



Portada
UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento

Territorial

Estudio geológico- geotécnico para la construcción del relleno sanitario del GAD Municipal del cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe

Trabajo de Titulación Previo, a la Obtención del Título de Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial.

AUTOR:

George Alexander Aguilar Zaruma

DIRECTOR:

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo Mg. Sc.

Loja – Ecuador

Año 2024

Certificación

Loja, 20 de junio de 2024

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Estudio geológico- geotécnico para la construcción del relleno sanitario del GAD Municipal del cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe**; previo a la obtención del título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, de la autoría del estudiante **George Alexander Aguilar Zaruma** con cédula de identidad Nro. **1105907313**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



STALIN IVAN PUGLLA
AREVALO

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **George Alexander Aguilar Zaruma**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo a la Universidad Nacional de Loja y sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



Firma:

Cédula de identidad: 1105907313

Fecha: 20/06/2024

Correo electrónico: gaaguilarz@unl.edu.ec

Teléfono: 0986312215

Carta de autorización por parte del autor, para la consulta, reproducción parcial o total, y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **George Alexander Aguilar Zaruma**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Estudio geológico- geotécnico para la construcción del relleno sanitario del GAD Municipal del cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe**, como requisito para optar al título de: **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los veinte días del mes de junio de dos mil veinticuatro.



Firma:

Autor: George Alexander Aguilar Zaruma,

Cédula de Identidad: 1105907313

Dirección: Loja, ciudadela Prados del Bosque

Correo electrónico: gaaguilarz@unl.edu.ec

Teléfono: 0986312215

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc.

Dedicatoria

Primeramente, a Dios por ser mi guía a lo largo de este camino llamado vida y brindarme la tenacidad y capacidad de nunca rendirme a pesar de las adversidades que se dieron a lo largo de mi carrera universitaria.

A mi madre Mónica y mi abuela Luz, que me han brindado su apoyo incondicional y a mis hermanos que han estado conmigo en los momentos más difíciles.

George Alexander Aguilar Zaruma

Agradecimiento

Primeramente, a Dios por haberme dado las oportunidades y fortalezas que han hecho que me forme como la persona que soy. A mi madre por brindarme la oportunidad de avanzar en mis estudios y apoyarme a lo largo de mi carrera universitaria, a mi abuela Luz que siempre me ha dado su apoyo moral e incondicional. A mis hermanos por haberme acompañado y ayudado en los momentos más duros.

Así mismo agradezco al Ingeniero Stalin Puglla, director de este trabajo de investigación por haberme guiado e impartido sus conocimientos a lo largo de este trabajo. A mis amigos y compañeros que me han apoyado con sus experiencias y compartido.

De igual forma al GAD Municipal El Pangui y al alcalde Carlos Punín Tello por haberme dado la oportunidad de participar en el estudio del relleno sanitario.

George Alexander Aguilar Zaruma

Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos.....	vii
Índice de tablas:	x
Índice de figuras:.....	xii
Índice de anexos:	xiv
1. Título.....	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción.....	4
4. Marco teórico	6
4.1. Topografía.....	6
4.1.1. Topografía con estación total.....	6
4.2. Geología	7
4.2.1. Estudios geológicos.	7
4.2.2. Geología Estructural	7
4.2.3. Levantamiento Geológico.....	8
4.3. Estudio Geotécnico	8
4.4. Métodos de exploración geotécnicos	8
4.5. Ensayos de campo para suelos	9
4.5.1. Ensayo de penetración estándar (SPT)	9
4.6. Ensayos de laboratorio para muestras de suelo.....	11
4.6.1. Contenido de humedad	11
4.6.2. Análisis Granulométrico.....	12
4.6.3. Límites de Atterberg	13
4.6.4. Capacidad portante de los suelos.....	14

4.6.5. Clasificación de los suelos.....	16
4.7. Métodos de construcción de un relleno sanitario.....	16
4.7.1. Método de trinchera o zanja	17
4.7.2. Método de área	18
4.7.3. Combinación de ambos métodos (método mixto).....	19
5. Metodología.....	20
5.1. Área de estudio.....	20
5.1.1. Ubicación.....	20
5.1.2. Acceso	21
5.1.3. Temperatura.....	21
5.1.4. Precipitaciones.....	22
5.1.5. Hidrografía.....	24
5.1.6. Geología Regional	25
5.2. Materiales.....	27
5.3. Procedimiento	28
5.3.1. Metodología del primer objetivo	28
5.3.2. Metodología para el segundo objetivo.....	32
5.3.3. Metodología para el cumplimiento de tercer objetivo.....	37
6. Resultados	42
6.1. Geología local	42
6.1.1. Terrazas aluviales (afloramiento 1)	43
6.1.2. Areniscas de la parte baja de la mesa (Afloramiento 2).....	44
6.1.3. Arcillas rojas (afloramientos 3 y 4).....	45
6.1.4. Roca de arenisca cuarzosa (Afloramiento 5).....	46
6.1.5. Lutitas bituminosas y asfaltos naturales (Afloramiento 6).....	46
6.1.6. Arenas limosas con grava (Afloramiento 7).....	48
6.1.7. Limolitas de la zona de estudio Afloramiento 8.....	49
6.1.8. Arenisca arcillosa (Afloramiento 9)	50
6.1.9. Materiales de tipo aluvial: arcillas, arenas y gravas (Afloramientos 10)	51
6.1.10. Arenas silíceas (afloramientos 11 y 12).....	52
6.1.11. Depósitos aluviales del Rio Zamora (Afloramiento 13 y 14).....	53

6.1.12. Características topográficas y geológicas del predio destinado para la construcción del relleno sanitario	54
6.2. Propiedades físico mecánicas del área de estudio	61
6.2.1. Comportamiento físico mecánico a la profundidad de 1 a 2 metros	62
6.2.2. Comportamiento físico mecánico a la profundidad de 2 a 3 metros	63
6.2.3. Comportamiento físico mecánico a la profundidad de 3 a 4 metros	65
6.2.4. Comportamiento físico mecánico a la profundidad de 4 a 5 metros	66
6.2.1. Comportamiento físico mecánico a la profundidad de 5 a 6 metros	67
6.3. Parámetros ingenieriles	68
6.3.1. Zonas de construcción del relleno sanitario.....	68
6.3.2. Análisis de pendientes	70
6.3.1. Elección del método constructivo.....	72
6.3.2. Estabilidad del suelo de fundación y taludes.....	73
6.3.1. Condiciones hidrogeológicas, generación de lixiviados.....	82
6.3.2. Tiempo de vida útil.....	86
7. Discusión.....	88
8. Conclusiones.....	93
9. Recomendaciones.....	94
10. Bibliografía.....	95
11. Anexos.....	98

Índice de tablas:

Tabla 1. Clasificación general de los métodos de exploración más usuales.....	9
Tabla 2. Resistencia del suelo ante la adición de carga	11
Tabla 3. Requerimientos para la solicitud de pruebas	12
Tabla 4. Serie de tamices, empleados	13
Tabla 5. Coordenada UTM de la zona de estudio.....	20
Tabla 6. Registros de la estación M502 promediados desde el año 2013 a 1984.....	22
Tabla 7. Materiales y equipos	27
Tabla 8. Coordenadas UTM punto de control Mojón 1	28
Tabla 9. Clasificación de las unidades de construcción por categorías	32
Tabla 10. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción	32
Tabla 11. Ensayos que se realizaron en el estudio geotécnico.....	33
Tabla 12. Preparación de muestras para ensayo de límites.....	34
Tabla 13. Presiones admisibles de los suelos.....	35
Tabla 14. Designación suelos granulares en función al SPT	35
Tabla 15. Valores de K en cm/seg	37
Tabla 16. Unidades de relieve:.....	38
Tabla 17. Categorización de pendientes	38
Tabla 18. Densidades de la cobertura vegetal y basura	39
Tabla 19. Tabla para proyectar los volúmenes de basura	41
Tabla 20. Coordenadas UTM WGS84de los afloramientos levantados	43
Tabla 21. Coordenadas de los SPT	57
Tabla 22. Resultados de los 8 ensayos SPT realizados a la profundidad de 1 a 2 metros	63
Tabla 23. Resultados de los 8 ensayos SPT realizados a la profundidad de 2 a 3 metros	65
Tabla 24. Resultados de los ensayos SPT 1,2 y 4 realizados a la profundidad de 3 a 4 metros	66
Tabla 25. Resultados de los ensayos SPT 1,2 y 4 realizados a la profundidad de 4 a 5 metros	67
Tabla 26. Resultados del ensayo SPT 4 realizado a la profundidad de 5 a 6 metros.....	67
Tabla 27. Clases de pendientes que existe en la zona.....	71
Tabla 28. Unidades de relieve.....	71
Tabla 29. Densidades del estudio de factibilidad y diseño del relleno sanitario del GAD municipal.....	74

Tabla 30. Tabla de cargas del diseño	74
Tabla 31. Cargas en kg para la primera zona.....	76
Tabla 32. Cargas del prisma rectangular.....	76
Tabla 33. Cargas aplicadas para la segunda zona	78
Tabla 34. Cargas para la tercera zona	79
Tabla 35. Capacidades admisibles del ensayo SPT 4	80
Tabla 36. Capacidad admisible del ensayo SPT1	81
Tabla 37. Capacidades admisibles del ensayo SPT2	81
Tabla 38. Resultados de los datos del INAMHI desde el 2013-1984 en mm.....	82
Tabla 39. Datos del SPT4	83
Tabla 40. Datos del SPT 1	83
Tabla 41. Datos del SPT 2	84
Tabla 42. Valores de evapotranspiración en cada mes en mm	84
Tabla 43. Cantidad de agua para generar lixiviados en el relleno sanitario en mm.....	85
Tabla 44. Proyección de volúmenes de basura desde el 2025-2040.....	86
Tabla 45. Volúmenes de basura que ocupara, según el diseño	87

Índice de figuras:

Figura 1. Esquema de realización del Ensayo de Penetración Estándar (SPT)	10
Figura 2. Juego de tamices.....	12
Figura 3. Límites de Atterberg.....	14
Figura 4. Método de trinchera para construir un relleno sanitario.....	17
Figura 5. Método de área para construir un relleno sanitario	18
Figura 6. Método de área para rellenar depresiones	19
Figura 7. Combinación de ambos métodos para construir un relleno sanitario.....	19
Figura 8. Área donde se proyecta construir el relleno sanitario	20
Figura 9: Acceso a la zona de estudio, a) desde Quito al Pangui, b) Desde El Pangui hasta la zona de estudio.....	21
Figura 10. Isotermas del cantón El Pangui	22
Figura 11. Isoyetas del cantón el Pangui	23
Figura 12. Mapa hidrográfico de la zona de estudio.....	24
Figura 13. Mapa geológico Regional.....	27
Figura 14. Metodología General.....	28
Figura 15. Mojón de concreto cilíndrico	29
Figura 16. Planificación de trochas de acceso.	30
Figura 17. Toma de datos al interior de la propiedad	30
Figura 18. Panorámica de la ubicación del predio.....	31
Figura 19. Preparación de muestra para ensayos.	34
Figura 20. Medición de la permeabilidad In Situ	36
Figura 21. Permeabilidad de carga constante	37
Figura 22. Distribución de los afloramientos de la zona de estudio.	42
Figura 23. Terrazas aluviales de la quebrada Pachicutza	43
Figura 24. Areniscas cuarzosas de la Formación Hollín presentes en las terrazas aluviales..	44
Figura 25. Areniscas cuarzosas.....	44
Figura 26. Arcillas rojizas con clastos de cuarzo y arenisca	45
Figura 27. Arcillas rojizas con una pureza menor	45
Figura 28. Rocas de arenisca cuarzosa	46
Figura 29. Lutitas bituminosas expuestas en el camino.....	47
Figura 30. Lutitas bituminosas en afloramiento	47
Figura 31. Asfaltos naturales de la formación Hollín.....	48

Figura 32. Arenas limosas con clastos de grava	49
Figura 33. Limolitas de la zona de estudio	50
Figura 34. Arenisca arcillosa	50
Figura 35. Materiales aluviales en la parte alta de la mesa de Pachicutza	51
Figura 36. Presencia de depresiones realizadas por actividades mineras	51
Figura 37. Arenas de síliceas de la parte alta de la mesa de Pachicutza.....	52
Figura 38. Arenas síliceas y arenas.....	52
Figura 39. Planicies aterrazadas del río Zamora.....	53
Figura 40. Materiales de arrastre en los márgenes del río Zamora.....	53
Figura 41. Topografía del área de estudio (Ver anexo 5)	54
Figura 42. Perfil Topográfico A-B	55
Figura 43. Características geológicas superficiales del predio destinado para la construcción del relleno.....	56
Figura 44. Puntos donde están ubicados los SPT dentro del predio.....	56
Figura 45. Perfiles estratigráficos de los sondeos 1 y 2.....	57
Figura 46. Perfiles estratigráficos de los sondeos 3 y 4.....	58
Figura 47. Columnas estratigráficas de los sondeos 5 y 6	58
Figura 48. Columnas estratigráficas de los sondeos 7 y 8	59
Figura 49. Litología de la zona de estudio.....	60
Figura 50. Geología del predio destinado para la construcción del relleno.....	60
Figura 51. Corte geológico en dirección NW-SE	61
Figura 52. Arcillas presentes en la zona al excavar a una profundidad de 5 metros	64
Figura 53. Lugares donde se va a construir el relleno sanitario,	69
Figura 54. Pendientes del área de estudio.....	70
Figura 55. Zonas de mayor escorrentía.....	72
Figura 56. Método de trincheras	73
Figura 57. Aplicación del método del área sobre el método de trinchera	73
Figura 58. Forma del talud del relleno.....	74
Figura 59. Cargas transmitidas	75
Figura 60. Cargas para la primera zona	77
Figura 61. Distribución de cargas para la segunda zona.....	79
Figura 62. Cargas para la tercera zona.....	80
Figura 63. Revestimiento de geomembrana, depositado sobre las arcillas y colocación de tubería de captura de lixiviados	89

Índice de anexos:

Anexo 1. Fichas de campo.....	98
Anexo 2. Tabla para valores de evapotranspiración en la latitud 17 Sur	113
Anexo 3. Ensayos de permeabilidad y clasificación	114
Anexo 4. Autorización Para Uso De La Información por parte del GAD municipal.....	129
Anexo 5. Mapas.....	132
Anexo 6. Certificación de traducción del resumen.....	139

1. Título

**Estudio geológico- geotécnico para la construcción del relleno sanitario del GAD
Municipal del cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe|**

2. Resumen

En el presente trabajo denominado “Estudio geológico- geotécnico para la construcción del relleno sanitario del GAD Municipal del cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe”; se da a conocer la geología, las propiedades físico mecánicas y los parámetros ingenieriles de 17 hectáreas que fueron destinadas para dicho proyecto.

En esta investigación se realizó la topografía a escala 1:1000 con el uso de la estación total y mediante fichas de campo se procedió a levantar detalladamente la información geológica de la zona, obteniendo como resultado material arcilloso-arenoso, que se encuentra sobre las areniscas cuarzosas de la formación Hollín y un relieve medianamente ondulado a moderadamente disectado. Este levantamiento geológico y topográfico sirvió para determinar las zonas más impermeables y que cumplen con los requerimientos para la construcción de un relleno.

Con la intención de determinar las propiedades físico mecánicas, el GAD municipal contrato un equipo técnico, el cual efectuó un total de 8 ensayos de SPT, a una profundidad máxima de 3 a 6 metros; obteniendo así la capacidad portante y muestras de suelo a cada metro de profundidad. En laboratorio con los datos y muestras obtenidos en campo se obtuvo: el contenido de humedad, clasificación ASTON Y SUCS, permeabilidad y la capacidad admisible del suelo.

Los resultados presentados en este trabajo de titulación serán un insumo en la planificación de la construcción de esta obra. De esta manera al combinar la información geológica-geotécnica se obtuvieron los parámetros ingenieriles que respaldaran la edificación adecuada del relleno sanitario. Ya que estos determinaron la estabilidad de sus taludes, la producción de lixiviados, tiempo de vida útil y sobre todo la viabilidad del proyecto.

Palabras clave: *topografía, geológico, geotécnico, parámetros ingenieriles, capacidad portante.*

Abstract

In the current work called "Geological-geotechnical study for the construction of the sanitary landfill of the Municipal GAD of the El Pangui canton, province of Zamora Chinchipe." The geology, physical-mechanical properties and engineering parameters of 17 hectares that were destined for said project are disclosed.

In this research, the topography was carried out at a scale of 1:1000 with the use of the total station and using field cards, the geological information of the area was collected in detail, obtaining as a result clayey-sandy material, which is found on the quartzose sandstones from the Hollín formation and a moderately undulating to moderately dissected relief. This geological and topographic survey served to determine the most impermeable areas that meet the requirements for the construction of a landfill.

With the intention of determining the physical-mechanical properties, the municipal GAD hired a technical team, which carried out a total of 8 SPT tests, at a maximum depth of 3 to 6 meters; thus obtaining the bearing capacity and soil samples at each meter of depth. In the laboratory, with the data and samples obtained in the field, the following were obtained: moisture content, ASTON AND SUCS classification, permeability and the admissible capacity of the soil.

The results presented in this degree work will be an input in the planning of the construction of this work. In this way, by combining the geological-geotechnical information, the engineering parameters that supported the adequate construction of the landfill were obtained. Since these determined the stability of their slopes, the production of leachate, useful life and, above all, the viability of the project.

Keywords: *topography, geological, geotechnical, engineering parameters, bearing capacity.*

3. Introducción

La construcción de un relleno sanitario hace que los municipios gestionen proyectos encaminados mucho más allá de solo buscar espacios donde seguir colocando la basura, sino que también se apliquen estudios geológicos-geotécnicos que cumplan con todas las normas técnicas y ambientales para conocer si el área propuesta es apta para implementar dicha infraestructura.

Los términos de referencia exigen que se realicen análisis geológicos - geotécnicos en las áreas destinadas al relleno sanitario, a la planta de tratamiento, botaderos existentes, a las estaciones de transferencia, a los talleres y bodegas para las diversas alternativas, el cual debe establecer la localización más segura de las obras a diseñarse frente a posibles riesgos naturales y el suministro de las propiedades físico mecánicas que sirven para el diseño definitivo de los elementos antes indicados.

Por esta razón se ha planteado el presente trabajo de titulación el cual comprende el estudio geológico-geotécnico del predio destinado para la construcción del relleno sanitario del GAD Municipal del cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe. Con el propósito de aportar el conocimiento de la zona de estudio, la investigación del suelo y subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería necesarios para el diseño y construcción de las obras en contacto con la superficie.

