santa Isabel, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

6.1.2 Ensayo SPT

El ensayo de penetración estándar más conocido como SPT se realizó en las siguientes coordenadas del polígono de extracción de muestras.

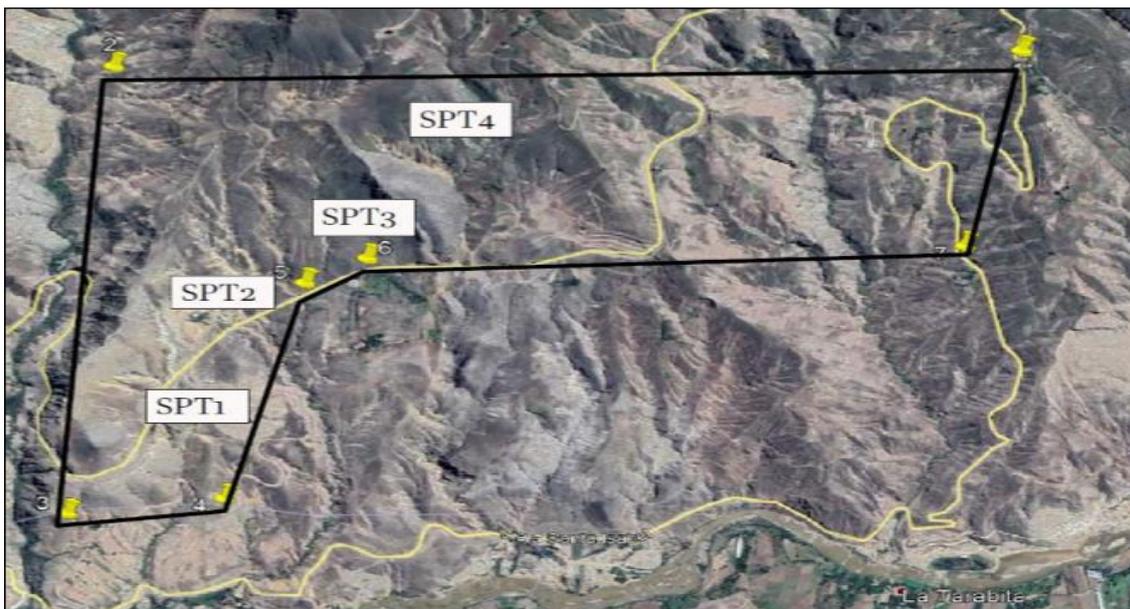
Tabla 14: Coordenadas del ensayo SPT Santa Isabel

Muestra	X	Y	Altura m.s.n.m
1	680994.96	9631646.84	1205
2	681120.96	9632074.61	1253
3	681450.51	9632403.73	1339
4	681806.88	9633138.87	1398

Fuente: Elaboración propia basado en ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón Santa Isabel, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

En la figura 6 se muestra la ubicación de las coordenadas dentro del polígono de extracción de muestras.

Ilustración 6: Polígono de extracción de muestras del ensayo SPT Santa Isabel



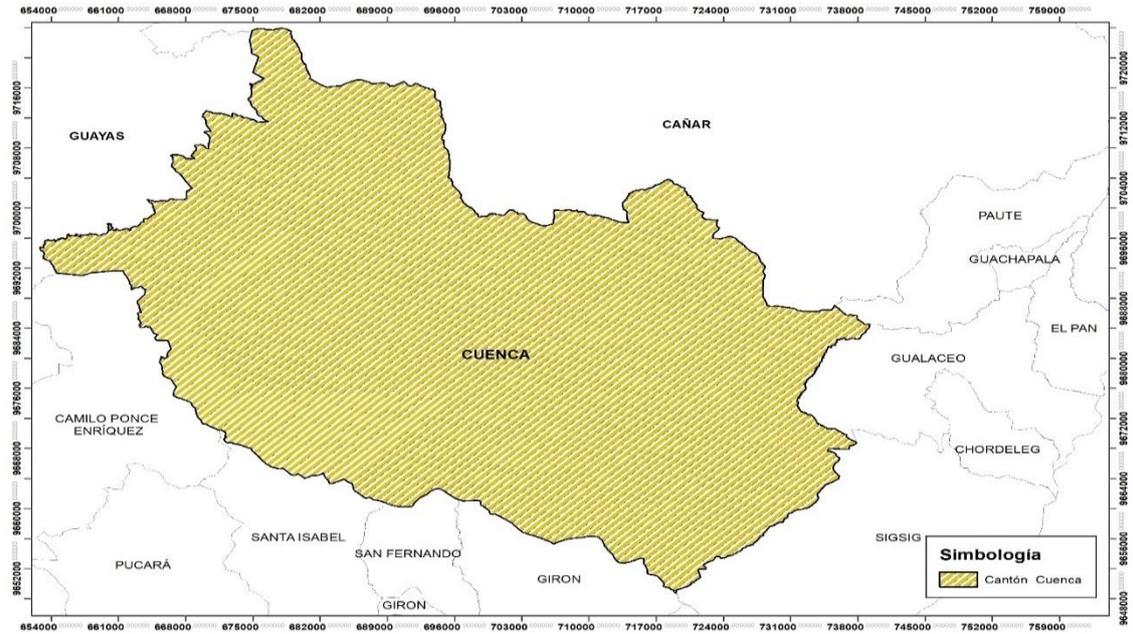
Fuente: Ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón Santa Isabel, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

6.2 SITIO 2 (Cuenca – Quingeo)

El cantón Cuenca tiene una evapotranspiración entre un rango de 1225 mm a 575 mm por año; en cuanto a la precipitación este cantón tiene valores altos siendo el mayor de 1950 mm por año y el menor es de 550 mm por año. La temperatura es de 24.5° grados centígrados en las zonas más calientes, mientras que en las zonas más frías los valores temperatura bajan hasta 1.5° grados.

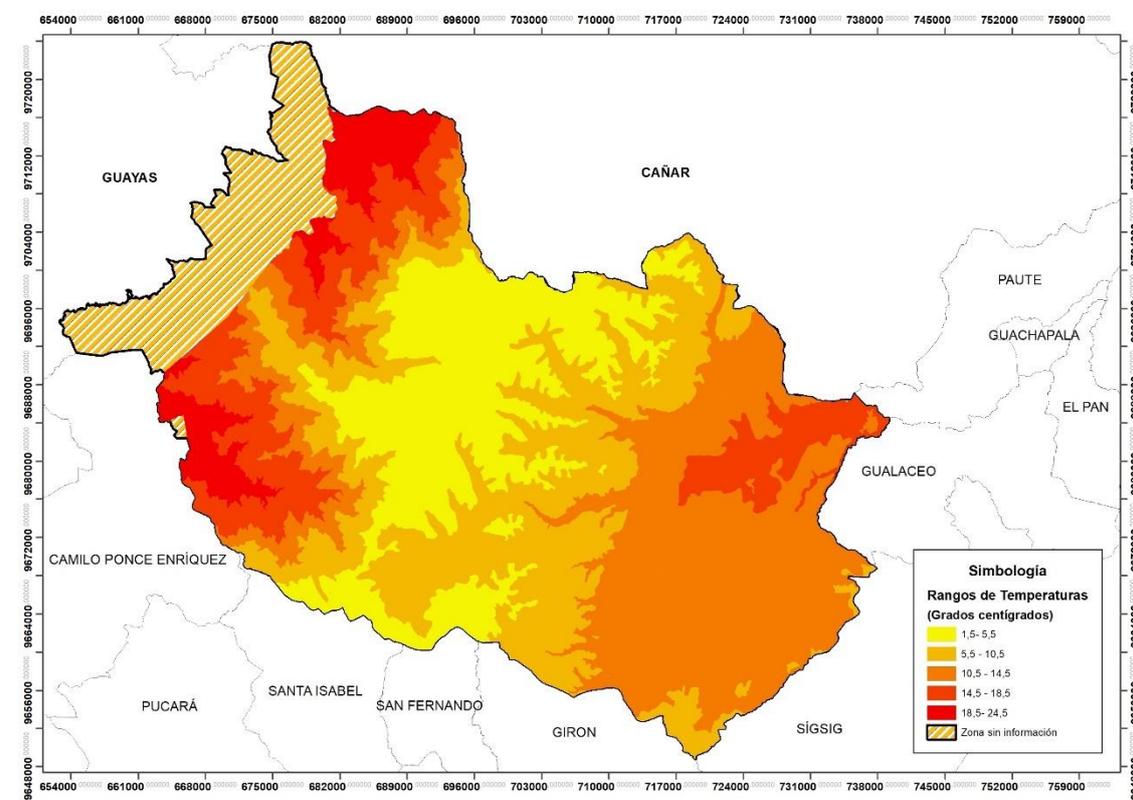
El segundo sitio se encuentra en el cantón Cuenca en la parroquia rural de Quingeo. En las figuras: 8, 9, 10, 11 se puede observar la ubicación, Temperatura, precipitación y evapotranspiración del cantón mencionado.

Figura 8: Ubicación del cantón Cuenca en la Provincia del Azuay



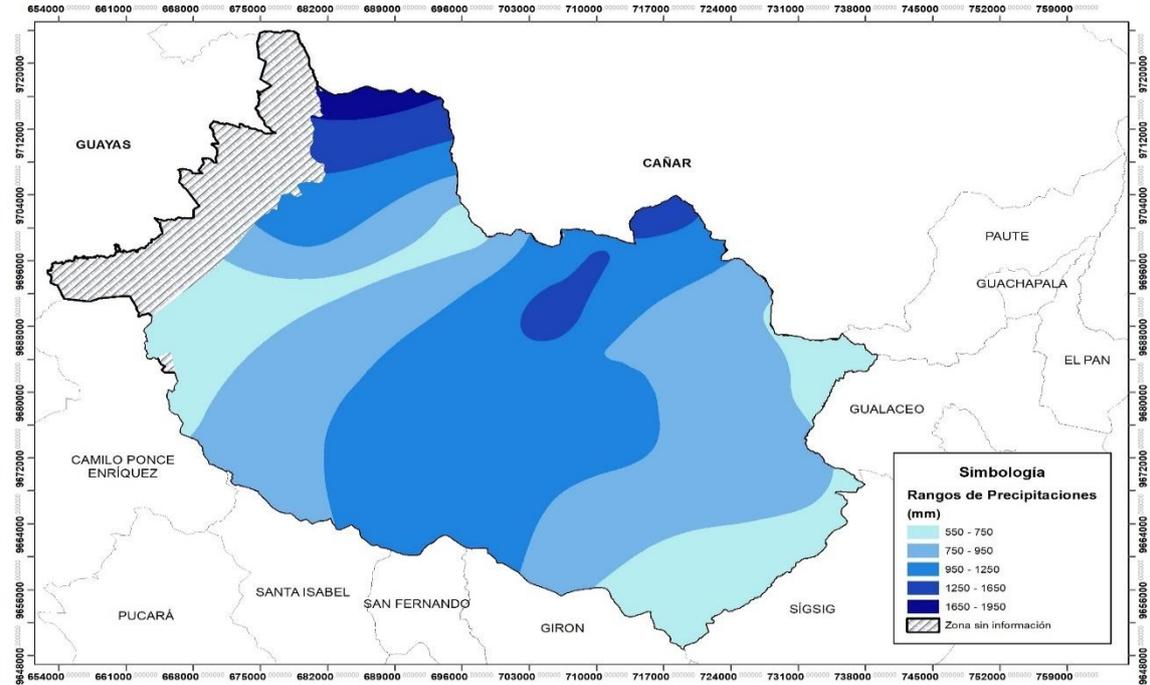
Fuente: Elaboración propia

Figura 9: Rango de temperatura en el cantón Cuenca



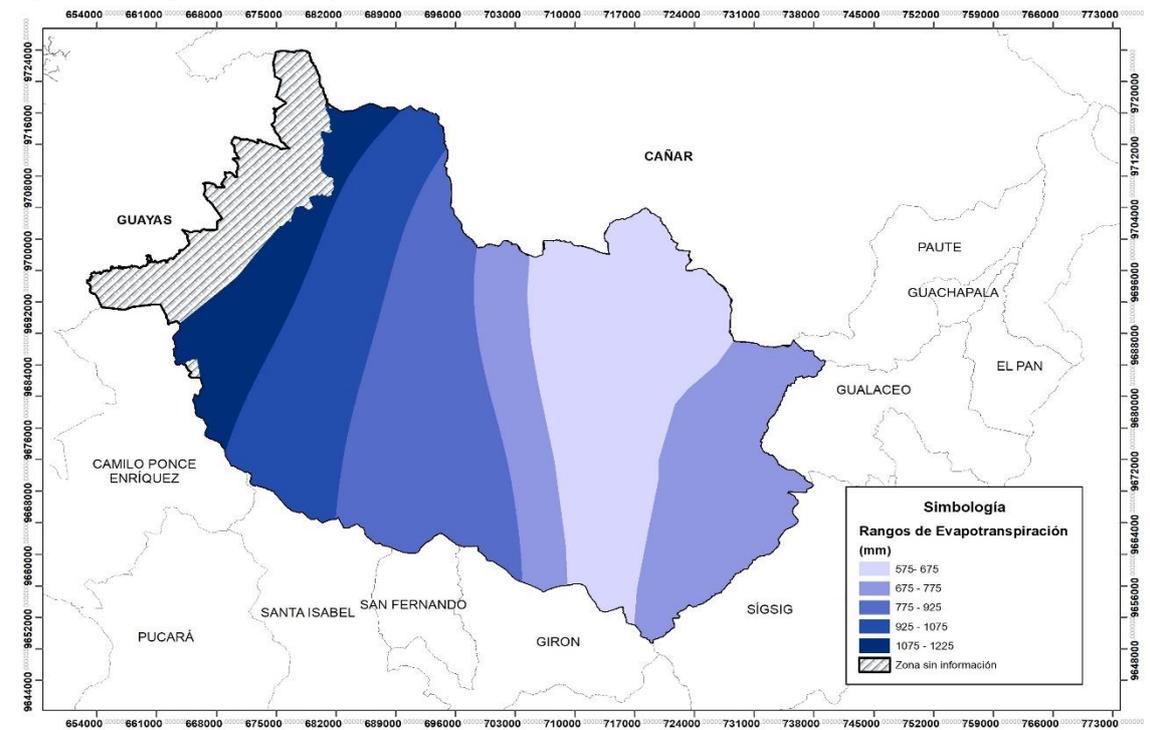
Fuente: Elaboración propia

Figura 10: Rango de precipitaciones en el cantón Cuenca



Fuente: Elaboración propia

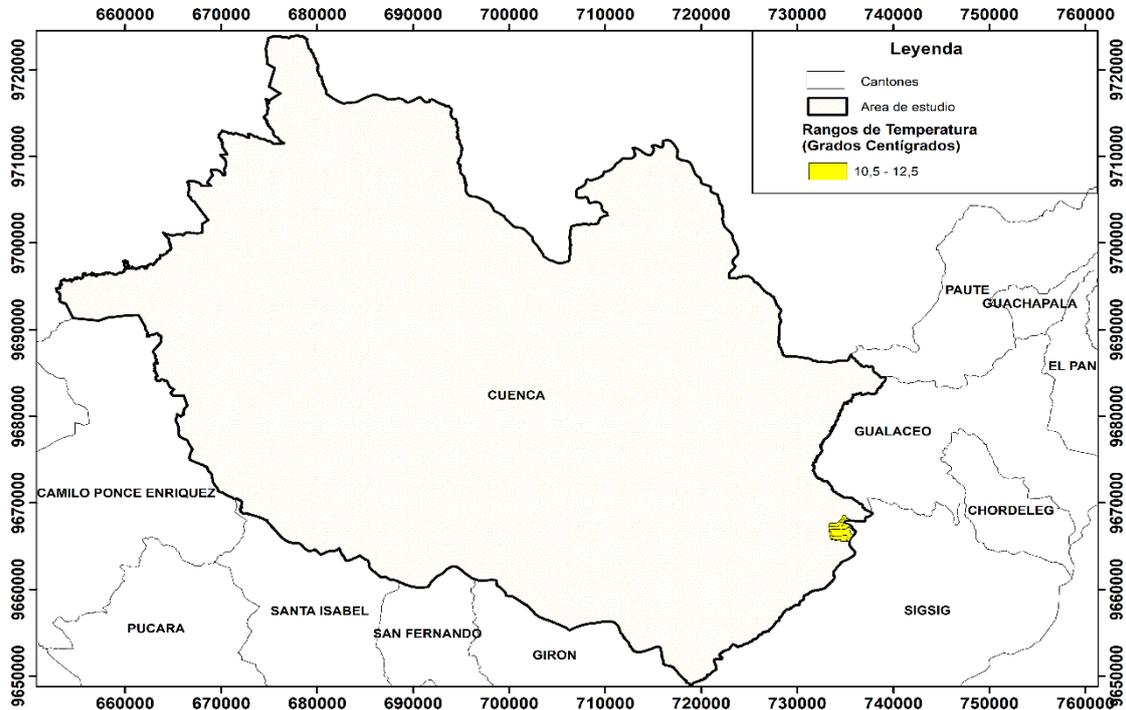
Figura 11: Rango de evapotranspiración en el cantón Cuenca



Fuente: Elaboración propia

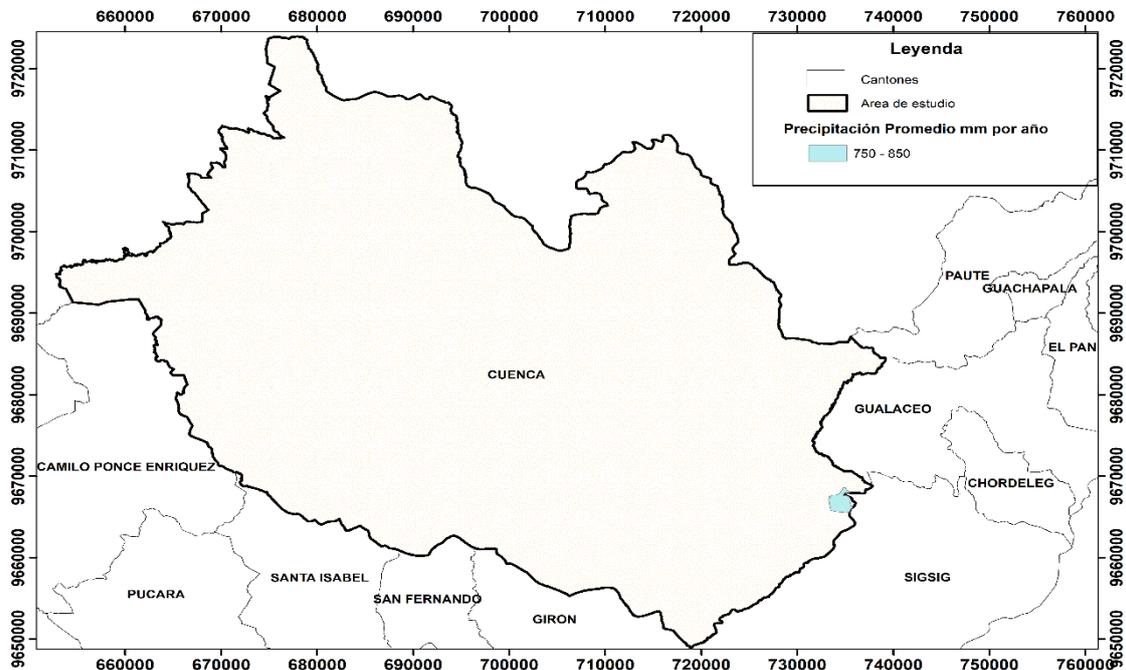
La temperatura del sitio número 2 tiene un rango de 10.5° a 12.5° grados centígrados, mientras el promedio de precipitación es de 750 a 850 mm por año y finalmente la evapotranspiración medida en mm por año es de 775. A continuación, se muestran los mapas de temperatura, precipitación y evapotranspiración del sitio de extracción de muestras ubicado en Quingué.

Figura 12: Rango de temperatura del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Cuenca



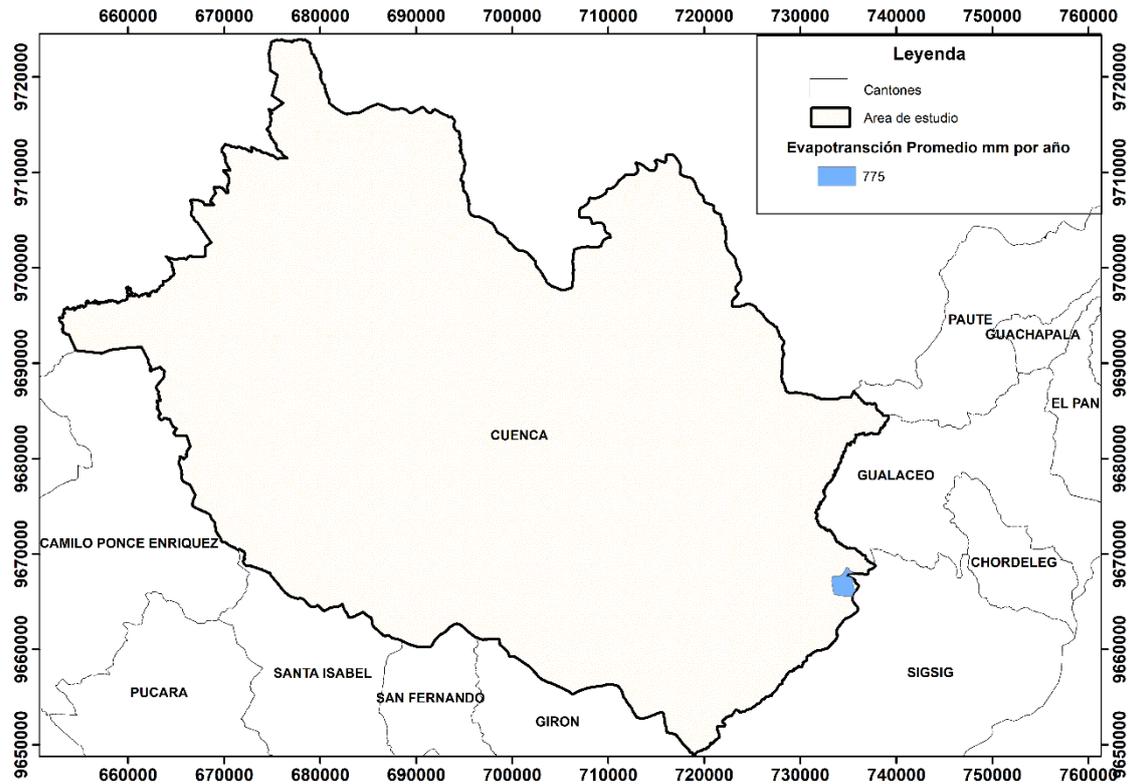
Fuente: Elaboración propia

Figura 13: Rango de precipitaciones del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Cuenca



Fuente: Elaboración propia

Figura 14: Rango de evapotranspiración del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Cuenca



Fuente: Elaboración propia

6.2.1 EXTRACCIÓN DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE CAMPO

En la zona de estudio, se realizó 5 calicatas a cielo abierto, cuya profundidad oscilo entre los 5.5 m y 6 m, desde la cota actual de terreno. Las muestras extraídas fueron mayoritariamente de cada estrato presente en la excavación. El total de muestras es de 11 alteradas de las 5 trincheras ejecutadas.

En las siguientes tablas se muestran las coordenadas del polígono de extracción (tabla 15) de muestras y de cada una de las calicatas realizadas (tabla 16).

Tabla 15: Coordenadas del polígono de extracción de muestras Cuenca (Quingeo)

Puntos polígono	X	Y	Altura m.s.n.m.
1	735147	9665808	2541
2	734041	9665836	2669
3	733775	9667179	3017
4	734881	9667836	3004

Fuente: Elaboración propia basado en ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el sector Quingeo, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

Tabla 16: Coordenadas de las calicatas Cuenca (Quingeo)

Calicatas	X	Y	Altura m.s.n.m.
1	735143.42	9665800.16	2540
2	734034.93	9665831.67	2670
3	734614.79	9666925.33	2983
4	733771.91	9667184.41	3016
5	734887.73	9667841.18	3005

Fuente: Elaboración propia basado en ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el sector Quingeo, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

En las siguientes imágenes se muestra el polígono de extracción de muestras (ilustración 6) y la ubicación de cada una de las calicatas (ilustración 7).

Ilustración 7: Polígono de extracción de muestras Quingeo



Fuente: Ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el sector Quingeo, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

Ilustración 8: Polígono de ubicación de calicatas Quingeo



Fuente: Ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el sector Quingeo, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

6.2.2 Ensayo SPT

El ensayo de penetración estándar más conocido como SPT se realizó en las siguientes coordenadas del polígono de extracción de muestras.

Tabla 17: Coordenadas del ensayo SPT Cuenca (Quingeo)

Muestra	X	Y	Altura m.s.n.m
1	735037.89	9666865.12	2563
2	734591.57	9666105.35	2680
3	734620.01	9667531.32	2910
4	733682.76	9666994.76	3015

Fuente: Elaboración propia basado en ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el sector Quingeo, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

En la siguiente figura se muestra la ubicación de las coordenadas dentro del polígono de extracción de muestras

Ilustración 9: Polígono de extracción de muestras del ensayo SPT Quingeo

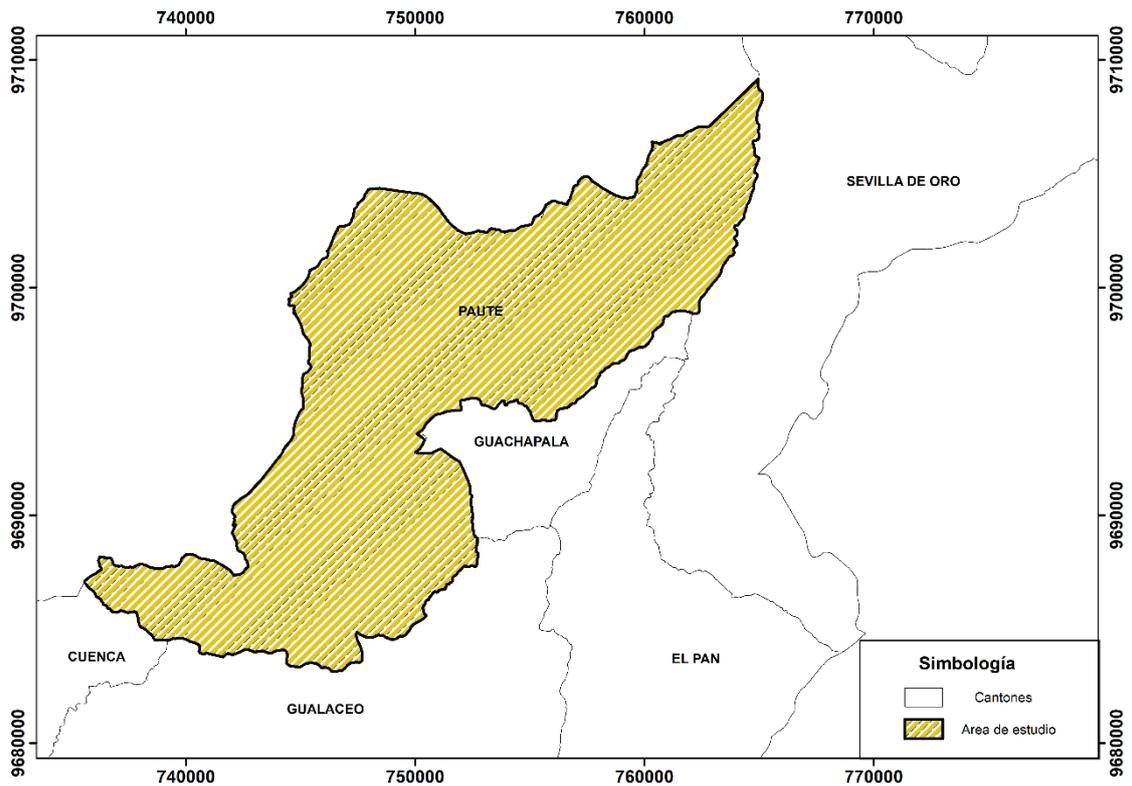


Fuente: Ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el sector Quingeo, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

6.3 SITIO 3 (Paute)

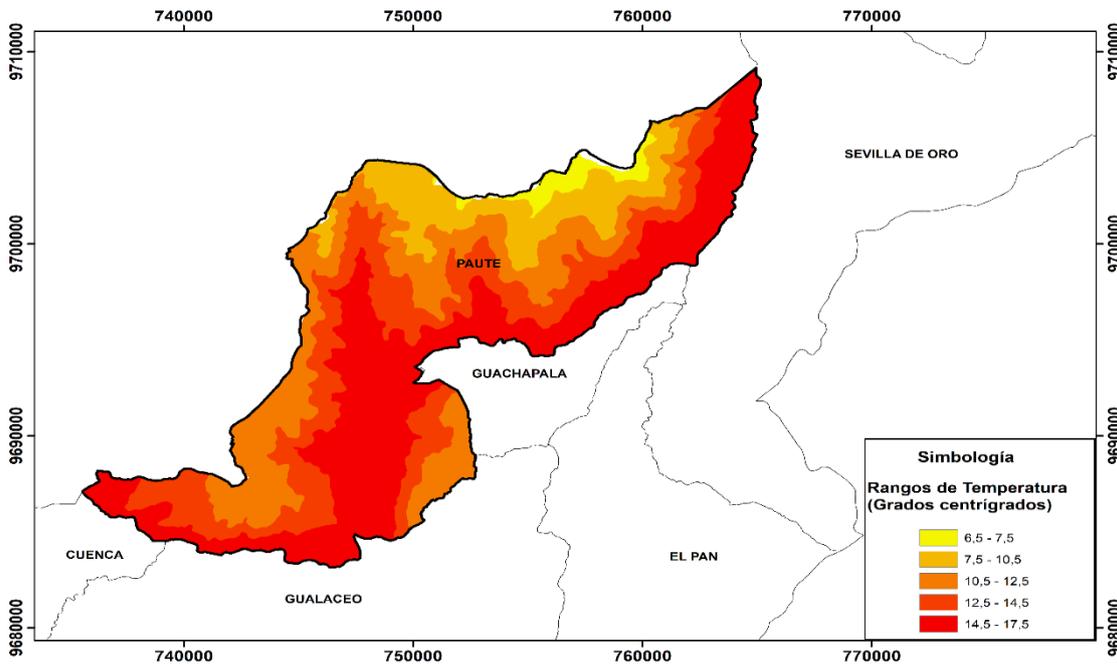
El cantón Paute cuenta con una temperatura que oscila entre 6.5° y 17.5° grados centígrados. La zona que más precipitaciones anuales representa con un total de 1750 mm es aquella que limita con Sevilla de Oro, mientras que la mayor parte del cantón tan solo cuenta con 700 mm de lluvia al año; de la misma forma en gran parte de este territorio se evapotranspira 775 mm anuales, en tanto que 675 mm anuales representan la evapotranspiración de la minoría de la extensión. El tercer sitio se encuentra en el cantón Paute. Las figuras 15, 16, 17, 18 muestran la ubicación, Temperatura, precipitación y evapotranspiración del cantón mencionado.