Objetivos:

- **Objetivo general:**

- ✓ Desarrollar el estudio geológico-geotécnico para la construcción del relleno sanitario del GAD Municipal del cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe.

- **Objetivos específicos:**

- ✓ Determinar las características geológicas del área de estudio.
- ✓ Definir las propiedades físico mecánicas de los materiales del área de construcción del relleno sanitario.
- ✓ Analizar los parámetros ingenieriles del estudio geológico-geotécnico necesarios en la construcción del relleno sanitario para el GAD Municipal del cantón El Pangui

4. Marco teórico

4.1. Topografía

Según Food and Agriculture Organization of the United Nations., (s.f.) menciona que la topografía es el conjunto de técnicas que permiten medir la superficie terrestre, obteniendo una variabilidad de datos que son representados en cartas y planos para el entendimiento del relieve. Al tener nuestro planeta una superficie muy irregular se pueden obtener una variedad de elementos naturales como montañas, llanuras, colinas, cursos de agua, bosques o formaciones rocosas; al igual que infraestructuras sobre la superficie; creadas por el ser humano como edificios, ciudades, carreteras, rutas, entre otros. Una carta topográfica permite también medir la pendiente de un terreno, característica muy importante para conocer la variedad de nivel que existe entre los más altos y bajos para obtener datos relevantes en la utilización del suelo.

4.1.1. Topografía con estación total

Según Pachas, (2009) de los quipos más actuales para realizar levantamientos topográficos y que cumple con las mismas funciones que lo hacia su antecesor el teodolito electrónico, pero con una precisión mejor y el arrojamiento de datos exactos en campo; es la estación total. Consta de un medidor electrónico de distancias y un microprocesador para indicar las coordenadas de donde se desea realizar las mediciones.

Así también menciona que las operaciones que se realiza utilizando la estación total, se puede mencionar: la obtención de medias de cálculos múltiples angulares y de distancias, corrección electrónica de distancias por constantes de prisma, presión atmosférica y temperatura, correcciones por curvatura y refracción terrestre, reducción de la distancia inclinada a sus unidades horizontales y verticales, así como el tratamiento de la información de coordenadas de los puntos levantados.

El procedimiento para realizar el levantamiento consiste en obtener un punto de control el cual permita levantar casi toda la zona de estudio, luego se procede a la nivelación de la estación total. Para comenzar las mediciones es necesario orientar el equipo topográfico previamente, para lo cual se necesita hacer estación en un punto de coordenadas conocidas o presumidas y conocer un azimut de referencia, el cual se introduce mediante el teclado. Para la medición de trayectos el distanciómetro electrónico asociado a la Estación Total calcula la distancia de modo indirecto en base al tiempo que demora la onda electromagnética en recorrer de un extremo a otro de una línea y regresar. Pachas, (2009)

4.2. Geología

Edward J. y Frederick K., (2005) señala que la geología es la ciencia que tiene como objetivo el entender el planeta Tierra. A través del estudio de los materiales que componen la tierra, buscando comprender los diferentes procesos que actúan por debajo y encima de la superficie (geología física). Por otra parte, también busca datar todos los procesos de una manera cronológica, desde el origen y evolución a lo largo del tiempo.

Es así que la geología se distingue por ser una ciencia que se realiza en el campo, lo cual es correcto. La mayor parte de un estudio geológico se realiza por observaciones y experimentos realizados en campo. Pero existe también una parte que se realiza en el laboratorio, donde se realizan un análisis más minucioso de sus componentes internos, propiedades físicas y químicas de los materiales investigados.

4.2.1. Estudios geológicos.

Paladines y Soto, (2010) indican que la comprensión de la tierra es fundamental para el desarrollo sostenible y riqueza de las poblaciones. El estudio geológico en la naturaleza tiene por objetivo establecer el procedimiento del terreno como material de construcción para obras ingenieriles, debido a que el terreno es un factor esencial a tomar en cuenta en la realización de proyectos ya que los condiciona de forma significativa por formar el medio en el que se sustentarán las obras que en ellos se planeen. Para el cual debe reunir una serie de particularidades que lo hagan válido como cimiento de la futura obra. Debido a esto la construcción de una determinada obra depende de las características del suelo siendo siempre preferible su ubicación en aquellos que presenten un buen comportamiento geotécnico geológico.

4.2.2. Geología Estructural

Padilla y Sánchez, (2021) exterioriza que la geología estructural comprende el estudio del diseño arquitectónico de la Tierra y de su origen. La Geología Estructural está muy relacionada con otras ciencias que están ligadas a la geología como son: petrología, la estratigrafía, la geomorfología, la sedimentología, la paleontología, la geocronología, la fisiografía, la geofísica, la fotogeología y la topografía. En si consiste en detallar y obtener datos estructurales que permiten analizar las diferentes estructuras como: fallas, pliegues, diaclasas etc; propias de las rocas sedimentarias.

La geología estructural, resulta muy difícil analizar cuando se encuentra en terrenos demasiados planos o que estén cubiertos con una amplia cobertura vegetal al igual sino se

conoce las crónicas estratigráficas de las rocas involucradas en la deformación, es prácticamente imposible lograr un análisis estructural apropiado sino se realizaran estudios geofísicos o se obtiene información preliminar del subsuelo procedente de la perforación. Padilla y Sánchez, (2021)

4.2.3. Levantamiento Geológico

Echeveste, (2018) menciona que el objetivo de un levantamiento geológico es el obtener un mapa que presente los materiales de una zona de estudio, que explique los procesos y las condiciones geológicas que han surgido para formar la geología de esa zona. Constituye una parte fundamental para el desarrollo de estudios geotécnicos a su vez se complementan entre sí.

Para realizar dicho levantamiento existen varias metodologías que facilitan la obtención de dicha información. Por lo general se hace una elección de varios puntos de importancia en donde mediante la observación, y herramientas geológicas se obtiene datos relevantes que sirven para explicar la geología superficial de terreno.

4.2.3.1. Mapeo por afloramientos

Es el método expuesto por Echeveste, (2018) que sirve para exponer cartas geológicas con escalas de 1:10.000 o más grande. Es el método más común y utilizado donde se explica los diferentes afloramientos de roca que están expuestos en la superficie acompañado de herramientas como GPS para más precisión y la utilización de imágenes satelitales.

4.3. Estudio Geotécnico

Un estudio geotécnico consiste en el reconocimiento In situ de un área determinada, la exploración del subsuelo, los estudios y las recomendaciones de ingeniería obligatorios para el diseño y construcción de las edificaciones que van a estar en relación con el suelo, de una forma que se garantice un comportamiento adecuado de las estructuras que se desea construir para garantizar la larga duración de las obras y la preservación de la vida humana minimizando los riesgos por obras mal estructuradas. NEC-SE-GC, (2012)

4.4. Métodos de exploración geotécnicos

Los métodos de exploración geotécnicos de suelos permiten obtener parámetros para saber las características de un suelo ante la construcción de alguna infraestructura. existen dos clases que son: métodos directos y métodos indirectos.

En la Tabla 1 se muestra los métodos de exploración directos más comunes para la obtención de las propiedades físico mecánicas de los materiales. INFOCIVIL, (2013)

Tabla 1. Clasificación general de los métodos de exploración más usuales

Método de exploración	Descripción
Pozos o calicatas	Consiste en el método más común y simple. Se pueden realizar de forma manual o con maquinaria, consiste en excavar en proporciones determinadas para examinar las características de los estratos. Esta limitado por la profundidad a la que se llega. No superan el 1,5 m de profundidad.
Pala posteadora.	También es un método manual que se caracteriza por introducir un barreno especial, el cual permite obtener muestras alteradas de forma significativa. Que sirven para obtener el contenido de agua.
Tubo Shelby.	Es un tubo con una punta afilada de 7 cm a 10cm que permite introducirse y obtener muestras inalteradas de suelos con una calidad media. Propia para suelos finos blandos o semiduros.
Sondeo de penetración estándar.	Ligado a los ensayos de penetración estándar. Permite obtener muestras de suelo alteradas, por lo general a cada metro de profundidad. Puede llegar a grandes profundidades, dependiendo del estudio que se desea realizar.
Muestreador Denison.	Está conformado por dos tubos concéntricos que penetran en el suelo para obtener muestras alteradas o inalteradas con la ayuda de la inyección de fluido de perforación.
Método sísmico.	Este método consiste en realizar una explosión en un punto determinado del área de estudio usando una pequeña carga de explosivo, comúnmente nitro amonio. Este método se basa en analizar la velocidad de onda que un punto determinado a otro.

MÉTODOS DIRECTOS

Nota: Métodos de explotación que se describen en Arciniega, F., (s.f.).

4.5. Ensayos de campo para suelos

4.5.1. Ensayo de penetración estándar (SPT)

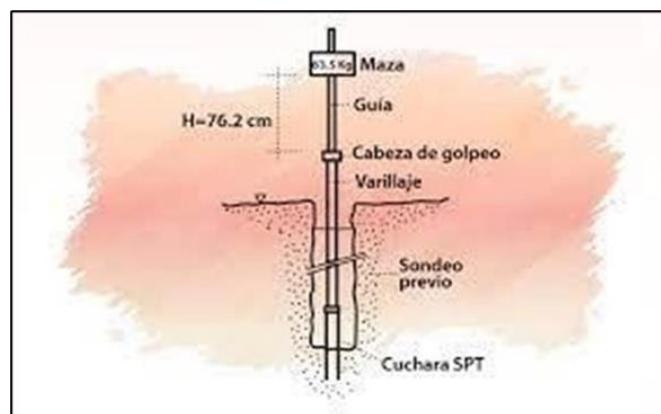
El ensayo de penetración estándar (SPT) es uno de los ensayos más utilizados, por su sencillez y acceso económico. Permite establecer la resistencia al esfuerzo de corte del suelo mediante el número de golpes necesarios para empotrar el penetrómetro estándar y así obtener muestras de suelo alterado que permitirá identificar en laboratorio, las propiedades del suelo en estudio. También permite conocer las características de los estratos que conforman el sitio al determinar los índices y la granulometría. Y como objetivo principal obtener mediante fórmulas empíricas la capacidad portante del terreno. GEOTECNIA fácil, (2019)

La prueba consiste en hincar el penetrómetro 45 centímetros con la masa de 63.5 kg que se deja caer desde una altura controlada de 76 centímetros; durante el hincado se contabiliza el número de golpes que corresponde a cada uno de los tres avances de 15 centímetros. La resistencia a la penetración estándar se define como el número de golpes N para penetrar los últimos 30 centímetros (de 15 a 45 cm). López Menardi, (2003)

Las pruebas de penetración estándar fueron realizadas de acuerdo a los procedimientos establecidos en el ASTM D-1586. En esta se especifican elementos y características necesarios para realizar el ensayo:

- Masa de 63.5 kg
- Altura de caída de 76 cm
- Saca muestras con diámetro externo de 50mm y diámetro interno de 35 mm
- Mecánica de liberación del martinete mediante soga y malacate
- Barras de sondeo y cabeza de golpeo

Figura 1. Esquema de realización del Ensayo de Penetración Estándar (SPT)



Nota: Funcionabilidad del ensayo SPT, descrito en Devicenzi, M., y Frank, N., (1995).

Los resultados del ensayo SPT pueden ser afectados por factores como:

- ✓ Durante la preparación y la perforación, esto debido a la limpieza y estabilidad del suelo durante la perforación.
- ✓ Las dimensiones del sondeo y la capacidad del varillaje: Condicionan el peso de la masa a hincar y el rozamiento con las paredes del sondaje.
- ✓ El dispositivo para golpear el suelo: puede ser manual o automático, los estudios indican una amplia variabilidad significativa de resultados al emplear. Por eso se garantiza en emplear dispositivos automáticos, pues garantizan el mismo comportamiento de impacto durante el ensayo

- **Resistencia de los suelos.**

“El suelo es un agregado natural compuesto de varios minerales de distintos tamaños que presentan propiedades específicas y capacidades de carga diferentes, aspectos que definen la capacidad de carga que tendrán ante una infraestructura. La resistencia del suelo, tiene valores de kilogramos por centímetro cuadrado kg/cm^2 o también de toneladas por metro

cuadrado (Tn/m²), es decir, cuantas toneladas puede aguantar un metro cuadrado de superficie de suelo. Para ello la Comisión Nacional de Viviendas presentan dos tipos de terrenos en cuanto a la resistencia que estos pueden aportar: suaves y rocosos” C.N.V. de México, (2010).

Tabla 2. Resistencia del suelo ante la adición de carga

SUELO	TERRENOS SUAVES	RESISTENCIA ton/m²
	Gravas y arenas mezcladas con arcilla seca.	40 a 60
	Arcilla seca en capas gruesas	Hasta 40
	Arcillas medianamente secas en capas gruesas	Hasta 30
	Arcillas blandas	10 a 15
	Arena compacta, conglutinada, compacta	Hasta 40
	Arena limpia y seca, en sus lechos naturales y compactos	Hasta 20
	Tierra firme seca, en sus lechos naturales	Hasta 4
	Terrenos en aluvión	5 a 15
	Los terrenos del valle de México	2 a 5
SUELO	TERRENOS ROCOSOS	RESISTENCIA ton/m²
	Roca granítica	Hasta 300
	Piedra caliza en lechos compactos	Hasta 250
	Piedra arenisca en lechos compactos	Hasta 200
	Roca blanda o esquistos	80 a 100
	Gravas y arenas compactas	60 a 100
	Gravas secas gruesas compacta	Hasta 60

Nota: Tabla de referencia obtenida de la Comisión Nacional de Vivienda de México, (2010).

4.6. Ensayos de laboratorio para muestras de suelo.

4.6.1. Contenido de humedad

Para obtener el contenido de humedad por suelo, roca o materiales similares se aplica la norma ASTM D-2216. Este método requiere de varias horas para obtener el contenido de humedad de las muestras obtenidas. Generalmente se emplea un tiempo de 24 horas.

En algunos estudios es importante esta propiedad como índice significativo para establecer una relación entre el comportamiento del suelo y las propiedades índice. Expresado como relación entre las fases de agua, aire y sólidos. El contenido de humedad es importante porque junto a límite líquido y plástico permite obtener el índice líquido. (ASTM D-2216)

El procedimiento para realizar dicho ensayo consiste en obtener una muestra significativa de suelo el cual es puesto a secar en el horno a la temperatura de 110°C y 5°C durante varias horas. La pérdida de masa que se hasta una masa debido al secado se considera como masa de agua. Para el cálculo del contenido de humedad, solo se debe hacer la diferencia entre el espécimen antes del horno y después de ello. Para la muestra se debe obtener una cantidad de material que cumpla con las características de la siguiente tabla:

Tabla 3. Requerimientos para la solicitud de pruebas

Tamaño e tamiz		Masa de espécimen	
		Método A	Método B
75.0 mm	3 ⁷³	5 kg	50 kg
37.5 mm	1 1/2 ⁷³	1 kg	10 kg
19.0 mm	3/4 ⁷³	250 g	2,5 g
9.5 mm	3/8 ⁷³	50 g	500 g
4.75 mm	No. 4	20 g	100 g
2 mm	No. 10	20 g	20 g

Nota: Descripción de los requisitos para emplear la normativa ASTM D-2216, (1998)

4.6.2. Análisis Granulométrico.

El ensayo para realizar el análisis granulométrico se describe en la ASTM D-422. Y tiene por objetivo determinar de forma cuantitativa el tamaño de las partículas de una muestra de suelo que pasan por los diferentes tamices de la serie, hasta llegar al tamiz 74 mm (N⁰200).

Figura 2. Juego de tamices



Nota: Diseños definitivos para la gestión integral de residuos sólidos del cantón el Pangui provincia de Zamora Chinchipe DGJ Ingeniería, (2022).”

Los materiales que se emplean para realizar este ensayo es un horno de secado, balanza de 0,1 g, bandejas, cepillo y brocha, la serie de tamices de la tabla 4, pipeta, vasijas y el tamiz N⁰ 200.

Tabla 4. Serie de tamices, empleados

3 in (75.0 mm)	N° 4 (4.75 mm)
2 in (50.0 mm)	N° 10 (2.00 mm)
1 ½ in (37.5 mm)	N° 20 (0.850 mm)
1 in (25.0 mm)	N° 30 (0.600 mm)
¾ in (19.0 mm)	N° 40 (0.425 mm)
½ in (12.5 mm)	N° 60 (0.250 mm)
3/8 in (9.5 mm)	N° 100 (0.150 mm)
¼ in (6.3 mm)	N° 200 (0.075 mm)

Nota: Obtenido de la normativa ASTM D-422

Dependiendo de las características de la muestra obtenida se puede trabajar con todo o una parte de la muestra para realizar el análisis por tamices. Sin realizar un previo lavado del material no se puede determinar visualmente si es apto para el ensayo. Por lo que se seca una porción húmeda en el horno, luego de obtener la muestra en seco se procede a romper con los dedos, si esta se rompe con facilidad y el material fino se pulveriza el material se puede emplear para realizar en análisis por tamices sin necesidad de realizar un lavado previo. ASTM D-422.

Para realizar el análisis por tamizado se suele emplear una tamizadora automática. Una vez preparada la muestra se procede a pesar e ingresar al horno todo aquel material que es retenida en el tamiz N°4. Se coloca sobre los tamices que están indicados en la tabla 5. Bartolomé, J., (s.f.)

La tamizadora produce vibración y se encarga de distribuir los porcentajes de material en los que se va reteniendo en cada uno de los tamices. Se anota el peso de cada una de las fracciones que son retenidas en cada tamiz y se procede a calcular el porcentaje retenido de la siguiente manera:

$$\%Retenido = \frac{W \text{ Tamiz}}{W1} * 100$$

Donde:

W tamiz: Peso retenido en cada tamiz

W1: Peso de la muestra secada al horno

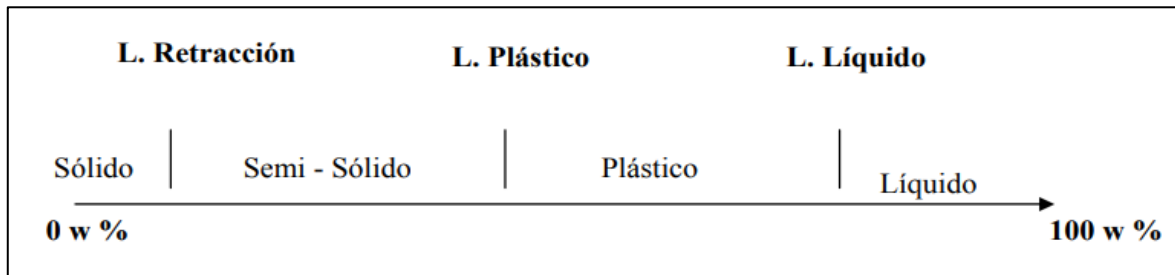
4.6.3. Límites de Atterberg

Braja M., (2001) menciona que el científico sueco Albert Mauritz Atterberg en 1900, desarrollo una forma para describir la consistencia de los suelos de grano fino, que presentan minerales de arcilla. Tomando en cuenta el contenido de humedad se puede clasificar un suelo en base a los cuatro estados básicos como son sólido, semisólido, plástico y líquido.