Figura 15: Ubicación del cantón Paute en la Provincia del Azuay



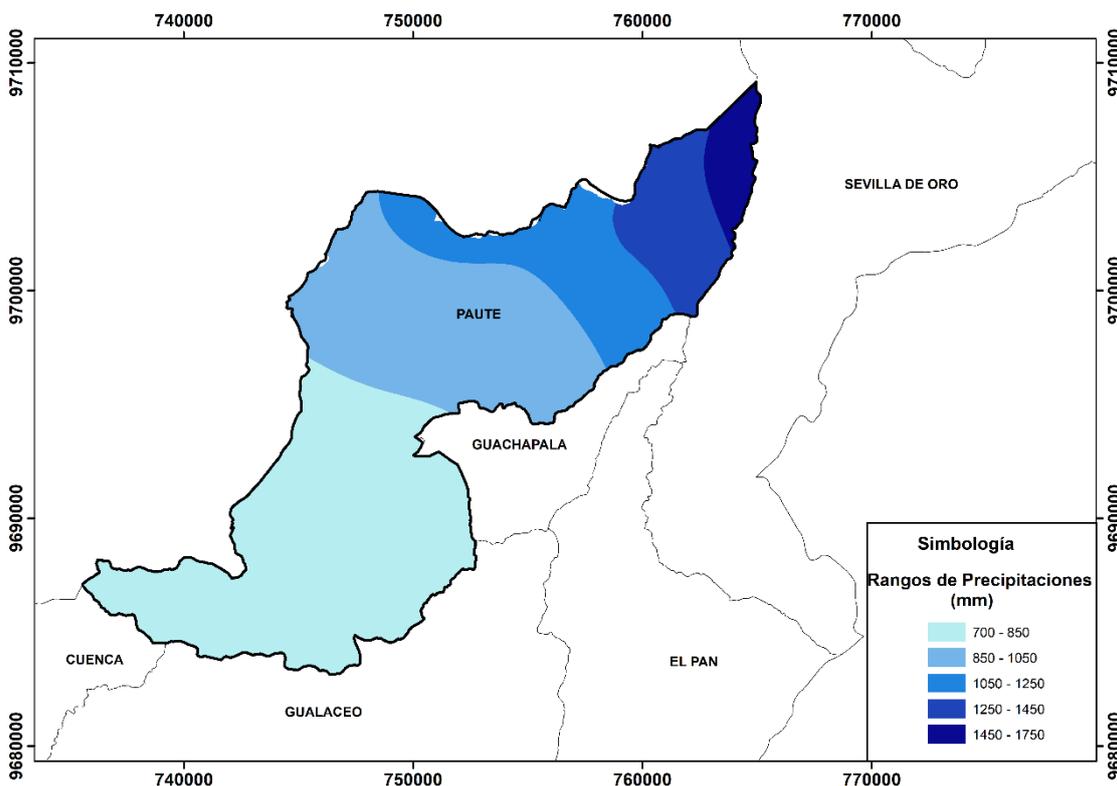
Fuente: Elaboración propia

Figura 16: Rango de temperatura en el cantón Paute



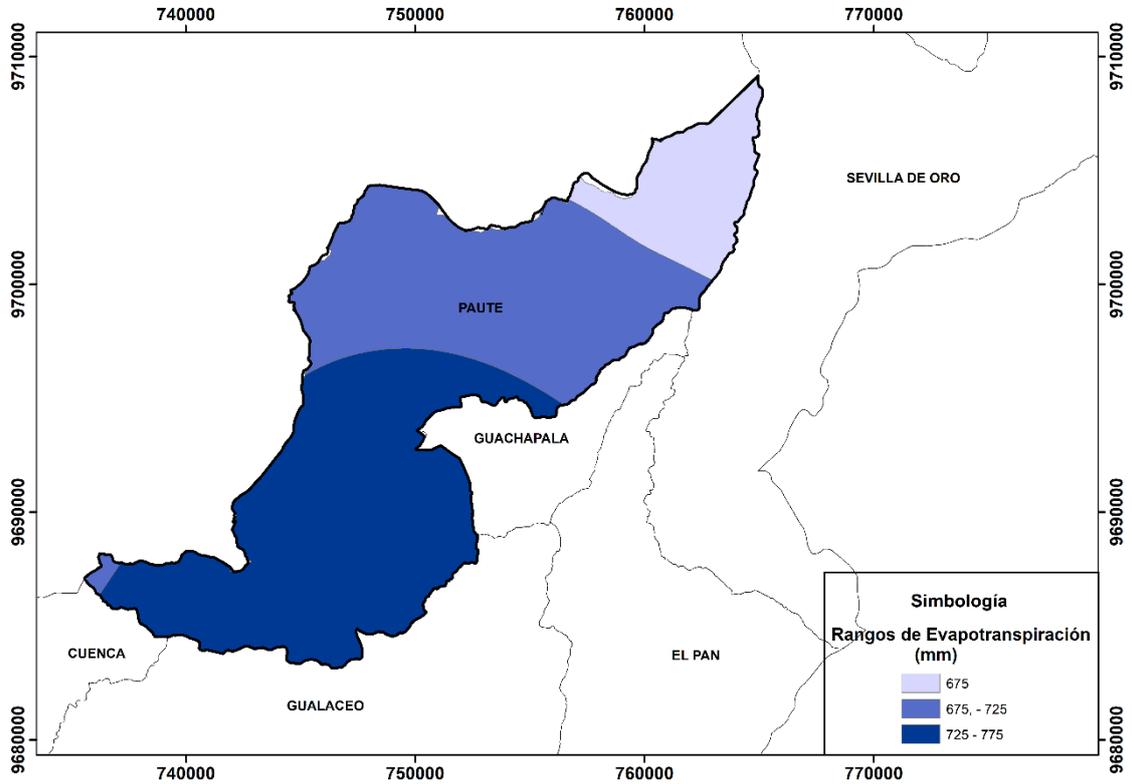
Fuente: Elaboración propia

Figura 17: Rango de precipitaciones en el cantón Paute



Fuente: Elaboración propia

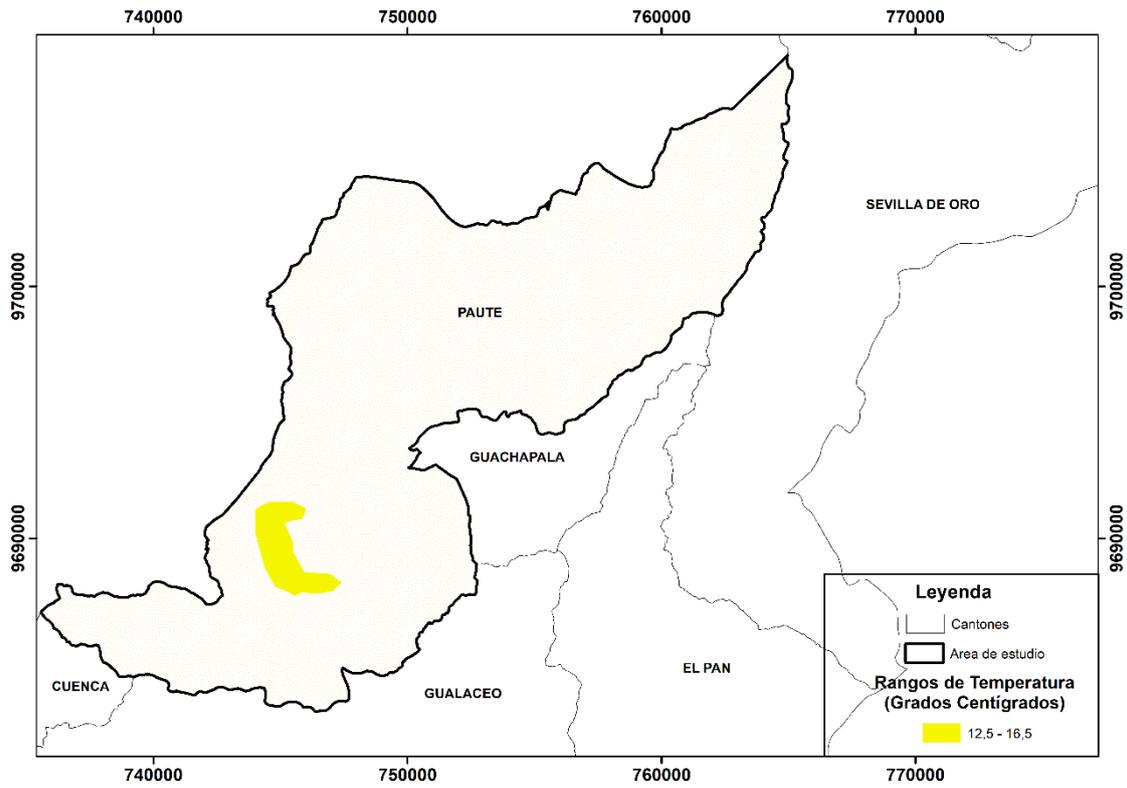
Figura 18: Rango de evapotranspiración en el cantón Paute



Fuente: Elaboración propia

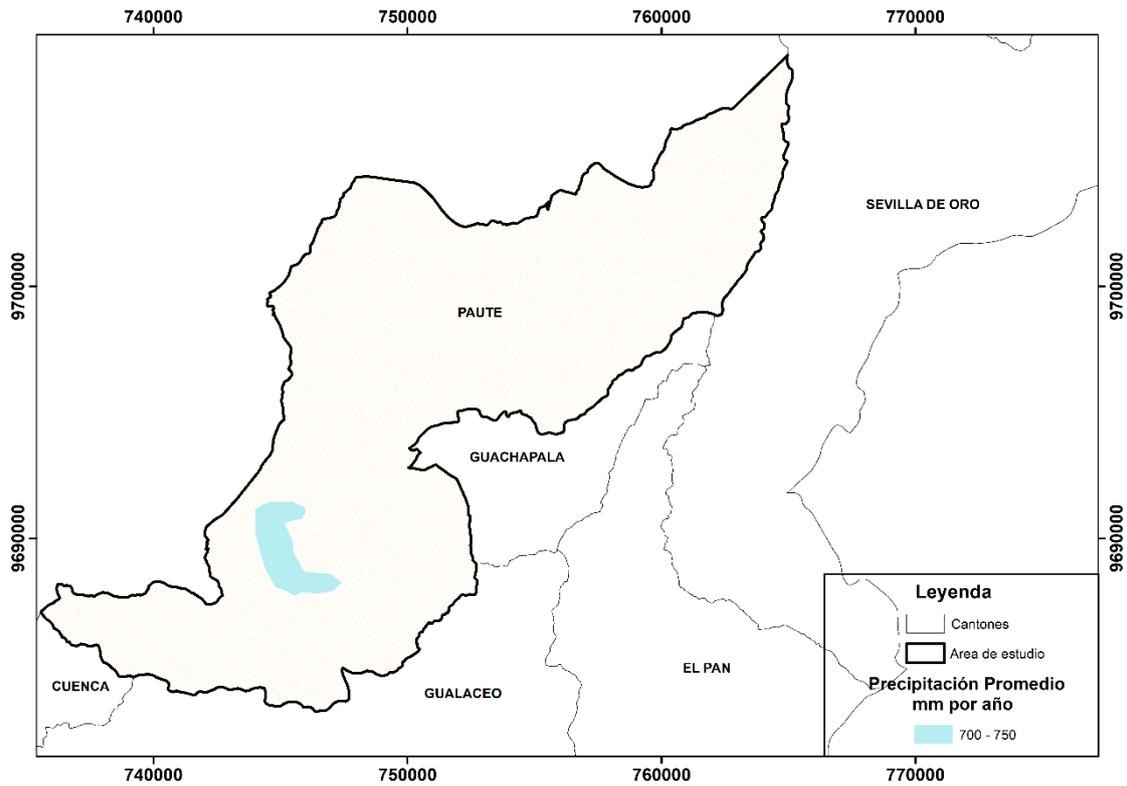
El lugar de extracción de las muestras ubicado en Paute tiene una temperatura que va de 12.5° a 16.5° grados centígrados, la cantidad de lluvia por año es de 700 a 750 mm, y el valor de evapotranspiración en mm anuales es de 775. A continuación, se muestran los mapas de temperatura, precipitación y evapotranspiración del sitio de extracción de muestras ubicado en Quingueó en las figuras 19,20,21.

Figura 19: Rango de temperatura del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Paute



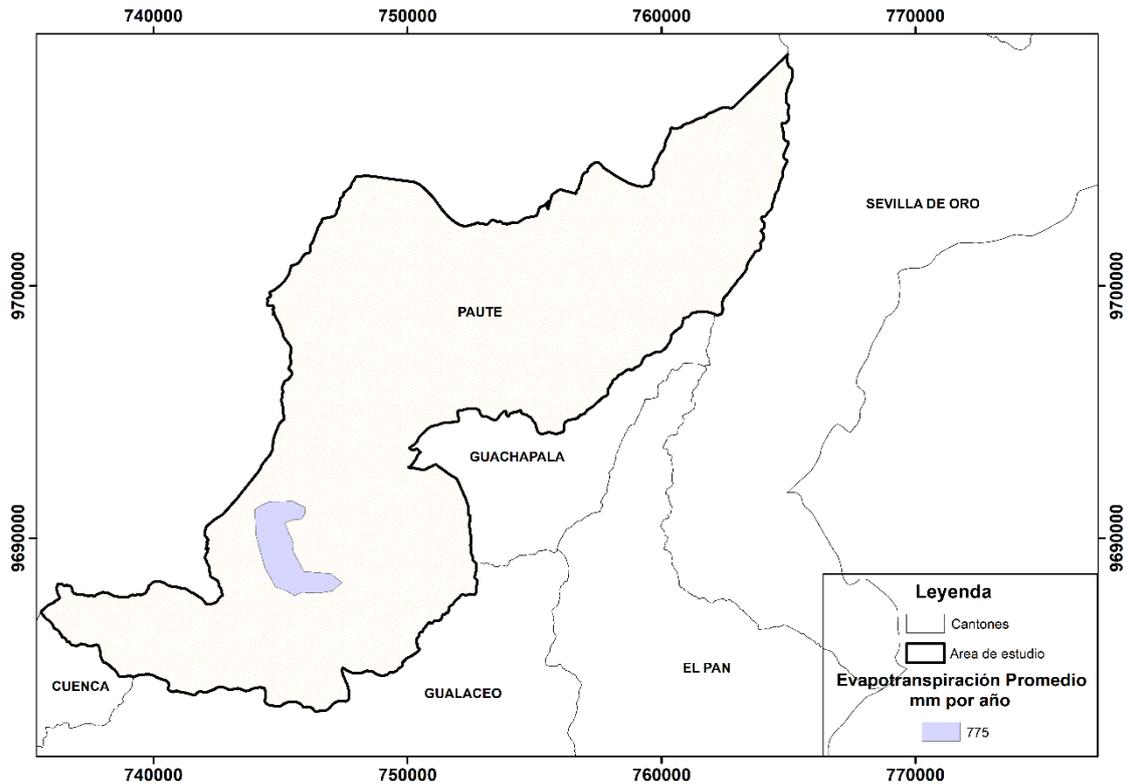
Fuente: Elaboración propia

Figura 20: Rango de precipitaciones del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Paute



Fuente: Elaboración propia

Figura 21: Rango de evapotranspiración del polígono de extracción de muestras ubicado en el cantón Paute



Fuente: Elaboración propia

6.3.1 EXTRACCIÓN DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE CAMPO

En la zona de estudio, se realizó 4 calicatas a cielo abierto, cuya profundidad oscilo entre los 5.5 m y 6 m, desde la cota actual de terreno. Las muestras extraídas fueron mayoritariamente de cada estrato presente en la excavación. El total de muestras es de 7 alteradas de las 4 trincheras ejecutadas.

En las siguientes tablas se muestran las coordenadas del polígono de extracción de muestras (tabla 18) y de cada una de las calicatas realizadas (tabla 19).

Tabla 18: Coordenadas del polígono de extracción de muestras Paute

Puntos polígono	X	Y	Altura m.s.n.m.
1	746610	9688191	2346
2	745812	9688465	2373
3	745095	9689889	2452
4	744765	9690899	2647

Fuente: Elaboración propia basado en ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón Paute, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

Tabla 19: Coordenadas de las calicatas Paute

Calicatas	X	Y	Altura m.s.n.m.
1	746608.89	9688189.98	2345
2	745804.64	9688449.30	2375
3	745087.72	9689883.61	2454
4	744785.41	9690894.43	2645

Fuente: Elaboración propia basado en ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón Paute, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”.

En las siguientes imágenes se muestra el polígono de extracción de muestras (ilustración 9) y la ubicación de cada una de las calicatas (ilustración 10).

Ilustración 10: Polígono de extracción de muestras Paute



Fuente: Ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón Paute, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

Ilustración 11: Polígono de ubicación de Calicatas Paute



Fuente: Ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón Paute, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

6.3.2 Ensayo SPT

El ensayo de penetración estándar más conocido como SPT se realizó en las siguientes coordenadas del polígono de extracción de muestras.

Tabla 20: Coordenadas del ensayo SPT Paute

Muestra	X	Y	Altura m.s.n.m
1	744761	96908901	2688
2	745080	9689890	2461

Fuente: Elaboración propia basado en ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón Paute, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

En la siguiente figura se muestra la ubicación de las coordenadas dentro del polígono de extracción de muestras

Ilustración 12: Polígono de extracción de muestras del ensayo SPT Paute



Fuente: Ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón Paute, enmarcados en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

7. RESULTADOS

7.1 RESULTADOS GEOFÍSICOS

Los ensayos geofísicos realizados fueron: Sísmica de refracción en el sitio ubicado en el cantón Santa Isabel (tabla 21) y sondeo vertical eléctrico en los sitios ubicados en Paute y Quingeo (tabla 22,23). A continuación, se presenta tablas resumen sobre estos ensayos:

En la tabla 21 se puede observar que la línea de horizonte b del perfil LS-2 es la que mejores resultados presenta con N_{spt} de 56 y un ángulo de fricción de 48.

En la tabla 22 (sitio ubicado en el cantón Paute) se puede observar que el valor máximo de resistividad es de 130 Ohm-m a una profundidad de 8 a 35 metros en el sve 3 y 4, mientras que el valor más pequeño es de 29 Ohm-m a una profundidad de 0 a 8 metros en el sve 1,2 y 5. En la tabla 23 (sitio ubicado en Quingeo) el valor máximo de resistividad es de 103 Ohm-m encontrado a una profundidad de 2.5 a 15 metros en el sve 1 y en el sve 4 en profundidades superiores a 43 metros, el valor más pequeño es de 9 Ohm-m ubicado desde los 0 hasta los 24 metros del sve 4.

Tabla 21: Resultados del ensayo de sismica de refracción cantón Santa Isabel

Santa Isabel	Perfil	Capa	Espesor (m)	VP m/s	Vs m/s	μ	ρ ton/m ³	E dinam kg/cm ²	E esta. Kg/cm ²	Nspt	ϕ°
	LS-1	horizonte A		5	254,6	141	0,277	1,54	803	40	11
Horizonte B			>5	1191,1	768	0,143	1,82	25100	1255	54	48
LS-2	Horizonte A		5	411,2	228	0,277	1,61	2184	109	19	34
	Horizonte B		>5	1246,4	804	0,143	1,84	27666	1383	56	48

Fuente: Elaboración propia basado en ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón Santa Isabel, enmarcados en el proyecto “análisis para un sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

Tabla 22: Resultados del ensayo de sondeo eléctrico cantón Paute

Zona	SEV	Profundidad (m)	Resistividad ohm-m	Descripción (perfil)
Paute	1,2,5	0-8	29-48	Esquistos fracturados
		8-35	51-80	Esquistos compactos
		>35	90-105	Esquistos consolidados
	3,4	0-8	74-66	Tobas
		8-35	125-130	Tobas consolidadas
		>35	82-73	Tobas consolidadas húmedas

Fuente: Elaboración propia basado en ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón Paute, enmarcados en el proyecto “análisis para un sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

Tabla 23: resultados del ensayo de sondeo eléctrico cantón Cuenca parroquia Quingeo

Zona	SEV	Profundidad (m)	Resistividad ohm-m	Descripción (perfil)
Quingeo	1	0-2,5	42	Material removido media compactación
		2,5-15	103	Tobas de mayor consolidación
		>15	34	Tobas consolidadas húmedas existencia de NF
	2	0-3	42	Material removido media compactación
		3,0-11,0	62	Tobas de mayor cohesión
		>11	18	Tobas con matriz suelta o húmeda, NF
	3	0-3	58	Material removido media compactación
		3-30	30	Tobas con matriz suelta o húmeda, NF
		>30	70	Tobas mayor consolidación
	4	0-24	9	Material baja cohesión o húmedo
		24-43	48	Tobas de consolidación media
		>43	103	Tobas mayor consolidación
	5	0-3	88	Tobas consolidadas
		3-30	41	Tobas consolidadas húmedas
		>30	19	Tobas con matriz suelta o húmeda, NF
	6	0-3	50	Tobas consolidadas
		3-28	28	Tobas consolidadas húmedas
		>28	25	Tobas con matriz suelta o húmeda, NF

Fuente: Elaboración propia basado en ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el sector Quingeo, enmarcados en el proyecto “análisis para un sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

Las coordenadas de la zona en donde se realizaron estos ensayos son las siguientes:

Tabla 24: Coordenadas del ensayo de sondeo eléctrico vertical cantón Cuenca parroquia Quingeo

SEV	X	Y	Altura m.s.n.m.
1	735494	9666857	3185
2	734584	9667106	3095
3	733990	9667183	3052
4	733445	9667181	3061
5	732961	9667164	3045
6	734432	9667054	3075

Fuente: Elaboración propia basado en ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el sector Quingeo, enmarcados en el proyecto “análisis para un sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

Tabla 25: Coordenadas del ensayo de sondeo eléctrico cantón Paute

SEV	X	Y	Altura m.s.n.m.
1	746864	9687489	2465
2	746881	9687491	2454
3	746275	9687581	2645
4	746304	9687580	2634
5	746779	9687487	2478

Fuente: Elaboración propia basado en ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón Paute, enmarcados en el proyecto “análisis para un sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”

7.2 RESUMEN DE RESULTADOS GENERALES

Cada ensayo de laboratorio se realizó mediante su correspondiente normativa, expuesta en la tabla 26.

Tabla 26: Normativa de los ensayos realizados en laboratorio

Ensayo	Normativa
Granulometría	I.N.V. E – 213 – 07
Límites de Atterberg	ASTM N° D 4318-95a
Proctor estándar	ASTM D698
Corte directo	ASTM D3080-90, INVE 154-07

Fuente: elaboración propia basado en (Bowles,1981)

En el caso del ensayo de corte directo se realizó una compactación previa como indica la norma, debido a que no se contaba con una muestra inalterada.

A continuación, se expondrán tablas con todos los resultados obtenidos en laboratorio, campo, teóricos y a partir de fórmulas empíricas de cada uno de los sitios de análisis. Los resultados de forma detallada se pueden revisar en el apartado de anexos, allí se encuentran tablas y gráficos de cada uno de los ensayos realizados.

La capacidad portante fue calculada en función a las fórmulas de Terzaghi y Mayerhof, utilizando como análisis zapatas corridas y aisladas, debido a que existe una probabilidad de construcción de infraestructura en la zona de emplazamiento de un relleno sanitario.

En la tabla 27 se puede apreciar que en la zona de Santa Isabel se realizaron 6 calicatas obteniendo 14 muestras para su análisis y tan solo 3 de estas superaron el coeficiente k de conductividad hidráulica el cual debe ser igual o menor a 10^{-7} cm/s, de igual forma en obras de este estilo el componente granulométrico del suelo preferiblemente debe ser de carácter fino es decir suelos arcillosos o limosos, en este caso solo 3 muestras cumplen con este requisito, las 11 restante son suelos gravosos y arenosos que contiene porcentajes de arcilla y limo, en cuanto al indicie de plasticidad la mayoría de las muestras

presentan una buena consistencia a excepción de una, algo similar sucede con la densidad y ángulo de fricción en donde los resultados son positivos, no obstante en el apartado de capacidad portante aproximadamente la mitad de muestras cuentan con valores que van de un rango de 9 a 11 kg/cm², el porcentaje faltante presentan valores inferiores a 2 kg/cm², no existe nivel freático en este sitio. La muestra de 1.00 metros a 2.50 metros de profundidad de la calicata 4 es considerada como una arcilla altamente expansiva esto según (González, 2002).

En el sitio ubicado en la parroquia Quingeo se realizaron 5 calicatas obteniendo 9 muestras para su análisis, 4 de estas cumplen con las condiciones de permeabilidad para un relleno sanitario, el 45 % de las muestras cuentan con una granulometría fina, mientras que el 55 % restante son gravas y arenas con porcentaje de limo, en cuanto a la plasticidad, los valores fluctúan de 5.06 el menor y el mayor de 20.12. El ángulo de fricción y la cohesión tienen valores aceptables, sin embargo, las densidades de la mayoría de las muestras son bajas, la capacidad de carga de 7 muestras es de 1.14 kg/cm², mientras que las dos restantes tienen un valor superior a 9 kg/cm²; la humedades presentadas por casi la totalidad de especímenes es alta, exceptuando 2 de ellas, esto evidencia la presencia de nivel freático, el cual se encuentra por debajo de los 11 metros de profundidad según el análisis de sondeo eléctrico vertical. Todo esto se puede apreciar en la tabla 28.

En la zona de Paute se extrajeron 7 muestras de 4 calicatas, de estas solo se realizó el análisis de 5 de ellas debido a que dos muestras era muy similares, la granulometría en este sector es de carácter grueso, ya que solo se obtuvo gravas y arenas con porcentajes de arcilla, esto se ve reflejado en la permeabilidad alta del sitio, la plasticidad tiene valores desde 8.74 a 10.13, a excepción de una muestra cuyo valor es de 22.84; la densidad, ángulo de fricción y cohesión tienen valores adecuados; la capacidad de carga en la mayoría de las muestra es alta con valores superiores a 7 kg/cm², tan solo dos muestras están por debajo de 1.5 kg/cm², en cuanto a las humedades están son relativamente bajas debido a la inexistencia de nivel freático en la zona. Todo esto esta sustentado en base a la tabla 29.