Los límites de Atterberg se basan en que los suelos finos se pueden clasificar en un estado dependiendo de la cantidad de agua que se encuentre dentro de estos. La arcilla es el

claro ejemplo de que cuando se coloca una determinada cantidad de agua puede mantener una consistencia en forma de pasta, pero si se coloca más agua su estado puede cambiar a una forma muy fluida. Braja M., (2001)

Figura 3. Límites de Atterberg



Nota: Límites de Atterberg según Braja M., (2001)

El intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica es el índice de plasticidad, mientras que el índice de liquidez, que indica el comportamiento natural al acercarse al límite líquido, son propiedades muy útiles del suelo. Rabat Blázquez, (2016)

Índice de plasticidad:

$$IP = wL - wp$$

Índice de liquidez:

$$IL = \frac{wa - wp}{wL - wp}$$

Donde:

wL = límite líquido

wp = límite plástico

wa = humedad natural

4.6.4. Capacidad portante de los suelos.

(Naranjo, H., y Dranichnikov, T., (2012) define a la capacidad portante un suelo, como aquella propiedad de un suelo al soportar cargas aplicadas sobre este sin que se produzca fallamiento alguno. De forma técnica la capacidad portante es la máxima capacidad admisible entre una cimentación y el suelo, tal que no se produzca un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo.

Terzaghi (1973) presenta la siguiente ecuación para calcular la capacidad portante:

$$q = \gamma * Df$$

A partir de esta fórmula otros investigadores han propuesto modificaciones a la fórmula de Terzaghi, pero la fórmula que más se utiliza es la de Meyerhof:

$$q_f = c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + \gamma \cdot B \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q$$

Donde:

C = cohesión

γ = Peso específico

B = ancho de cimentación t

N, s, d = coeficientes que dependen de la cohesión, fricción y peso específico.

Nij Patzán, (2009) expone las variables para calcular la capacidad de carga en base a los ensayos de SPT utilizando la ecuación de Terzaghi en cimentaciones superficiales planteándose la siguiente formula:

$$0.8 N_q \cong 0.8 N_y \cong q_c$$

Donde:

q_c = valor promedio, en un intervalo de profundidad de B/2 sobre la base a 1.1B debajo de la base de la cimentación. Esta aproximación puede ser utilizada para $D_f/B \leq 1.5$. Para suelos no demasiado cohesivos puede utilizarse:

Para cimentaciones continuas o corridas:

$$q_u = 28 - 0.0052 \cdot (300 - q_c)^{1.5}$$

Para cimentaciones cuadradas:

$$q_u = 48 - 0.009 \cdot (300 - q_c)^{1.5}$$

En el caso de cimentaciones sobre arcilla (condición $\phi = 0$):

Para cimentaciones corridas o continuas:

$$q_u = 2 + 0.28 \cdot q_c$$

Para cimentaciones cuadradas:

$$q_u = 5 + 0.34 \cdot q_c$$

Donde:

q_u = capacidad de carga última (en kg/cm² o ton/pie²)

De acuerdo a Meyerhof (1956) se puede estimar la capacidad de carga admisible en arenas utilizando las ecuaciones para SPT haciendo la sustitución de q_c como:

$$N_{55} = \frac{q_c}{4}$$

Donde: q_c debe estar dado en unidades de kg/cm^2 . Si las unidades de q_c son se debe realizar la respectiva conversión de unidades antes de utilizar la ecuación. Al igual que también se debe hacer la transformación de q_c a N_{55} al momento de utilizar las fórmulas de capacidad de carga para SPT y concordar a las recomendaciones originales de Meyerhof para un 50% de incremento de la capacidad de carga admisible de forma similar como se hace para los valores N obtenidos directamente del SPT. Nij Patzán, (2009)

4.6.5. Clasificación de los suelos

Borselli, (2022) menciona que el sistema para la clasificación fue planteado por Athur Casagrande en el año 1942. Años después fue modificado por el ASTM (American Society For Testing and Materials) como método de clasificación estándar. En si consiste en ser un sistema muy usado en geología e ingeniería con el propósito de exponer la textura y el tamaño de las partículas de una muestra de un suelo. Se representa mediante un símbolo con dos letras. Cada letra es descrita. Para implementar dicha clasificación es necesario obtener la granulometría previa de la muestra. El método S.U.C.S tiene su propia simbología, y para suelos granulares tiene las abreviaturas G, S, W, P.

De forma breve se podría decir que existen dos sistemas de clasificación de suelos que son las más usadas para intenciones de implementar obras de ingeniería. 1) el Sistema Unificado de Clasificación del suelo (SUCS o USCS) que es el más empleado para estudios geotécnicos; y el sistema de clasificación AASHTO que se usa habitualmente para la edificación de carreteras y terraplenes. Borselli, (2022)

Para hacer uso de la clasificación de cualquiera de estos sistemas se debe obtener con antelación los resultados granulométricos y límites de Atterberg de las muestras de suelo obtenidas. Presentado las siguientes texturas de suelo: grava, arena, limo y arcilla. Bartolomé., J., (s.f.)

4.7. Métodos de construcción de un relleno sanitario

La elección del método constructivo y la aplicación de obras de infraestructura de un relleno sanitario, depende de las características topográficas del terreno, el tipo de suelo y la profundidad del nivel freático.

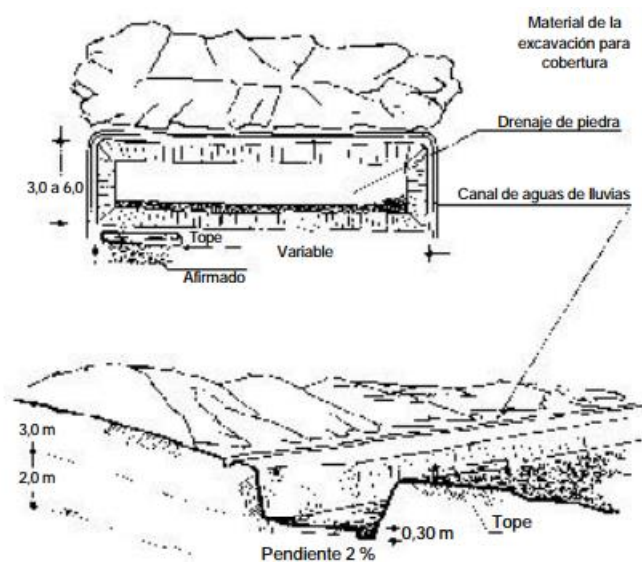
Según Jaramillo, (2002) menciona que existen dos maneras de construir un relleno sanitario y para mayor aprovechamiento del terreno se puede emplear la combinación de ambas si el terreno presenta las capacidades de carga competente.

4.7.1. Método de trinchera o zanja

Se construye en regiones planas o con una pendiente moderada y consiste en realizar zanjas de hasta dos o siete metros de profundidad esto dependiendo de las características del suelo y la geomecánica de este. Los desechos sólidos municipales se colocan dentro de estas, esto siendo previamente compactados y estabilizados y se cubren con el material excavado. La dificultad de este método carece al tener zonas con altos niveles pluviales, ya que es muy propensa a sufrir inundaciones dentro de las zanjas. Por lo que quiere obras que permitan menorar estas dificultades como canales perimétricos para conducir las aguas lluvias lejos de las zanjas, también la implementación de drenajes internos. “En casos extremos, se puede optar por construir un techo o mediante una bomba extraer el agua acumulada. Los taludes deben estar realizados de acuerdo al ángulo de reposo del suelo excavado”. Jaramillo, (2002)

Implementar este método requiere de ciertos criterios técnicos y algunas condicionantes como el nivel freático, tipo de suelo. Los suelos con un nivel freático alto o que se encuentra muy cercano a la superficie no se considera apropiados por el riesgo de contaminar el acuífero. Los terrenos rocosos también son descartables debido a las dificultades de operación al realizar la excavación Jaramillo, (2002)

Figura 4. Método de trinchera para construir un relleno sanitario

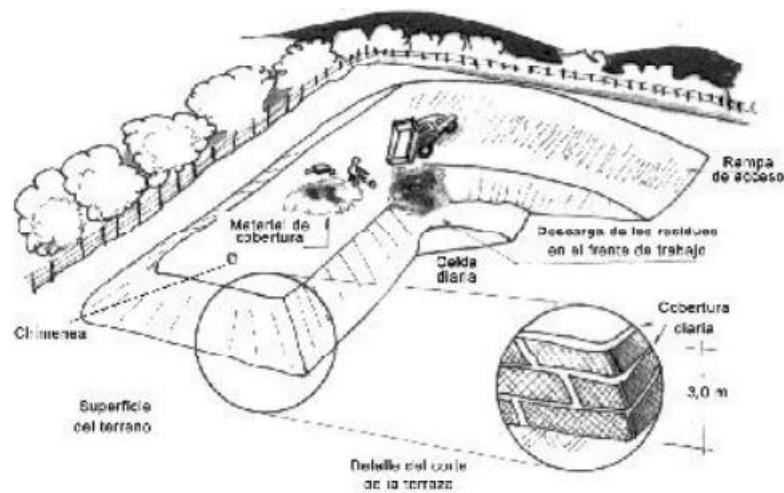


Nota: Obtenido de Jaramillo, (2002)

4.7.2. Método de área

Se aplica en áreas que sean relativamente planas, donde no existe la factibilidad de excavar trincheras o fosas para disponer la basura, esta se puede depositar directamente sobre el suelo superficial, donde se eleva unos metros y se debe impermeabilizar previamente. El material de cobertura depende mucho del material que existe en el área, si es arcilloso se puede utilizar el material superficial del área de no existir se debe transportar desde otros sitios, generándose un costo extra. Los taludes se construyen con una pendiente ligeramente suave para evitar posibles deslizamientos y alcanzar mayor elevación a medida que se vaya avanzando en las etapas del relleno. Jaramillo, (2002)

Figura 5. Método de área para construir un relleno sanitario

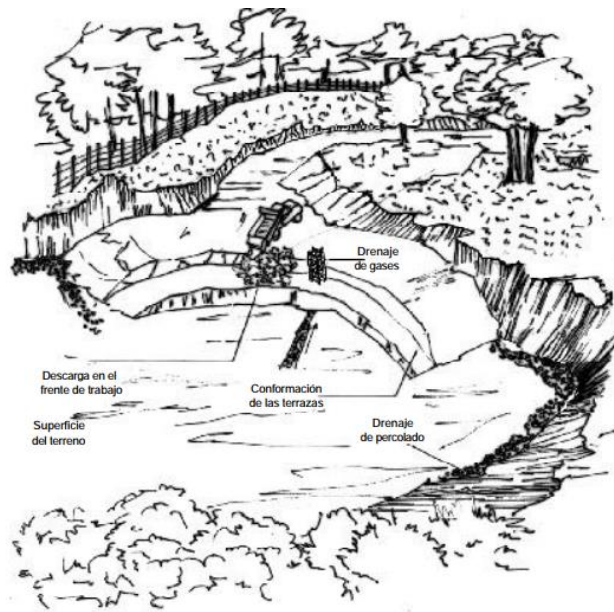


Nota: Obtenido de Jaramillo, (2002)

Se puede aprovechar de mejor manera para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas con una profundidad de algunos metros. El material de cobertura se extrae de las partes altas o de algún lugar cercano para evitar ciertos gastos. La operación de construcción de las celdas se realiza desde el fondo avanzando hasta la parte arriba. Jaramillo, (2002)

Las celdas que conforman el relleno se construyen siendo apoyadas en la pendiente natural de este. El método constructivo del relleno se construye colocando la basura en la base del talud, se apisona y se coloca una capa de tierra. Se continua la operación apoyándose en el resto de taludes, que deben conservar pendientes suaves de unos 18,4 a 26,5 grados en el talud; en otras palabras, la relación vertical/horizontal es de 1:3 a 1:2, respectivamente. Jaramillo, (2002)

Figura 6. Método de área para rellenar depresiones

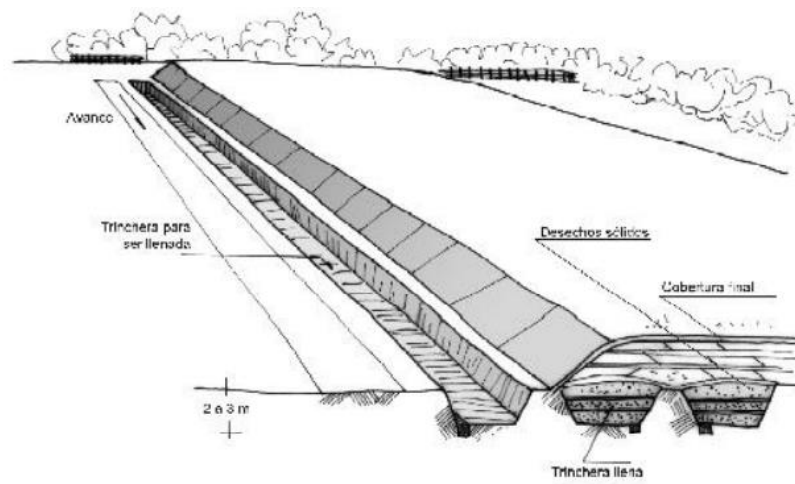


Nota: Obtenido de Jaramillo, (2002)

4.7.3. Combinación de ambos métodos (método mixto)

Debido a que los dos métodos para construir un relleno sanitario utilizan mecanismos de construcción similares, es posible unir ambos métodos para aprovechar de una mejor forma el terreno y material de cobertura, obteniéndose así mejores resultados, aunque requieren de varios estudios y un seguimiento técnico adecuado para tener un mayor aprovechamiento. Jaramillo, (2002)

Figura 7. Combinación de ambos métodos para construir un relleno sanitario



Nota: Obtenido de Jaramillo, (2002)

5. Metodología

5.1. Área de estudio

5.1.1. Ubicación

El área de estudio destinada para la construcción del relleno sanitario se encuentra ubicada dentro del sector Wachapa perteneciente a la parroquia de Pachicutza, cantón El Pangui de la provincia de Zamora Chinchipe. Tiene un área aproximada de 17 hectáreas que se encuentran lejanas a las zonas de población.

Figura 8. Área donde se proyecta construir el relleno sanitario



En la tabla 5 se muestra los vértices del polígono que conforma el área donde se pretende construir el relleno sanitario, en proyección UTM DATUM WGS84 zona 17 Sur.

Tabla 5. Coordenada UTM de la zona de estudio

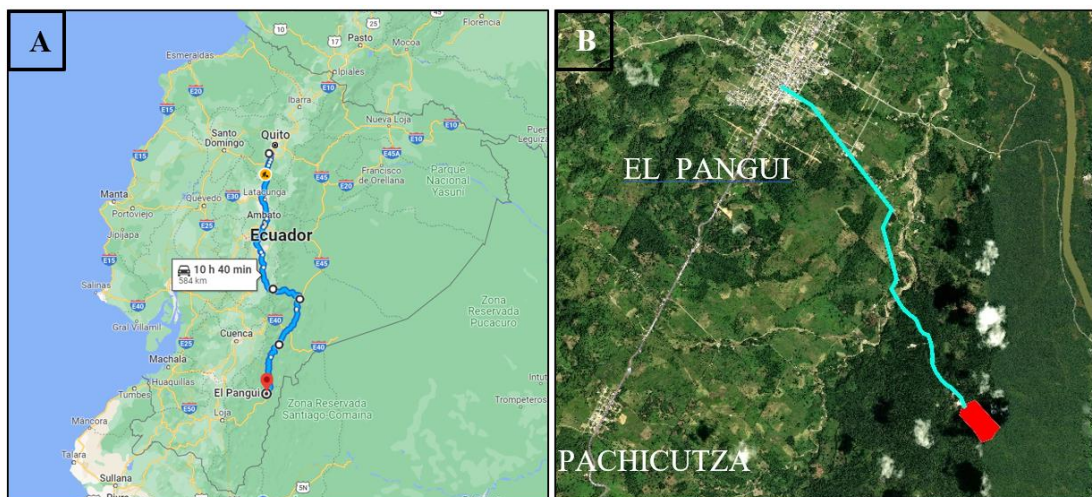
Numero	Este	Norte	Elevación
1	770244	9594158	2676
2	770463	9594363	2667
3	770804	9593997	2673
4	770585	9593793	2670
Coordenada UTM DATUM WGS84 zona 17 Sur.			

5.1.2. Acceso

El acceso al área de estudio se lo realiza por vía terrestre. Inicia desde el Terminal Quitumbe de la ciudad de Quito por la vía de primer orden E35 “Troncal de la Sierra”, atraviesa ciudades como: Latacunga, Riobamba y Macas. En la ciudad de Macas se toma la vía E45 “Troncal Amazónica” atravesando ciudades como Sucúa y Gualaquiza hasta llegar a la ciudad del Pangui. Todo el recorrido se lo hace en un tiempo de 10 horas con 40 minutos a próximamente.

Desde el municipio del GAD municipal El Pangui se puede acceder al área a través de camionetas en dirección al barrio el Oasis y cruzando la quebrada Pachicutza, se dirige por una carretera de segundo orden y a 2 kilómetros de esta se encuentra ubicada el sitio donde se pretende construir el relleno sanitario.

Figura 9: Acceso a la zona de estudio, a) desde Quito al Pangui, b) Desde El Pangui hasta la zona de estudio

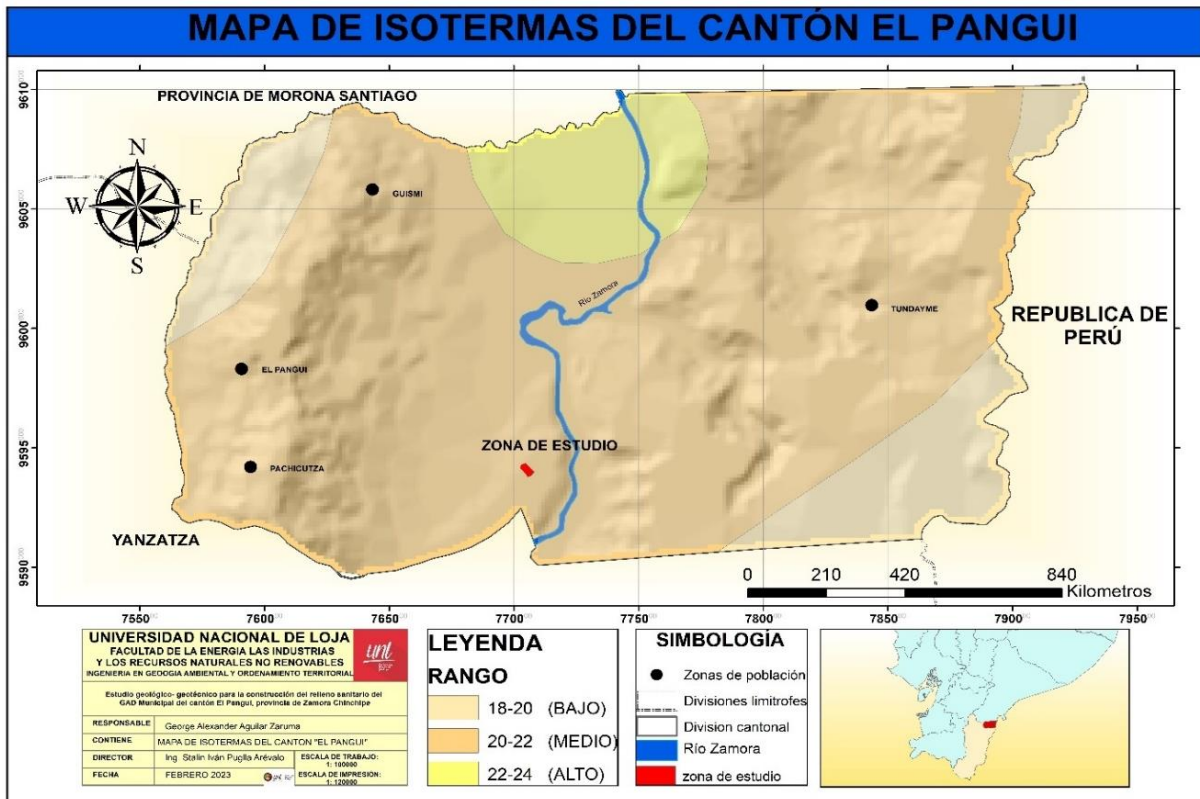


5.1.3. Temperatura

El cantón el Pangui presenta temperaturas propias de la región amazónica, variando desde los 18°C hasta los 24°C, debido a varias condiciones del relieve del cantón, la distribución geográfica de la temperatura cumple con los mismos criterios que la precipitación y está muy relacionada con la altitud. En las zonas montañosas, se registran temperaturas mínimas entre 18°C y 20°C siendo estas las temperaturas más bajas que se registran.

A medida que desciende la altitud, se registran temperaturas máximas que se muestran en la figura 10. Prácticamente gran parte del cantón tiene una temperatura que va entre los 20 a los 22 grados centígrados. Y en la parte norte del cantón se registran las temperaturas más altas, con un rango de temperatura de 22 a 24 °C

Figura 10. Isotermas del cantón El Pangui



Nota: obtenidos de PDOT, (2019-2023)

5.1.4. Precipitaciones

El cantón el Pangui se caracteriza por ser altamente lluvioso, presentando un clima cálido húmedo. Según los datos del INAMHI, de la estación M502 "EL PANGUI" presenta los siguientes registros.

Tabla 6. Registros de la estación M502 promediados desde el año 2013 a 1984

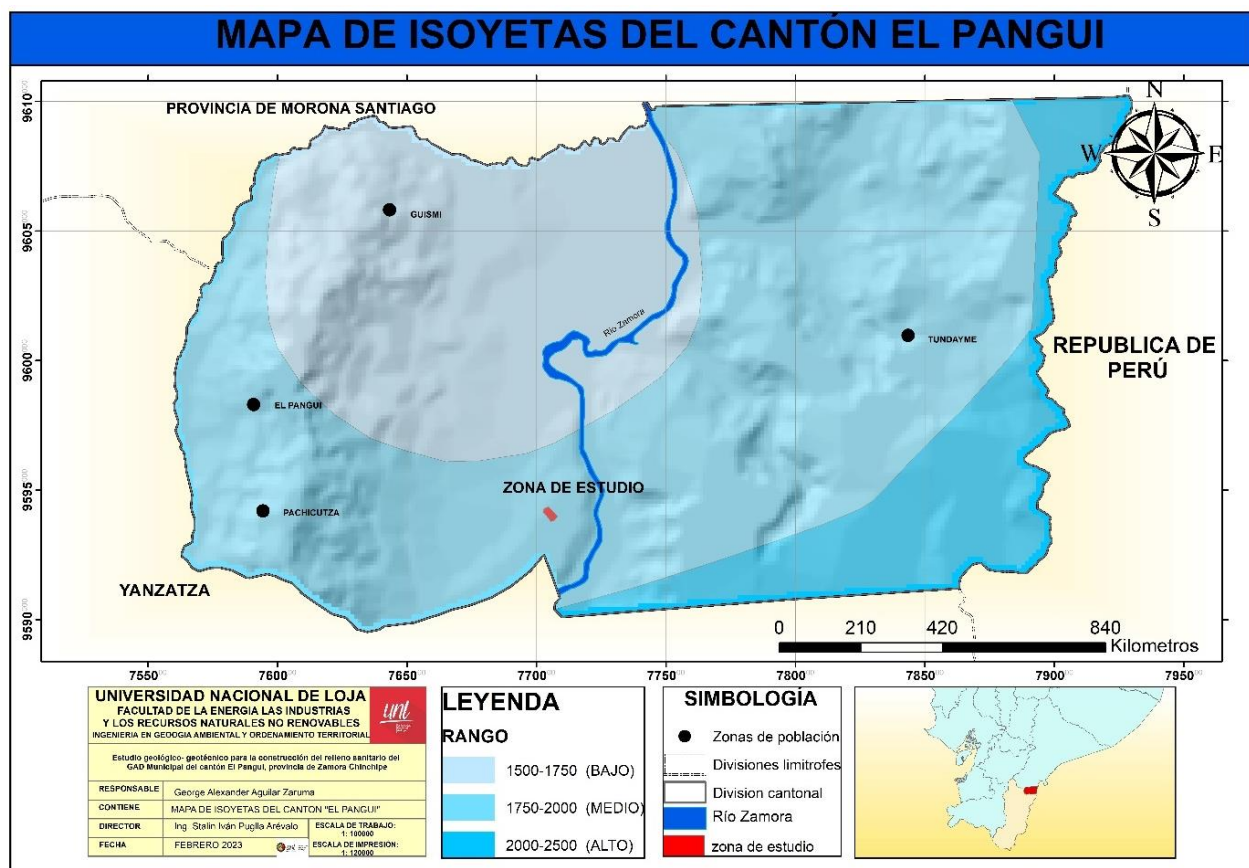
VALORES PLUVIOMETRICOS MENSUALES (mm)	
ENERO	113,8
FEBRERO	144,2
MARZO	152,4
ABRIL	208,1
MAYO	174,9
JUNIO	163,5
JULIO	157,6
AGOSTO	101,6
SEPTIEMBRE	120,3
OCTUBRE	142,7
NOVIEMBRE	124,6
DICEIMBRE	127,3

Nota: Obtenido de los anuarios meteorológicos del INAMHI, (2013-1984)

Siendo así que los meses que presentan mayores precipitaciones son abril, mayo y junio. Mientras que el mes que tiene menores precipitaciones es el mes de agosto.

Las precipitaciones anuales registradas por el INAMHI del cantón El Pangui oscilan entre 1500 y 2500mm. Correlacionándose al igual que la temperatura con la altitud que va desde los 748 msnm, hasta los 2178 msnm. De acuerdo a la figura 11, las parroquias como Tundayme registran precipitaciones que van desde medias a altas; el Guisme y el Pangui presenta las precipitaciones más bajas, mientras que la parroquia Pachicutza donde se encuentra la zona de estudio para la construcción del relleno presenta una precipitación media que va desde los 1750mm a los 2000mm.

Figura 11. Isoyetas del cantón el Pangui



Nota: Obtenido del PDOT, (2019-2023)

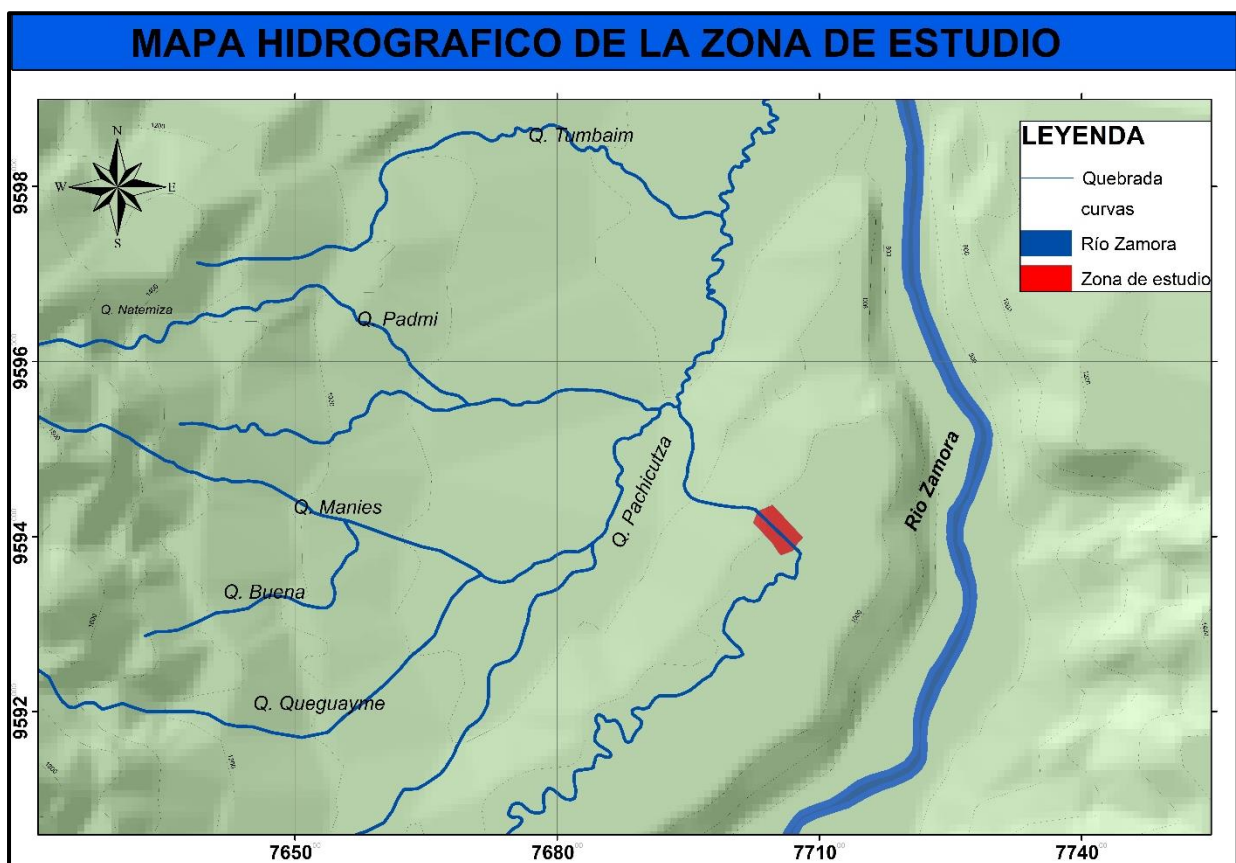
5.1.5. Hidrografía

La hidrografía del cantón El Pangui es muy variada ya que posee algunas vertientes que dan origen a los ríos y quebradas que desembocan en el Río Zamora. Entre sus ríos tenemos: Manchinatza, Uwents, Quimi, Pachicutza Chuchumbletza.

Específicamente en la microcuenca de Pachicutza desembocan varias quebradas como son las quebradas de Tumbaim, Padmi, Manies, Natemiza, Buena y Queguayme.

Existe un pequeño riachuelo que pasa por el área de estudio, el cual desemboca en el río Pachicutza, erosiona y transporta los sedimentos que se encuentran como son las arenas, limos y arcillas. La longitud que ocupa esta vertiente dentro de la zona es de 621,65 m.

Figura 12. Mapa hidrográfico de la zona de estudio



Nota: Obtenido de la Carta topográfica del Pangui (IGM, 1997)

5.1.6. Geología Regional

El Oriente Ecuatoriano presenta tres dominios con características fisiográficas bien definidas. El Dominio Occidental o Sistema Subandino que presenta de Norte a Sur 4 subzonas como son: el Levantamiento Napo, la Cuenca Pastaza, la Cordillera de Cutucú y la Cordillera del Condor que se encuentra en la zona fronteriza de Ecuador y Perú. El Dominio Central que se caracteriza por presentar los campos petrolíferos más importantes de la Cuenca Oriente además se encuentra deformado por mega-fallas, orientadas en dirección NE-SW. El Dominio Oriental que pertenece a una cuenca extensiva, actualmente invertida, conformada por fallas lístricas que se conectan sobre un nivel de despegue horizontal.

El cantón el Pangui se encuentra dentro de la Zona Subandina que separa la cuenca amazónica y la cordillera andina alta. Está conformada por una franja relativamente estrecha de rocas falladas y deformadas que pertenecen tanto a la Cordillera Real como a las secuencias sedimentarias de la Cuenca Amazónica. Esta Zona Subandina tiene un ancho de 60 a 80 km. De Norte a Sur y se subdivide en cuatro subzonas:

- Levantamiento Napo que forma un domo alargado de dirección NNE - SSW, limitado por fallas transpresivas al Este y Oeste.

- La Cuenca de Pastaza, donde se forma una serie de cabalgamientos por fallas que limitan la Zona Subandina con la Cordillera Real.

- La Cordillera del Cutucú que se caracteriza por el afloramiento de formaciones paleozoicas (Formación Macuma y Pumbuiza) además de formaciones triásicas y jurásicas (Formación Santiago y Chapiza), otra característica es el cambio de dirección estructural de N-S a NNW-SSE. Entre la Cordillera Oriental y la Cordillera del Cutucú, se desarrolla el valle del Upano donde se acumularon gran parte de los depósitos volcano-elásticos del volcán Sangay

- La Cordillera del Cóndor que se encuentra en los predios del cantón, constituida mayoritariamente por granitoides jurásicos del Batolito de Zamora, subyacente a las areniscas cretácicas de la Formación Hollín en algunas zonas. Además, contiene la mayor parte de las montañas intermedias entre la cuenca del Amazonas y los Andes.

Dentro de la parroquia Pachicutza, afloran las formaciones Napo, Hollín y Santiago. También está conformada por la formación Misahuallí la cual debe su origen a lava y piroclásticos. Un factor de gran importancia dentro de la variable geología se refleja en la presencia de una falla geológica que atraviesa la parroquia en dirección Noroeste – Suroeste,

con una longitud de 3,54 kilómetros, la misma que a pesar de encontrarse en estado de inactividad.

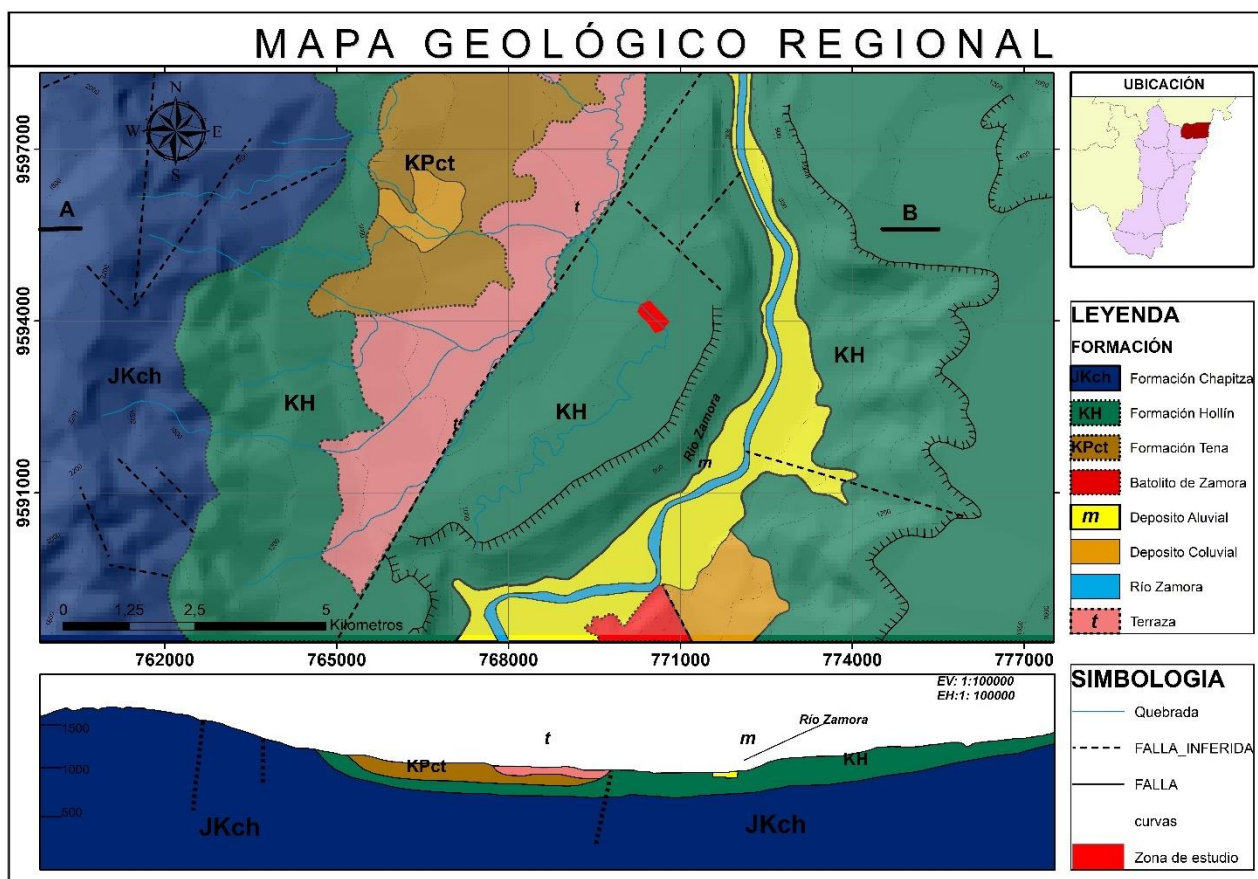
La formación Napo consiste en una sucesión de lutitas negras, calizas de grises a negras y areniscas calcáreas, el espesor de esta formación varia de unos 200 a 700 metros. En forma general se puede decir que esta formación se conforma por tres Miembros: el Miembro Inferior que consiste en areniscas, lutitas, margas y pocas calizas; el Miembro Medio que comprende calizas grises masivas, de edad Turoniense; y el Miembro Superior que es un conjunto de argilitas negras duras, con material fosfático.