7.2.1 SANTA ISABEL

Tabla 27: Resumen general Santa Isabel (Elaboración propia)

TABLA RESUMEN DE SANTA ISABEL													
Zona	Calicata	Profundidad	Tipo de suelo	Porcentaje que pasa el tamiz #4	Porcentaje que pasa el tamiz #200	límite líquido	índice plasticidad	Densidad kg/m ³	% de humedad	Capacidad de carga kg/cm ²	Ángulo de fricción	Cohesión	Permeabilidad cm/s
SANTA ISABEL	C1	0,00 - 1,10	MH	97,7	64,76	58,02	14,66	1377	7,49	1,14	46	21	1,0E-07
		1,10 - 5,00	GP - GM	42,72	8,39	34,3	10,65	1944	11,21	10,59	46	66,5	1,0E+02
		5,00 - ADELANTE	GW -GC	35,042	5,45	34,5	12,93	2000	8,99	10,59	46	66,5	1,0E+02
	C2	0,00 - 2,80	GP	30,264	4,15	33,12	5,76	1944	6,49	9,96	45	175	1,0E+02
	C3	0,00 -1,70	GM	47,752	24,5	50	17,77	1944	8,47	10,59	49	241,5	1,0E+02
		1,70 - ADELANTE	GM	48,58	15,57	45	15,62	1944	6,13	10,59	47	199,5	1,0E+02
	C4	0,00 - 0,50	GC	38,154	17,98	41,2	19,32	1685	8,96	10,59	36	63	1,0E+02
		0,50 - 1,00	SM	69,365	34,72	52,02	18,5	1672	7,72	1,14	36	63	1,0E-03
		1,00 - 2,50	CH	96,75	63,41	51,7	23,22	1512	4,41	1,14	49	241,5	1,0E-09
		2,50 - 5,00	SM	98,76	29,46	42	11,71	1672	9,28	1,14	46	192,5	1,0E-03
	C5	0,00- 0,50	MH	98,52	73,28	60,7	18,49	1377	5,99	1,14	49	241,5	1,0E-07
		0,50 - 5,00	GM	44,028	17,58	49,6	13,92	1944	8,93	9,68	47	199,5	1,0E+02
	C6	0,00 - 0,50	SM	86,07	25,97	46	14,56	1672	10,99	1,14	49	241,5	1,0E-03
		0,50 - 4,50	SM	52,82	12,24	42,3	12,98	1672	8,59	1,14	47	199,5	1,0E-03

7.2.2 QUINGEO

Tabla 28: Resumen general Quingeo (Elaboración propia)

TABLA RESUMEN DE QUINGEO													
Zona	Calicata	Profundidad	Tipo de suelo	Porcentaje que pasa el tamiz #4	Porcentaje que pasa el tamiz #200	Limite liquido	índice de plasticidad	Densidad kg/m ³	% de humedad	Capacidad de carga kg/cm ²	Ángulo de fricción	Cohesión	Permeabilidad cm/s
QUINGEO	C1	0,00 - 3,00	GP-GM	37,11	10,42	40,2	8,79	1610	11,45	9,01	39	87,5	1,0E+02
	C2	0,00 - 2,80	GW	21,556	4,07	41,9	15,27	1700	13,77	9,61	39	87,5	1,0E+02
	C3	0,00 - 0,70	SM	100	44,06	61,9	20,12	1194	42,19	1,14	41	21	1,0E-03
		0,70 - 4,00	SM	100	21,25	55,9	5,06	1194	36,67	1,14	47	66,5	1,0E-03
	C4	0,00 - 0,40	MH	100	62,57	70	5,06	1124	36,5	1,14	32	31,5	1,0E-07
		0,40 - 1,20	MH	100	61,34	78,3	25,4	1124	60,14	1,14	32	31,5	1,0E-07
		1,20 - 5,00	SM	100	33,95	76	20,26	1194	63,32	1,14	42	119	1,0E-03
	C5	0,00 - 1,50	MH	100	71,76	89	19,74	1124	62,68	1,14	47	192,5	1,0E-07
		1,50 - 4,80	MH	100	50,7	79	17,35	1124	61,54	1,14	47	192,5	1,0E-07

7.2.3 PAUTE

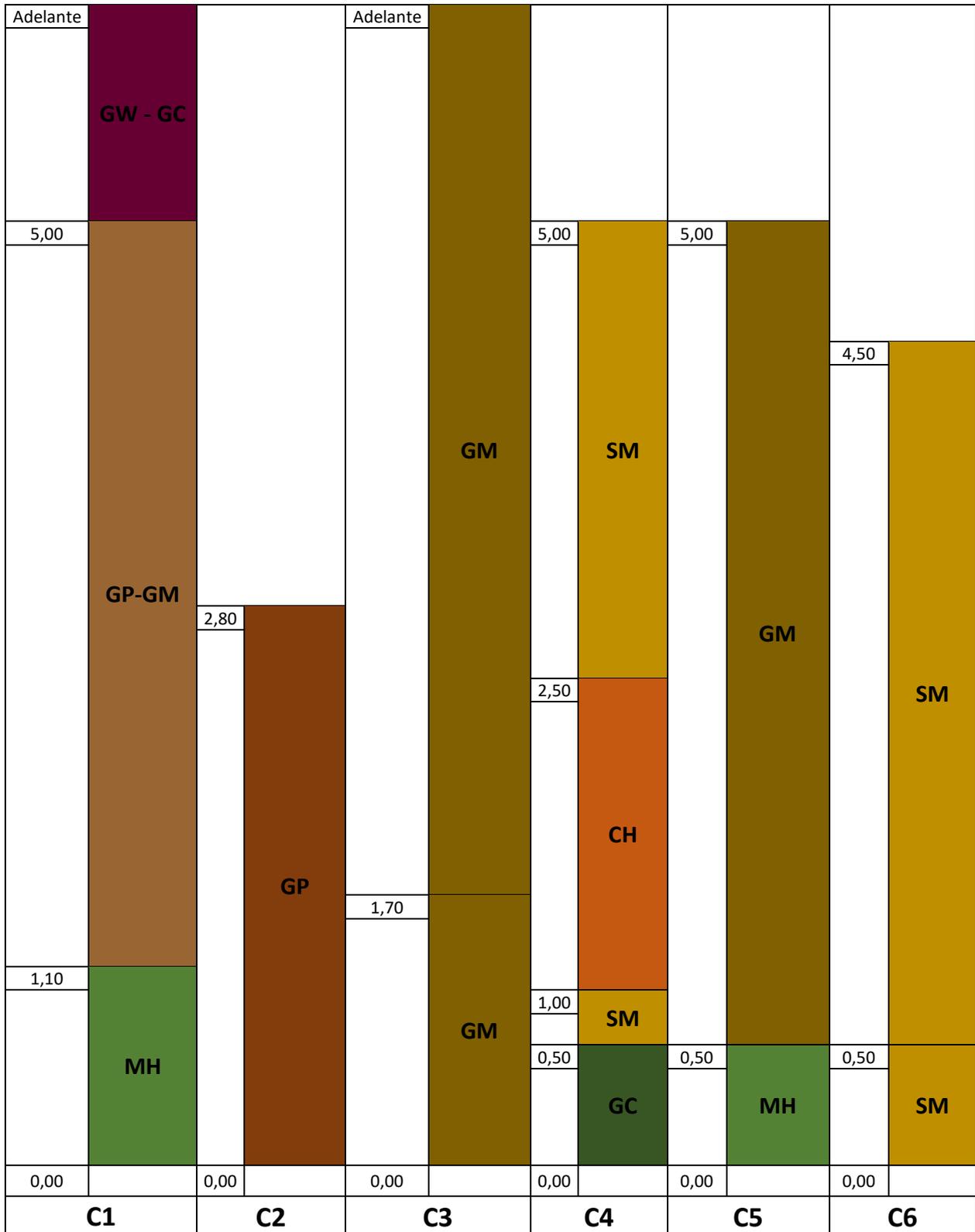
Tabla 29: Resumen general Paute (Elaboración propia)

TABLA RESUMEN DE PAUTE													
Zona	Calicata	Profundidad	Tipo de suelo	Porcentaje que pasa el tamiz #4	Porcentaje que pasa el tamiz #200	Limite liquido	índice de plasticidad	Densidad kg/m ³	% de humedad	Capacidad de carga kg/cm ²	Ángulo de fricción	Cohesión	Permeabilidad cm
PAUTE	C1	1,50 - 4,50	SP-SC	59,56	10,51	27	10,13	1450	4,91	1,14	41	115,5	1,0E-01
	C2	0,00 -2,20	GC	49,57	15,83	29,5	9,09	1577	7,19	8,75	47	196	1,0E+02
	C3	0,00 - 1,00	SC	70,45	46,18	46	22,84	1450	15,23	1,14	41	115,5	1,0E-04
		1,70 - 5,00	GC	40,86	12,94	29,5	8,74	1577	15,042	8,75	47	196	1,0E+02
	C4	0,00 - 4,20	GP - GC	24,00	2,46	28,9	8,98	1577	10,97	7	47	45,5	1,0E+02

7.3 PERFILES ESTRATIGRAFICOS

7.3.1 SANTA ISABEL

Tabla 30: Perfil Estratigráfico Santa Isabel



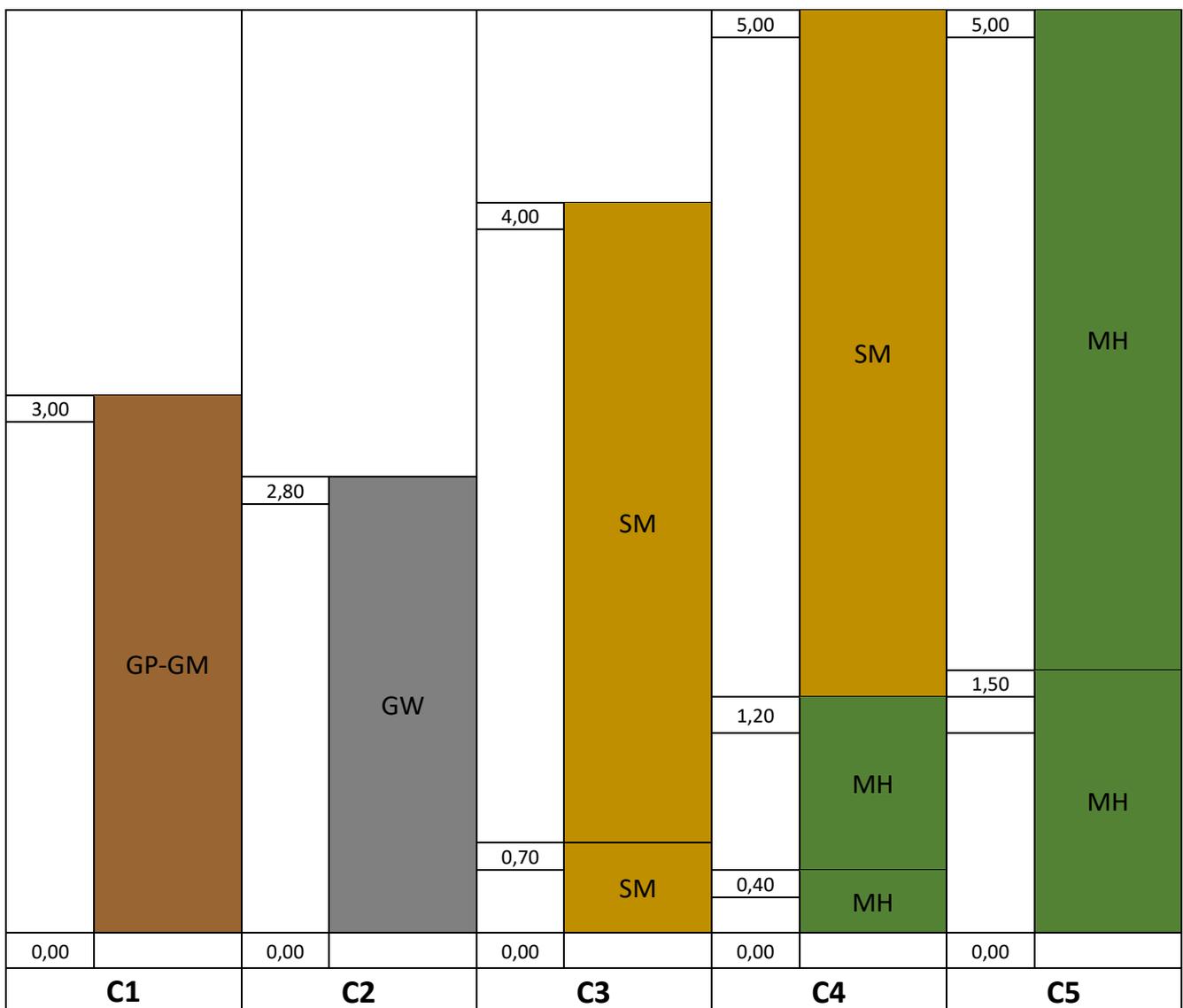
Fuente: Elaboración Propia

En el caso del sitio ubicado en Santa Isabel (tabla 30) 7 muestras en diferentes calicatas son gravas, 4 son arenas con porcentaje de arcilla, 2 limos de alta plasticidad y una arcilla de alta plasticidad.

7.3.2 QUINGEO

En la figura 31 se puede observar que el perfil estratigráfico de Quingeo mayoritariamente este compuesto por suelos de grano fino como son los limos de alta plasticidad (MH) y arenas limosas (SM) estos, la calita 1 y 2 presentan gravas pobremente graduadas con porcentajes de limo (GP-GM) y gravas bien graduadas (GW) respectivamente.

Tabla 31: Perfil Estratigráfico Quingeo

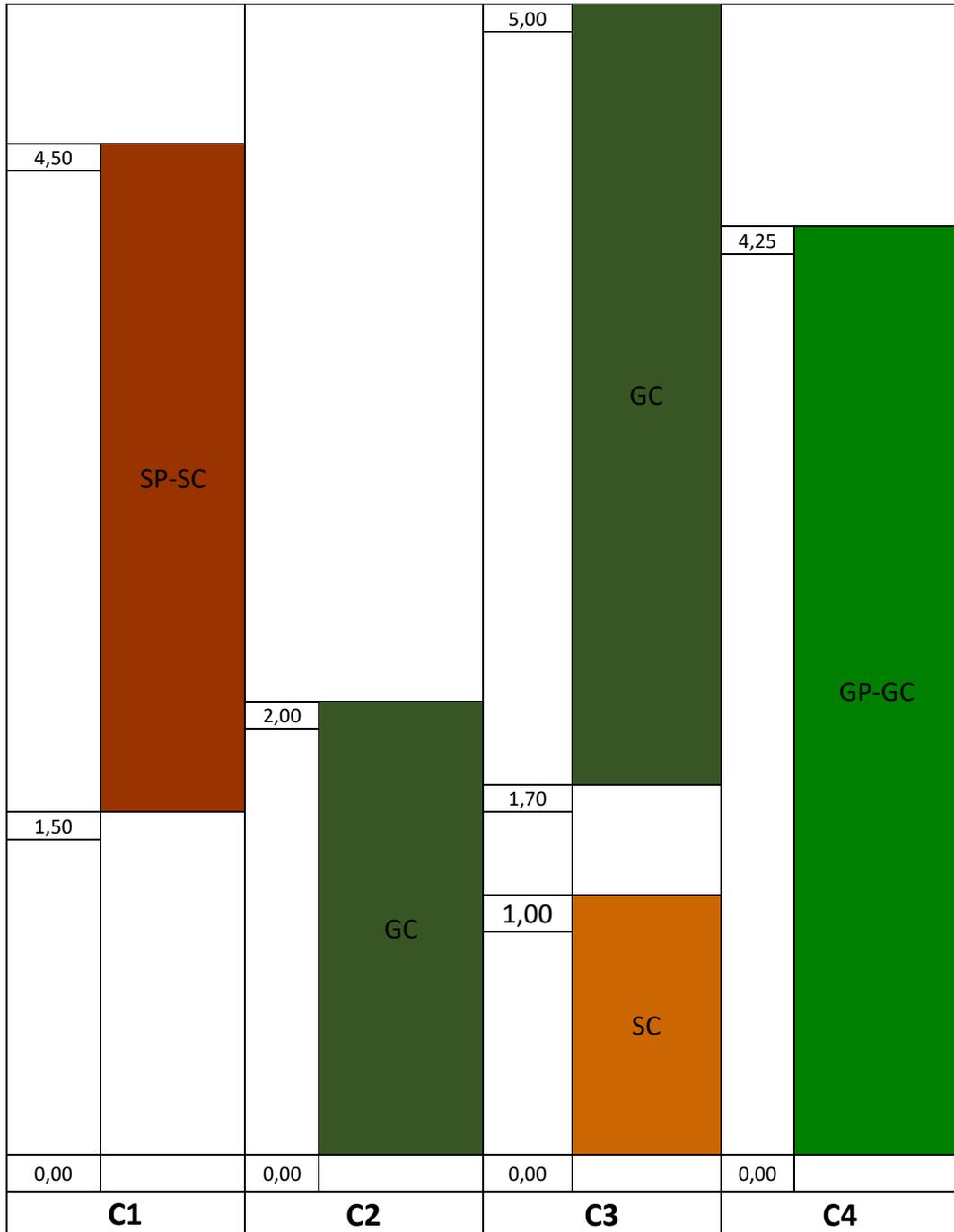


Fuente: Elaboración Propia

7.3.3 PAUTE

En el caso del sitio ubicado en Paute el suelo es mayoritariamente grueso en el orden de gravas con porcentajes de arcillas y arena con porcentajes de arcilla.

Tabla 32: Perfil Estratigráfico Paute



Fuente: Elaboración Propia

8. MATRICES DE COMPARACIÓN DE RESULTADOS

8.1 COMPARACIÓN DE PARES (PRIORIZACION DE VARIABLES)

En el método de priorización se utilizó una matriz de comparación de pares, con valores de 0 y 1, esto se realizó con la consigna de poder comparar las diferentes variables de análisis.

Se colocan las mismas variables en la primera fila y columna de la matriz y se procede a comparar variable tras variable, aquella que es considerada con mayor relevancia sobre la otra se le asigna el número 1, caso contrario se usa el 0. En la diagonal se colocan unos debido a que se compara variables iguales, al final se suma las filas y aquella variable que tenga una mayor puntuación es considerada como la más importante de la lista, seguida de la segunda con mayor cantidad de puntos, así sucesivamente hasta terminar la lista.

Tabla 33: Comparación de pares

	Densidad	Capacidad portante	Angulo de fricción	Permeabilidad	Plasticidad	Suma
Densidad	1	0	0	0	0	1
Capacidad portante	1	1	1	0	0	3
Angulo de fricción	1	0	1	0	0	2
Permeabilidad	1	1	1	1	1	5
Plasticidad	1	1	1	0	1	4

Fuente: Elaboración propia

Los puntajes asignados a las variables expuestas en la tabla anterior (tabla 33) son producto de un análisis de criterio, se definió la permeabilidad seguido de la plasticidad como las variables más importantes con 5 y 4 puntos respectivamente, debido a que estas tienen valores condicionantes, $k= 10^{-7}$ cm/s en el caso de la permeabilidad y de 10 a 25 % en la plasticidad. La variable de capacidad portante obtuvo 3 puntos, debido a su importancia para la edificación de obras, así como evitar fallos por cortante en terreno. Al ángulo de fricción se le asigno 2 puntos seguido de la densidad al considerarlas como las variables menos importantes de la lista.

8.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Una vez realizado el método de priorización, es decir que las variables tengan un puntaje asignado, se procedió a realizar la comparación de los diferentes sitios de extracción y análisis de muestras en este caso: Santa Isabel, Quingeo y Paute.

La metodología utilizada se detallada a continuación:

- 1) Se realiza una matriz en donde se colocan todas las variables con sus respectivos resultados obtenidos en el laboratorio, campo o de forma teórica (tabla 34).
- 2) Se busca el mayor resultado de cada variable en la matriz del ítem anterior y se le asigna la puntuación obtenida en el método de comparación de pares.
- 3) Para poder calcular las puntuaciones del resto de resultados de cada variable se realiza una regla de tres en donde estos son comparados con los valores del ítem anterior esto se lo hace en una segunda matriz denominada matriz de puntuaciones (tabla 35).
- 4) En caso de la permeabilidad donde los valores son muy distantes y en obras como un relleno sanitario donde se busca que esta variable sea lo menor posible, se realiza la regla de tres con los exponentes de los valores de esta variable.
- 5) En caso de existir un condicionante como en el índice de plasticidad o la permeabilidad, se verifica que los resultados de la primera matriz o matriz de resultados cumplan con el condicionante para poder ejecutar la regla de tres, caso contrario se asigna el valor de 0 en la matriz de puntuaciones
- 6) Una vez que todos los resultados tengan puntuaciones se suman las filas de la matriz de puntuaciones para obtener un puntaje general de cada sitio (tabla 36).
- 7) En este caso al no tener el mismo número de muestras en cada sitio las sumas del ítem anterior serían desproporcionadas, por lo que se realiza una última regla de 3 para evaluar las puntuaciones sobre 100.
- 8) Aquel sitio que obtenga el puntaje más alto será catalogado como el más apto de la lista.

A continuación, se presentan las matrices descritas en la metodología. Siendo la primera la matriz de resultados seguida de la matriz de puntuaciones.

Tabla 34: Matriz de valores reales obtenidos en ensayos de laboratorio, campo y formulación

Matriz de valores reales obtenidos en ensayos de laboratorio, campo y formulación								
Zona	Calicata	Profundidad	Tipo de suelo	Densidad	Capacidad portante	Ángulo de fricción	Permeabilidad	Plasticidad
Santa Isabel	C1	0,00 - 1,10	MH	1377	1,14	46	1,0E-07	14,66
		1,10 - 5,00	GP - GM	1944	10,59	46	1,0E+02	10,65
		5,00 - ADELANTE	GW - GC	2000	10,59	46	1,0E+02	12,93
	C2	0,00 - 2,80	GP	1944	9,96	40	1,0E+02	5,76
	C3	0,00 - 1,70	GM	1944	10,59	49	1,0E+02	17,77
		1,70 - ADELANTE	GM	1944	10,59	47	1,0E+02	15,62
	C4	0,00 - 0,50	GC	1685	10,59	36	1,0E+02	19,32
		0,50 - 1,00	SM	1672	1,14	36	1,0E-03	18,5
		1,00 - 2,50	CH	1512	1,14	49	1,0E-09	23,22
		2,50 - 5,00	SM	1672	1,14	46	1,0E-03	11,71
	C5	0,00 - 0,50	MH	1377	1,14	49	1,0E-07	18,49
		0,50 - 5,00	GM	1944	9,68	47	1,0E+02	13,92
	C6	0,00 - 0,50	SM	1672	1,14	49	1,0E-03	14,56
		0,50 - 4,50	SM	1672	1,14	47	1,0E-03	12,98
Quingeo	C1	0,00 - 3,00	GP-GM	1610	9,01	39	1,0E+02	8,79
	C2	0,00 - 2,80	GW	1700	9,61	39	1,0E+02	15,27
	C3	0,00 - 0,70	SM	1194	1,14	41	1,0E-03	20,12
		0,70 - 4,00	SM	1194	1,14	47	1,0E-03	5,06
	C4	0,00 - 0,40	MH	1124	1,14	32	1,0E-07	5,06
		0,40 - 1,20	MH	1124	1,14	32	1,0E-07	25,4
		1,20 - 5,00	SM	1194	1,14	42	1,0E-03	20,26
	C5	0,00 - 1,50	MH	1124	1,14	47	1,0E-07	19,74
1,50 - 4,80		MH	1124	1,14	47	1,0E-07	17,35	
Paute	C1	1,50 - 4,50	SP-SC	1450	1,14	41	1,0E-01	10,13
	C2	0,00 - 2,20	GC	1577	8,75	47	1,0E+02	9,09
	C3	0,00 - 1,00	SC	1450	1,14	41	1,0E-04	22,84
		1,70 - 5,00	GC	1577	8,75	47	1,0E+02	8,74
	C4	0,00 - 4,20	GP - GC	1577	7	47	1,0E+02	8,98

Fuente: Elaboración propia

Unidades

- Profundidad: metros (m).
- Densidad: kilogramos sobre metro cubico (kg/cm³).
- Capacidad portante: kilogramos sobre centímetro cuadrado (kg/cm²).
- Permeabilidad: centímetros sobre segundo (cm/s).
- Plasticidad: porcentaje (%).

Condicionantes

- Permeabilidad: valores mayores a $k=10^{-7}$ cm/s serán igual a cero.
- Plasticidad: valores menores a 10% serán igual a cero.

Tabla 35: Matriz de puntajes

Matriz de puntajes								
Zona	Calicata	Profundidad	Tipo de suelo	Densidad	Capacidad portante	Ángulo de fricción	Permeabilidad	Plasticidad
Santa Isabel	C1	0,00 - 1,10	MH	0,689	0,323	1,878	3,89	2,309
		1,10 - 5,00	GP - GM	0,972	3,000	1,878	0	1,677
		5,00 - ADELANTE	GW - GC	1,000	3,000	1,878	0	2,036
	C2	0,00 - 2,80	GP	0,972	2,822	1,633	0	0
	C3	0,00 - 1,70	GM	0,972	3,000	2,000	0	2,798
		1,70 - ADELANTE	GM	0,972	3,000	1,918	0	2,460
	C4	0,00 - 0,50	GC	0,843	3,000	1,469	0	3,043
		0,50 - 1,00	SM	0,836	0,323	1,469	0	2,913
		1,00 - 2,50	CH	0,756	0,323	2,000	5	3,657
		2,50 - 5,00	SM	0,836	0,323	1,878	0	1,844
	C5	0,00 - 0,50	MH	0,689	0,323	2,000	3,89	2,912
		0,50 - 5,00	GM	0,972	2,742	1,918	0	2,192
	C6	0,00 - 0,50	SM	0,836	0,323	2,000	0	2,293
		0,50 - 4,50	SM	0,836	0,323	1,918	0	2,044
Quingeo	C1	0,00 - 3,00	GP-GM	0,805	2,552	1,592	0	0
	C2	0,00 - 2,80	GW	0,850	2,722	1,592	0	2,405
	C3	0,00 - 0,70	SM	0,597	0,323	1,673	0	3,169
		0,70 - 4,00	SM	0,597	0,323	1,918	0	0
	C4	0,00 - 0,40	MH	0,562	0,323	1,306	3,89	0
		0,40 - 1,20	MH	0,562	0,323	1,306	3,89	4,000
		1,20 - 5,00	SM	0,597	0,323	1,714	0	3,191
	C5	0,00 - 1,50	MH	0,562	0,323	1,918	3,89	3,109
1,50 - 4,80		MH	0,562	0,323	1,918	3,89	2,732	
Paute	C1	1,50 - 4,50	SP-SC	0,725	0,323	1,673	0	1,595
	C2	0,00 - 2,20	GC	0,789	2,479	1,918	0	0
	C3	0,00 - 1,00	SC	0,725	0,323	1,673	0	3,597
		1,70 - 5,00	GC	0,789	2,479	1,918	0	0
	C4	0,00 - 4,20	GP - GC	0,789	1,983	1,918	0	0

Fuente: Elaboración propia

La suma de cada muestra con su respectiva calicata se presenta a continuación.

Tabla 36: Sumas totales

Zona	Calicata	Profundidad	Suma
Santa Isabel	C1	0,00 - 1,10	9,087
		1,10 - 5,00	7,527
		5,00 - ADELANTE	7,914
	C2	0,00 - 2,80	5,426
	C3	0,00 -1,70	8,770
		1,70 - ADELANTE	8,350
	C4	0,00 - 0,50	8,354
		0,50 - 1,00	5,542
		1,00 - 2,50	11,736
		2,50 - 5,00	4,881
	C5	0,00- 0,50	9,812
		0,50 - 5,00	7,825
	C6	0,00 - 0,50	5,452
		0,50 - 4,50	5,121
Quingeo	C1	0,00 - 3,00	4,949
	C2	0,00 - 2,80	7,569
	C3	0,00 - 0,70	5,762
		0,70 - 4,00	2,838
	C4	0,00 - 0,40	6,080
		0,40 - 1,20	10,080
		1,20 - 5,00	5,825
	C5	0,00 - 1,50	9,801
1,50 - 4,80		9,424	
Paute	C1	1,50 - 4,50	4,317
	C2	0,00 -2,20	5,186
	C3	0,00 - 1,00	6,318
		1,70 - 5,00	5,186
	C4	0,00 - 4,20	4,690

	Suma	Puntaje sobre 100
Santa Isabel	105,7963278	50,3792037
Quingeo	62,32846624	46,1692343
Paute	25,69606907	34,2614254

Fuente: Elaboración propia

Como se evidencia en la tabla anterior el sitio más adecuado de la lista es Santa Isabel con 50.38 puntos seguido de Quingeo con 46.17 puntos y finalmente Paute con 34.26 puntos.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a. Los sitios asignados para la extracción de muestras y análisis de campo y laboratorio fueron seleccionados por el proyecto de investigación de la Universidad Católica de Cuenca denominado “sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay”, el cual, mediante un análisis de múltiples variables y criterios técnicos, ambientales, sociales y económicos, consigno que los 3 sitios que mejor se acoplaban al perfil del objetivo del proyecto son Santa Isabel, Cuenca (Quingeo) y Sigsig (Cuchil); debido a la oposición social en Cuchil, y a la poca cooperación política del sector, este fue remplazo por una zona del cantón Paute.
- b. La consigna principal de este estudio fue realizar una comparación entre los sitios ubicados en Quingeo, Santa Isabel y Paute con el fin de ponderar aquel que cumpla con las mejores características para un posible emplazamiento de un relleno Sanitario, sin embargo, pese a que un sitio resulte jerárquicamente superior en la lista, no quiere decir que cumpla con las condiciones necesarias para establecer una obra de este tipo.
- c. Después de haber realizado los ensayos de campo y laboratorio además de todos los aportes teóricos, se pueden analizar por medio de matrices la comparación de resultados en los cuales el sitio ubicado en Santa Isabel obtuvo el primer lugar con un puntaje de 50.38, seguido de la zona localizada en Quingeo con 46.17 puntos y finalmente Paute con un total de 36.26.
- d. En la zona de Santa Isabel se realizaron 6 calicatas obteniendo 14 muestras para su análisis y tan solo 3 de estas superaron el coeficiente k de conductividad hidráulica el cual debe ser igual o menor a 10^{-7} cm/s, de igual forma en obras de este estilo el componente granulométrico del suelo preferiblemente debe ser de carácter fino es decir suelos arcillosos o limosos, en este caso solo 3 muestras cumplen con este requisito, las 11 restantes son suelos gravosos y arenosos que contienen porcentajes de arcilla y limo, en cuanto al índice de plasticidad la mayoría de las muestras presentan una buena consistencia a excepción de una, esto se ve reflejado en la puntuación de esta variable algo similar sucede con la densidad y ángulo de fricción en donde globalmente los resultados son positivos, no obstante en el apartado de capacidad portante aproximadamente la mitad de muestras cuentan con valores que van de un rango de 9 a 11 kg/cm², el porcentaje faltante presentan valores inferiores a 2 kg/cm²; las humedades en el sitio son bajas debido a que no existe nivel freático

- e. Manteniéndose en la línea de estudio de determinar los parámetros geotécnicos y factibilidad de los posibles sitios para disposición final de residuos sólidos en la provincia del Azuay, se concluye que el sitio ubicado en el cantón Santa Isabel a pesar de ser el más apto de los sitios analizados, no es necesariamente adecuado para emplazar una obra de esta naturaleza sin tener una mejora previa del material existente en el sector principalmente en el apartado de impermeabilización.
- f. Correlacionando los ensayos S.P.T con los ensayos geofísicos realizados en campo, se concluye que los resultados obtenidos están acordes unos con otros, es decir el número de golpes en la penetración estándar en profundidades de 2 a 5 metros donde el material dio rechazo es coincidente a la resistividad de los materiales en profundidades y sectores de extracción de muestras similares.
- g. Se recomienda realizar más extracciones de muestras para su posterior análisis en laboratorio, ya que por temas de falta de presupuesto económico no se pudo abarcar la totalidad de la extensión analizada.
- h. se recomienda realizar estudios más profundos en variables tales como cercanía a fuentes hídricas, dirección y velocidad de vientos, distancia a zonas edificadas, estabilidad del terreno, pendientes, vías de acceso, precipitaciones, temperatura, evapotranspiración, distancia para obtención del material de cobertura, entre otras variables técnicas, sociales y económicas.
- i. Se recomienda que, en el relleno sanitario además de tener una correcta impermeabilización del suelo, se realice un adecuado sistema de drenaje, y el uso de geomembrana o geotextil.
- j. Se recomienda realizar los respectivos estudios en el cantón Sigsig, después de una adecuada socialización para la comunidad y personas a cargo de puestos políticos.
- k. Debido a la insuficiencia de recursos económicos, las áreas analizadas son limitadas, por este motivo se recomienda ampliar el campo de estudio ya que puede existir cambios en la tipología y factores del suelo.
- l. Los sitios elegidos en el proyecto “Sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del Azuay” parten de un análisis multicriterio en SIG, por lo tanto, la información geológica es a escala regional y no coincide con los resultados obtenidos en laboratorio y campo analizados en este documento.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Gabriels,Lobo. (2006). *Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo* .
- Angelone, Garibay,Cauhapé. (2006). *Permeabilidad de suelos*.
- Arévalo, J. (2019). *Ensayos geotécnicos y geofísicos de campo realizados en el cantón santa isabel, enmarcados en el proyecto “análisis para un sistema mancomunado de transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos para la provincia del azuay”*.
- Astorga, Avilés. (1995). *Ubicación de sitios aptos para disposición de desechos sólidos al oeste del valle central Costa Rica*.
- Badilla, Rojas, Vargas. (2007). *Ubicación de sitios aptos para la disposición de desechos sólidos al oeste del valle central, costa rica*.
- Bowles, J. (1981). *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil* . McGRAW-HILL.
- Bowles, J. (1982). *Propiedades geofísicas de los suelos* .
- Braja, D. (1999). *Fundamentos de la ingeniería geotécnica*.
- Braja, D. (2011). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones Séptima edición*. Cengage Learning.
- Carmona, J. (2014). *Estudio de resultados ensayo de penetración estándar (spt) para el factor de corrección (cn) y el ángulo de fricción (ϕ) del suelo usando diferentes tipos de correlaciones*. bogotá.
- Carretero,Pozo. (2008). *Mineralogía aplicada*.
- Coduto, D. (1999). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices*.
- Crespo, C. (1980). *Mecánica de suelos y cimentaciones* .
- Chumpitaz, C. (2007). *Estudio geotecnico y geognostico del sub suelo mediante perforacion diamantina*.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Roman.
- González. (2002). *INGENIERIA GEOLOGICA*.
- Hoornweg, Perinaz . (2012). *WHAT A WASTE A Global Review of Solid Waste Management*.
- INEC . (2016). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales*.
- Jaramillo,Daza,Cantanhede,Sandoval,Ramírez. (1991). *Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales*. Obtenido de Diseño, Construcción

y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales:
http://www.bvsde.paho.org/cursoa_rsm/e/bienvenida.html

- Knoblich, Manz. (1993). *Discusion sobre los sitios para vertederos de desechos solidos de san jose costa rica* .
- Leoni, J. (2010). *Relaciones Volumétricas y gravimetricas*.
- López, Loke, Fanton, Cara. (2010). *TÉCNICAS PRÁCTICAS PARA INVESTIGACION DE RESISTIVIDAD EN DOS Y TRES DIMENSIONES (TOMOGRAFÍA ELECTRICA 2D y 3D)* .
- Ministerio del Ambiente del Ecuador . (2015). *Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición final de desechos sólidos no peligrosos* . Quito.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). *Acuerdo no. 061 reforma del libro vi del texto unificado de legislación secundaria*.
- Noguera , Olivero. (2010). *Los rellenos sanitarios en latinoamerica* .
- Ordóñez,Auvinet,Juárez. (2014). *Caracterización del subsuelo y análisis de riesgos geotécnicos asociados a las arcillas expansivas de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez* .
- Ortiz. (1975). *Criterios de expansividad*.
- Peck, Hanson,Thornburn. (1974). *Foundation Engineering*.
- Rivera, J. R. (2011). *Geotecnia de rellenos*.
- Rivera, R. (2009). *Analisis granulometrico de suelos finos mediante hidrometro*.
- Román,Martínez,Pantoja. (2013). *Manual del compostaje del agricultor*.
- Salas, O. (2011). *Ensayos triaxiales para suelos*.
- Serrano. (2003). *Tomografía eléctrica*.
- Shuan. (2006). *Taller básico de mecánica de suelos* .
- Terzaghi, Peck . (1973). *Mecanica de suelos en la ingenieria practica* .
- Torres, M. F. (2015). *Ecología política y geografía crítica de la basura en el Ecuador* .
- Whitlow. (1944).
- Zevallos, A. (2017). *“Métodos de refracción sísmica masw - mam y parámetros elásticos del puente vehicular interregional pampas. ayacucho – apurimac*.

11. ANEXOS

10.1 ENSAYOS DE LABORATORIO

10.1.1 SITIO 1

En el primer sitio ubicado en el cantón Santa Isabel se realizaron ensayos de laboratorio a 14 muestras con el fin de elaborar un perfil estratigráfico y conocer las características del geotécnicas y geofísicas del suelo, en las siguientes tablas se presentará los resultados de ensayos de granulometría, límites de Atterberg, compactación estándar, corte directo y permeabilidad realizados a las diferentes muestras.

Calicata 1 de 0,00 hasta 1,10 metros de profundidad

Granulometría

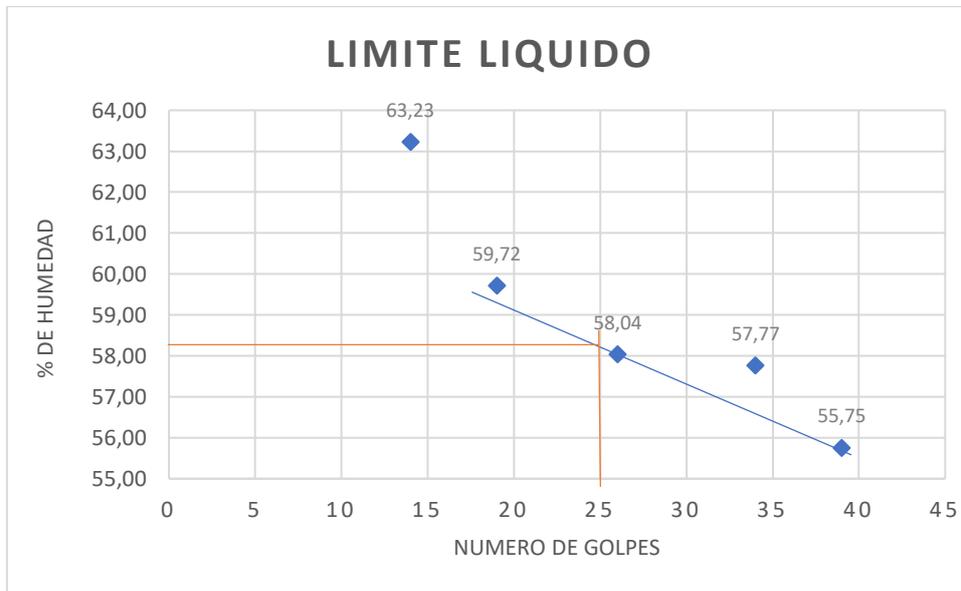
granulometría=	fina	% de error=	0,3021
peso antes del ensayo=	165,5	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	165	peso seco antes de lavado=	456,871
% de humedad=	9,44	peso seco después de lavado=	165,5

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"	5,5	5,5	1,20	98,80
# 4	5	10,5	2,30	97,70
PASA #4				
10	32,5	43	9,41	90,59
40	60	103	22,54	77,46
200	58	161	35,24	64,76
FONDO	4	165	36,12	63,88
TOTAL	165			

En esta muestra se realizó una granulometría fina en donde el 64.76 por ciento del material pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	60	206	56	202	22
NUMERO DE GOLPES	39	34	26	19	14
PESO HUMEDO MAS TARRO	22,66	20,89	22,76	22,9	32,09
PESO SECO MAS TARRO	18,93	17,47	18,86	18,66	27,86
PESO AGUA	3,73	3,42	3,9	4,24	4,23
PESO TARRO	12,24	11,55	12,14	11,56	21,17
PESO MUESTRA SECA	6,69	5,92	6,72	7,1	6,69
% DE HUMEDAD	55,75	57,77	58,04	59,72	63,23



LIMITE LIQUIDO=	58,02
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO				
4	11	24	14	
23,29	23,49	23,42	23,38	
22,51	22,71	22,71	22,69	
0,78	0,78	0,71	0,69	
20,72	20,88	21,07	21,12	
1,79	1,83	1,64	1,57	
43,58	42,62	43,29	43,95	
LIMITE PLASTICO =	43,36			

El índice de plasticidad de esta muestra es 14.66

Calicata 1 de 1,10 hasta 5 metros de profundidad

Granulometría

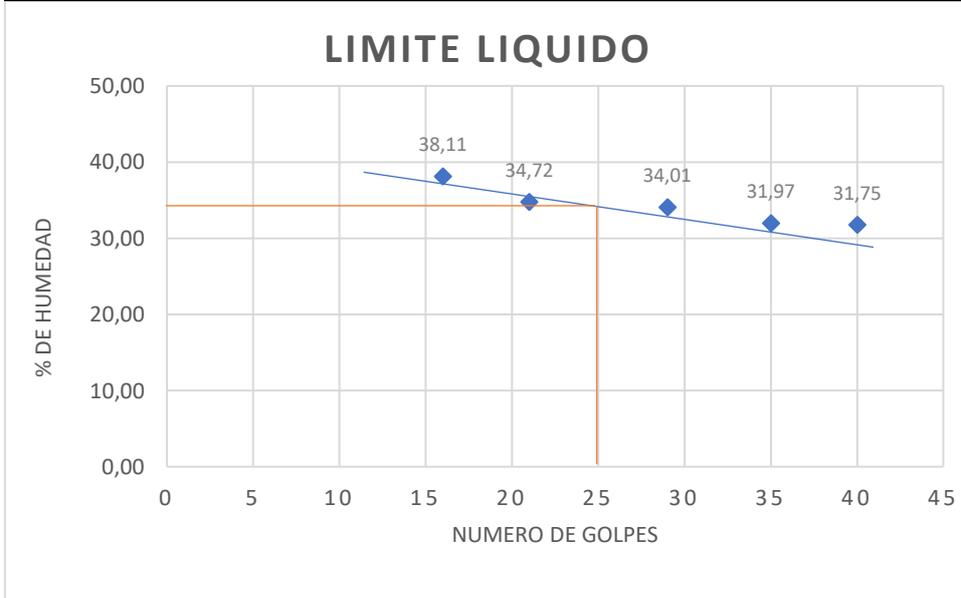
granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,2985
peso antes del ensayo=	11557,5	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	11523	peso seco antes de lavado=	470,37
% de humedad=	6,3	peso seco después de lavado=	382,5

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"	1285	1285	11,452	88,548
1"	1166	2451	21,843	78,157
3/4"	693,5	3144,5	28,023	71,977
1/2"	1144,5	4289	38,223	61,777
3/8"	665	4954	44,149	55,851
# 4	1473,5	6427,5	57,281	42,719
PASA #4	5095,5	4793,51		
10	147	147	70,63	29,37
40	141	288	83,44	16,56
200	90	378	91,61	8,39
FONDO	4,5	382,5	92,02	7,98
TOTAL	11523	11221,01		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 42.72 mientras que el 8.39 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	11A	7	61	J520V	66
NUMERO DE GOLPES	40	35	29	21	16
PESO HUMEDO MAS TARRO	29,26	27,01	30,61	28,34	27,24
PESO SECE MAS TARRO	25,18	23,41	25,93	24,17	23,12
PESO AGUA	4,08	3,6	4,68	4,17	4,12
PESO TARRO	12,33	12,15	12,17	12,16	12,31
PESO MUESTRA SECA	12,85	11,26	13,76	12,01	10,81
% DE HUMEDAD	31,75	31,97	34,01	34,72	38,11



LIMITE LIQUIDO=	34,30
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
26	50	32	13
24,23	23,46	23,49	24,88
23,72	23,02	23,02	24,29
0,51	0,44	0,47	0,59
21,55	21,15	21,09	21,75
2,17	1,87	1,93	2,54
23,50	23,53	24,35	23,23
LIMITE PLASTICO =	23,65		

El índice de plasticidad de esta muestra es 10.65

Calicata 1 de 5 metros de profundidad en adelante.

Granulometría

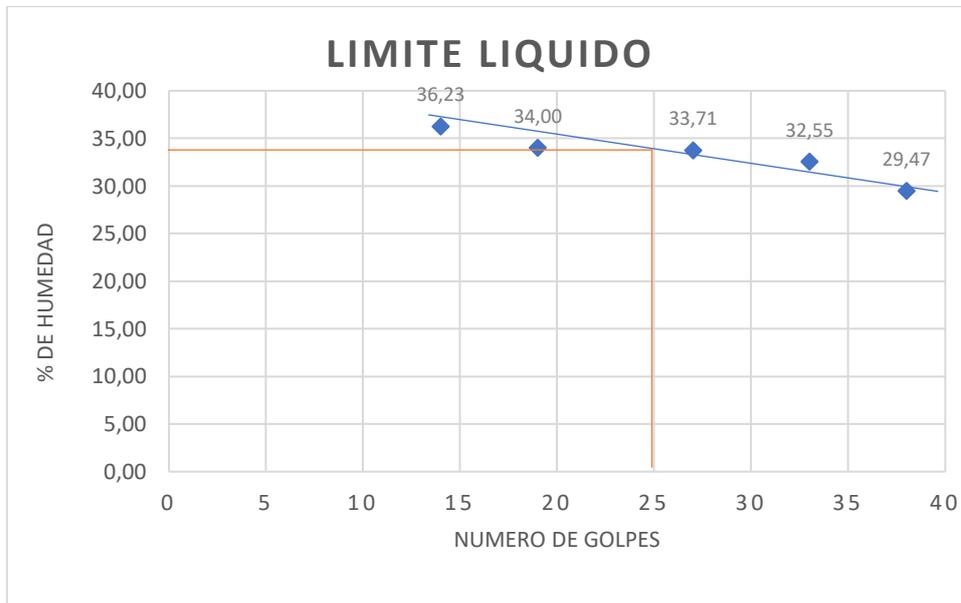
granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,0529
peso antes del ensayo=	6617,5	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	6614	peso seco antes de lavado=	470,057
% de humedad=	6,37	peso seco después de lavado=	403

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"	637,5	637,5	9,854	90,146
1"	972,5	1610	24,886	75,114
3/4"	451,5	2061,5	31,864	68,136
1/2"	752	2813,5	43,488	56,512
3/8"	442,5	3256	50,328	49,672
# 4	946,5	4202,5	64,958	35,042
PASA #4	2411,5	2267,09		
10	156	156	76,59	23,41
40	159	315	88,44	11,56
200	82	397	94,55	5,45
FONDO	6	403	95,00	5,00
TOTAL	6614	6469,59		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 35.042 % mientras que el 5.45 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	20	21	19	22	24
NUMERO DE GOLPES	38	33	27	19	14
PESO HUMEDO TARRO	42,68	46,4	48,89	45,89	45,78
PESO SECE MAS TARRO	39,5	42,11	43,86	41,64	41,32
PESO AGUA	3,18	4,29	5,03	4,25	4,46
PESO TARRO	28,71	28,93	28,94	29,14	29,01
PESO MUESTRA SECA	10,79	13,18	14,92	12,5	12,31
% DE HUMEDAD	29,47	32,55	33,71	34,00	36,23



LIMITE LIQUIDO=	34,50
------------------------	--------------

LIMITE PLASTICO			
3	7	25	52
23,84	27,08	23,75	14,52
23,5	26,69	23,38	14,14
0,34	0,39	0,37	0,38
21,9	24,88	21,65	12,42
1,6	1,81	1,73	1,72
21,25	21,55	21,39	22,09
LIMITE PLASTICO =	21,57		

El índice de plasticidad de esta muestra es 12.93

Calicata 2 de 0.00 a 2.80 metros de profundidad

Granulometría

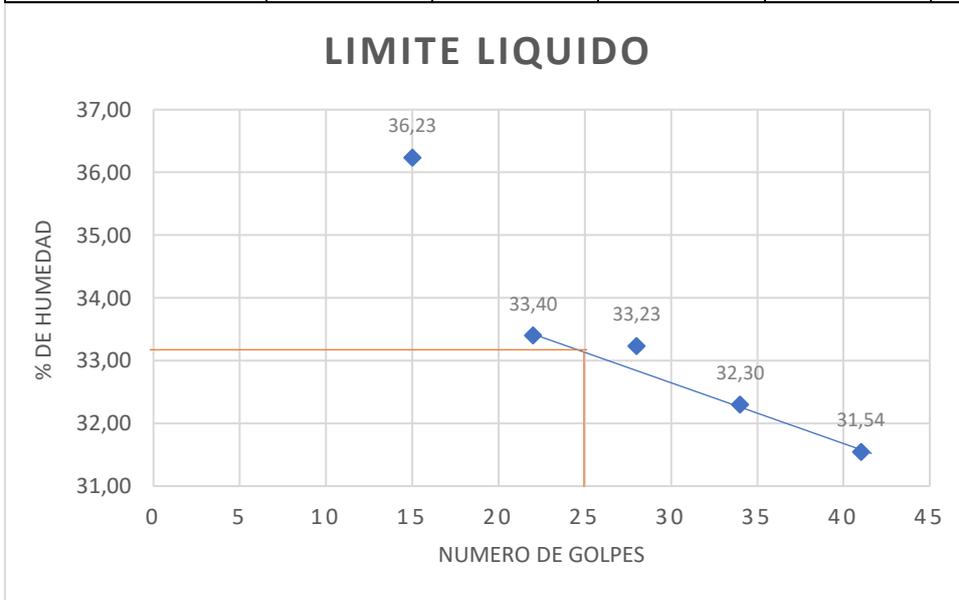
granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,2109
peso antes del ensayo=	14460	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	14429,5	peso seco antes de lavado=	462,342
% de humedad=	8,145	peso seco después de lavado=	403

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"	1323	1323	9,395	90,605
1"	1960	3283	23,313	76,687
3/4"	1602	4885	34,689	65,311
1/2"	2006	6891	48,934	51,066
3/8"	1121,5	8012,5	56,897	43,103
# 4	1808	9820,5	69,736	30,264
PASA #4	4609	4261,87		
10	115	115	77,26	22,74
40	195	310	90,03	9,97
200	89	399	95,85	4,15
FONDO	4	403	96,12	3,88
TOTAL	14429,5	14082,37		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 30.264 % mientras que el 4.15 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO					
NUMERO	206	60	56	202	14
NUMERO DE GOLFES	41	34	28	22	15
PESO HUMEDO MAS TARRO	30,4	29,73	29,74	31,13	42,89
PESO SECO MAS TARRO	25,88	25,46	25,35	26,23	37,1
PESO AGUA	4,52	4,27	4,39	4,9	5,79
PESO TARRO	11,55	12,24	12,14	11,56	21,12
PESO MUESTRA SECA	14,33	13,22	13,21	14,67	15,98
% DE HUMEDAD	31,54	32,30	33,23	33,40	36,23



LIMITE LIQUIDO=	33,12
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
4	22	24	11
23,7	23,86	23,47	23,51
23,05	23,29	22,96	22,94
0,65	0,57	0,51	0,57
20,72	21,17	21,07	20,88
2,33	2,12	1,89	2,06
27,90	26,89	26,98	27,67
LIMITE PLASTICO =	27,36		

El índice de plasticidad de esta muestra es 5.76

Calicata 3 de 0.00 a 1.70 metros de profundidad

Granulometría

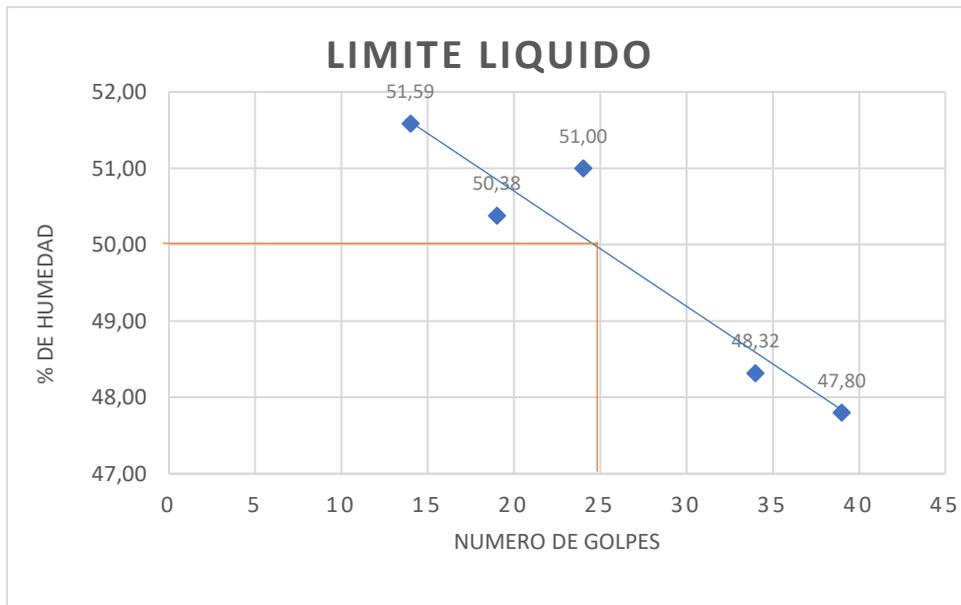
granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,2924
peso antes del ensayo=	6497,5	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	6478,5	peso seco antes de lavado=	465,16
% de humedad=	7,49	peso seco después de lavado=	227,5

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"	0	0	0,000	100,000
1"	596	596	9,529	90,471
3/4"	602	1198	19,153	80,847
1/2"	720,5	1918,5	30,672	69,328
3/8"	453	2371,5	37,915	62,085
# 4	896,5	3268	52,248	47,752
PASA #4	3210,5	2986,79		
10	45,5	45,5	56,92	43,08
40	91	136,5	66,26	33,74
200	90	226,5	75,50	24,50
FONDO	1	227,5	75,60	24,40
TOTAL	6478,5	6254,79		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 47.752 % mientras que el 24.50 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO					
NUMERO	63	209	9	B1	JP6
# DE GOLPES	39	34	24	19	14
PESO HUMEDO MAS TARRO	23,74	22,44	22,71	22,26	22,82
PESO SECO MAS TARRO	20,04	18,85	19,13	18,96	19,24
PESO AGUA	3,7	3,59	3,58	3,3	3,58
PESO TARRO	12,3	11,42	12,11	12,41	12,3
PESO MUESTRA SECA	7,74	7,43	7,02	6,55	6,94
% DE HUMEDAD	47,80	48,32	51,00	50,38	51,59



LIMITE LIQUIDO=	50,00
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO				
2	10PS	5	203	9
14,66	13,91	14,15	13,59	13,9
14,1	13,49	13,68	13,07	13,47
0,56	0,42	0,47	0,52	0,43
12,4	12,2	12,2	11,41	12,15
1,7	1,29	1,48	1,66	1,32
32,94	32,56	31,76	31,33	32,58
LIMITE PLASTICO =		32,23		

El índice de plasticidad de esta muestra es 17.77

Calicata 3 de 1.70 metros de profundidad en adelante

Granulometría

granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,1945
peso antes del ensayo=	9510	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	9491,5	peso seco antes de lavado=	469,53
% de humedad=	6,49	peso seco después de lavado=	325

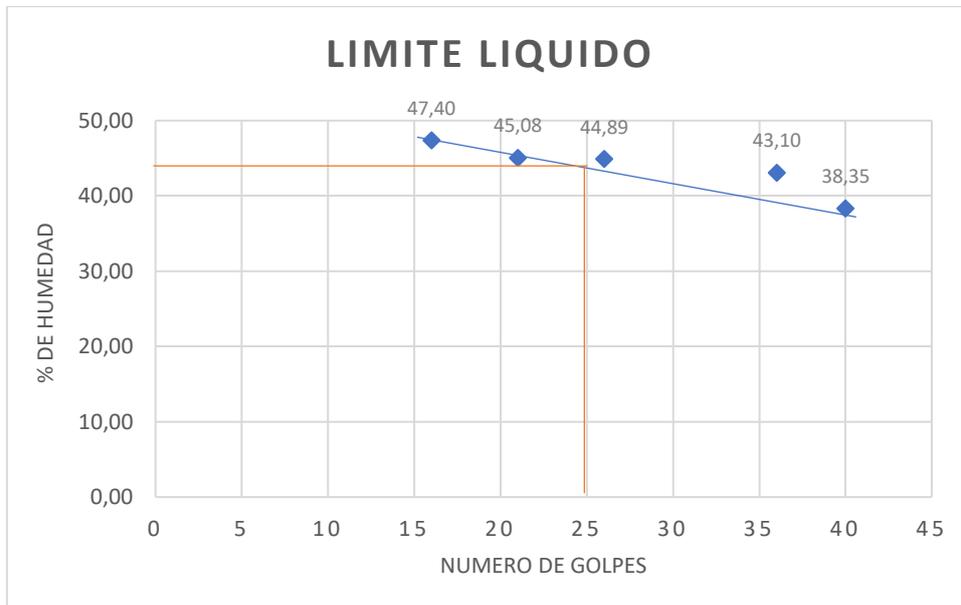
TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
-------	-----------	------------	-------	--------

1 1/2"	0	0	0,000	100,000
1"	925,5	925,5	10,058	89,942
3/4"	789,5	1715	18,638	81,362
1/2"	977	2692	29,256	70,744
3/8"	746,5	3438,5	37,369	62,631
# 4	1293	4731,5	51,422	48,578
PASA #4	4760	4469,90		
10	113	113	63,11	36,89
40	122	235	75,74	24,26
200	84	319	84,43	15,57
FONDO	6	325	85,05	14,95
TOTAL	9491,5	9201,40		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 48.58 % mientras que el 15.57 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	63	209	9	B1	JP6
NUMERO DE GOLPES	40	36	26	21	16
PESO HUMEDO MAS TARRO	32,54	25,73	27,99	31,43	26,76
PESO SECO MAS TARRO	26,93	21,42	23,07	25,52	22,11
PESO AGUA	5,61	4,31	4,92	5,91	4,65
PESO TARRO	12,3	11,42	12,11	12,41	12,3
PESO MUESTRA SECA	14,63	10	10,96	13,11	9,81
% DE HUMEDAD	38,35	43,10	44,89	45,08	47,40



LIMITE LIQUIDO=	45,00
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
2	10-PS	5	203
15,13	14,57	14,28	14,36
14,5	14,03	13,81	13,7
0,63	0,54	0,47	0,66
12,4	12,2	12,2	11,41
2,1	1,83	1,61	2,29
30,00	29,51	29,19	28,82
LIMITE PLASTICO =		29,38	

El índice de plasticidad de esta muestra es 15.62

Calicata 4 de 0.00 a 0.50 metros de profundidad

Granulometría

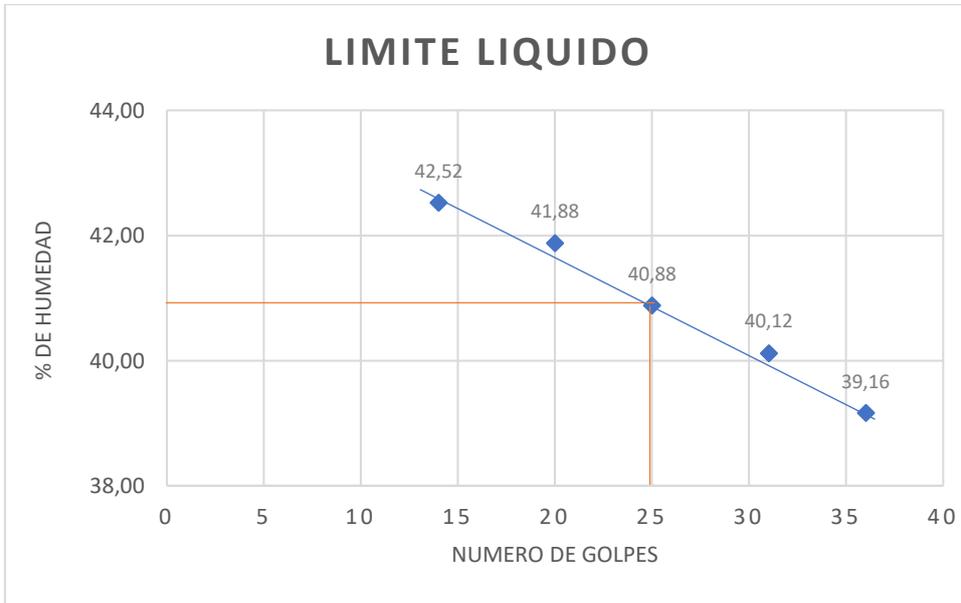
granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,4843
peso antes del ensayo=	10737,5	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	10685,5	peso seco antes de lavado=	454,88
% de humedad=	9,92	peso seco después de lavado=	249,5

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
2"	1015,5	1015,5	9,86323419	90,13676581
1 1/2"	193	1208,5	11,738	88,262
1"	314,5	1523	14,792	85,208
3/4"	1139	2662	25,855	74,145
1/2"	1560	4222	41,007	58,993
3/8"	705,5	4927,5	47,859	52,141
# 4	1440	6367,5	61,846	38,154
PASA #4	4318	3928,31		
10	57,5	57,5	66,67	33,33
40	76,5	134	73,09	26,91
200	106,5	240,5	82,02	17,98
FONDO	9	249,5	82,77	17,23
TOTAL	10685,5	10295,81		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 38.154 % mientras que el 17.98 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	63	209	9	b1	JP6
NUMERO DE GOLPES	36	31	25	20	14
PESO HUMEDO MAS TARRO	26,55	25,46	26,86	27,08	26,78
PESO SECO MAS TARRO	22,54	21,44	22,58	22,75	22,46
PESO AGUA	4,01	4,02	4,28	4,33	4,32
PESO TARRO	12,3	11,42	12,11	12,41	12,3
PESO MUESTRA SECA	10,24	10,02	10,47	10,34	10,16
% DE HUMEDAD	39,16	40,12	40,88	41,88	42,52



LIMITE LIQUIDO=	41,20
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
2	10-PS	5	203
14	14,45	14,87	13,59
13,73	14,04	14,38	13,19
0,27	0,41	0,49	0,4
12,4	12,2	12,2	11,41
1,33	1,84	2,18	1,78
20,30	22,28	22,48	22,47
LIMITE PLASTICO =		21,88	

El índice de plasticidad de esta muestra es 19.32

Calicata 4 de 0.50 a 1.00 metros de profundidad

Granulometría

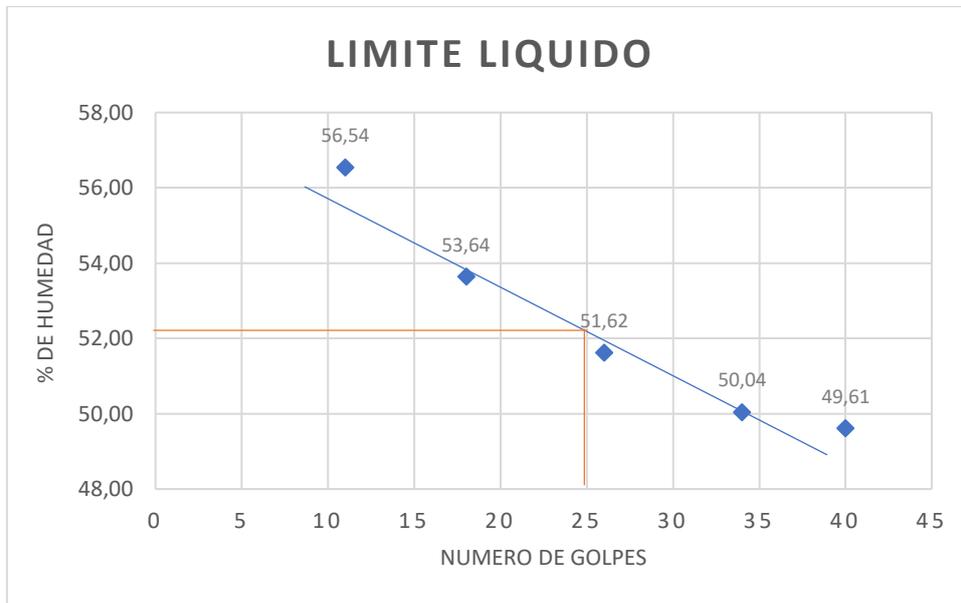
granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,2038
peso antes del ensayo=	6379	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	6366	peso seco antes de lavado=	458,51
% de humedad=	9,05	peso seco después de lavado=	238