La formación Napo subyace concordantemente a la formación Hollín y subyace en discordancia a la Formación Tena. La edad de esta formación es Albiense Inferior.

La Formación Santiago consiste en una serie monótona de calizas silíceas, en capas delgadas que varían entre 1 a 50 centímetros, con una coloración gris oscura hasta negra, se intercalan con areniscas finas a gruesas de color gris, así como las lutitas de coloración negra. Esta se encuentra representada por el 4.23% del territorio de la parroquia, se encuentra ubicado en el sector Centro de la parroquia, por donde cruza la Quebrada Pachicutza. Esta formación se caracteriza por contener calizas, arcilla esquistosa, y areniscas

La Formación Hollín es una formación que consiste principalmente en areniscas cuarzosas blancas de grano medio a grueso, compactadas, de textura azucarada y de coloración blanca amarillenta, tiene una dirección predominante de estratificación N 50° W con buzamientos de 18° W, presenta estratificación cruzada y en ocasiones vetillas de carbón, se observa lutitas de color negro las cuales se presentan interestratificadas con las areniscas. El espesor de esta formación es de 80- 240 m y subyace discordantemente sobre la formación Chapiza, en el Pangui es posible que se erosiono la Formación Napo, razón con la que se encuentra en contacto con la formación Hollín con la Tena. En los predios del cantón se encuentra la Cordillera de Cóndor, constituida mayoritariamente por granitoides jurásicos del Batolito de Zamora, subyacente a las areniscas cretácicas de la Formación Hollín en algunas zonas.

Figura 13. Mapa geológico Regional



Nota: Adaptado de las Cartas geológicas de Paquisha y Gualaquiza (IIGE, 2018)

5.2. Materiales

El presente proyecto de tesis se realizó primeramente en una fase de campo y después en una fase de gabinete. Donde se emplearon los diferentes materiales que sirvieron para el cumplimiento de los objetivos propuestos.

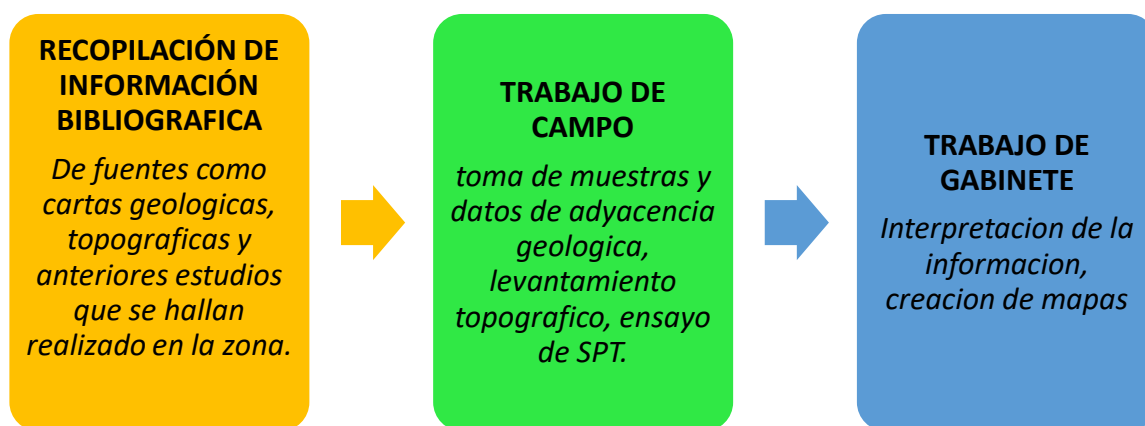
Tabla 7. Materiales y equipos

Materiales de Campo	
Estacas, mojones	Martillo geológico
Estación Total	Prismas
Motosierra	tubo shelby
GPS	Cinta métrica
Cámara fotográfica	Fichas de campo
Libreta de Campo	Marcadores, lápiz, pinturas
Carta topográfica de El Pangui a escala 1:50.000	Carta geológica de Paquisha y Gualaquiza a escala 1:100.000

Brújula	
Materiales de Oficina	
Computadora	Impresora
Software ArcGIS	Software de Office
AutoCAD	Documentos bibliográficos

5.3.Procedimiento

Figura 14. Metodología General



5.3.1. Metodología del primer objetivo

“Determinar las características geológicas del área de estudio.”

Para obtener las características geológicas de zona de estudio primeramente se realizó la topografía del predio perteneciente al GADM El Pangui, mediante la asociación con la consultora DGJ, se empleó el método convencional (Estación Total) debido a las características de terreno y la cobertura vegetal densa. El rastreo de coordenadas precisas enlazada a la REGME tomando como referencia la base IGM Palanda código PLEC. Este punto de control GPS fue enlazado con el método de posicionamiento satelital estático diferencial y se lo denominó Mojon_1. (Tabla 8)

Tabla 8. Coordenadas UTM punto de control Mojón 1

Numero	Este	Norte	Elevación	Nominativo
1	770338.798	9594227,904	2676,00	Mojón 1
Sistemas de coordenadas: UTM 17S – ITRF 2008, época 2016.44				

Nota: Obtenido del GAD municipal El Pangui en asociación con DGJ Ingeniería, (2022)

La materialización de este punto de control se lo realizó a través mojones de concreto tipo cilindro de 3” de diámetro, 30 cm de profundidad en el suelo y con un centro marcado (Ver Figura 15).

Figura 15. Mojón de concreto cilíndrico



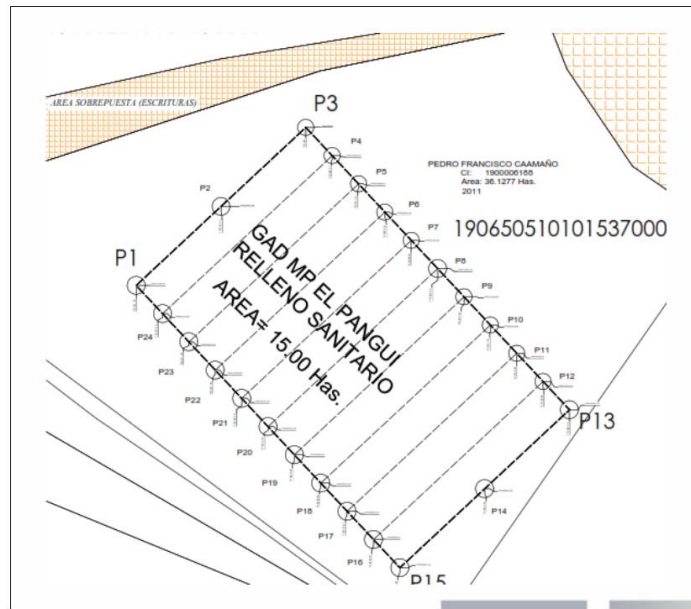
Nota: Obtenido de Diseños definitivos para la gestión integral de residuos sólidos del cantón El Pangui provincia de Zamora Chinchipe, (2022)

- **Levantamiento topográfico georreferenciado convencional (Estación Total)**

Posterior al cálculo de la coordenada del vértice del punto de control Mojón_1, se colocaron 4 mojones adicionales que sirvieron para hacer cambios de estación y vistas atrás para encerrar el equipo, estos mojones se colocaron estratégicamente a lo largo del acceso principal.

Previo al Levantamiento con Estación Total Digital, se planificó primeramente las trochas de acceso al interior de la propiedad desde el acceso principal del mismo, se planificaron un total de 9 trochas de acceso con distancias entre ellas de 50 m (Ver figura 16)

Figura 16. Planificación de trochas de acceso.



Nota: Obtenido de Diseños definitivos para la gestión integral de residuos sólidos del cantón El Pangui provincia de Zamora Chinchipe, (2022)

El rendimiento de la apertura de trochas fue dependiente del tipo de topografía, clima, y tipo de cobertura vegetal, ocupando en un gran porcentaje motosierra para cortar obstáculos y demás, en base a eso se puede decir que se ocupó 9 días para abrir trochas, con un rendimiento de 1 trocha/día.

Figura 17. Toma de datos al interior de la propiedad



Nota: Obtenido de diseños definitivos para la gestión integral de residuos sólidos del cantón El Pangui provincia de Zamora Chinchipe, (2022)

- **Levantamiento geológico**

Para realizar el levantamiento geológico se analizó la información preliminar de la zona de estudio, utilizando fuentes disponibles como las cartas geológicas del IIGE, (2018) de Gualaquiza y Paquisha a escala 1: 100 000, consiguiendo así una primera interpretación sobre la geología del lugar.

Como segunda parte en campo se utilizó el método de mapeo por afloramientos o mapeo de todos los afloramientos, debido a la espesa cobertura vegetal que se presenta en la zona (ver figura 18). Para ello se describió los diferentes afloramientos que hay en la zona a través de fichas de campo (Anexo 1) y la toma de datos de adyacencia geológica. Obteniendo así la geología local del terreno destinado para la construcción del relleno sanitario. Para la geología del predio destinado para la construcción se hace la interpretación en base a los 8 sondeos realizados en el predio.

Figura 18. Panorámica de la ubicación del predio



Nota: Obtenido de diseños definitivos para la gestión integral de residuos sólidos del cantón el Pangui provincia de Zamora Chinchipe, (2022)

- **Fase de gabinete**

La interpretación de la información geológica de la zona se creó en el software ArcGIS 10.5 y así obtener las diferentes variables geológicas de la zona donde se construirá el relleno sanitario. Para realizar los cortes geológicos se utilizó el software AutoCAD 2021. Aplicando el software Excel 2019 para la interpretación de cálculos que se complementan con los softwares mencionados anteriormente.

La limitación de los contactos de las diferentes estructuras litológicas se lo hizo en base a la precisión topográfica y con los datos obtenidos en campo.

5.3.2. Metodología para el segundo objetivo

“Definir las propiedades físico mecánicas de los materiales del área de construcción del relleno sanitario.”

Las propiedades físico mecánicas del suelo conforman una de las partes más importantes para definir los comportamientos del suelo frente a las cargas que existirán al construir el relleno sanitario.

Para definir el plan de muestreo se utilizó la Norma Ecuatoriana de la Construcción. La NEC en su sección de Geotecnia y Cimentaciones (NEC-SE-GC) establece el número de sondeos mínimos y profundidad (tabla 10) según la clasificación de la unidad de construcción (tabla 9).

Tabla 9. Clasificación de las unidades de construcción por categorías

Clasificación	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (KN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800
Media	Entre 4 y 10	Entre 801 y 4000
Alta	Entre 11 y 20	Entre 4001 y 8000
Especial	Mayor de 20	Mayores de 8000

Nota: Obtenido de la normativa ecuatoriana de la construcción (NEC-SE-GC, 2012)

Tabla 10. Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción

Baja	Media	Alta	Especial
Profundidad mínima de sondeo: 6 m	Profundidad mínima de sondeo: 15 m	Profundidad mínima de sondeo: 25 m	Profundidad mínima de sondeo: 30 m
Número mínimo de sondeos: 3	Número mínimo de sondeos: 4	Número mínimo de sondeos: 4	Número mínimo de sondeos: 5

Nota: Obtenido de la normativa ecuatoriana de la construcción (NEC-SE-GC, 2012)

Por lo tanto, se establece que se realizaran un mínimo de 3 sondeos con una profundidad de 6 metros o hasta que esté de rebote, tomando una muestra a cada 1 metro de perforación.

Debido a la extensión del terreno y para mayor precisión de los estudios. Se realizaron un total de 8 sondeos en vez de 3.

- **Selección de áreas para realizar los sondeos**

Analizando las pendientes y la geología de la zona se estable los lugares más convenientes y que cumplan los requerimientos para realizar los ensayos de SPT y la toma de muestras de suelo.

- **Ensayos de suelos**

Con las muestras obtenidas se realizaron los ensayos expuestos en la tabla 11.

Tabla 11. Ensayos que se realizaron en el estudio geotécnico

Ensayos realizados	
Contenido de humedad natural	ASTM D-2216
Análisis granulométrico	ASTM D-422
Límite líquido	ASTM D-4318
Límite plástico	ASTM D-4318
Índice de plasticidad	ASTM D-4318
Clasificación SUCS	
Índice de plasticidad	ASTM D-2434
Ensayo de penetración estándar “8 SPT’s” (ensayos de campo)	

En los ensayos de Penetración Estándar se alcanzó una profundidad máxima de 6,00 m. De los cuales se obtuvo una muestra en cada metro. Las pruebas de penetración estándar fueron realizadas de acuerdo a los procedimientos establecidos en la norma ASTM. En esta se especifican elementos y características necesarios para realizar el ensayo:

- Masa de 63.5 kg
- Altura de caída de 76 cm
- Saca muestras con diámetro externo de 50mm y diámetro interno de 35 mm
- Mecánica de liberación del martinete mediante soga y malacate
- Barras de sondeo y cabeza de golpeo.

- **Fase de laboratorio**

Obtenido los datos y muestras de los ensayos SPT. Se aplica los procedimientos descritos en la normativa ASTM expuestas en la tabla 11 para determinar las diferentes propiedades físico mecánicas del suelo.

Figura 19. Preparación de muestra para ensayos.



Nota: Obtenido de diseños definitivos para la gestión integral de residuos sólidos del cantón el Pangui provincia de Zamora Chinchipe, 2022

- **Fase de gabinete**

Se procede a realizar las interpretaciones de los datos obtenidos en campo y laboratorio.

Designación de arcillas y limos en función al SPT			
Grado de Consistencia	Numero de golpes	Cohesión (ton/m²)	Angulo de fricción (φ)
Muy Blanda	0 a 2	<1.25	0°
Blanda	2 a 4	1.25 a 2.5	0° - 2°
Media	4 a 8	2.5 a 5	2° - 4°
Rígida	8 a 15	5 a 10	4° - 6°
Muy rígida	15 a 30	10 a 20	6° - 12°
Dura	>30	> 20	> 14°

Tabla 12. Preparación de muestras para ensayo de límites.

Grado de Consistencia	Cohesión (Kgf/m ²)	
	Blanda	0
Firme	0,75	1,25
Resistente	1,25	2,5
Dura	2,5	5

Tabla 13. Presiones admisibles de los suelos

Arena muy suelta	Seca 0,0 - 0,50 Kg/cm ²	Inundada 0,0 - 0,30 Kg/cm ²
Arena suelta	Seca 0,5 - 1,50	Inundada 0,3 - 1,0
Arena firme	Seca 1,5 - 3,0	Inundada 1,0 - 2,0
Arena compactada	Seca 3,0 - 6,0	Inundada 2,0 - 4,0
Arcilla blanda	0,0 - 0,75	
Arcilla firme	0,75 - 1,25	
Arcilla resistente	1,25 - 2,5	
Arcilla dura	2,50 - 5,0	
Roca en capas, laminadas o fracturadas	5,0 - 15,0	
Roca masiva con alguna fisura	15,0 - 40,0	
Roca masiva sana	40,0 - 100,0	

Tabla 14. Designación suelos granulares en función al SPT

- **CAPACIDAD DE CARGA**

Para el análisis de la capacidad de carga la consultora “DGJ Ingeniería” utilizo los parámetros obtenidos de correlaciones empíricas con la prueba de penetración estándar. Para el cálculo de la capacidad de carga que se observó se aplica la teoría del Dr. Terzaghi y realizando la aplicación matemática de su modelo de falla, se obtiene un valor límite de la carga que puede transmitir el cimiento mediante las siguientes expresiones:

ZAPATAS AISLADAS

$$Q_{ult} = 0,867 c' N'c + q N'q + 1/2 Y B N'y$$

ZAPATAS CORRIDAS EN UNA O DOS DIRECCIONES

$$Q_{ult} = 2/3 c' N'c + q N'q + 1/2 Y B N'y$$

Donde c es el valor de la cohesión del suelo sobre el que se apoya el cimiento; B es el ancho del cimiento; YDf es el valor de la sobrecarga que se encuentra actuante al nivel del desplante y que depende de la profundidad de desplante Df y del peso volumétrico del material, y, N'c, N'q y N'y, son factores de carga y dependen solo del ángulo de fricción interna (Ø) del suelo y son coeficientes a dimensionales que caracterizan la capacidad de carga de un suelo dado.

- **Coefficiente de permeabilidad del suelo in situ**

Se determino en los materiales más permeables de la zona de estudio, mediante la apertura de calicatas de dimensiones de 50x50 con una profundidad de 0,75m hasta llegar a 1,5m con el fin de introducir un tubo PVC de 4 pulgadas. El cual se rellenó con una carga constante de agua, dejando una hora hasta que esta ocupe los espacios vacíos del suelo analizado.

Posterior a esto se procedió a llenar nuevamente el tubo y medir la cantidad que se ha desplazado hacia la parte más baja. Se realiza hasta un numero de 5 veces el ensayo para obtener un resultado más preciso y se descarta los resultaos que no estén próximos entre si

Figura 20. Medición de la permeabilidad In Situ



- **Coefficiente de permeabilidad por el método de carga constante y variable**

Se determina en laboratorio por la norma ASTM-D2434 en donde las muestras de suelo arcilloso fueron analizadas por laboratorio de suelos DELTA aplicándose el método de carga constante donde el material se introduce en un cilindro y se mide la cantidad de cm de agua que pasa a través del suelo arcilloso.