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"	0	0	0,000	100,000
1"	214,5	214,5	3,581	96,419
3/4"	335,5	550	9,182	90,818
1/2"	457	1007	16,811	83,189
3/8"	308	1315	21,953	78,047
# 4	520	1835	30,635	69,365
PASA #4	4531	4154,97		
10	55,5	55,5	39,03	60,97
40	71,5	127	49,85	50,15
200	102	229	65,28	34,72
FONDO	9	238	66,64	33,36
TOTAL	6366	5989,97		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 69.365 % mientras que el 34.72 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	206	60	56	4	22
NUMERO DE GOLPES	40	34	26	18	11
PESO HUMEDO MAS TARRO	30,85	29	32,26	39,48	40,91
PESO SECO MAS TARRO	24,45	23,41	25,41	32,93	33,78
PESO AGUA	6,4	5,59	6,85	6,55	7,13
PESO TARRO	11,55	12,24	12,14	20,72	21,17
PESO MUESTRA SECA	12,9	11,17	13,27	12,21	12,61
% DE HUMEDAD	49,61	50,04	51,62	53,64	56,54



LIMITE LIQUIDO=	52,02
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
14	11	24	202
23,64	23,47	22,54	12,97
23	22,82	22,11	12,62
0,64	0,65	0,43	0,35
21,12	20,88	21,07	11,56
1,88	1,94	1,04	1,06
34,04	33,51	41,35	33,02

El índice de plasticidad de esta muestra es 18.50

Calicata 4 de 1.00 a 2.50 metros de profundidad

Granulometría

granulometría=	fina	% de error=	0,3115
peso antes del ensayo=	160,5	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	160	peso seco antes de lavado=	430,478
% de humedad=	16,15	peso seco después de lavado=	160,5

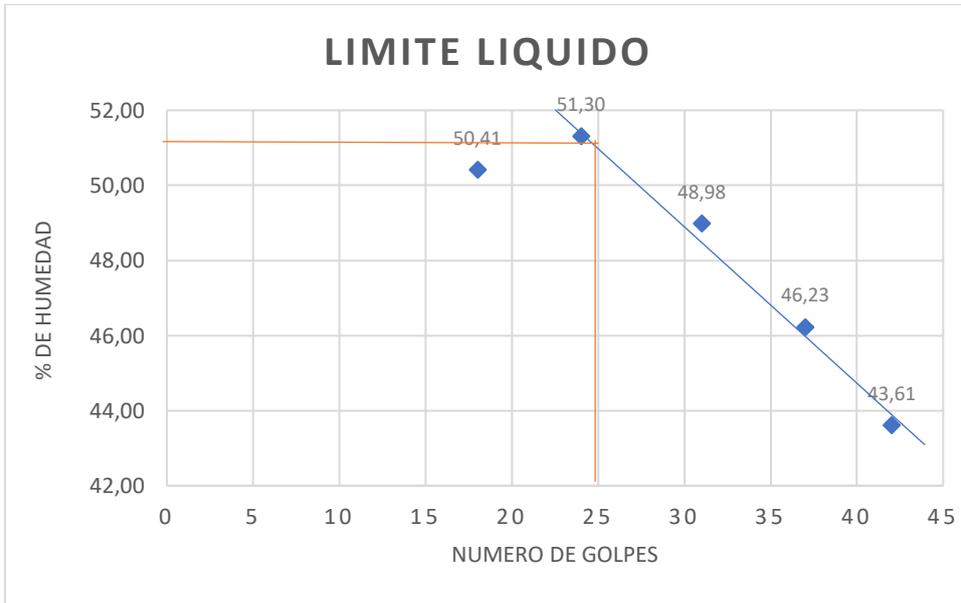
TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
-------	-----------	------------	-------	--------

1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"	4,5	4,5	1,05	98,95
# 4	9,5	14	3,25	96,75
PASA #4				
10	17	31	7,20	92,80
40	57	88	20,44	79,56
200	69,5	157,5	36,59	63,41
FONDO	2,5	160	37,17	62,83
TOTAL	160			

En esta muestra se realizó granulometría fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 200 es de 63.41 %.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	60	206	56	202	22
NUMERO DE GOLPES	42	37	31	24	18
PESO HUMEDO MAS TARRO	25,05	25,69	25,31	24,33	33,94
PESO SECO MAS TARRO	21,16	21,22	20,98	20	29,66
PESO AGUA	3,89	4,47	4,33	4,33	4,28
PESO TARRO	12,24	11,55	12,14	11,56	21,17
PESO MUESTRA SECA	8,92	9,67	8,84	8,44	8,49
% DE HUMEDAD	43,61	46,23	48,98	51,30	50,41



LIMITE LIQUIDO=	51,70
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO				
4	11	24	14	
22,13	22,67	22,85	23,57	
21,83	22,27	22,48	23,01	
0,3	0,4	0,37	0,56	
20,72	20,88	21,07	21,12	
1,11	1,39	1,41	1,89	
27,03	28,78	26,24	29,63	
LIMITE PLASTICO =	28,48			

El índice de plasticidad de esta muestra es 23.22

Calicata 4 de 2.50 a 5.00 metros de profundidad

Granulometría

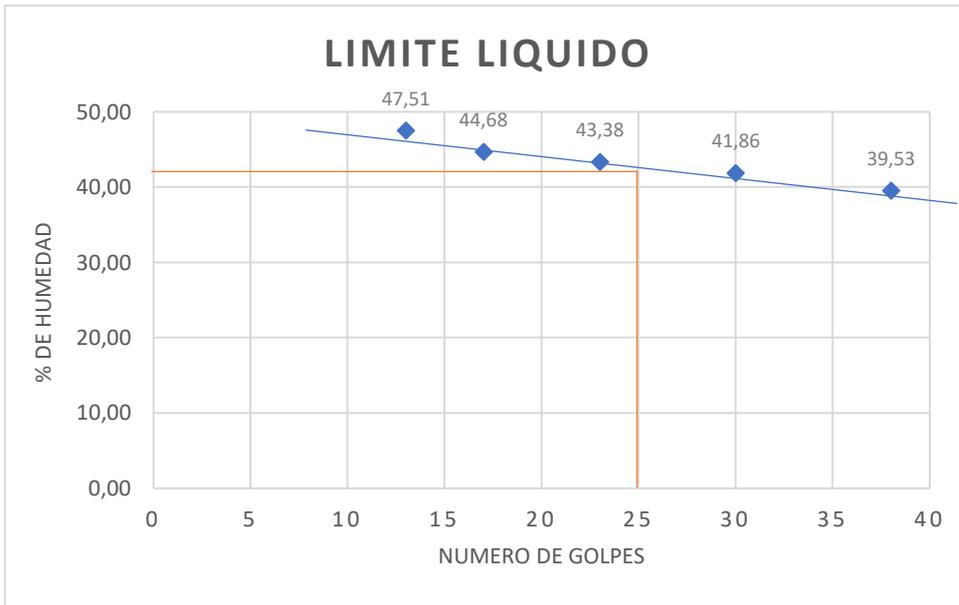
granulometría=	fina	% de error=	0,0000
peso antes del ensayo=	316	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	316	peso seco antes de lavado=	445,157
% de humedad=	12,32	peso seco después de lavado=	316

1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"	0	0	0,00	100,00
# 4	5,5	5,5	1,24	98,76
PASA #4				
10	56	61,5	13,82	86,18
40	118,5	180	40,44	59,56
200	134	314	70,54	29,46
FONDO	2	316	70,99	29,01
TOTAL	316			

En esta muestra se realizó granulometría fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 200 es de 29.46 %.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	7	J520V	11A	61	26
NUMERO DE GOLPES	38	30	23	17	13
PESO HUMEDO MAS TARRO	22,81	25,41	28,36	28,07	39,34
PESO SECO MAS TARRO	19,79	21,5	23,51	23,16	33,61
PESO AGUA	3,02	3,91	4,85	4,91	5,73
PESO TARRO	12,15	12,16	12,33	12,17	21,55
PESO MUESTRA SECA	7,64	9,34	11,18	10,99	12,06
% DE HUMEDAD	39,53	41,86	43,38	44,68	47,51



LIMITE LIQUIDO=	42,00
------------------------	--------------

LIMITE PLASTICO			
13	50	32	66
23,21	23,1	23,21	14,57
22,87	22,64	22,72	14,05
0,34	0,46	0,49	0,52
21,75	21,15	21,09	12,31
1,12	1,49	1,63	1,74
30,36	30,87	30,06	29,89
LIMITE PLASTICO =	30,29		

El índice de plasticidad de esta muestra es 11.71

Calicata 5 de 0.00 a 0.50 metros de profundidad

Granulometría

granulometría=	fina	% de error=	0,0000
peso antes del ensayo=	127	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	127	peso seco antes de lavado=	471,480
% de humedad=	6,049	peso seco después de lavado=	127

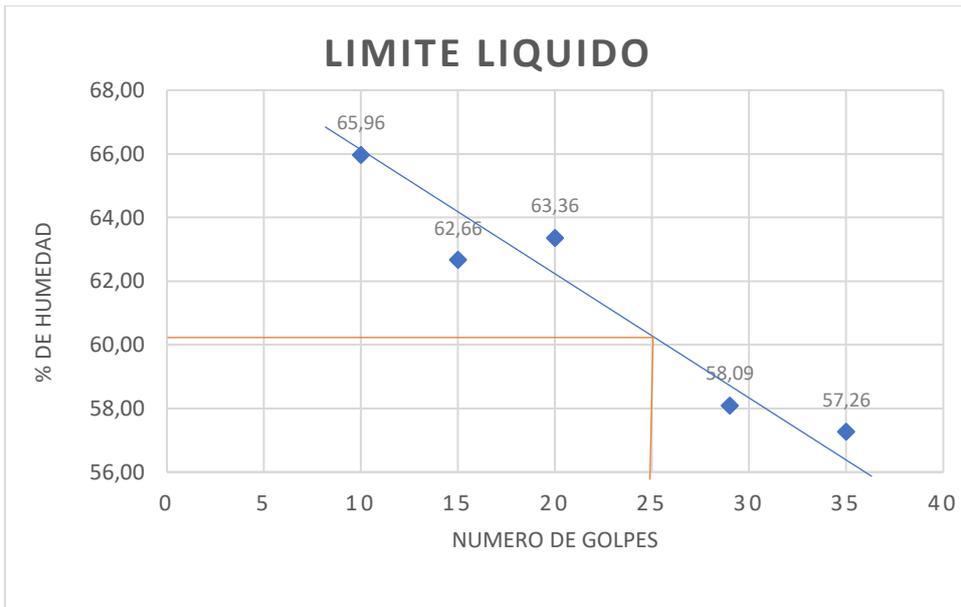
TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
-------	-----------	------------	-------	--------

1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"	4	4	0,85	99,15
# 4	3	7	1,48	98,52
PASA #4				
10	19	26	5,51	94,49
40	46,5	72,5	15,38	84,62
200	53,5	126	26,72	73,28
FONDO	1	127	26,94	73,06
TOTAL	127			

En esta muestra se realizó granulometría fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 200 es de 73.28 %.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	11A	7	61	J520V	66
NUMERO DE GOLPES	35	29	20	15	10
PESO HUMEDO MAS TARRO	23,7	22,9	22,2	22,44	21,77
PESO SECO MAS TARRO	19,56	18,95	18,31	18,48	18,01
PESO AGUA	4,14	3,95	3,89	3,96	3,76
PESO TARRO	12,33	12,15	12,17	12,16	12,31
PESO MUESTRA SECA	7,23	6,8	6,14	6,32	5,7
% DE HUMEDAD	57,26	58,09	63,36	62,66	65,96



LIMITE LIQUIDO=	60,70
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
26	50	32	13
23,77	23,12	23,84	23,99
23,12	22,53	23,02	23,31
0,65	0,59	0,82	0,68
21,55	21,15	21,09	21,75
1,57	1,38	1,93	1,56
41,40	42,75	42,49	43,59
LIMITE PLASTICO =	42,21		

El índice de plasticidad de esta muestra es 18.49

Calicata 5 de 0.50 a 5.00 metros de profundidad

Granulometría

granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,1619
peso antes del ensayo=	12041,5	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	12022	peso seco antes de lavado=	471,03
% de humedad=	6,15	peso seco después de lavado=	288

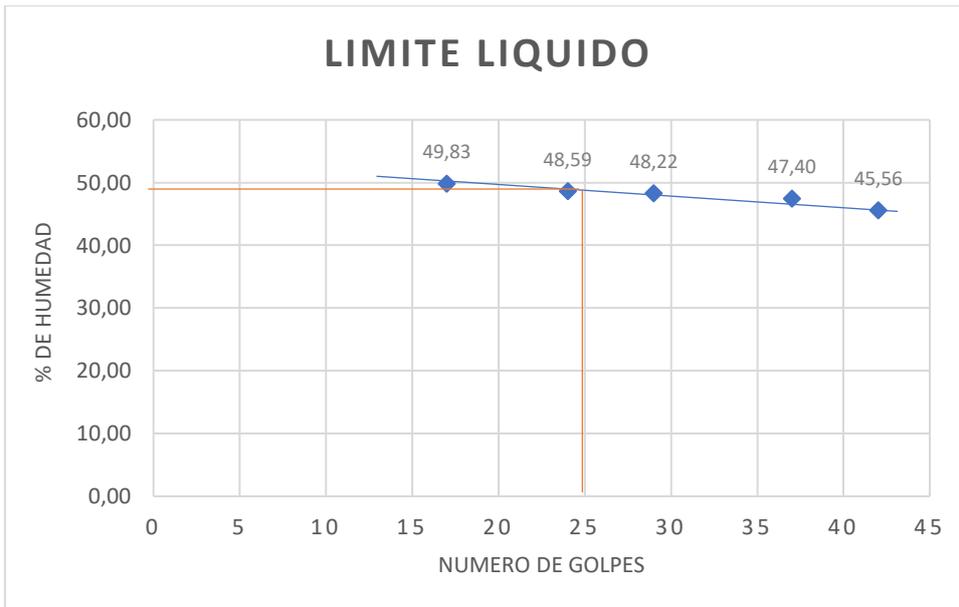
TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
-------	-----------	------------	-------	--------

1 1/2"	1410,5	1410,5	12,050	87,950
1"	988	2398,5	20,491	79,509
3/4"	623,5	3022	25,818	74,182
1/2"	1131	4153	35,480	64,520
3/8"	700,5	4853,5	41,465	58,535
# 4	1698	6551,5	55,972	44,028
PASA #4	5470,5	5153,56		
10	87	87	64,10	35,90
40	119,5	206,5	75,27	24,73
200	76,5	283	82,42	17,58
FONDO	5	288	82,89	17,11
TOTAL	12022	11705,06		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 44.028 % mientras que el 17.58 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	11A	7	61	J520V	66
NUMERO DE GOLPES	42	37	29	24	17
PESO HUMEDO MAS TARRO	23,16	20,08	20,1	21,12	21,21
PESO SEC. + TARRO	19,77	17,53	17,52	18,19	18,25
PESO AGUA	3,39	2,55	2,58	2,93	2,96
PESO TARRO	12,33	12,15	12,17	12,16	12,31
PESO MUESTRA SECA	7,44	5,38	5,35	6,03	5,94
% DE HUMEDAD	45,56	47,40	48,22	48,59	49,83



LIMITE LIQUIDO=	49,60
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
26	50	32	13
23,72	23,99	23,26	24,47
23,12	23,25	22,68	23,76
0,6	0,74	0,58	0,71
21,55	21,15	21,09	21,75
1,57	2,1	1,59	2,01
38,22	35,24	36,48	35,32
LIMITE PLASTICO =	35,68		

El índice de plasticidad de esta muestra es 13.92

Calicata 6 de 0.00 a 0.50 metros de profundidad

Granulometría

granulometría=	fina	% de error=	0,1422
peso antes del ensayo=	351,5	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	351	peso seco antes de lavado=	466,723
% de humedad=	7,13	peso seco después de lavado=	351,5

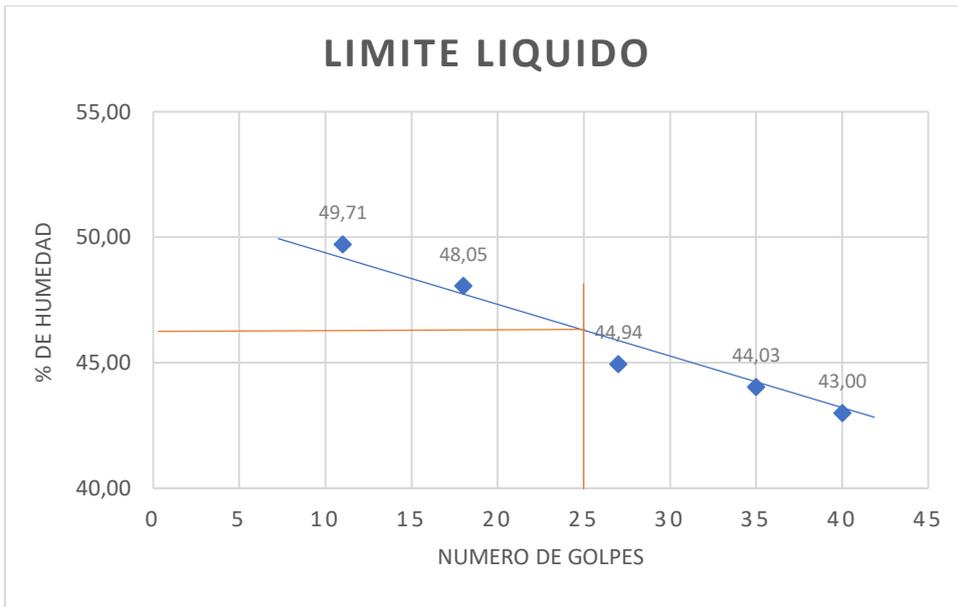
TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
-------	-----------	------------	-------	--------

1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"	37	37	7,93	92,07
# 4	28	65	13,93	86,07
PASA #4				
10	43	108	23,14	76,86
40	116	224	47,99	52,01
200	121,5	345,5	74,03	25,97
FONDO	5,5	351	75,21	24,79
TOTAL	351			

En esta muestra se realizó granulometría fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 200 es de 25.97 %.

Límite líquido y límite plástico.

TARRO NUMERO	LIMITE LIQUIDO				
	2	10ps	JP6	63	B1
NUMERO DE GOLPES	40	35	27	18	11
PESO HUMEDO MAS TARRO	29,96	29,21	31,33	30,17	33,28
PESO SECO MAS TARRO	24,68	24,01	25,43	24,37	26,35
PESO AGUA	5,28	5,2	5,9	5,8	6,93
PESO TARRO	12,4	12,2	12,3	12,3	12,41
PESO MUESTRA SECA	12,28	11,81	13,13	12,07	13,94
% DE HUMEDAD	43,00	44,03	44,94	48,05	49,71



LIMITE LIQUIDO=	46,00
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
209	203	5	9
14,15	14,56	15,2	14,58
13,52	13,78	14,47	14
0,63	0,78	0,73	0,58
11,42	11,41	12,2	12,11
2,1	2,37	2,27	1,89
30,00	32,91	32,16	30,69
LIMITE PLASTICO =		31,44	

El índice de plasticidad de esta muestra es 14.56

Calicata 6 de 0.50 a 4.50 metros de profundidad

Granulometría

granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,2869
peso antes del ensayo=	11849,5	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	11815,5	peso seco antes de lavado=	460,109
% de humedad=	8,67	peso seco después de lavado=	362

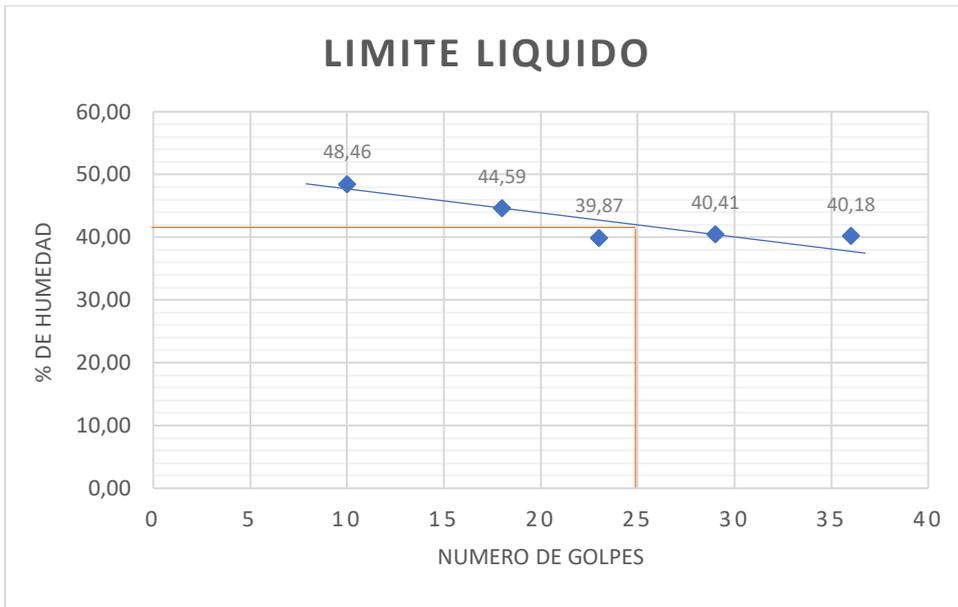
TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
-------	-----------	------------	-------	--------

1 1/2"	284	284	2,514	97,486
1"	1007	1291	11,427	88,573
3/4"	796	2087	18,472	81,528
1/2"	1217	3304	29,244	70,756
3/8"	708	4012	35,510	64,490
# 4	1318,5	5330,5	47,180	52,820
PASA #4	6485	5967,61		
10	22,5	22,5	49,76	50,24
40	163	185,5	68,48	31,52
200	168	353,5	87,76	12,24
FONDO	8,5	362	88,74	11,26
TOTAL	11815,5	11298,11		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 52.820 % mientras que el 12.24 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

TARRO NUMERO	LIMITE LIQUIDO				
	J520V	66	11A	61	7
NUMERO DE GOLPES	36	29	23	18	10
PESO HUMEDO MAS TARRO	35,99	30,9	30,22	30,36	27,56
PESO SECO MAS TARRO	29,16	25,55	25,12	24,75	22,53
PESO AGUA	6,83	5,35	5,1	5,61	5,03
PESO TARRO	12,16	12,31	12,33	12,17	12,15
PESO MUESTRA SECA	17	13,24	12,79	12,58	10,38
% DE HUMEDAD	40,18	40,41	39,87	44,59	48,46



LIMITE LIQUIDO=	42,30
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
26	13	32	50
23,82	24	22,95	22,83
23,3	23,48	22,54	22,45
0,52	0,52	0,41	0,38
21,55	21,75	21,09	21,15
1,75	1,73	1,45	1,3
29,71	30,06	28,28	29,23
LIMITE PLASTICO =		29,32	

El índice de plasticidad de esta muestra es 12.98

La clasificación del suelo mediante el método S.U.C.S de cada una de las muestras se puede apreciar en la siguiente tabla.

CALICATA	CLASIFICACION
C1 0,00 - 1,10	MH
C1 1,10 - 5,00	GP - GM
C1 5,00 - ADELANTE	GW - GC
C2 0,00 - 2,80	GP
C3 0,00 - 1,70	GM
C3 1,70 - ADELANTE	GM
C4 0,00 - 0,50	GC
C4 0,50 - 1,00	SM
C4 1,00 - 2,50	CH
C4 2,50 - 5,00	SM
C5 0,00- 0,50	MH
C5 0,50 - 5,00	GM
C6 0,00 - 0,50	SM
C6 0,50 - 4,50	SM

Donde

M= Limo

C= Arcilla

S= arena

G= grava

W= Bien graduada

P= Pobrementemente graduada

H= Alta plasticidad

L= Baja plasticidad

En el apartado de compactación y humedad óptima se realizaron ensayos de Proctor estándar en el cual se ocupa 5 fundas de 2500 gramos de material para compactar en un molde con una energía de compactación de 3 capas 25 golpes cada una, esto se realizó a 5 calicatas diferentes, los resultados se exponen a continuación en las siguientes tablas.

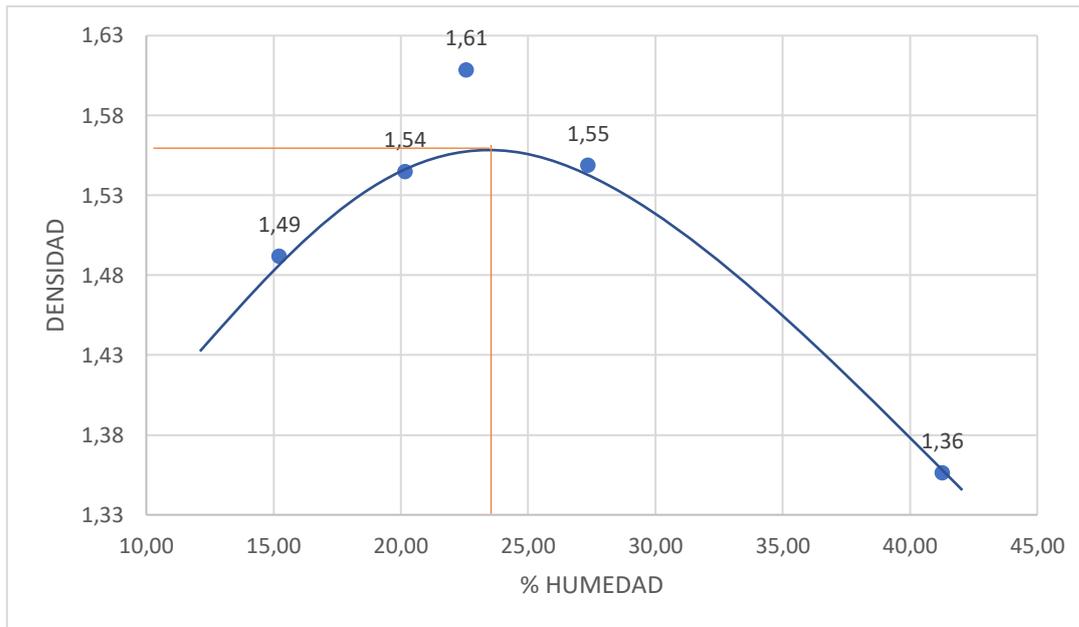
Calicata 4 de 0.00 a 0.50 metros de profundidad GC

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	20,38	29,38	35,38	41,38	53,38
AGUA AUMENTADA EN C.C	120	240	320	400	560
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5132	5261,5	5370	5371	5317,5
PESO MOLDE SIN COLLARIN	3511	3511	3511	3511	3511
PESO SUELO HUMEDO	1621	1750,5	1859	1860	1806,5
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	943	943	943	943	943
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,719	1,856	1,971	1,972	1,916

Contenido de humedad de las muestras

MUESTRAS	1		2	
NUMERO DE TARRO	9	15	A6	KN
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	104,52	95,32	161,52	129,47
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	99,44	91,25	145,9	119,58
PESO AGUA	5,08	4,07	15,62	9,89
PESO DEL TARRO	65,9	64,66	69,72	69,67
PESO DEL SUELO SECO	33,54	26,59	76,18	49,91
CONTENIDO DE AGUA EN %	15,15	15,31	20,50	19,82
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	15,23		20,16	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,49		1,54	

3		4		5	
8	1A	20	19	14	23
81,92	128,3	61,19	59,49	47,63	50,76
75	120,45	54,11	53,02	41,67	45,04
6,92	7,85	7,08	6,47	5,96	5,72
43,99	86,06	28,7	28,93	28,95	29,01
31,01	34,39	25,41	24,09	12,72	16,03
22,32	22,83	27,86	26,86	46,86	35,68
22,57		27,36		41,27	
1,61		1,55		1,36	



densidad seca máxima kg/m ³ =	1560
Humedad optima %=	23

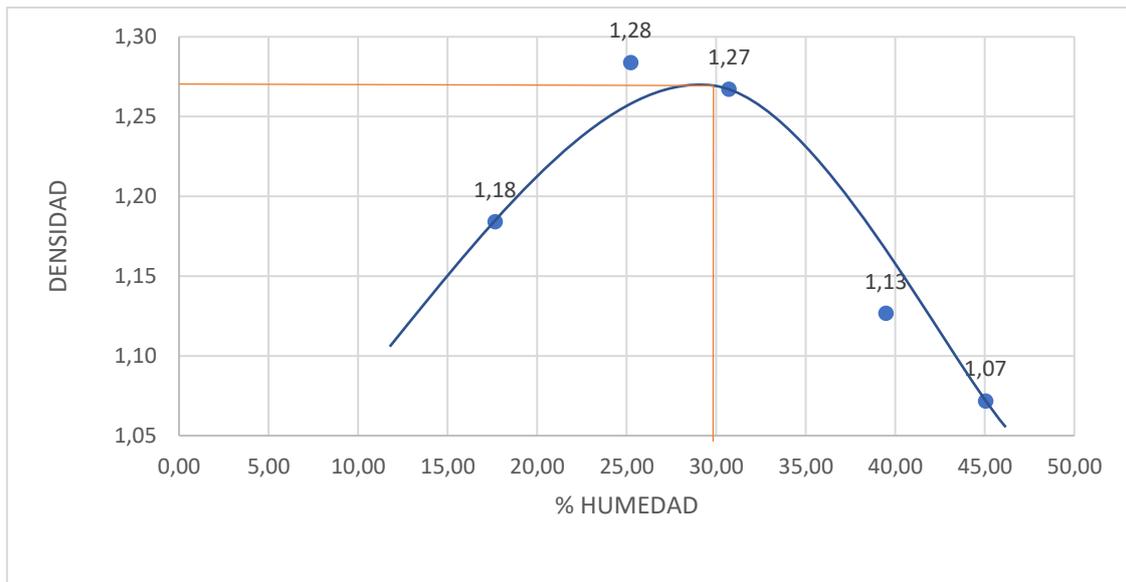
Calicata 1 de 0.00 a 1.10 metros de profundidad MH

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	23,9	32,9	38,9	47,9	53,9
AGUA AUMENTADA EN C.C	195	390	520	715	845
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5736	5964	6016	5925,5	5907,5
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4255	4255	4255	4255	4255
PESO SUELO HUMEDO	1481	1709	1761	1670,5	1652,5
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	1063	1063	1063	1063	1063
DENSIDAD HUMEDA GR/CM ³	1,393	1,608	1,657	1,571	1,555

Contenido de humedad de las muestras

MUESTRAS	1		2	
NUMERO DE TARRO	C1	F3	10	A8
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	150,73	85,79	153,74	163,29
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	138,12	79,3	136,34	143,65
PESO AGUA	12,61	6,49	17,4	19,64
PESO DEL TARRO	65,4	43,22	68,23	64,77
PESO DEL SUELO SECO	72,72	36,08	68,11	78,88
CONTENIDO DE AGUA EN %	17,34	17,99	25,55	24,90
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	17,66		25,22	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,18		1,28	

3		4		5	
1	18	25	5	01CB	2G6
124	171,62	138,48	132,64	189,81	202,9
107,5	146,15	114,39	109,81	147,19	156,35
16,5	25,47	24,09	22,83	42,62	46,55
52,95	64,55	52,95	52,39	52,88	52,69
54,55	81,6	61,44	57,42	94,31	103,66
30,25	31,21	39,21	39,76	45,19	44,91
30,73		39,48		45,05	
1,27		1,13		1,07	



densidad seca máxima	
kg/m ³ =	1275
Humedad optima %=	30

Calicata 1 de 1.10 a 5.00 metros de profundidad GP-GM

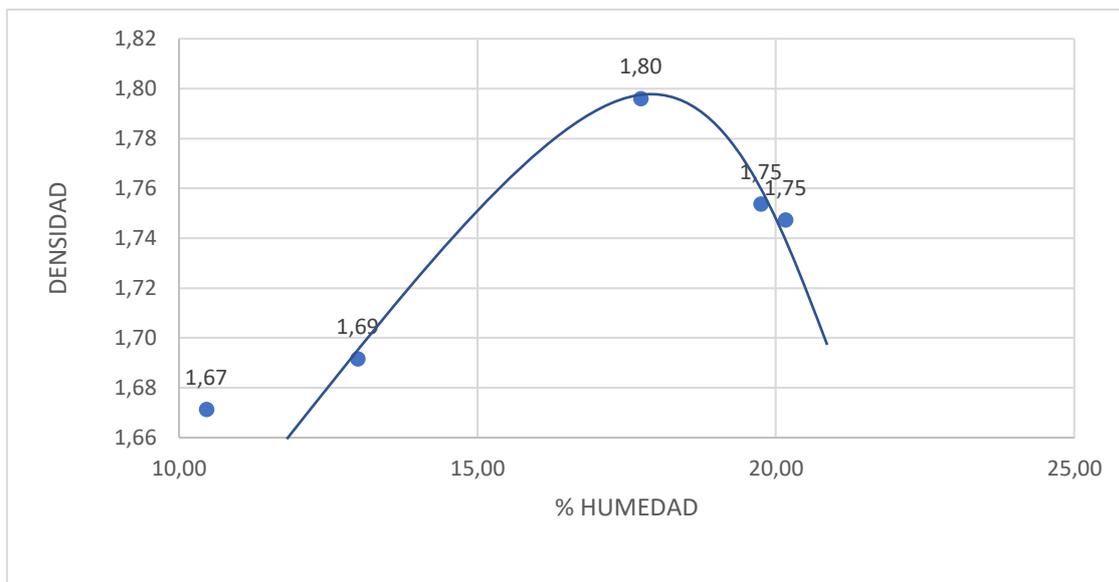
MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	18,96	27,96	33,96	39,96	15,96
AGUA AUMENTADA EN C.C	120	240	320	400	80
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	6061,5	6253	6239	6239,5	6000
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4259	4259	4259	4259	4259
PESO SUELO HUMEDO	1802,5	1994	1980	1980,5	1741
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	943	943	943	943	943
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,911	2,115	2,100	2,100	1,846

Contenido de humedad de las muestras

MUESTRAS	1		2	
NUMERO DE TARRO	M69	41	16	86
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	120,96	135,41	130,65	103,83
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	114,31	127,23	121,16	94,69
PESO AGUA	6,65	8,18	9,49	9,14
PESO DEL TARRO	62,59	64,99	66,78	43,99
PESO DEL SUELO SECO	51,72	62,24	54,38	50,7
CONTENIDO DE AGUA EN %	12,86	13,14	17,45	18,03
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	13,00		17,74	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,69		1,80	

3		4		5	
A5	2A	10	34	A9	05CB
99,73	141,75	135,27	141	110,13	86,36
93,76	133,08	123,65	125,22	106,03	83,27
5,97	8,67	11,62	15,78	4,1	3,09
66,47	86,09	65,79	43,99	67,7	53,07
27,29	46,99	57,86	81,23	38,33	30,2
21,88	18,45	20,08	19,43	10,70	10,23
20,16		19,75		10,46	
1,75		1,75		1,67	

densidad seca máxima kg/m3=	1800
Humedad optima %=	18

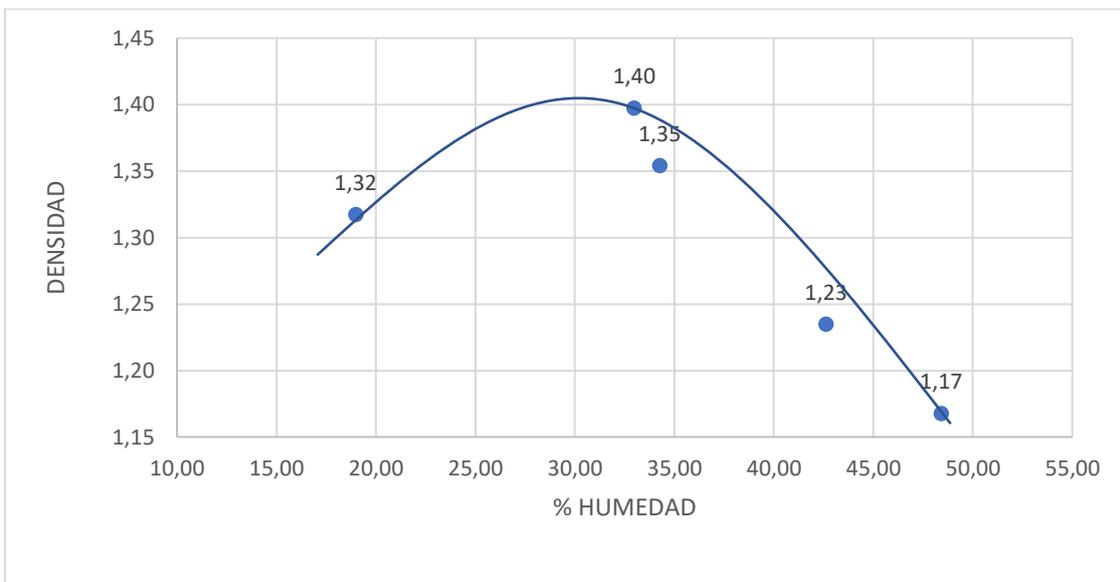


Calicata 4 de 1.00 a 2.50 metros de profundidad CH

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	22,15	31,15	40,15	49,15	55,15
AGUA AUMENTADA EN C.C	195	390	585	780	910
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	4989	5225,5	5263	5171,5	5145
PESO MOLDE SIN COLLARIN	3511	3511	3511	3511	3511
PESO SUELO HUMEDO	1478	1714,5	1752	1660,5	1634
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	943	943	943	943	943
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,567	1,818	1,858	1,761	1,733

MUESTRAS	1		2	
NUMERO DE TARRO	C1	F3	10	A8
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	178,09	105,89	158,77	161,78
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	159,11	96,45	132,26	141,07
PESO AGUA	18,98	9,44	26,51	20,71
PESO DEL TARRO	65,4	43,22	68,23	64,77
PESO DEL SUELO SECO	93,71	53,23	64,03	76,3
CONTENIDO DE AGUA EN %	20,25	17,73	41,40	27,14
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	18,99		34,27	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,32		1,35	

3		4		5	
1	18	25	5	01CB	2G6
96,29	161,81	100,31	98,07	114,39	131,06
85,13	138,62	86,15	84,42	94,29	105,53
11,16	23,19	14,16	13,65	20,1	25,53
52,95	64,55	52,95	52,39	52,88	52,69
32,18	74,07	33,2	32,03	41,41	52,84
34,68	31,31	42,65	42,62	48,54	48,32
32,99		42,63		48,43	
1,40		1,23		1,17	



densidad seca máxima kg/m ³ =	1400
Humedad optima %=	30

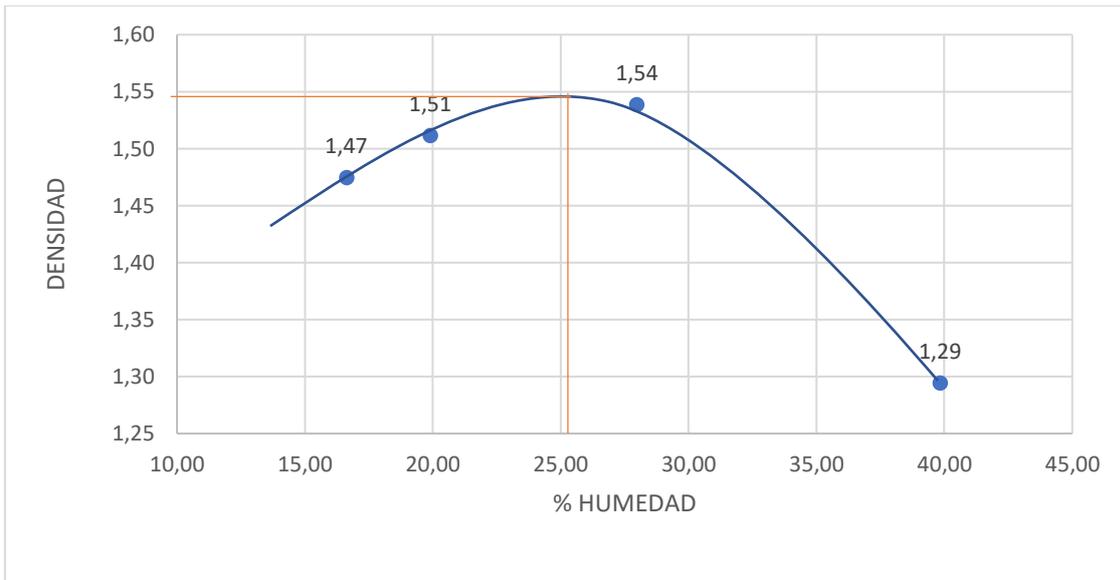
Calicata 6 de 0.50 a 4.50 metros de profundidad SM

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	25,27	34,27	43,27	49,27	22,27
AGUA AUMENTADA EN C.C	155	350	545	675	90
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5967,5	6115,5	5992,5	5965,5	5880,5
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4259	4259	4259	4259	4259
PESO SUELO HUMEDO	1708,5	1856,5	1733,5	1706,5	1621,5
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	943	943	943	943	943
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,812	1,969	1,838	1,810	1,720

Contenido de humedad de las muestras

MUESTRAS	1		2	
NUMERO DE TARRO	M69	41	16	86
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	137,67	163,17	146,94	93,93
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	125,23	146,83	129,14	83,18
PESO AGUA	12,44	16,34	17,8	10,75
PESO DEL TARRO	62,59	64,99	66,78	43,99
PESO DEL SUELO SECO	62,64	81,84	62,36	39,19
CONTENIDO DE AGUA EN %	19,86	19,97	28,54	27,43
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	19,91		27,99	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,51		1,54	

3		4	
10	34	A9	05CB
176,09	136,38	154,67	138,31
144,77	109,96	142,2	126,22
31,32	26,42	12,47	12,09
65,79	43,94	67,7	53,07
78,98	66,02	74,5	73,15
39,66	40,02	16,74	16,53
39,84		16,63	
1,29		1,47	



densidad seca máxima	
kg/m ³ =	1548
Humedad optima %=	25,5

10.1.2 SITIO 2

En el segundo sitio ubicado en el cantón Cuenca, parroquia de Quingueo se realizaron ensayos de laboratorio a 9 muestras con el fin de elaborar un perfil estratigráfico y conocer las características del geotécnicas y geofísicas del suelo, en las siguientes tablas se presentará los resultados de ensayos de granulometría, límites de Atterberg, compactación estándar, corte directo y permeabilidad realizados a las diferentes muestras.

Calicata 1 de 0 a 3 metros de profundidad.

Granulometría

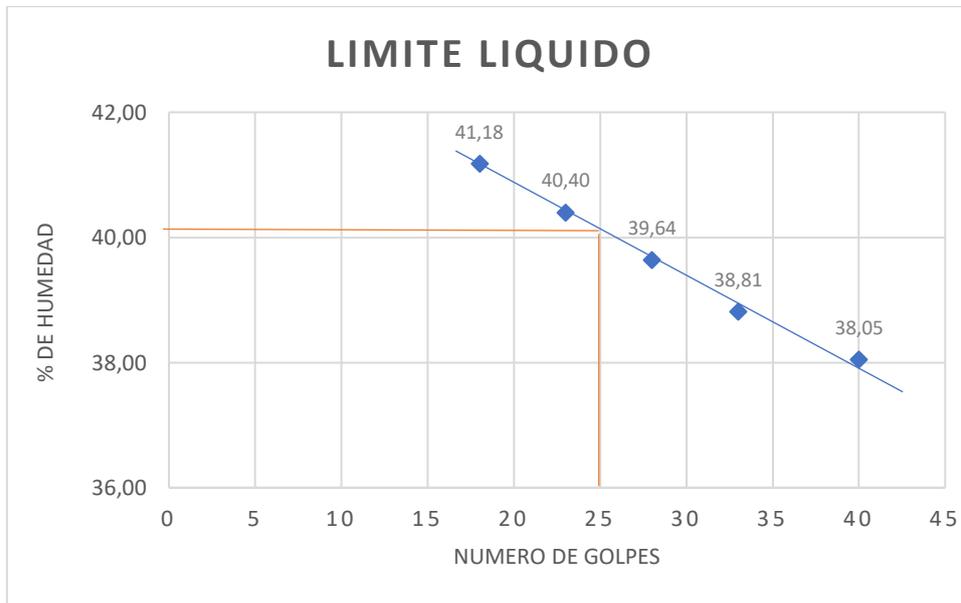
granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,4864
peso antes del ensayo=	9354	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	9308,5	peso seco antes de lavado=	448,63
% de humedad=	11,45	peso seco después de lavado=	328,4

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"	1404,5	1404,5	15,729	84,271
1"	1111,5	2516	28,178	71,822
3/4"	889	3405	38,134	61,866
1/2"	808	4213	47,183	52,817
3/8"	487	4700	52,637	47,363
# 4	915,5	5615,5	62,890	37,110
PASA #4	3693	3313,59		
10	102,3	102,3	71,35	28,65
40	136,1	238,4	82,61	17,39
200	84,3	322,7	89,58	10,42
FONDO	5,7	328,4	90,05	9,95
TOTAL	9308,5	8929,09		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 37.110 % mientras que el 10.42 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	1	11	13	20	32
NUMERO DE GOLPES	40	33	28	23	18
PESO HUMEDO TARRO	42,35	47,06	44,12	50,82	39,09
PESO SECO MAS TARRO	36,46	40,07	37,77	42,53	33,84
PESO AGUA	5,89	6,99	6,35	8,29	5,25
PESO TARRO	20,98	22,06	21,75	22,01	21,09
PESO MUESTRA SECA	15,48	18,01	16,02	20,52	12,75
% DE HUMEDAD	38,05	38,81	39,64	40,40	41,18



LIMITE LIQUIDO= 40,20

LIMITE PLASTICO			
8	19	JP6	207
14,15	13,89	14,24	13,47
13,71	13,51	13,78	13
0,44	0,38	0,46	0,47
12,29	12,29	12,36	11,49
1,42	1,22	1,42	1,51
30,99	31,15	32,39	31,13
LIMITE PLASTICO =	31,41		

El índice de plasticidad de esta muestra es 8.79.

Calicata 2 de 0 a 2.80 metros de profundidad.

Granulometría

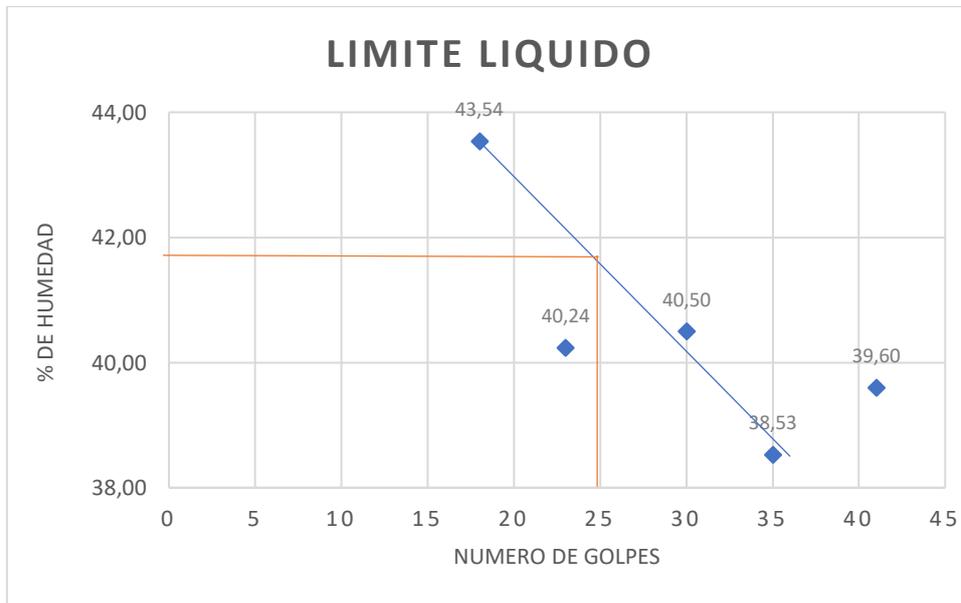
granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,4468
peso antes del ensayo=	13875,5	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	13813,5	peso seco antes de lavado=	439,48
% de humedad=	13,77	peso seco después de lavado=	367,2

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"	3297,5	3297,5	24,580	75,420
1"	2322,5	5620	41,892	58,108
3/4"	1335,5	6955,5	51,848	48,152
1/2"	1490	8445,5	62,954	37,046
3/8"	790	9235,5	68,843	31,157
# 4	1288	10523,5	78,444	21,556
PASA #4	3290	2891,80		
10	162,4	162,4	86,41	13,59
40	131,1	293,5	92,84	7,16
200	63,1	356,6	95,93	4,07
FONDO	10,6	367,2	96,45	3,55
TOTAL	13813,5	13415,30		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 21.556 % mientras que el 4.07 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

TARRO NUMERO	LIMITE LIQUIDO				
	K1	A3	8	15	A4
NUMERO DE GOLPES	41	35	30	23	18
PESO HUMEDO MAS TARRO	74,56	82,33	66,02	83,7	81,94
PESO SECO MAS TARRO	68,24	77,68	59,67	78,24	77,19
PESO AGUA	6,32	4,65	6,35	5,46	4,75
PESO TARRO	52,28	65,61	43,99	64,67	66,28
PESO MUESTRA SECA	15,96	12,07	15,68	13,57	10,91
% DE HUMEDAD	39,60	38,53	40,50	40,24	43,54



LIMITE LIQUIDO=	41,90
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
60	7	66	206
13,49	13,22	14,15	13,85
13,25	13	13,76	13,38
0,24	0,22	0,39	0,47
12,25	12,18	12,32	11,57
1	0,82	1,44	1,81
24,00	26,83	27,08	25,97
LIMITE PLASTICO =		26,63	

El índice de plasticidad de esta muestra es 15.27

Calicata 3 de 0 a 0.70 metros de profundidad.

Granulometría

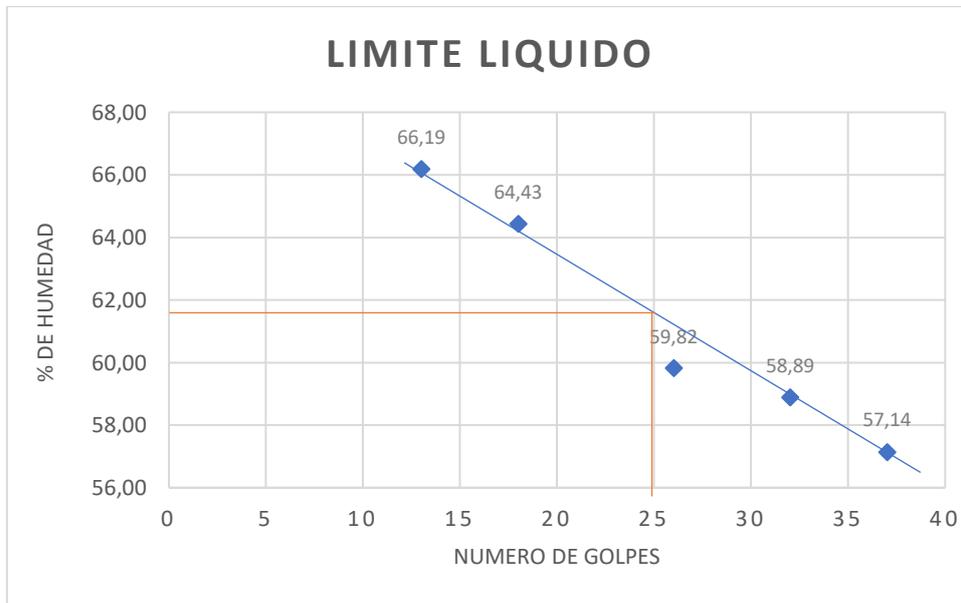
granulometría=	fina	% de error=	0,0992
peso antes del ensayo=	201,6	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	201,4	peso seco antes de lavado=	351,642
% de humedad=	42,19	peso seco después de lavado=	201,4

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
# 4				
PASA #4				
10	66,6	66,6	18,94	81,06
40	55,3	121,9	34,67	65,33
200	74,8	196,7	55,94	44,06
FONDO	4,7	201,4	57,27	42,73
TOTAL	201,4			

En esta muestra se realizó granulometría fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 200 es de 44.06 %.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	24	9	11	8	4
NUMERO DE GOLPES	37	32	26	18	13
PESO HUMEDO MAS TARRO	34,3	33,21	40,41	41,09	37,1
PESO SECO MAS TARRO	29,5	29,07	33,1	33,23	30,58
PESO AGUA	4,8	4,14	7,31	7,86	6,52
PESO TARRO	21,1	22,04	20,88	21,03	20,73
PESO MUESTRA SECA	8,4	7,03	12,22	12,2	9,85
% DE HUMEDAD	57,14	58,89	59,82	64,43	66,19



LIMITE LIQUIDO=	61,90
------------------------	--------------

LIMITE PLASTICO			
209	42	203	B1
12,68	13,9	12,93	14,24
12,31	13,43	12,49	13,7
0,37	0,47	0,44	0,54
11,42	12,31	11,41	12,44
0,89	1,12	1,08	1,26
41,57	41,96	40,74	42,86
LIMITE PLASTICO =			41,78

El índice de plasticidad de esta muestra es 20.12

Calicata 3 de 0.70 a 4 metros de profundidad.

Granulometría

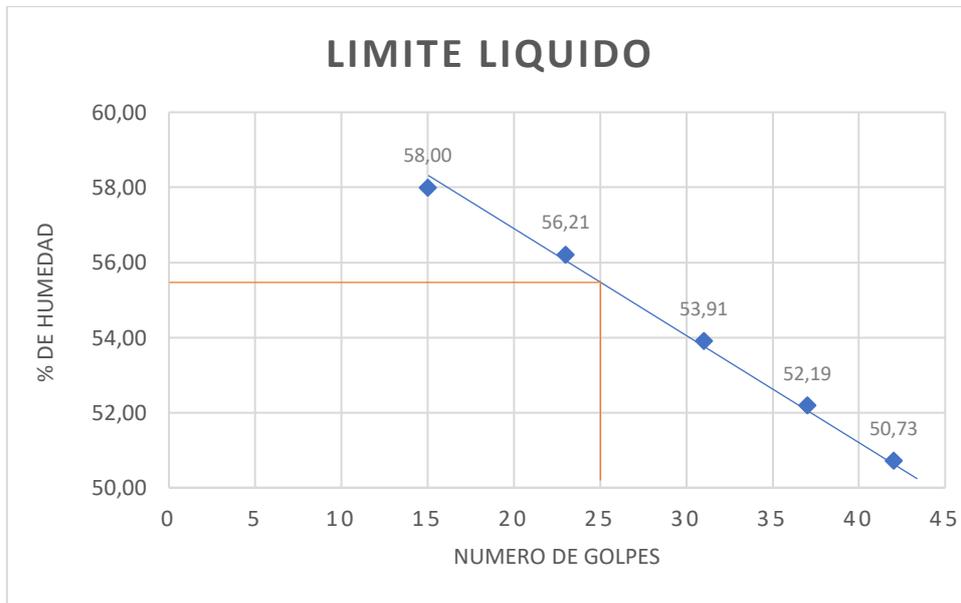
granulometría=	fina	% de error=	0,1719
peso antes del ensayo=	290,8	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	290,3	peso seco antes de lavado=	365,845
% de humedad=	36,67	peso seco después de lavado=	290,3

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
# 4				
PASA #4				
10	114,8	114,8	31,38	68,62
40	111,1	225,9	61,75	38,25
200	62,2	288,1	78,75	21,25
FONDO	2,2	290,3	79,35	20,65
TOTAL	290,3			

En esta muestra se realizó granulometría fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 200 es de 21.25%.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	016B	266	5	19	20
NUMERO DE GOLPES	42	37	31	23	15
PESO HUMEDO MAS TARRO	72,62	71,52	93,63	58	55,41
PESO SECO MAS TARRO	65,99	65,08	84,47	47,55	45,62
PESO AGUA	6,63	6,44	9,16	10,45	9,79
PESO TARRO	52,92	52,74	67,48	28,96	28,74
PESO MUESTRA SECA	13,07	12,34	16,99	18,59	16,88
% DE HUMEDAD	50,73	52,19	53,91	56,21	58,00



LIMITE LIQUIDO=	55,90
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO				
10-PS	301	302	300	
14,21	17,41	16,49	17,51	
13,52	16,54	15,91	16,52	
0,69	0,87	0,58	0,99	
12,18	14,82	14,75	14,59	
1,34	1,72	1,16	1,93	
51,49	50,58	50,00	51,30	
LIMITE PLASTICO =	50,84			

El índice de plasticidad de esta muestra es 5.06

Calicata 4 de 0 a 0.40 metros de profundidad.

Granulometría

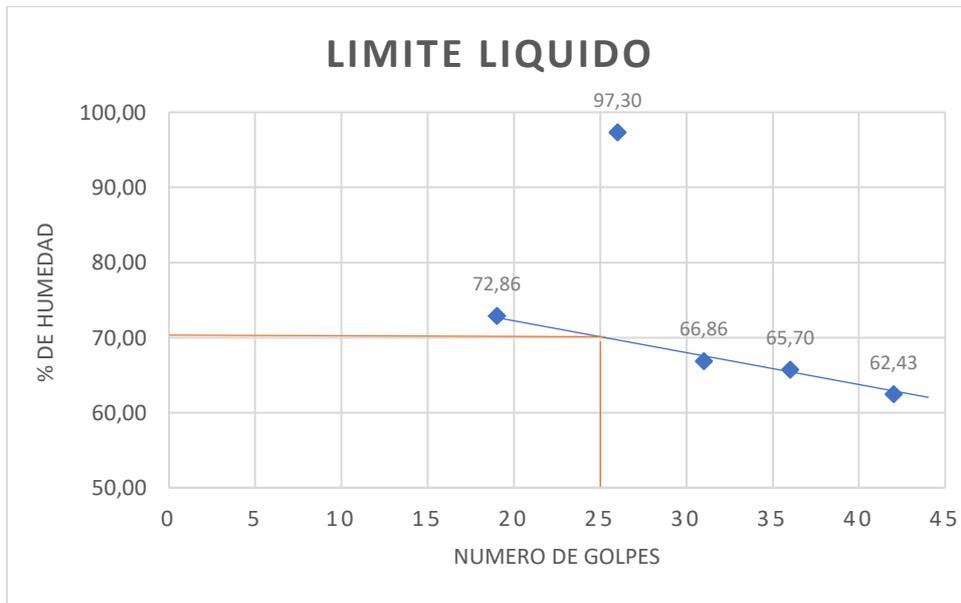
granulometría=	fina	% de error=	0,2903
peso antes del ensayo=	137,8	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	137,4	peso seco antes de lavado=	366,300
% de humedad=	36,5	peso seco después de lavado=	137,4

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
# 4				
PASA #4				
10	82,7	82,7	22,58	77,42
40	31,5	114,2	31,18	68,82
200	22,9	137,1	37,43	62,57
FONDO	0,3	137,4	37,51	62,49
TOTAL	137,4			

En esta muestra se realizó granulometría fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 200 es de 62.57%.

Límite líquido y límite plástico.

TARRO NUMERO	LIMITE LIQUIDO				
	CH	1	6	A9	A6
NUMERO DE GOLPES	42	36	31	26	19
PESO HUMEDO MAS TARRO	74,27	77,01	66,74	96,15	87,88
PESO SECO MAS TARRO	66,11	67,47	57,54	82,12	80,23
PESO AGUA	8,16	9,54	9,2	14,03	7,65
PESO TARRO	53,04	52,95	43,78	67,7	69,73
PESO MUESTRA SECA	13,07	14,52	13,76	14,42	10,5
% DE HUMEDAD	62,43	65,70	66,86	97,30	72,86



LIMITE LIQUIDO=	70,00
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
5	63	56	61
13,92	13,89	13,73	13,76
13,35	13,36	13,19	13,23
0,57	0,53	0,54	0,53
12,22	12,34	12,17	12,18
1,13	1,02	1,02	1,05
50,44	51,96	52,94	50,48
LIMITE PLASTICO =		51,46	

El índice de plasticidad de esta muestra es 5.06

Calicata 4 de 0.40 a 1.20 metros de profundidad.