Figura 21. Permeabilidad de carga constante

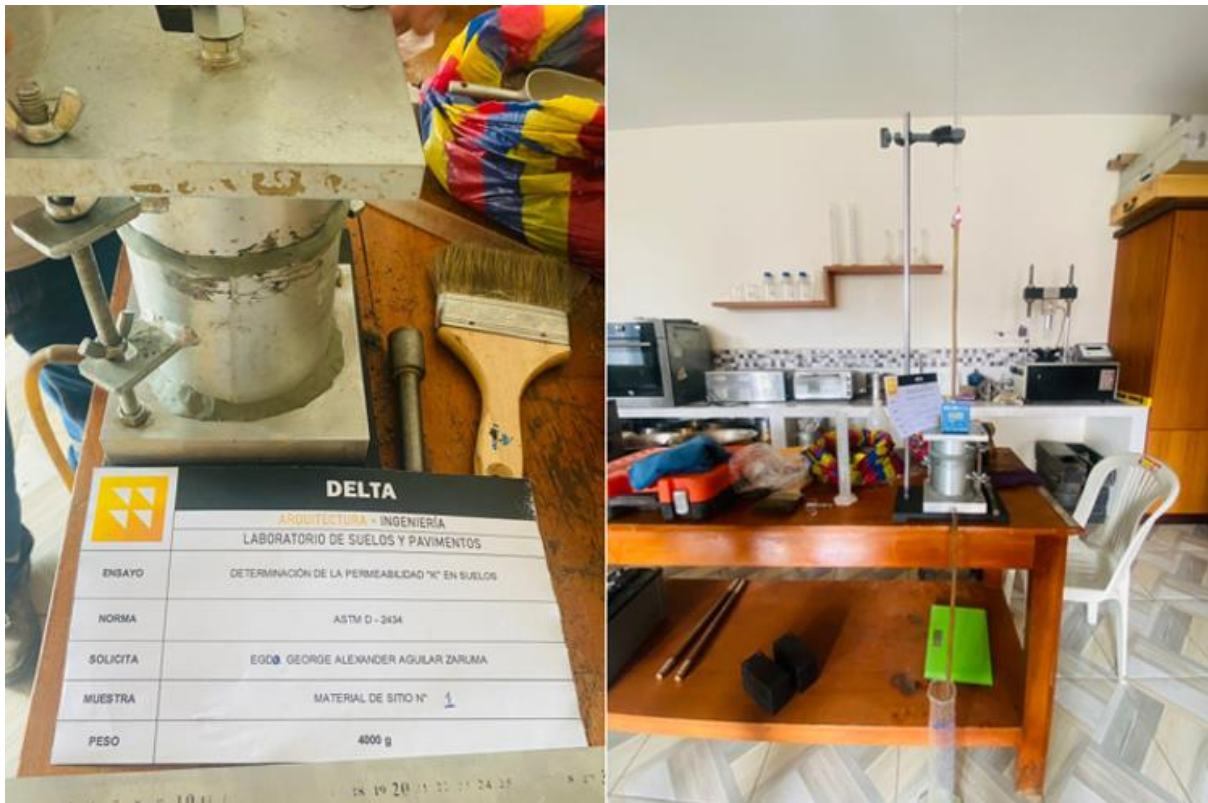


Tabla 15. Valores de K en cm/seg

	100	10	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹
Drenaje	Buen drenaje						Mal drenaje		Prácticamente impermeable			
Tipo de suelo	Grava limpia		Arenas limpias y mezclas limpias de arena y grava			Arenas muy finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena, limo y arcilla, morenas glaciares, depósitos de arcilla estratificados			Suelos “impermeables”, es decir arcillas homogéneas situadas por debajo de la zona de intemperismo.			
							Suelos impermeables que han sufrido alteración (modificados) por los efectos de la vegetación e intemperismo.					

5.3.3. Metodología para el cumplimiento de tercer objetivo

“Analizar los parámetros ingenieriles del estudio geológico-geotécnico necesarios en la construcción del relleno sanitario para el GAD Municipal del cantón El Pangui”

Comprendió en su totalidad una fase de gabinete donde se interpretó las condiciones climáticas, relieve, aspectos hidrológicos, y geológicos-geotécnicos.

- **Zonas de construcción del relleno sanitario**

Se determino en base al material arcilloso predominante en la zona de estudio y por los datos geomecánicas que se obtuvieron de los ensayos realizados en los lugares que presentaba este material.

- **Elección del método constructivo**

Se analizo el relieve y las condiciones topográficas para elegir el método de construcción de relleno sanitario. Para ello es importante analizar las unidades de relieve que existen en la zona de estudio. Tomando en cuenta la tabla 16.

Tabla 16. Unidades de relieve:









Relieve	Alturas	pendiente (%)
Colinas Medianas	25 a 75 metros	40-70
Colinas pequeñas	25 a 5 metros	25-40
Cuestas	5 a 2 metros	12-25
Terrazas	Menor a 2 metros	0-12

Nota: MAGAP- CLIRSEN 2012

- **Pendientes**

Se refiere al grado de inclinación de las vertientes con relación a la horizontal; Se clasifico las pendientes según el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN). Que clasifica según el porcentaje de pendiente (ver tabla 17).

Tabla 17. Categorización de pendientes

Rango (%)	Clase		Descripción
0 – 12; NA	1		Corresponde a relieves completamente planos, casi planos y ligeramente ondulados
> 12 - 25	2		Corresponde a relieves medianamente ondulados a moderadamente disectados
> 25 - 40	3		Corresponden principalmente a relieves mediana a fuertemente disectados.
> 40 - 70	4		Corresponden principalmente a relieves fuertemente disectados.
> 70 - 100	5		Corresponden principalmente a relieves muy fuertemente disectados
> 100 - 150	6		Corresponden principalmente a relieves escarpados.
> 150 - 200	7		Corresponden principalmente a relieves muy escarpados.
> 200	8		Corresponde a las zonas reconocidas como mayores a 200% en el mapa de pendientes.

Nota: MAGAP-CLIRSEN, 2012. Tabla de atributos del mapa de geomorfología

- **Estabilidad del suelo de fundación y taludes.**

En base al modelo de diseño del método constructivo que propuso la consultora al GAD municipal se realizaron los cálculos de cargas que se aplicaran a las zonas que se destinaron para la construcción. Para ello se aplicará las siguientes formulas

-Para el cálculo de volúmenes de basura y material de cobertura, se realizó en base a las dimensiones de cada una de las etapas del diseño.

$$V = \left(\frac{a + b}{2} * h \right) * c$$

Donde

a = largo 1

b =largo 2

c =ancho

h =altura

Las densidades del material de cobertura y la basura suelta, compactada se obtuvieron del estudio de factibilidad y diseño del relleno sanitario del Gad municipal El Pangui.

Tabla 18. Densidades de la cobertura vegetal y basura

Densidad de la basura suelta	284,27 kg/m ³
Densidad de la basura compactada	476,70 kg/m ³
Densidad estabilizada	600 kg/m ³
Densidad del material de cobertura	2300 kg/m ³

- Para el cálculo de carga transmitida.

$$F = p * g$$

Donde:

p =los kg de basura o material de cobertura

g =gravedad de la tierra

- La capacidad de carga que ejercerá sobre el área es igual a:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde F es igual a la masa y A es igual al área donde se va aplicar. Se realiza los mismos cálculos para cada una de las etapas que se van a realizar dentro del diseño del relleno sanitario.

- **Condiciones hidrogeológicas, generación de lixiviados.**

Para conocer las condiciones climáticas de la zona, se utilizó los datos del INAMHI de la estación cantón el Pangui. Con un total de 30 de anuarios meteorológicos desde el año 1983 hasta el año 2013. Se compara con las características que tiene el suelo al ser sometido al agua de lluvia.

Para el cálculo de Evapotranspiración se utilizó el método Método de Blanney – Criddle donde:

Para calcular el valor de f se utiliza la siguiente ecuación:

$$f = \left(T + \frac{17,8}{21,8} \right) * p * 10$$

T es la temperatura

P es el porcentaje de horas luz en el día en relación con el total anual. (ANEXO 2)

Se aplica l modificación a la ecuación de Blanney-Criddle realizada por Phelan que introdujo el siguiente coeficiente para cada temperatura.

$$kt = 0,031144 * T + 0,2396$$

Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia se multiplica los dos valores calculados anterior mente

$$ET_o = f * kt$$

-la estimación de la generación de lixiviados se basa en los datos aportados por las precipitaciones, contenido de humedad del suelo, basura y la evapotranspiración.

- **Tiempo de vida útil del relleno sanitario**

La estimación del tiempo de vida útil del relleno se realizado mediante los datos aportados censo del 2022 (INEC, 2022) y en base al ppc que representa los kilogramos de basura generados por una persona en un día.

Para crecimiento poblacional basado en la teoría de Malthus, donde se considera la tasa de crecimiento como una constante. Considerando que el cantón El Pangui tiene una tasa de crecimiento de 3,4% anual.

$$pf = po * 1,034$$

Donde:

pf= población que precede al anterior año

P_0 = población inicial (censo 2022)

%tasa de crecimiento 3,4%=1,034

Para el cálculo de volumen de basura proyectada se multiplica el número de habitantes en cada año (pf) por ppc (este aumenta un 0,1% por año) y los 365 días que comprende un año todo esto dividido para la densidad de la basura estabilizada (600kg/m³)

$$V \text{ de basura} = \frac{pf * (ppc * 1,001) * 365}{600 \text{ kg/m}^3}$$

Para cada año se aplica como base el año anterior hasta obtener el volumen cercano y que supere al volumen del diseño del relleno sanitario. Para interpolar los años de vida útil que tendrá el relleno sanitario.

Tabla 19. Tabla para proyectar los volúmenes de basura

año	habitantes	ppc (1,001)	basura al año (kg)	volumen de basura al año (m³)
2022				
2023				
2024				

6. Resultados

6.1. Geología local

El tectonismo regional que dio origen y controla la formación de la Cordillera de los Andes al igual que la zona Subandina oriental junto a las fallas regionales de Pachicutza con rumbo preferencial NE-SW han dado como origen la formación de la mesa de Pachicutza sobre las areniscas cuarzosas de la Formación Hollín.

La geología del predio destinado para la construcción del relleno sanitario presenta una variedad de materiales que debido al proceso de diagénesis y a los factores climáticos e hidrológicos de la zona, han dado como resultado la formación de rocas sedimentarias con características de la formación Hollín.

Desde las riberas de la quebrada Pachicutza y en la mayor parte del sendero que conduce a la cima de la mesa donde se encuentra el área de estudio, se distinguen una variedad de afloramientos que presentan rocas sedimentarias como: areniscas cuarzosas, lutitas bituminosas, limos, arcillas, arenas y gravas las cuales presentan un grado de meteorización que va desde medio a alto. Es así que se ha encontrado un total de 14 afloramientos que describen los materiales que conforman esta zona. Los cuales se distribuyen como se puede observar en la figura 22 y en las coordenadas UTM WGS84 de la tabla 20.

Figura 22. Distribución de los afloramientos de la zona de estudio.

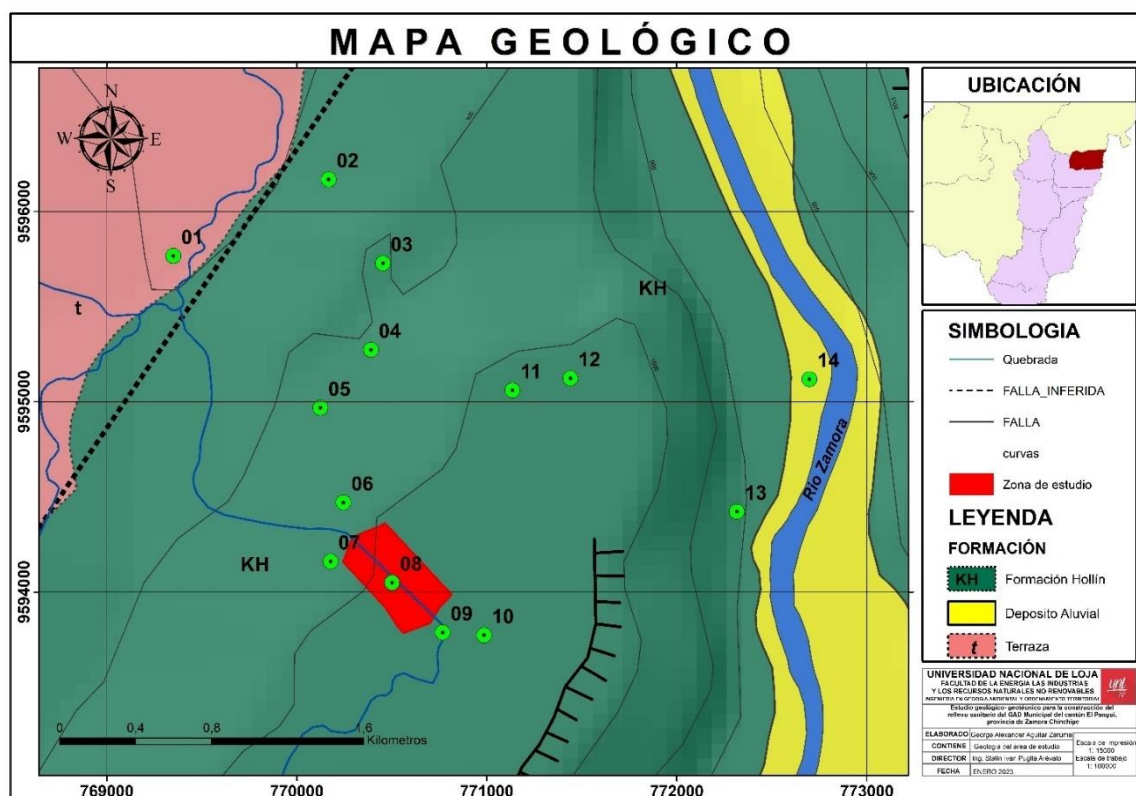


Tabla 20. Coordenadas UTM WGS84 de los afloramientos levantados

CODIGO	x	y
1	769350	9595766
2	770168	9596168
3	770453	9595728
4	770390	9595273
5	770124	9594968
6	770245	9594470
7	770178	9594160
8	770502	9594049
9	770768	9593788
10	770985	9593773
11	771135	9595060
12	771440	9595123
13	772316	9594422
14	772698	9595118

6.1.1. Terrazas aluviales (afloramiento 1)

Se encuentra ubicado en las coordenadas X=769350 y Y=9595766 y está comprendido por los depósitos cuaternarios de ladera en terrazas y acumulaciones de rocas sedimentarias como arenas, gravas y arcillas que se encuentran ubicadas en las partes bajas de la mesa de Pachicutza y márgenes de la quebrada del mismo nombre.

Los clastos de la grava están conformados por cantos rodados que tienen un diámetro que va desde los 2cm hasta los 30cm, mientras que la arena que se encuentra mezclada junto a la grava presenta una textura fina y un color amarillento. En algunos lugares de la quebrada se puede apreciar depósitos donde solo predomina las arenas.

Figura 23. Terrazas aluviales de la quebrada Pachicutza



En las partes más lejanas a los márgenes de las quebradas y en la parte baja de la mesa de Pachicutza se puede encontrar areniscas cuarzosas mezcladas con gravas y arenas las cuales han sido transportadas por los drenajes caudalosos y los procesos gravimétricos hasta las partes más bajas de la meseta. Presentan una coloración blanco amarillenta con grano grueso a medio y tamaños que oscilan los 0,5 cm a 15 cm.

Figura 24. Areniscas cuarzosas de la Formación Hollín presentes en las terrazas aluviales.



6.1.2. Areniscas de la parte baja de la mesa (Afloramiento 2)

Este afloramiento se encuentra ubicada en las coordenadas X=770168 y Y=9596168 y comprende el primer tramo del camino que conduce al predio de estudio, el cual está conformado por clastos pequeños de cuarcitas que van desde 1 a 8cm con una matriz arenosa amarillenta-rojiza y un cemento arcilloso de la misma coloración.

La meteorización es alta debido a las características hidrológicas y climatológicas de la zona por lo que las partículas de arena y cuarzo están un poco disueltas y se encuentran poco consolidadas. La altura de este afloramiento es de 3 metros y es de origen antrópico (apertura de camino). No presenta ninguna deformación estructural o estratificación observable por lo que no es posible obtener el rumbo y buzamiento de este afloramiento.

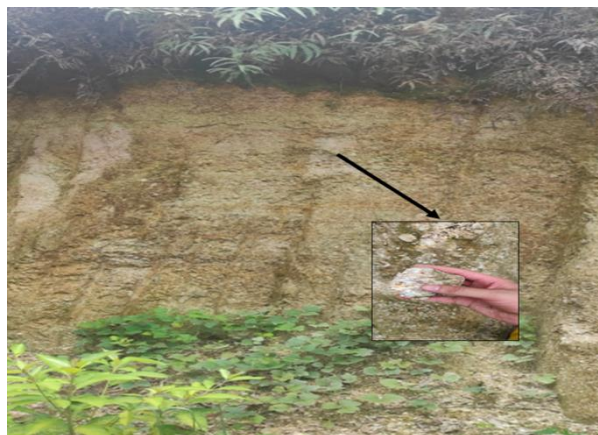


Figura 25. Areniscas cuarzosas

6.1.3. Arcillas rojas (afloramientos 3 y 4)

El afloramiento 3 está ubicado en las coordenadas X=770453 y Y=9595728 en la entrada donde se encuentra el actual relleno sanitario y está conformado por arcillas rojas presuntamente pertenecientes a la Formación Tena que fueron depositas sobre la Formación Hollín debido a que la Formación Napo en el cantón El Panguí fue erosionada.

La coloración roja de estas arcillas es debido a la meteorización superficial ya que en muestras de arcilla fresca se puede observar un color gris verdoso con pequeños clastos angulosos y cuarcitas que no sobrepasan los 5cm. La pureza de estas arcillas es de un 75% y de este lugar se ha extraído la arcilla que sirve para material de cobertura de los taludes de basura.

Figura 26. Arcillas rojizas con clastos de cuarzo y arenisca



El afloramiento 4 se encuentra ubicado en las coordenadas X=770390 y Y=9595273 presenta las mismas características de las arcillas de el afloramiento 3, solo que su pureza cambia debido al aumento de clastos siendo estos un 60% arcilla y un 40% clastos de arenisca y cuarcitas.

Figura 27. Arcillas rojizas con una pureza menor



6.1.4. Roca de arenisca cuarzosa (Afloramiento 5)

Es un afloramiento que se encuentra en el camino que conduce hacia la zona de estudio ubicado en las coordenadas $x=770124$ y $Y=9594968$. Está conformado por un bloque de roca de arenisca cuarzosa consolidada de fragmentación antrópica (debido a la apertura de la vía). Los clastos que se encuentran tienen un tamaño de arena que va desde los 2 a 0,02mm, el cemento que lo conforma es el sílice, la meteorización es alta y su coloración debido a esta es amarillenta, aunque al obtener las muestras frescas su coloración cambia a un color blanco propio del sílice. Se puede considerar que presenta características de la roca madre y que ha sido expuesta por procesos antrópicos y debido a sus componentes su dureza puede variar de 6 a 7 en escala de Mohs.

Figura 28. Rocas de arenisca cuarzosa



6.1.5. Lutitas bituminosas y asfaltos naturales (Afloramiento 6)

Se encuentra ubicado en las coordenadas $X=770245$ y $Y=9594470$ a 50m de la zona de estudio y está compuesto por lutitas bituminosas que se encuentran interestratificadas con las areniscas cuarzosas. Presenta un color negro a marrón, su meteorización es media y debido a la apertura de la vía, se ha erosionado la capa superior de arenisca quedando expuesta a la erosión de la lluvia y el viento.

Tiene una dirección de estratificación $N50^{\circ}W$ y un buzamiento de 12° al W, presenta fisilidad por lo que se rompen en planos paralelos su color se debe a la presencia de un alto porcentaje de material orgánico.