Granulometría

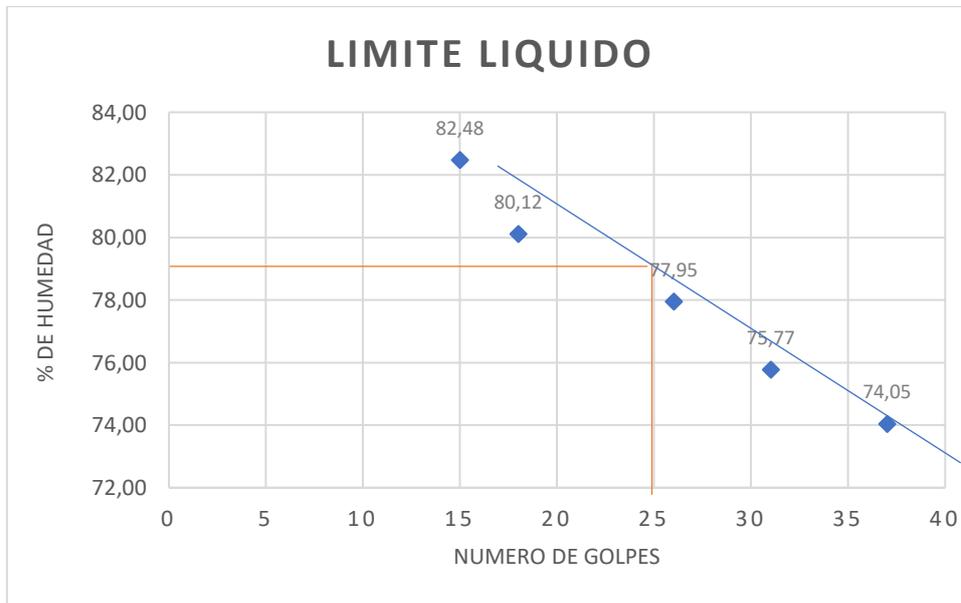
granulometría=	fina	% de error=	0,3244
peso antes del ensayo=	123,3	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	122,9	peso seco antes de lavado=	312,227
% de humedad=	60,14	peso seco después de lavado=	122,9

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
# 4				
PASA #4				
10	27,1	27,1	8,68	91,32
40	38,4	65,5	20,98	79,02
200	55,2	120,7	38,66	61,34
FONDO	2,2	122,9	39,36	60,64
TOTAL	122,9			

En esta muestra se realizó granulometría fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 200 es de 61.34%.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	A7	6	7	9A	5
NUMERO DE GOLPES	37	31	26	18	15
PESO HUMEDO MAS TARRO	72,86	62,54	75,24	67,78	66,95
PESO SECO MAS TARRO	64,7	54,38	65,41	60,85	56,22
PESO AGUA	8,16	8,16	9,83	6,93	10,73
PESO TARRO	53,68	43,61	52,8	52,2	43,21
PESO MUESTRA SECA	11,02	10,77	12,61	8,65	13,01
% DE HUMEDAD	74,05	75,77	77,95	80,12	82,48



LIMITE LIQUIDO=	78,30
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
2	202	9	11A
14,16	12,86	13,66	13,74
13,55	12,42	13,12	13,27
0,61	0,44	0,54	0,47
12,4	11,47	12,12	12,36
1,15	0,95	1	0,91
53,04	46,32	54,00	51,65
LIMITE PLASTICO =		52,90	

El índice de plasticidad de esta muestra es 25.40

Calicata 4 de 1.20 a 5 metros de profundidad.

Granulometría

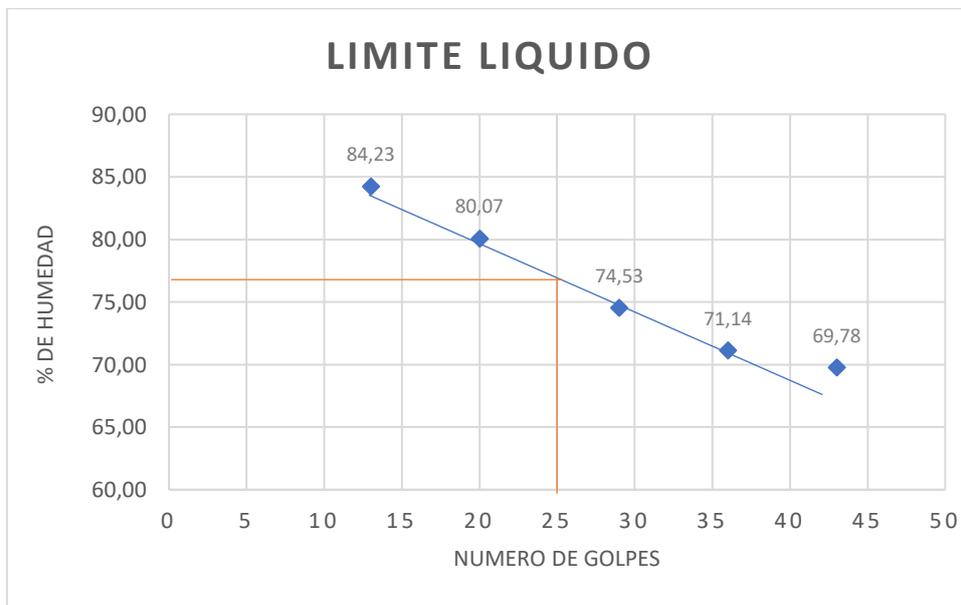
granulometría=	fina	% de error=	0,3365
peso antes del ensayo=	208	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	207,3	peso seco antes de lavado=	306,147
% de humedad=	63,32	peso seco después de lavado=	207,3

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
# 4				
PASA #4				
10	54,4	54,4	17,77	82,23
40	67,9	122,3	39,95	60,05
200	79,9	202,2	66,05	33,95
FONDO	5,1	207,3	67,71	32,29
TOTAL	207,3			

En esta muestra se realizó granulometría fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 200 es de 33.95%.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	1	04CB	F3	9	88
NUMERO DE GOLPES	43	36	29	20	13
PESO HUMEDO MAS TARRO	64,49	57,63	59,05	59,69	61,91
PESO SEC.O MAS TARRO	59,71	52,01	52,29	52,58	53,63
PESO AGUA	4,78	5,62	6,76	7,11	8,28
PESO TARRO	52,86	44,11	43,22	43,7	43,8
PESO MUESTRA SECA	6,85	7,9	9,07	8,88	9,83
% DE HUMEDAD	69,78	71,14	74,53	80,07	84,23



LIMITE LIQUIDO=	76,00
------------------------	--------------

LIMITE PLASTICO			
JP6	52	26	209
16,44	14,01	23,22	13,81
15,73	13,45	22,63	13,04
0,71	0,56	0,59	0,77
14,45	12,41	21,56	11,68
1,28	1,04	1,07	1,36
55,47	53,85	55,14	56,62
LIMITE PLASTICO =	55,74		

El índice de plasticidad de esta muestra es 20.26

Calicata 5 de 0 a 1.50 metros de profundidad.

Granulometría

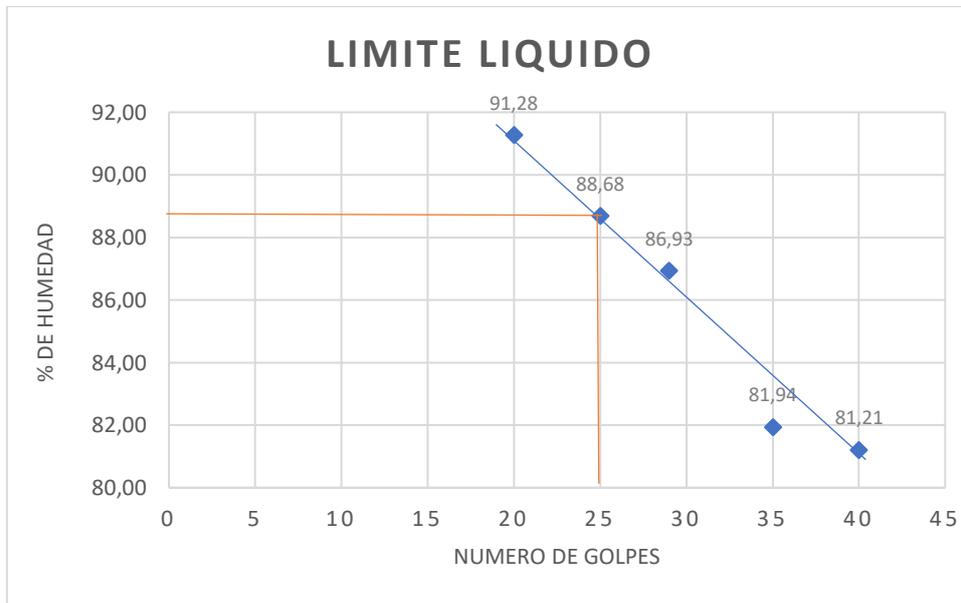
granulometría=	fina	% de error=	0,3417
peso antes del ensayo=	87,8	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	87,5	peso seco antes de lavado=	307,352
% de humedad=	62,68	peso seco después de lavado=	87,5

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
# 4				
PASA #4				
10	37	37	12,04	87,96
40	28,1	65,1	21,18	78,82
200	21,7	86,8	28,24	71,76
FONDO	0,7	87,5	28,47	71,53
TOTAL	87,5			

En esta muestra se realizó granulometría fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 200 es de 71.76%.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	K1	A3	8	15	A4
NUMERO DE GOLPES	40	35	29	25	20
PESO HUMEDO MAS TARRO	69,35	84,15	58,72	83,84	91,28
PESO SECO MAS TARRO	61,7	75,8	51,87	74,83	79,35
PESO AGUA	7,65	8,35	6,85	9,01	11,93
PESO TARRO	52,28	65,61	43,99	64,67	66,28
PESO MUESTRA SECA	9,42	10,19	7,88	10,16	13,07
% DE HUMEDAD	81,21	81,94	86,93	88,68	91,28



LIMITE LIQUIDO=	89,00
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
60	7	66	206
13,96	13,73	13,85	12,91
13,26	13,1	13,22	12,37
0,7	0,63	0,63	0,54
12,25	12,18	12,32	11,57
1,01	0,92	0,9	0,8
69,31	68,48	70,00	67,50
LIMITE PLASTICO =		69,26	

El índice de plasticidad de esta muestra es 19.74

Calicata 5 de 1.50 a 4.80 metros de profundidad.

Granulometría

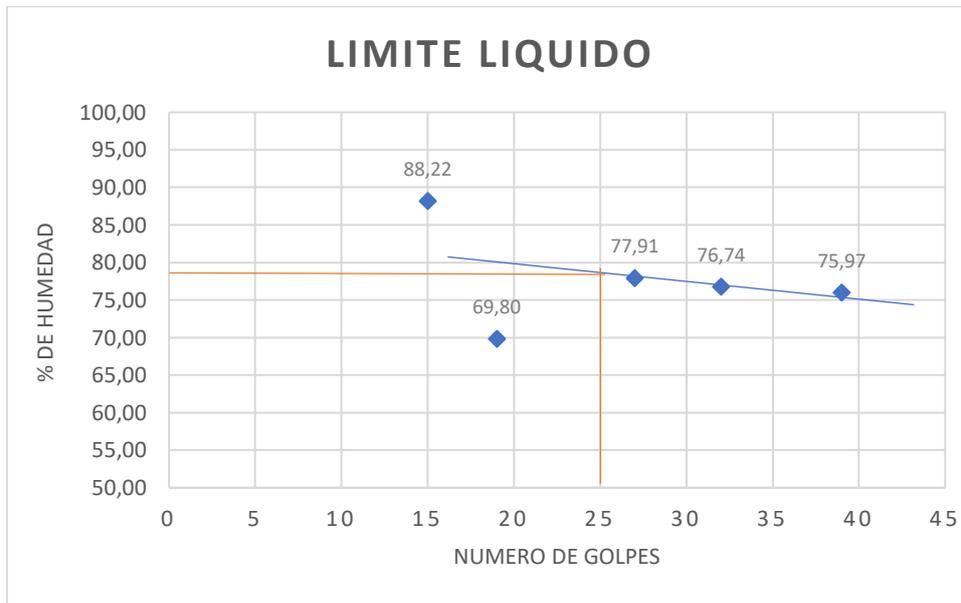
granulometría=	fina	% de error=	0,4394
peso antes del ensayo=	159,3	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	158,6	peso seco antes de lavado=	309,521
% de humedad=	61,54	peso seco después de lavado=	158,6

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
# 4				
PASA #4				
10	28,2	28,2	9,11	90,89
40	59,1	87,3	28,20	71,80
200	65,3	152,6	49,30	50,70
FONDO	6	158,6	51,24	48,76
TOTAL	158,6			

En esta muestra se realizó granulometría fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 200 es de 50.70%.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	CH	1	6	9	6
NUMERO DE GOLPES	39	32	27	19	15
PESO HUMEDO MAS TARRO	64,83	63,59	54,33	76,19	82,83
PESO SECO MAS TARRO	59,74	58,97	49,71	72,7	76,69
PESO AGUA	5,09	4,62	4,62	3,49	6,14
PESO TARRO	53,04	52,95	43,78	67,7	69,73
PESO MUESTRA SECA	6,7	6,02	5,93	5	6,96
% DE HUMEDAD	75,97	76,74	77,91	69,80	88,22



LIMITE LIQUIDO=	79,00
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
5	63	56	61
13,52	13,87	13,66	13,2
13,05	13,28	13,07	12,81
0,47	0,59	0,59	0,39
12,22	12,34	12,17	11,18
0,83	0,94	0,9	1,63
56,63	62,77	65,56	23,93
LIMITE PLASTICO =	61,65		

El índice de plasticidad de esta muestra es 17.35

La clasificación del suelo mediante el método S.U.C.S de cada una de las muestras se puede apreciar en la siguiente tabla.

CALICATA	CLASIFICACION
C1 0,00 - 3,00	GP-GM
C2 0,00 - 2,80	GW
C3 0,00 - 0,70	SM
C3 0,70 - 4,00	SM
C4 0,00 - 0,40	MH
C4 0,40 - 1,20	MH
C4 1,20 - 5,00	SM
C5 0,00 - 1,50	MH
C5 1,50 - 5,00	MH

Donde

M= Limo

C= Arcilla

S= arena

G= grava

W= Bien graduada

P= Pobremente graduada

H= Alta plasticidad

L= Baja plasticidad

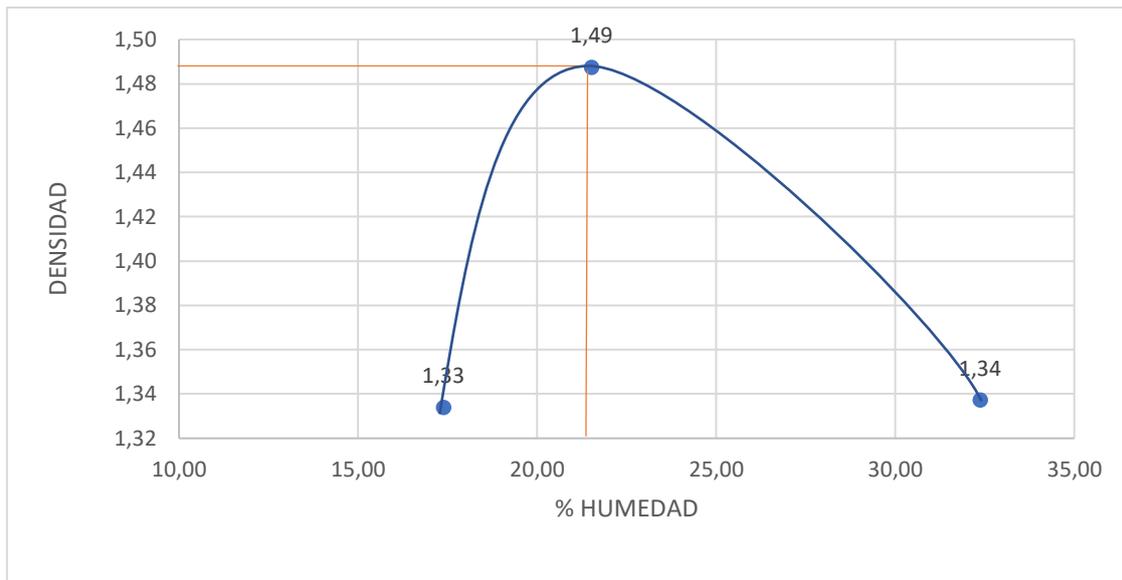
En el apartado de compactación y humedad óptima se realizaron ensayos de Proctor estándar en el cual se ocupa 5 fundas de 2500 gramos de material para compactar en un molde con una energía de compactación de 3 capas 25 golpes cada una, esto se realizó a 3 calicatas diferentes, los resultados se exponen a continuación en las siguientes tablas.

Calicata 1 de 0,00 a 3 metros de profundidad. GP-GM

MUESTRA	1	2	3
HUMEDAD AÑADIDA EN %	18,08	27,08	42,08
AGUA AUMENTADA EN C.C	90	225	450
PESO MOLDE MAS SUELO HUM.	5919,5	6176,5	6136,5
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4255	4255	4255
PESO SUELO HUMEDO	1664,5	1921,5	1881,5
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	1063	1063	1063
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,566	1,808	1,770

Contenido de humedad

MUESTRAS	1		2		3	
NUMERO DE TARRO	13	F3	4	A7	14	88
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	71,84	63,32	75,04	92,23	171,71	166,34
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	67,66	60,35	69,18	85,89	138,13	138,69
PESO AGUA	4,18	2,97	5,86	6,34	33,58	27,65
PESO DEL TARRO	43,7	43,22	44,1	53,69	43,83	43,8
PESO DEL SUELO SECO	23,96	17,13	25,08	32,2	94,3	94,89
CONTENIDO DE AGUA EN %	17,45	17,34	23,37	19,69	35,61	29,14
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	17,39		21,53		32,37	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,33		1,49		1,34	



densidad seca máxima kg/m ³ =	1490
Humedad optima %=	22

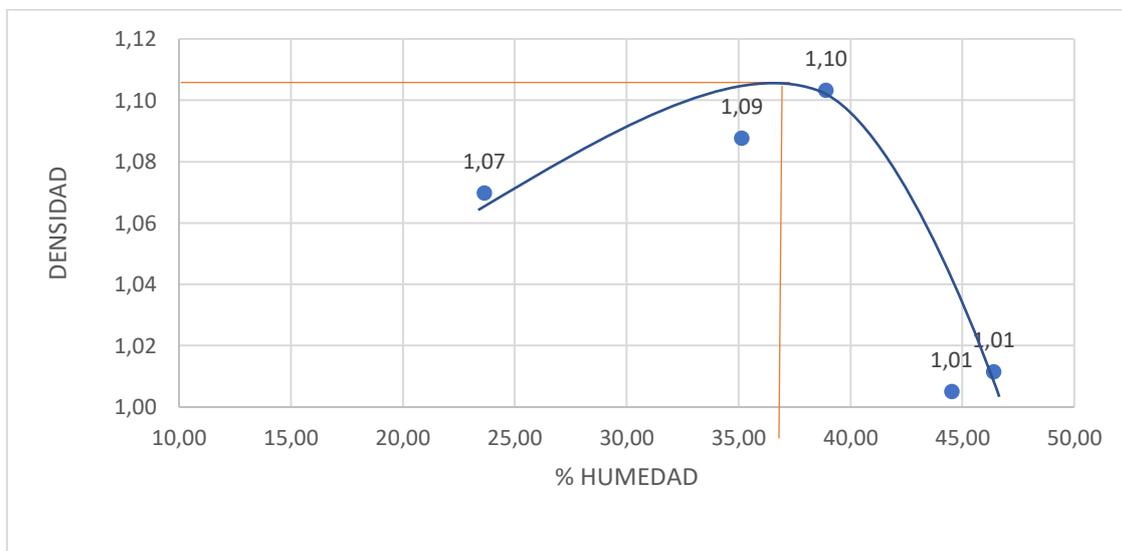
Calicata 3 de 0 a 0.70 metros de profundidad. SM

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	26,72	32,72	38,72	47,72	53,72
AGUA AUMENTADA EN C.C	90	180	270	405	495
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	5661	5817,5	5884	5829	5799
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4255	4255	4255	4255	4255
PESO SUELO HUMEDO	1406	1562,5	1629	1574	1544
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	1063	1063	1063	1063	1063
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,323	1,470	1,532	1,481	1,452

Contenido de humedad

MUESTRAS	1		2	
NUMERO DE TARRO	13	F3	4	A7
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	109,27	101,22	126,72	133,64
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	99,45	87,94	105,18	112,89
PESO AGUA	9,82	13,28	21,54	20,75
PESO DEL TARRO	43,7	43,22	44,1	53,69
PESO DEL SUELO SECO	55,75	44,72	61,08	59,2
CONTENIDO DE AGUA EN %	17,61	29,70	35,27	35,05
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	23,66		35,16	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,07		1,09	

3		4		5	
14	88	11	16	10	18
117,6	114,87	153,2	180,35	186,38	178,83
96,79	95,1	125,78	145,42	152,74	141,01
20,81	19,77	27,42	34,93	33,64	37,82
43,83	43,8	66,79	70,02	65,8	65,91
52,96	51,3	58,99	75,4	86,94	75,1
39,29	38,54	46,48	46,33	38,69	50,36
38,92		46,40		44,53	
1,10		1,01		1,01	



densidad seca máxima kg/m ³ =	1105
Humedad optima %=	36

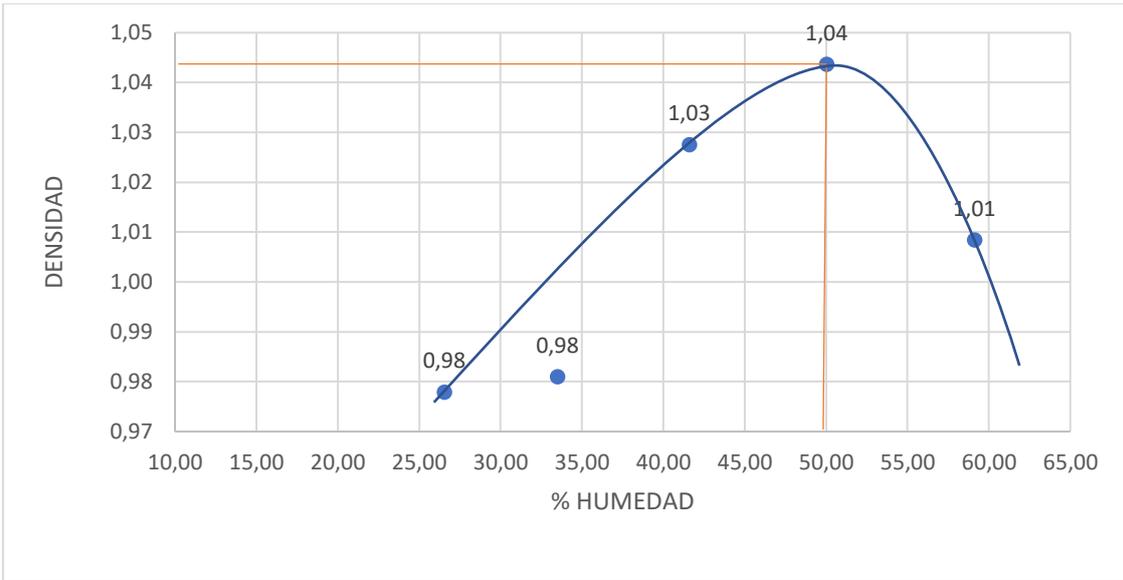
Calicata 5 de 0 a 1.50 metros de profundidad. MH

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	32,53	41,53	53,53	62,53	77,73
AGUA AUMENTADA EN C.C	45	180	360	495	720
PESO MOLDE + SUELO HUM. P1	4678	4746	4883	4987,5	5024
PESO MOLDE SIN COLLARIN	3511	3511	3511	3511	3511
PESO SUELO HUMEDO	1167	1235	1372	1476,5	1513
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	943	943	943	943	943
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,238	1,310	1,455	1,566	1,604

Contenido de humedad

MUESTRAS	1		2	
NUMERO DE TARRO	9A	01CB	2G6	5
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	74,71	81,3	73,43	91,36
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	70,03	75,29	68,24	85,37
PESO AGUA	4,68	6,01	5,19	5,99
PESO DEL TARRO	52,22	52,9	52,77	67,48
PESO DEL SUELO SECO	17,81	22,39	15,47	17,89
CONTENIDO DE AGUA EN %	26,28	26,84	33,55	33,48
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	26,56		33,52	
DENSIDAD SECA GR/CM3	0,98		0,98	

3		4		5	
8	K1	6	A4	15	CH
88,07	116,64	94,12	127,78	130,06	104,69
75,09	97,77	77,3	107,3	105,84	85,44
12,98	18,87	16,82	20,48	24,22	19,25
43,99	52,27	43,77	66,28	64,66	53,05
31,1	45,5	33,53	41,02	41,18	32,39
41,74	41,47	50,16	49,93	58,81	59,43
41,60		50,05		59,12	
1,03		1,04		1,01	



densidad seca máxima	
kg/m ³ =	1040
Humedad optima %=	50

10.1.3 SITIO 3

En el tercer sitio ubicado en el cantón Paute se realizaron ensayos de laboratorio a 5 muestras con el fin de elaborar un perfil estratigráfico y conocer las características del geotécnicas y geofísicas del suelo, en las siguientes tablas se presentará los resultados de ensayos de granulometría, límites de Atterberg, compactación estándar, corte directo.

Calicata 1 de 1.50 a 4.50 metros de profundidad.

Granulometría

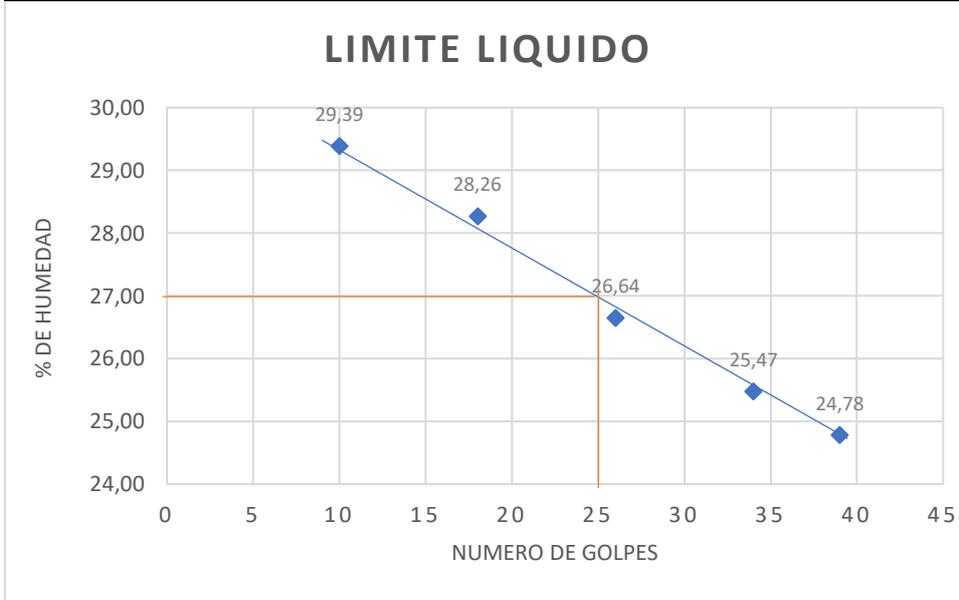
granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,1758
peso antes del ensayo=	9100	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	9084	peso seco antes de lavado=	476,60
% de humedad=	4,91	peso seco después de lavado=	395

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"	0	0	0,000	100,000
1"	400	400	4,532	95,468
3/4"	262,5	662,5	7,506	92,494
1/2"	658	1320,5	14,962	85,038
3/8"	583,5	1904	21,573	78,427
# 4	1665	3569	40,438	59,562
PASA #4	5515	5256,89		
10	146	146	58,68	41,32
40	178,5	324,5	80,99	19,01
200	68	392,5	89,49	10,51
FONDO	2,5	395	89,80	10,20
TOTAL	9084	8825,89		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 59.562 %, mientras que el 10.51 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	5	10-PS	2	207	209
NUMERO DE GOLPES	39	34	26	18	10
PESO HUM. MAS TARRO	42,85	36,05	47,34	47,16	37,48
PESO SECO MAS TARRO	36,77	31,21	40,01	39,3	31,62
PESO AGUA	6,08	4,84	7,33	7,86	5,86
PESO TARRO	12,23	12,21	12,5	11,49	11,68
PESO MUESTRA SECA	24,54	19	27,51	27,81	19,94
% DE HUMEDAD	24,78	25,47	26,64	28,26	29,39



LIMITE LIQUIDO=	27,00
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
8	9	3B	4
5,75	5,41	5,89	5,17
5,52	5,22	5,63	5,04
0,23	0,19	0,26	0,13
4,13	4,1	4,11	4,11
1,39	1,12	1,52	0,93
16,55	16,96	17,11	13,98
LIMITE PLASTICO =	16,87		

El índice de plasticidad de esta muestra es 10.13

Calicata 2 de 1.50 a 4.50 metros de profundidad.

Granulometría

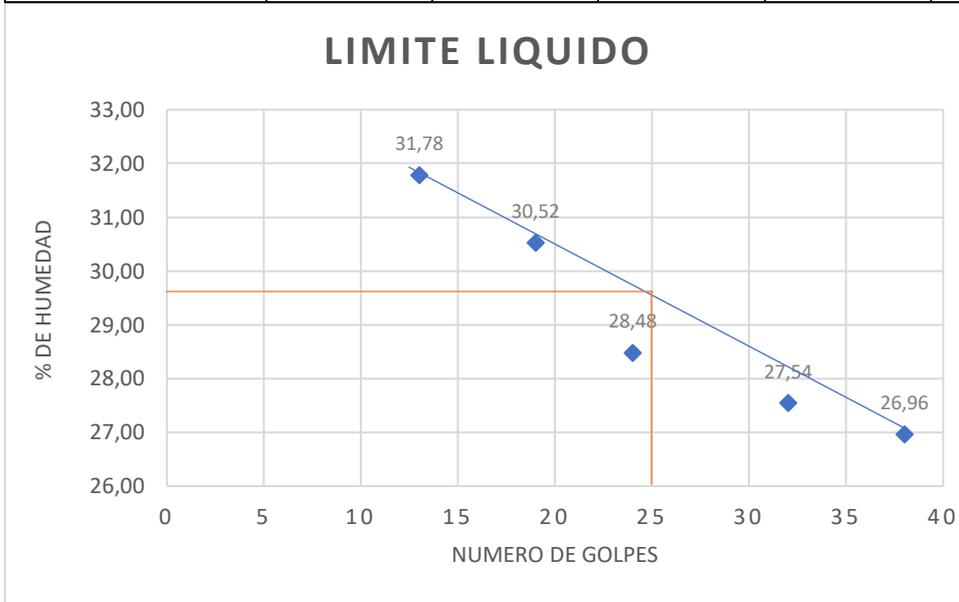
granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,1291
peso antes del ensayo=	7360	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	7350,5	peso seco antes de lavado=	466,46
% de humedad=	7,19	peso seco después de lavado=	325

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"	67	67	0,944	99,056
1"	552,5	619,5	8,728	91,272
3/4"	597,5	1217	17,147	82,853
1/2"	648,5	1865,5	26,284	73,716
3/8"	584,5	2450	34,519	65,481
# 4	1129,5	3579,5	50,433	49,567
PASA #4	3771	3518,05		
10	90	90	60,00	40,00
40	138	228	74,66	25,34
200	89,5	317,5	84,17	15,83
FONDO	7,5	325	84,97	15,03
TOTAL	7350,5	7097,55		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 49.567 %, mientras que el 15.83 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	24	22	18	19	11
NUMERO DE GOLPES	38	32	24	19	13
PESO HUM. MAS TARRO	56,28	53,59	59,91	54,43	47,73
PESO SECO MAS TARRO	50,49	48,3	53,05	48,51	41,54
PESO AGUA	5,79	5,29	6,86	5,92	6,19
PESO TARRO	29,01	29,09	28,96	29,11	22,06
PESO MUESTRA SECA	21,48	19,21	24,09	19,4	19,48
% DE HUMEDAD	26,96	27,54	28,48	30,52	31,78



LIMITE LIQUIDO=	29,50
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
100	10	8	208
5,35	5,61	5,32	5,56
5,14	5,35	5,12	5,39
0,21	0,26	0,2	0,17
4,1	4,09	4,14	4,29
1,04	1,26	0,98	1,1
20,19	20,63	20,41	15,45
LIMITE PLASTICO =	20,41		

El índice de plasticidad de esta muestra es 9.09

Calicata 3 de 0.00 a 1.00 metros de profundidad.

Granulometría

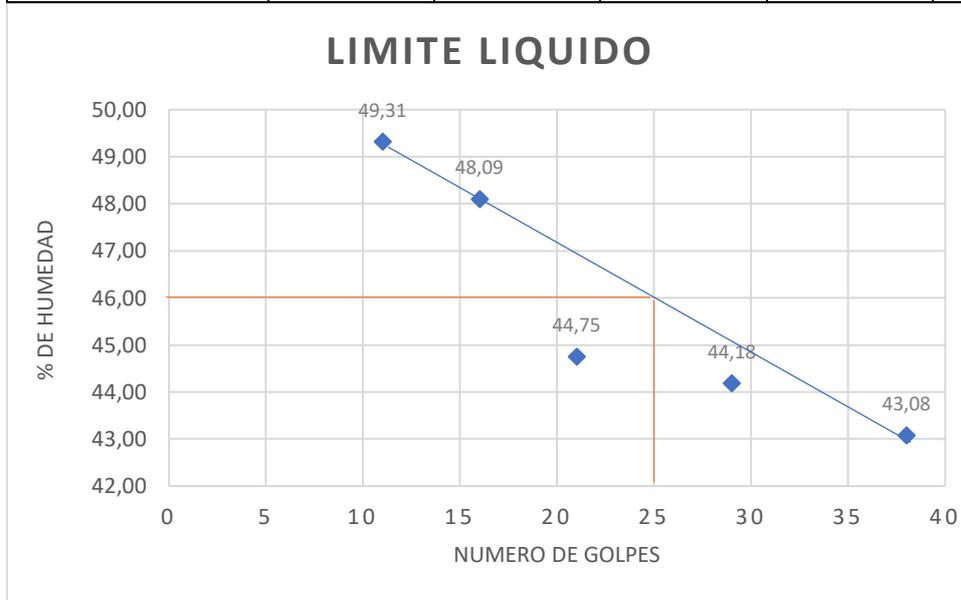
granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,3586
peso antes del ensayo=	8227	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	8197,5	peso seco antes de lavado=	433,91
% de humedad=	15,23	peso seco después de lavado=	153

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"	0	0	0,000	100,000
1"	32,5	32,5	0,439	99,561
3/4"	18,5	51	0,689	99,311
1/2"	259,5	310,5	4,194	95,806
3/8"	156	466,5	6,301	93,699
# 4	1721	2187,5	29,548	70,452
PASA #4	6010	5215,66		
10	42,5	42,5	36,45	63,55
40	58	100,5	45,87	54,13
200	49	149,5	53,82	46,18
FONDO	3,5	153	54,39	45,61
TOTAL	8197,5	7403,16		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 70.452 %, mientras que el 46.18 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	24	22	18	19	11
NUMERO DE GOLPES	38	29	21	16	11
PESO HUM. MAS TARRO	48,64	48,18	48,66	46,94	39,35
PESO SECO MAS TARRO	42,73	42,33	42,57	41,15	33,64
PESO AGUA	5,91	5,85	6,09	5,79	5,71
PESO TARRO	29,01	29,09	28,96	29,11	22,06
PESO MUESTRA SECA	13,72	13,24	13,61	12,04	11,58
% DE HUMEDAD	43,08	44,18	44,75	48,09	49,31



LIMITE LIQUIDO=	46,00
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
100	10	8	208
5,36	5,64	4,97	5,19
5,12	5,36	4,82	5,01
0,24	0,28	0,15	0,18
4,1	4,09	4,14	4,29
1,02	1,27	0,68	0,72
23,53	22,05	22,06	25,00
LIMITE PLASTICO =	23,16		

El índice de plasticidad de esta muestra es 22.84

Calicata 3 de 1.70 a 5.00 metros de profundidad.

Granulometría

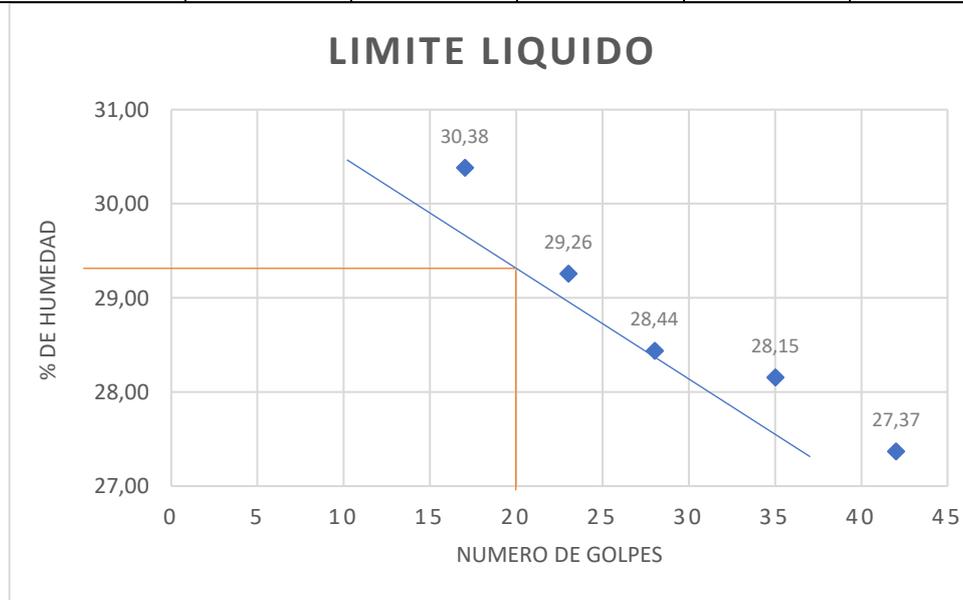
granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,4735
peso antes del ensayo=	8553	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	8512,5	peso seco antes de lavado=	434,62
% de humedad=	15,042	peso seco después de lavado=	313,5

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"	623	623	7,769	92,231
1"	635,5	1258,5	15,693	84,307
3/4"	599	1857,5	23,162	76,838
1/2"	1057,5	2915	36,349	63,651
3/8"	647,5	3562,5	44,423	55,577
# 4	1180	4742,5	59,137	40,863
PASA #4	3770	3277,06		
10	90	90	67,60	32,40
40	123,5	213,5	79,21	20,79
200	83,5	297	87,06	12,94
FONDO	16,5	313,5	88,61	11,39
TOTAL	8512,5	8019,56		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 40.863 %, mientras que el 12.94 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	M1	05CB	34	5	K1
NUMERO DE GOLPES	42	35	28	23	17
PESO HUM. MAS TARRO	74,12	75,77	65,83	63,73	64,63
PESO SECO MAS TARRO	69,87	70,79	60,99	59,09	59,59
PESO AGUA	4,25	4,98	4,84	4,64	5,04
PESO TARRO	54,34	53,1	43,97	43,23	43
PESO MUESTRA SECA	15,53	17,69	17,02	15,86	16,59
% DE HUMEDAD	27,37	28,15	28,44	29,26	30,38



LIMITE LIQUIDO=	29,50
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
7B	J520V	203	JP6
5,17	13,52	12,9	14,16
5	13,29	12,65	13,85
0,17	0,23	0,25	0,31
4,18	12,18	11,45	12,35
0,82	1,11	1,2	1,5
20,73	20,72	20,83	20,67
LIMITE PLASTICO =	20,76		

El índice de plasticidad de esta muestra es 8.74

Calicata 4 de 0.00 a 4.25 metros de profundidad.

Granulometría

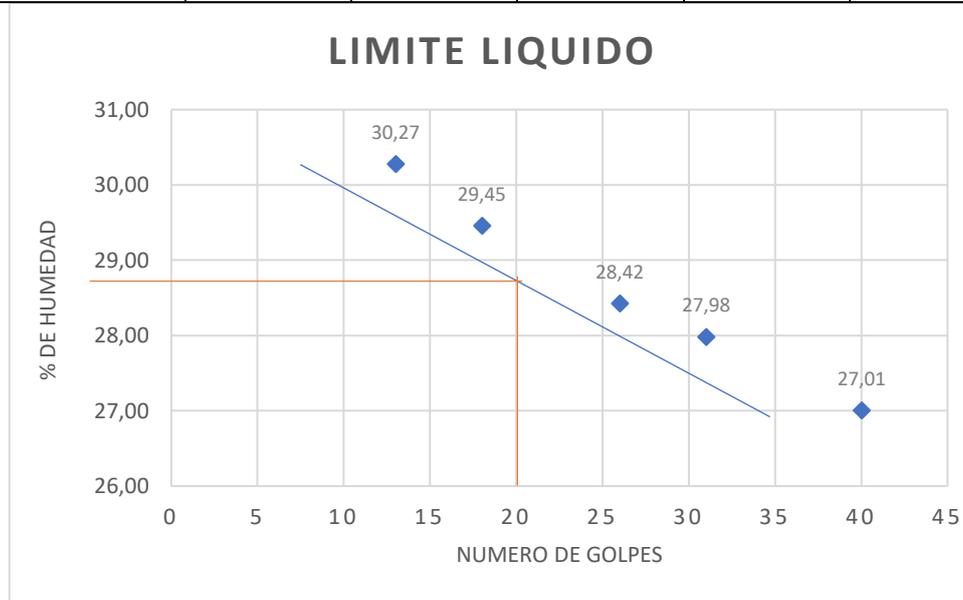
granulometría=	gruesa-fina	% de error=	0,3875
peso antes del ensayo=	9806	peso húmedo antes de lavado=	500
peso después del ensayo=	9768	peso seco antes de lavado=	450,57
% de humedad=	10,97	peso seco después de lavado=	275

TAMIZ	PESO RET.	RET. ACUM.	% RET	% PASA
1 1/2"	1613	1613	16,948	83,052
1"	1911,5	3524,5	37,032	62,968
3/4"	834	4358,5	45,795	54,205
1/2"	1156,5	5515	57,946	42,054
3/8"	711	6226	65,417	34,583
# 4	1007,5	7233,5	76,002	23,998
PASA #4	2534,5	2283,95		
10	118	118	82,29	17,71
40	102,5	220,5	87,75	12,25
200	52,5	273	90,54	9,46
FONDO	2	275	90,65	9,35
TOTAL	9768	9517,45		

En esta muestra se realizó granulometría gruesa y fina donde el porcentaje que pasa el tamiz número 4 es de 23.998 %, mientras que el 9.46 % pasa el tamiz número 200.

Límite líquido y límite plástico.

	LIMITE LIQUIDO				
TARRO NUMERO	9	206	60	42	19
NUMERO DE GOLPES	40	31	26	18	13
PESO HUM. MAS TARRO	37,64	39,52	39,45	37,48	36,28
PESO SECO MAS TARRO	32,22	33,41	33,43	31,76	30,71
PESO AGUA	5,42	6,11	6,02	5,72	5,57
PESO TARRO	12,15	11,57	12,25	12,34	12,31
PESO MUESTRA SECA	20,07	21,84	21,18	19,42	18,4
% DE HUMEDAD	27,01	27,98	28,42	29,45	30,27



LIMITE LIQUIDO=	28,90
-----------------	-------

LIMITE PLASTICO			
6	3	24	13
5,15	23,14	23,29	23,41
4,99	22,95	22,91	23,13
0,16	0,19	0,38	0,28
4,2	21,9	21,09	21,76
0,79	1,05	1,82	1,37
20,25	18,10	20,88	20,44
LIMITE PLASTICO =	19,92		

El índice de plasticidad de esta muestra es 8.98

La clasificación del suelo mediante el método S.U.C.S de cada una de las muestras se puede apreciar en la siguiente tabla.

CALICATA	CLASIFICACION
C1 1,50 - 4,50	SP-SC
C2 0,00 - 2,20	GC
C3 0,00 - 1,00	SC
C3 1,70 - 5,00	GC
C4 0,00 - 4,25	GP-GC

Donde

M= Limo

C= Arcilla

S= arena

G= grava

W= Bien graduada

P= Pobrementemente graduada

H= Alta plasticidad

L= Baja plasticidad

En el apartado de compactación y humedad optima se realizaron ensayos de Proctor estándar en el cual se ocupa 5 fundas de 2500 gramos de material para compactar en un molde con una energía de compactación de 3 capas 25 golpes cada una, esto se realizó a 1 calicata, los resultados se exponen a continuación en la siguiente tabla.

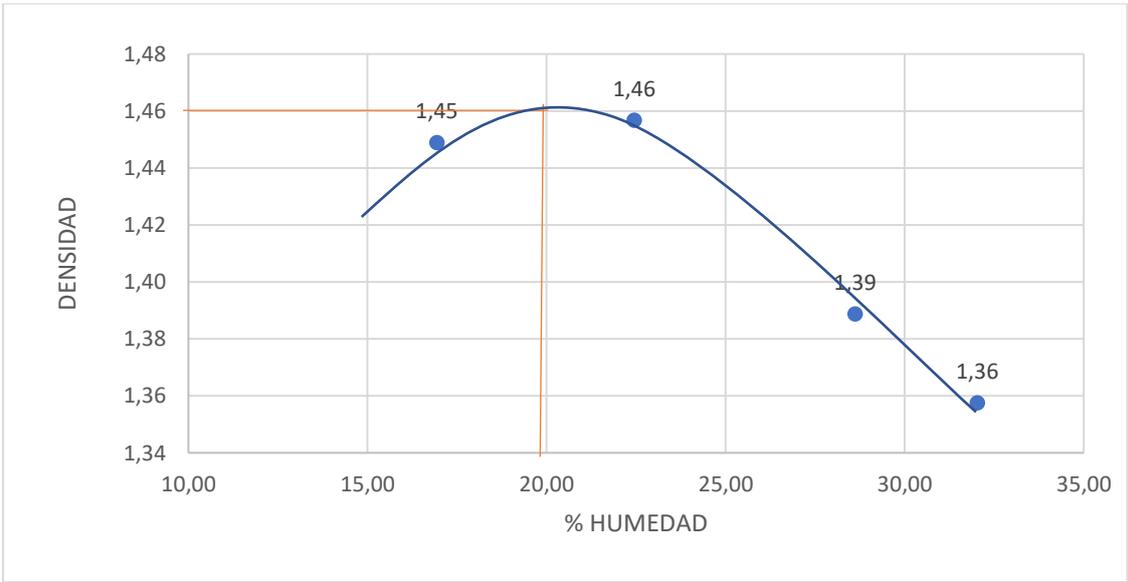
Calicata 3 de 1.70 a 5.00 metros de profundidad

MUESTRA	1	2	3	4	5
HUMEDAD AÑADIDA EN %	19,14	28,14	40,14	49,14	13,45
AGUA AUMENTADA EN C.C	135	270	450	585	45
PESO DEL MOLDE MAS SUELO HUM. P1	6056	6151	6153,5	6160	5942
PESO MOLDE SIN COLLARIN	4255	4255	4255	4255	4255
PESO SUELO HUMEDO	1801	1896	1898,5	1905	1687
VOLUMEN DEL MOLDE SIN COLLARIN	1063	1063	1063	1063	1063
DENSIDAD HUMEDA GR/CM3	1,694	1,784	1,786	1,792	1,587

Contenido de Humedad

MUESTRAS	1		2	
NUMERO DE TARRO	8	7	1	26
PESO DE TARRO MAS SUELO HUMEDO	79,07	96,25	78,18	81,7
PESO DE TARRO MAS SUELO SECO	73,95	90	73,71	76,21
PESO AGUA	5,12	6,25	4,47	5,49
PESO DEL TARRO	43,98	52,81	52,95	52,73
PESO DEL SUELO SECO	29,97	37,19	20,76	23,48
CONTENIDO DE AGUA EN %	17,08	16,81	21,53	23,38
CONTENIDO PROMEDIO DE AGUA %	16,94		22,46	
DENSIDAD SECA GR/CM3	1,45		1,46	

3		4	
16	88	CH	166
191,83	168,87	154,12	146,62
164,98	140,08	130,33	121,04
26,85	28,79	23,79	25,58
66,79	43,8	53,04	44,19
98,19	96,28	77,29	76,85
27,34	29,90	30,78	33,29
28,62		32,03	
1,39		1,36	



densidad seca máxima	
kg/m ³ =	1460
Humedad optima %=	20

10.2 ENSAYOS DE CAMPO

SPT

10.2.1 SITIO 1 (Santa Isabel)

PERFIL ESTRATIGRÀFICO Y PARÀMETROS GEOMECÀNICOS SPT 2												
SIMBOLOGÍA GRÀFICA	PROFUNDIDAD DE EXPLORACIÓN Y NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN DE CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA EXTRAIDA	Número de golpes de campo y Número de golpes para cálculo de la resistencia a la penetración estándar (N _{SPT})					PARÀMETROS GEOMECÀNICOS Y ELÀSTICOS CALCULADOS				
			Números de golpes por cada 45 cm			N _{SPT}	N _{SPT} Corregido	Fórmulas varios autores				
			0-15	15-30	30-45	N ₆₀	N'	Φ (°)			Cu (KPa)	
			Osaki	Dunham	Muromachi	Stroud						
	1,00-1,45	Material fino de baja plasticidad	8	9	13	22	18,5	36	40	36	77	
	2,00-2,45	Material granular con presencia de finos, de baja a media plasticidad, compacidad aumenta con profundidad	15	25	25	50	32,5	47	45	44	175	
	3,00-3,45		17	16	25	41	28	44	43	42	143,5	
	4,00-4,45		14	45	R	55	35	48	45	45	192,5	
			RECHAZO A LA PENETRACION									

PERFIL ESTRATIGRÀFICO Y PARÀMETROS GEOMECÀNICOS SPT 3

SIMBOLOGÍA GRÀFICA	PROFUNDIDAD DE EXPLORACIÓN Y NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN DE CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA EXTRAIDA	Número de golpes de campo y Número de golpes para cálculo de la resistencia a la penetración estándar (N _{SPT})					PARÀMETROS GEOMECÀNICOS Y ELÀSTICOS CALCULADOS				
			Números de golpes por cada 45 cm			N _{SPT}	N _{SPT} Corregido	Fórmulas varios autores				
			0-15	15-30	30-45	N ₆₀	N'	Φ (°)			Cu (KPa)	
			Osaki	Dunham	Muromachi	Stroud						
	1,00-1,45	Material granular con presencia de finos, de baja a media plasticidad, compacidad aumenta con profundidad	16	24	45	69	42	52	47	48	241,5	
	2,00-2,45		12	22	35	57	36	49	46	46	199,5	
		RECHAZO A LA PENETRACION										

PERFIL ESTRATIGRÀFICO Y PARÀMETROS GEOMECÀNICOS SPT 4

SIMBOLOGÍA GRÀFICA	PROFUNDIDAD DE EXPLORACIÓN Y NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA EXTRAIDA	Número de golpes de campo y Número de golpes para cálculo de la resistencia a la penetración estándar (N _{SPT})					PARÀMETROS GEOMECÀNICOS Y ELÀSTICOS CALCULADOS				
			Números de golpes por cada 45 cm			N _{SPT}	N _{SPT} Corregido	Fórmulas varios autores				
			0-15	15-30	30-45	N60	N'	Φ (°)			Cu (KPa)	
			Osaki	Dunham	Muromachi	Stroud						
	1,00-1,45	material baja plasticidad, limos con gruesos	10	8	10	18	16,5	34	39	34	63	
	2,00-2,45	Arenas limosas con gravas color gris	25	33	36	69	42	52	47	48	241,5	
	3,00-3,45		45	R	10	55	35	48	45	45	192,5	
		RECHAZO A LA PENETRACION										

PERFIL ESTRATIGRÀFICO Y PARÀMETROS GEOMECÀNICOS SPT 1

SIMBOLOGÍA GRÀFICA	PROFUNDIDAD DE EXPLORACIÓN Y NIVEL FREÀTICO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA EXTRAIDA	Número de golpes de campo y Número de golpes para cálculo de la resistencia a la penetración estándar (N _{SPT})					PARÀMETROS GEOMECÀNICOS Y ELÀSTICOS CALCULADOS				
			Números de golpes por cada 45 cm			N _{SPT}	N _{SPT} Corregido	Fórmulas varios autores				
								Φ (°)			Cu (KPa)	
			0-15	15-30	30-45	N60	N'	Osaki	Dunham	Muromachi	Stroud	
	1,00-1,45	Material granular con presencia de finos, de baja a media plasticidad	18	26	29	55	35	48	45	45	21	
	2,00-2,45		38	R	0	55	35	48	45	45	66,5	
	3,00-3,45	RECHAZO A LA PENETRACION										
	4,00-4,45											
	5,00-5,45											

10.2.2 SITIO 2 (Quingeo)

PERFIL ESTRATIGRÀFICO Y PARÀMETROS GEOMECÀNICOS SPT 1												
SIMBOLOGÍA GRÁFICA	PROFUNDIDAD DE EXPLORACIÓN Y NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA EXTRAIDA	Número de golpes de campo y Número de golpes para cálculo de la resistencia a la penetración estándar (N _{SPT})					PARÀMETROS GEOMECÀNICOS Y ELÀSTICOS CALCULADOS				
			Números de golpes por cada 45 cm			N _{SPT}	N _{SPT} Corregido	Fórmulas varios autores				
			0-15	15-30	30-45	N60	N'	Φ (°)			Cu (KPa)	
			Osaki	Dunham	Muromachi	Stroud						
	1,00-1,45		15	15	17	32	23,5	40	42	39	21	
	2,00-2,45		30	35	R	55	35	48	45	45	66,5	
	3,00-3,45	RECHAZO A LA PENETRACION										
	4,00-4,45											
	5,00-5,45											

PERFIL ESTRATIGRÀFICO Y PARÀMETROS GEOMECÀNICOS SPT 2												
SIMBOLOGÍA GRÁFICA	PROFUNDIDAD DE EXPLORACIÓN Y NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA EXTRAIDA	Número de golpes de campo y Número de golpes para cálculo de la resistencia a la penetración estándar (N _{SPT})					PARÀMETROS GEOMECANICOS Y ELÀSTICOS CALCULADOS				
			Números de golpes por cada 45 cm			N _{SPT}	N _{SPT} Corregido	Fórmulas varios autores				
								Φ (°)			Cu (KPa)	
			0-15	15-30	30-45	N60	N'	Osaki	Dunham	Muromachi	Stroud	
	1,00-1,45		6	10	15	25	20	37	40	37	87,5	
	2,00-2,45		8	9	10	19	17	34	39	35	66,5	
	3,00-3,45		4	6	8	14	14,5	32	38	33	49	
	4,00-4,45		6	10	18	28	21,5	39	41	38	98	
	5,00-5,45		17	22	39	61	38	50	46	47	213,5	

PERFIL ESTRATIGRÀFICO Y PARÀMETROS GEOMECÀNICOS SPT 3												
SIMBOLOGÍA GRÁFICA	PROFUNDIDAD DE EXPLORACIÓN Y NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA EXTRAIDA	Número de golpes de campo y Número de golpes para cálculo de la resistencia a la penetración estándar (N _{SPT})					PARÀMETROS GEOMECANICOS Y ELÀSTICOS CALCULADOS				
			Números de golpes por cada 45 cm			N _{SPT}	N _{SPT} Corregido	Fórmulas varios autores				
								Φ (°)			Cu (KPa)	
			0-15	15-30	30-45	N60	N'	Osaki	Dunham	Muromachi	Stroud	
	1,00-1,45		40	R	R	55	35	48	45	45	192,5	

PERFIL ESTRATIGRÀFICO Y PARÀMETROS GEOMECÀNICOS SPT 4												
SIMBOLOGÍA GRÁFICA	PROFUNDIDAD DE EXPLORACIÓN Y NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA EXTRAIDA	Número de golpes de campo y Número de golpes para cálculo de la resistencia a la penetración estándar (N _{SPT})					PARÀMETROS GEOMECANICOS Y ELÀSTICOS CALCULADOS				
			Números de golpes por cada 45 cm			N _{SPT}	N _{SPT} Corregido	Fórmulas varios autores				
								Φ (°)			Cu (KPa)	
			0-15	15-30	30-45	N60	N'	Osaki	Dunham	Muromachi	Stroud	
	1,00-1,45		9	4	5	9	12	28	37	30	31,5	
	2,00-2,45		3	1	4	5	10	25	36	28	17,5	
	3,00-3,45		4	5	8	13	14	31	38	32	45,5	
	4,00-4,45		13	16	18	34	24,5	41	42	40	119	
	5,00-5,45		8	9	13	22	18,5	36	40	36	77	

10.2.2 SITIO 3 (Paute)

PERFIL ESTRATIGRÀFICO Y PARÀMETROS GEOMECÀNICOS SPT 1												
SIMBOLOGÍA GRÀFICA	PROFUNDIDAD DE EXPLORACIÓN Y NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA EXTRAIDA	Número de golpes de campo y Número de golpes para cálculo de la resistencia a la penetración estándar (N _{SPT})					PARÀMETROS GEOMECÀNICOS Y ELÀSTICOS CALCULADOS				
			Números de golpes por cada 45 cm			N _{SPT}	N _{SPT} Corregido	Fórmulas varios autores				
			0-15	15-30	30-45	N ₆₀	N'	Φ (°)			Cu (KPa)	
			Osaki	Dunham	Muromachi	Stroud						
	1,00-1,45	Material granular con presencia de finos de baja a media plasticidad	9	12	25	37	26	42	43	41	21	
	2,00-2,45		12	15	26	41	28	44	43	42	66,5	
	3,00-3,45		18	23	33	56	35,5	48	46	45	45,5	
	4,00-4,45	RECHAZO A LA PENETRACION										
	5,00-5,45											

PERFIL ESTRATIGRÀFICO Y PARÀMETROS GEOMECÀNICOS SPT 2												
SIMBOLOGÍA GRÁFICA	PROFUNDIDAD DE EXPLORACIÓN Y NIVEL FREÁTICO	DESCRIPCIÓN DE CLASIFICACIÓN DE LA MUESTRA EXTRAIDA	Número de golpes de campo y Número de golpes para cálculo de la resistencia a la penetración estándar (N _{SPT})					PARÀMETROS GEOMECÀNICOS Y ELÀSTICOS CALCULADOS				
			Números de golpes por cada 45 cm			N _{SPT}	N _{SPT} Corregido	Fòrmulas varios autores				
			0-15	15-30	30-45	N60	N'	Φ (°)			Cu (KPa)	
			Osaki	Dunham	Muromachi	Stroud						
	1,00-1,45	Material granular con presencia de finos, de baja a media plasticidad, compacidad aumenta con profundidad	6	9	24	33	24	41	42	40	115,5	
	2,00-2,45		16	25	31	56	35,5	48	46	45	196	
	3,00-3,45	RECHAZO A LA PENETRACION										
	4,00-4,45											
	5,00-5,45											

10.3 ANEXOS FOTOGRAFICOS



Línea sísmica ejecutada en Santa Isabel



SPT ejecutado en Quingeo



SPT ejecutado en Quingeo



Materia presente en SPT Quingeo



Zona de Calicata 1 Quingeo



Material presente en calicata 3 Quingeo



Material Presente en calicata 4 Quingeo



Ensayo SPT Paute



Material presente en calicata 1 Paute



Material presente en calicata 2 Paute



Material presente en calicata 3 Paute



Material presente en calicata 4 Paute



Ensayo de corte directo



Ensayo Límites de Atterberg



Ensayo de permeabilidad



Ensayo de permeabilidad



Ensayo Limites de Atterberg



Ensayo de Compactación



Fundas de 2500 gramos de material para realizar ensayo de compactación estándar



Tendido del material



Límites de Atterberg



Límites de Atterberg



Ensayo de corte directo

PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Miguel Ángel Román Orellana** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0106636590. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Determinación de parámetros geotécnicos y factibilidad de uso de los posibles sitios para disposición final de residuos sólidos en la provincia del Azuay”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 15 de enero del 2020



F:
Miguel Ángel Román Orellana
C.I. 0106636590