Figura 29. Lutitas bituminosas expuestas en el camino



Se estima su potencia en base a un afloramiento que se encuentra en la misma zona el cual presenta laminación y una potencia de 0,5m en donde se puede apreciar que las lutitas bituminosas están entre las capas de arenisca cuarzosas. Se presume que pertenecen a la formación Napo y se depositaron sobre la depositaron en la formación Hollín antes de que fuera erosionada esta formación en el cantón El Panguí.

Figura 30. Lutitas bituminosas en afloramiento



A lo largo del camino y a 100 metros de las lutitas bituminosas se puede distinguir en 4 lugares la presencia de asfalto natural producto de la mezcla de sustancias bituminosas y procesos geológicos que han dado como resultado la formación de estos. Los estudios petrográficos realizados en la cuenca Oriente por Roberto Barragán, y otros, (1998) indican la presencia de asfaltos naturales en la zona perteneciente a la formación Hollín

Figura 31. Asfaltos naturales de la formación Hollín



6.1.6. Arenas limosas con grava (Afloramiento 7)

Se encuentra ubicado en las coordenadas X=770178 y Y=9594160 en la entrada al predio destinado para la construcción del relleno sanitario, es un afloramiento de consolidación media de 9m de alto de tipo antrópico que presenta una matriz arenosa con un cemento limoso al igual que clastos de arenisca y cuarcita; la relación entre el cemento y la matriz es de un 40% a 60%.

Su coloración es amarillo pálido y presenta pequeñas cárcavas producto de las precipitaciones que existen en la zona, no existe alguna estructura ni estratificación observable debido a que las partículas de arena, limo y grava están entrelazadas entre sí, por procesos gravimétricos y meteorológicos se puede estimar que las partículas más grandes y poco consolidadas han sido desplazadas a la parte baja, mientras que las más pequeñas y más consolidadas se encuentran en la parte superior.

Figura 32. Arenas limosas con clastos de grava



6.1.7. Limolitas de la zona de estudio Afloramiento 8

Se encuentra ubicado en las coordenadas X=770502 y Y=9594049 dentro del predio destinado para la construcción del relleno sanitario, comprende un conjunto de limolitas con partículas que van desde 1/16 - 1/256 mm, superficialmente presenta concreciones debido a que las partículas de sedimentos silíceos son transportadas por los drenajes naturales de agua lluvia y el viento de la zona. No posee estratificación ni deformación alguna, y se encuentran erosionadas, su coloración es blanco grisáceo.

Figura 33. Limolitas de la zona de estudio



6.1.8. Arenisca arcillosa (Afloramiento 9)

Este afloramiento está ubicado en las coordenadas X=770768 y Y=9593788.

Comprende una arenisca arcillosa de color amarillento pálido la cual se encuentra poco consolidada, en su textura presenta clastos inferiores a 1/16mm con una matriz arcillosa amarillenta y un cemento de arenisca.

Los procesos erosivos han hecho que este estrato presente una falsa estratificación y laminación, aparentando capas del mismo material. No presenta deformaciones algunas, se pueden observar superficialmente sedimentos silíceos transparentados por el viento y las abundantes precipitaciones.

Figura 34. Arenisca arcillosa



6.1.9. Materiales de tipo aluvial: arcillas, arenas y gravas (Afloramientos 10)

Está ubicado en las coordenadas X=770985 y Y=9593773 y se encuentra en la parte alta del predio destinado a la construcción del relleno sanitario. Y comprende un área que fue deforestada debido a las actividades mineras de tipo artesanal, en donde se puede observar materiales de tipo aluvial como clastos de cantos rodados de gran tamaño entre 15 a 90 cm y areniscas de grano medio en una matriz limosa y arcillosa.

Figura 35. *Materiales aluviales en la parte alta de la mesa de Pachicutza*



A lo largo del sendero de la zona de estudio no se puede observar estratos representativos de un material determinado esto debido a la alta meteorización e hidrología que existe en lo alto de la mesa en las coordenadas x=770155, y=9594308; Debido a las actividades mineras que se han realizado en la zona existe la presencia de depresiones en la parte superior del terreno, las cuales debido a las arcillas han sido inundadas con agua lluvia. Constituyéndose una zona de alta inundación en tiempos de lluvia,

Figura 36. *Presencia de depresiones realizadas por actividades mineras*



6.1.10. Arenas silíceas (afloramientos 11 y 12)

Los depósitos de las arenas silíceas se encuentran ubicados en las coordenadas X=771440 y Y=9595123 en la parte más alta de la mesa de Pachicutza sobre los taludes de las areniscas arcillosas y son transportados por una pequeña quebrada por toda la zona, presenta una coloración blanca debido a que está compuesta mayormente por partículas de sílice.

Figura 37. Arenas de silíceas de la parte alta de la mesa de Pachicutza



En las coordenadas X=771135 y Y=9595060 se puede observar donde terminan los depósitos de arena silíceas y comienza los de arena con una pureza menor y una coloración amarillenta. Existe una variedad de materiales silíceos que son transportados por esta quebrada como las grandes rocas de arenisca cuarzosa que tienen un tamaño de 30 a 60cm presentando sus aristas filosas en algunos casos y en otros una forma redondeada.

Figura 38. Arenas silíceas y arenas



6.1.11. Depósitos aluviales del Rio Zamora (Afloramiento 13 y 14)

Está conformado por las planicies aterrazadas de gran extensión formadas por el río Zamora. Ubicado en las coordenadas X=772316 y Y=9594422 en los márgenes del río y en la parte baja de la zona acantilada de la mesa de Pachicutza. Están compuestos por materiales de arrastre como grandes y pequeños bloques de intrusivo y bloques de arenisca de la formación Hollín. Estos terrenos son utilizados para plantaciones y potreros.

Figura 39. Planicies aterrazadas del río Zamora



Estos depósitos pertenecen al periodo cuaternario y los materiales que arrastra en su mayoría son los bloques de areniscas de la Formación Hollín, aunque estudios realizados por el Instituto Ecuatoriano de Minería (1985) indican que existe material intrusivo y lavas de la formación Misahuallí.

Figura 40. Materiales de arrastre en los márgenes del río Zamora



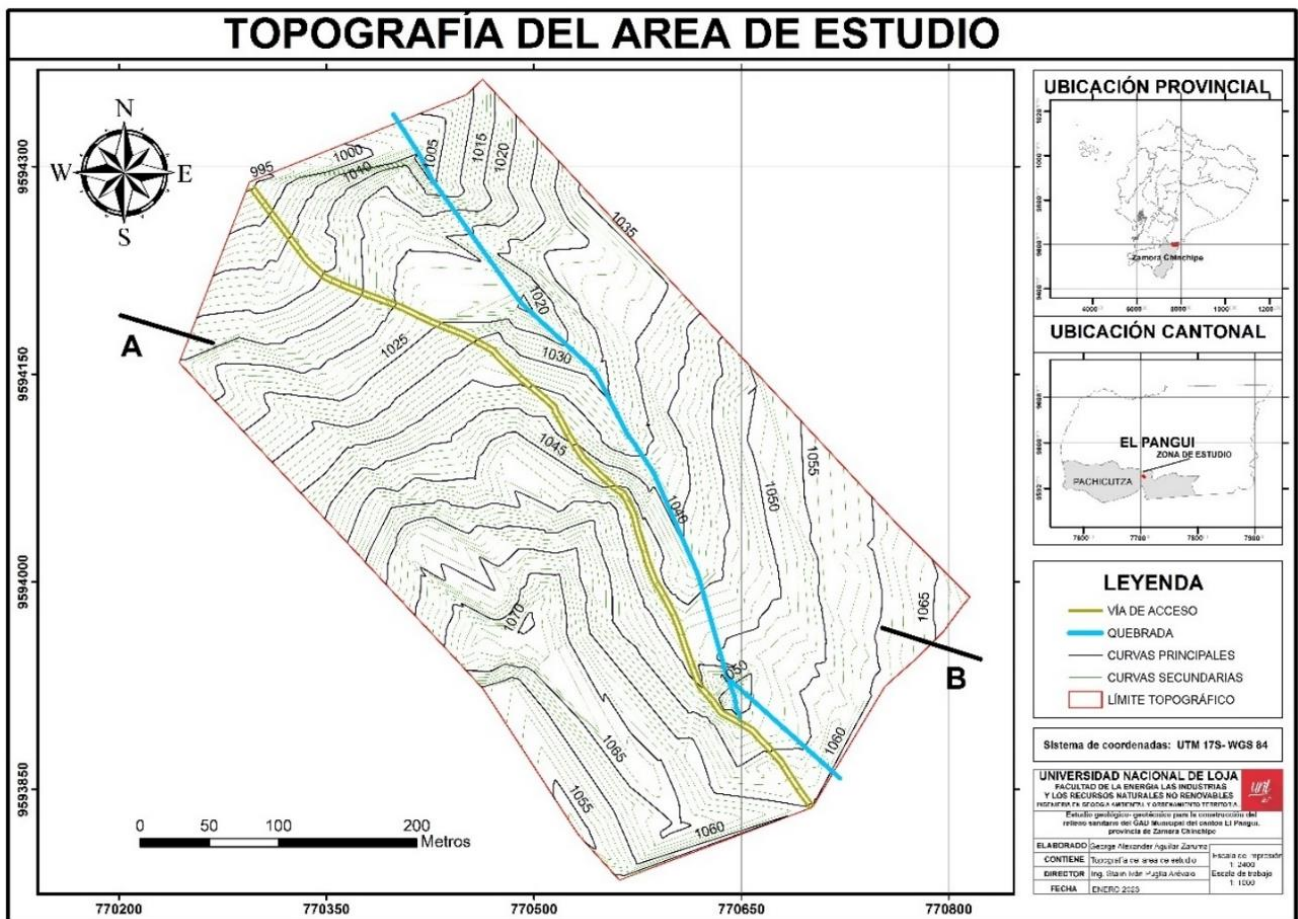
6.1.12. Características topográficas y geológicas del predio destinado para la construcción del relleno sanitario

6.1.12.1. Topografía del predio destinado para la construcción del relleno

Como resultado del levantamiento topográfico se obtuvo que en el predio donde se pretende construir el relleno sanitario, está conformado por un área de 17 hectáreas y presenta una altura mínima de 994 msnm y la altura máxima es de 1070 msnm. A medida que se avanza al área de estudio en sentido NW a SE la altura va aumentando, aunque en ciertos lugares existe pequeñas depresiones predominado las cuestas y terrazas, las colinas pequeñas presentan alturas no superiores a los 5m.

Como resultado de todo el trabajo de campo, se realizó la planimetría del acceso principal, desniveles topográficos, definición de cuerpos de agua y la generación de curvas de nivel cada 1 metro a escala 1:1000.

Figura 41. Topografía del área de estudio (Ver anexo 5)



El perfil topográfico A-B se lo realizó en sentido Noroeste - Sureste con una extensión de 551,7 m, y la diferencia de la cota mayor 1066 respecto a la menor 1016 es de 50m.

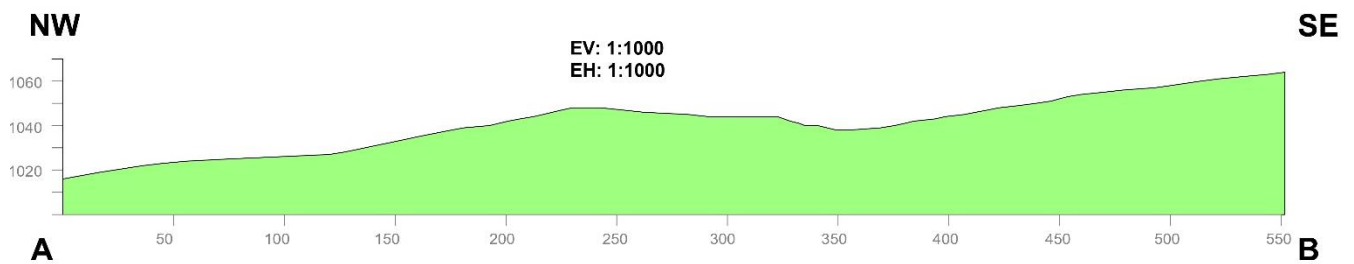


Figura 42. Perfil Topográfico A-B

Para el cálculo de la pendiente del corte A-B se aplica las siguientes formulas:

Para la pendiente en %

$$\alpha = \frac{\text{Diferencias de altura}}{\text{Distancia horizontal}} * 100$$

$$\alpha = \frac{50 \text{ m}}{551,7 \text{ m}} * 100$$

$$\alpha = 9,06\% \quad \text{Corresponde a relieves completamente planos, casi planos y ligeramente ondulados}$$

La pendiente indica que está dentro del rango para relieves planos o casi planos con ligeras ondulaciones, la cual se correlaciona al encontrarse en la parte plana de la mesa de Pachicutza.

6.1.12.2. Geología del predio

Ubicado en la parte alta de la mesa de Pachicutza el predio destinado para la construcción del relleno presenta características de los materiales silíceos que conforman la formación Hollín por lo que tiene características geológicas similares a los 14 afloramientos levantados en la zona, además de una cobertura vegetal exuberante donde no resaltan afloramientos representativos.

Superficialmente se puede observar a través de todo el camino clastos de arenisca que van desde los 2cm a 40cm transportados por los drenajes de máxima pendiente del agua de lluvia que se produce por las altas precipitaciones del lugar. El suelo presenta una matriz de arcilla y sílice con coloraciones que van de amarillo pálido a grisáceo blanco y algunas pigmentaciones negras (por el alto material orgánico de la zona) no existe fallas, pliegues ni estratificaciones observables.

Figura 43. Características geológicas superficiales del predio destinado para la construcción del relleno



La litológica de la zona está representada por una secuencia de materiales que tienen un comportamiento arcilloso, arenoso y limoso, depositados sobre las areniscas cuarzosas de la formación Hollín. Los 8 sondeos realizados en la zona se encuentran ubicados como se ve en la figura 44 y en las coordenadas UTM WGS84 de la tabla 21.

Figura 44. Puntos donde están ubicados los SPT dentro del predio

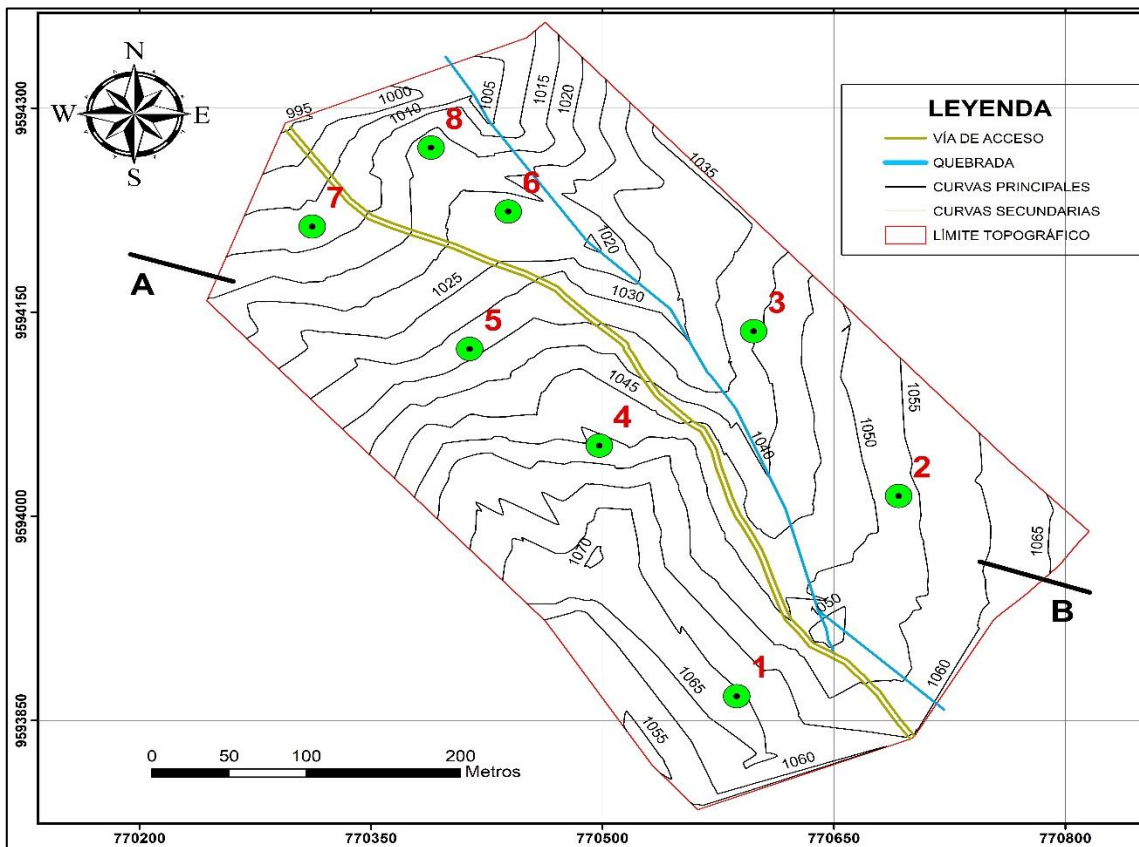


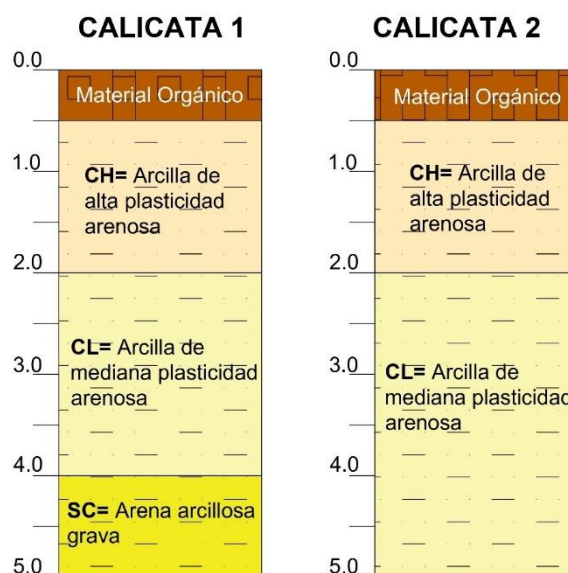
Tabla 21. Coordenadas de los SPT

Ensayo	Coordenadas UTM WGS84	
	X	Y
1	770587	9593868
2	770692	9594015
3	770498	9594052
4	770598	9594136
5	770414	9594123
6	770439	9594224
7	770312	9594213
8	770389	9594271

- Correlación de perfiles estratigráficos**

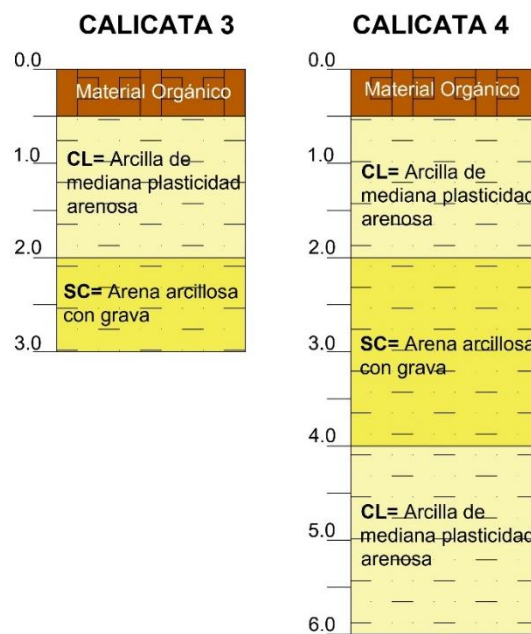
Los perfiles estratigráficos de los sondeos 1 y 2 se realizaron a una profundidad de hasta 5 metros y dieron como resultado una secuencia de materiales correlacionados entre sí, encontrándose en los dos primeros metros de profundidad arcillas de color rojizo-pardo donde se tiene una matriz arcillosa en un 75% con arenas finas que ocupan un 24% y un pequeño porcentaje de clastos de cuarzo. Presenta las mismas características de los afloramientos 3 y 4. A partir del segundo metro y hasta llegar a los 4 metros de profundidad se tiene un cambio de coloración de estas arcillas presentando un color amarillo pálido debido a que tanto las arcillas como las areniscas ocupan una relación de 50% para ambos materiales. En sentido NE la potencia de estas arcillas arenosas disminuye siendo esta de 2 a 3m, incluso encantándose otro estrato donde las arenas predomina sobre las arcillas.

Figura 45. Perfiles estratigráficos de los sondeos 1 y 2



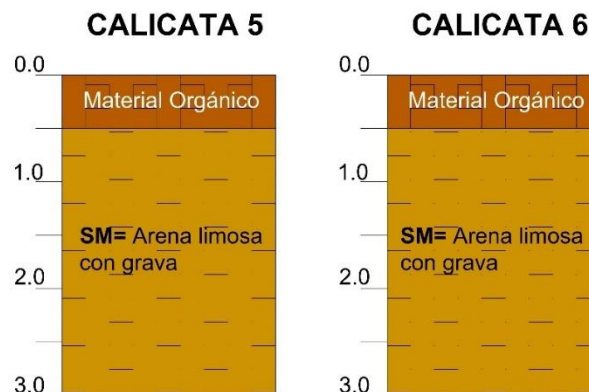
Las calicatas 3 y 4 se correlacionan entre si y presentan una misma secuencia de materiales, hasta la profundidad de 3m que alcanza la calita 3. Continúan describiendo la litología descrita por las calicatas 1 y 2 en donde las arcillas arenosas son las que ocupan los 2 primeros metros hasta encontrarse con las areniscas arcillosas, las cuales en la calicata 4 se encuentra entre la capa de arcillas arenosas lo que indica una erosión del mismo en la dirección SW.

Figura 46. Perfiles estratigráficos de los sondeos 3 y 4



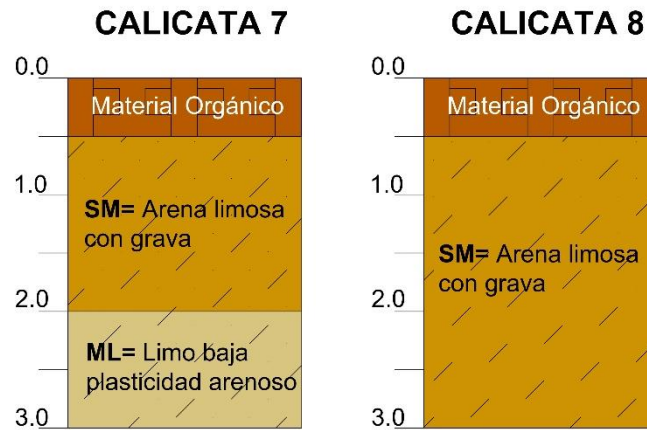
Continua la secuencia litológica, y está caracterizada por la presencia de arenas limosas con gravas idénticas al del afloramiento 7, presentan una coloración amarillo pálido donde las arenas predominan solo los limos con clastos de cuarzo, arenisca y material intrusivo redondeados.

Figura 47. Columnas estratigráficas de los sondeos 5 y 6



Presenta las mismas características de las calicatas 5 y 6 y está comprendido por una aren limosa de las mismas características con una variedad en sus partículas, ya que el porcentaje de arenas respecto a los limos aumenta y disminuye respectivamente. Se encuentra además una capa de limos con matriz arenosa y clastos de materiales aluviales y areniscas de tamaño que van desde los 2cm a 20cm.

Figura 48. Columnas estratigráficas de los sondeos 7 y 8



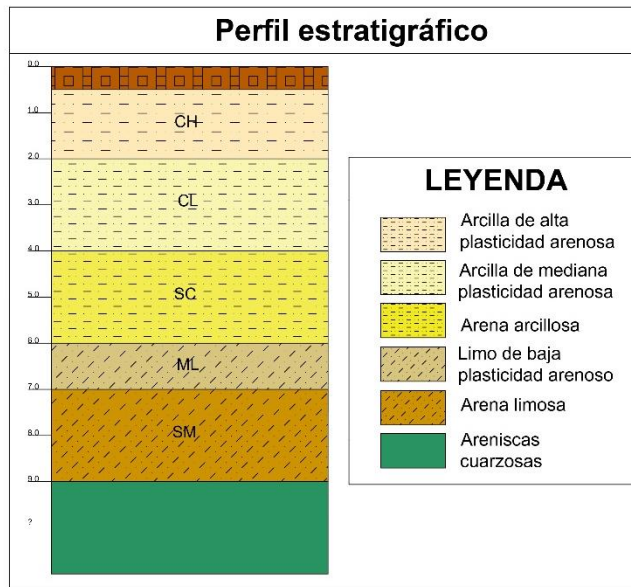
La secuencia litológica del predio destinado para construcción del relleno sanitario presenta características de las areniscas cuarzosas de la formación Hollín y las arcillas rojas de formación Napo, en donde sus partículas se han visto afectadas entre si dando como origen a nuevos estratos.

Desde la parte más superficial hasta llegar a la roca madre de arenisca cuarzosa se puede observar una secuencia de materiales en donde las partículas más pequeñas se encuentran superficialmente y las partículas más grandes se encuentran a medida que se profundiza. Dando como resultado una secuencia litológica donde sus componentes de clastos y matriz varían de porcentaje significativamente siendo la secuencia litológica de la siguiente forma:

- Depositadas sobre las areniscas cuarzosas de la formación hollín se encuentra una capa de 2m de arenas limosas donde la matriz está representada por las arenas en un 88% y las partículas de limo en un 10% con de clastos de cuarzo y roca de arenisca que corresponden al 2%.

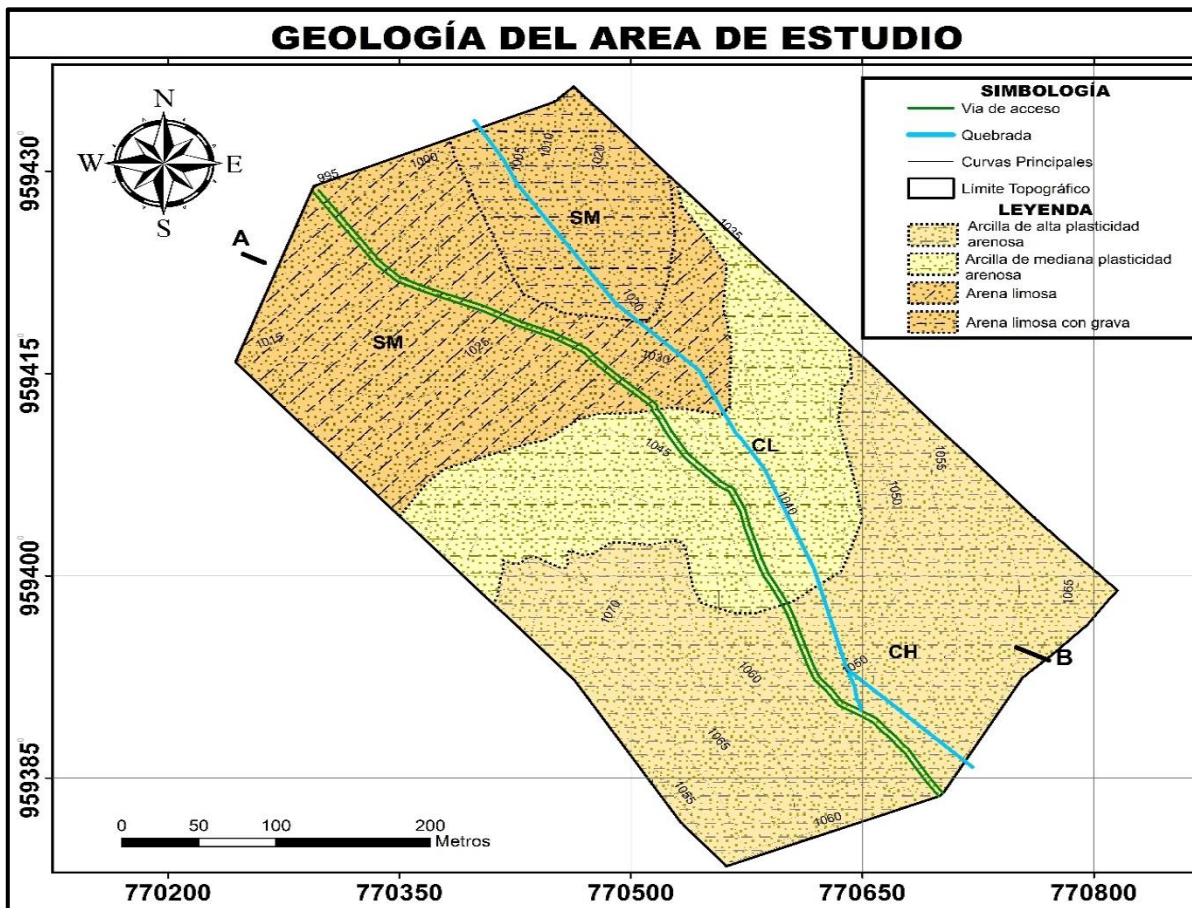
- Sobre la capa de arenas limosas se encuentra una de limos arenosos donde la matriz está representada por los limos de color amarillo pálido que ocupan un 54%, los limos predominan en la siguiente capa y la matriz se convierte en limo y a medida que siguen subiendo las partículas de arcilla comienzan a predominar más hasta llegar a la capa de arcillas de color rojizo pardo.

Figura 49. Litología de la zona de estudio



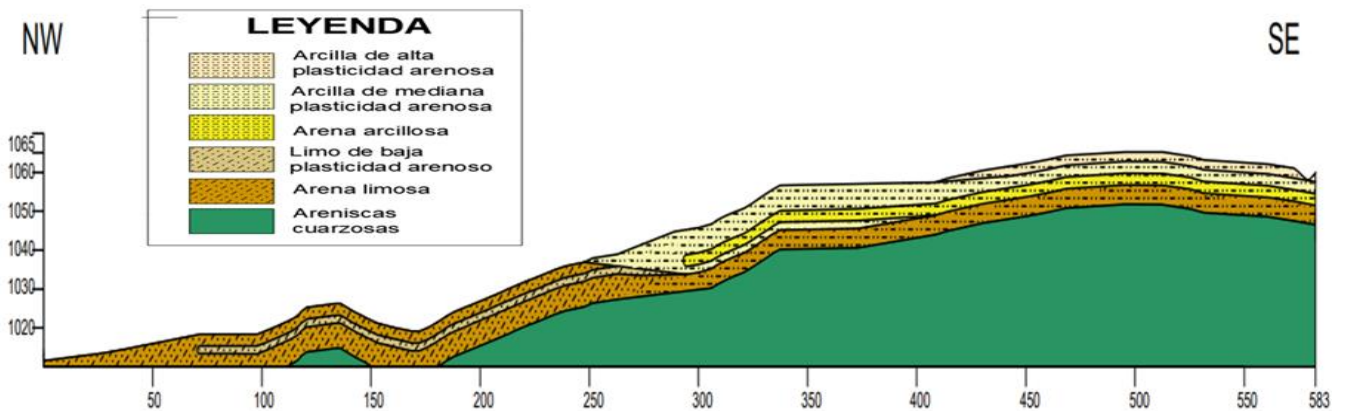
Superficialmente los materiales observables son las arcillas las cuales disminuyen su pureza a medida que se baja de cuota hasta llegar a un punto que la matriz pasa a ser la arena convirtiéndose en arenas limosas con grava.

Figura 50. Geología del predio destinado para la construcción del relleno



El corte geológico indica el comportamiento geológico que sufrió la zona de estudio donde se han depositado sobre las areniscas cuarzosas de la formación Hollín una capa de arenas limosas las cuales sufrieron una erosión diferencial en la zona superior, depositando en un segundo periodo los limos siendo estos igual erosionados en la parte superior y colocándose sobre estos las arenas arcillosas y arcillas.

Figura 51. Corte geológico en dirección NW-SE



6.2. Propiedades físico mecánicas del área de estudio

Las propiedades físico mecánicas de los materiales del predio de estudio están muy relacionadas a sus características geológicas en donde su granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg, clasificación S.U.C.S, capacidad admisible y permeabilidad presentan una variabilidad significativa a medida que se profundiza, los resultados de los 8 ensayos SPT llegaron hasta una profundidad de 3m sin tomar en cuenta el metro que está compuesto por material orgánico y el alterado por la cobertura vegetal.

En donde el suelo es arcilloso la profundidad de los ensayos llegan hasta los 5 metros y a medida que se profundiza la permeabilidad de estas disminuye mientras que su compactación aumenta siendo un suelo mucho más resistente.

6.2.1. Comportamiento físico mecánico a la profundidad de 1 a 2 metros

El comportamiento físico mecánico para la construcción del relleno requiere de ciertos criterios tanto para elegir los lugares donde serán las celdas y donde se colocará la basura y las infraestructuras complementarias. Al alcanzar la profundidad de 1 a 2m se obtuvieron los resultados expuestos en la tabla 24; donde los materiales que predomina en el predio destinado para la construcción del relleno son las arcillas y las arenas

Para la construcción del relleno sanitario las arcillas que se encuentran en la zona son clasificadas en arcilla alta plasticidad arenosa (CH) y arcilla mediana plasticidad arenosa (CL), donde las arcillas CH presentan partículas finas que no superan los 0.074mm y ocupan un 74% y su coeficiente de permeabilidad va desde 0,18cm/h a 0,25cm/h considerándose un suelo impermeable el cual ha sufrido alteración debido a los efectos de la vegetación y el intemperismo, el cual presenta una capacidad admisible para soportar construcciones de 23,6 Tn/m² a 28,6 Tn/m².

Las arcillas CL presentan un menor porcentaje de partículas finas ocupando un 56% y su coeficiente de permeabilidad va desde 1,05cm/h a 1,7cm/h considerándose también un suelo impermeable el cual ha sufrido alteración debido a los efectos de la vegetación y el intemperismo, el cual presenta una capacidad admisible para soportar construcciones de 26,3 Tn/m² a 31,95 Tn/m². Para la construcción de las infraestructuras como la planta de tratamiento, botaderos, estaciones de transferencia, talleres y bodegas, el suelo arcilloso al tener un mal drenaje constituye un problema que puede afectar las cimentaciones poco profundas.

Las arenas del predio están clasificadas como arenas limosas y arena limosa con grava (SM) constituye un suelo mal graduado en donde las partículas de arena están entre 0,074mm a 4,75 mm y están representadas por el 84% el drenaje de estas arenas es bueno y su permeabilidad varia de 114cm/h a 57cm/h siendo un suelo acto y competente para la edificación de infraestructuras en donde puede admitir construcciones de hasta 25,7 Tn/m² a 31,55 Tn/m² en donde las cimentaciones no serán afectadas por la humedad, no es una zona apta para la construcción del relleno, debido a que su permeabilidad es alta.

Tabla 22. Resultados de los 8 ensayos SPT realizados a la profundidad de 1 a 2 metros

SPT	Color	% de agua	Granulometría %			Límites (%)			Clasificación S.U.C.S		q admisible (kg/cm ²)		
			Grav a	Aren a	Fino s	L.L	L.P	I.P	Tip o	Descripció n	Zapata		Losa de ciment .
											Aislad a	Corrid a	
1	Pardo amarillo claro	40,02	1	35	64	62,26	20,48	41,78	CH	Arcilla alta plasticidad arenosa	2,84	2,34	5,05
	Permeabilidad cm/h		0,25			Permeabilidad cm/s			6,94x10 ⁻⁵				
2	Amarillo pálido	33,14	1	16	83	54,17	24,87	29,3	CH	Arcilla alta plasticidad con arena	2,88	2,37	5,13
	Permeabilidad cm/h		0,18			Permeabilidad cm/s			5x10 ⁻⁵				
3	Amarillo	27,62	1	37	62	30,66	17,56	13,09	CL	Arcilla mediana plasticidad arenosa	3,17	2,61	5,64
	Permeabilidad cm/h		1,05			Permeabilidad cm/s			2,92x10 ⁻⁴				
4	Amarillo	24,81	1	49	50	39,63	23,18	16,46	CL	Arcilla mediana plasticidad arenosa	3,22	2,65	5,73
	Permeabilidad cm/h		1,7			Permeabilidad cm/s			4,72x10 ⁻⁴				
5	Amarillo rojizo	19,42	13	71	16	0	0	0	SM	Arena limosa con grava	2,99	2,43	5,43
	Permeabilidad cm/h		57			Permeabilidad cm/s			0,016				
6	Amarillo pálido 5Y8/4	16,34	2	86	12	0	0	0	SM	Arena limosa	3,21	2,60	5,82
	Permeabilidad cm/h		76			Permeabilidad cm/s			0,021				
7	Amarillo pálido 5Y8/4	14,45	0	92	8	0	0	0	SP SM	Arena mal graduada con limo	3,34	2,70	6,05
	Permeabilidad cm/h		114			Permeabilidad cm/s			0,0317				
8	Amarillo olivo 2.5Y	9,16	5	85	10	0	0	0	SM	Arena limosa	3,08	2,50	5,59
	Permeabilidad cm/h		91			Permeabilidad cm/s			0,025				

Nota: Los suelos arcillosos están comprendidos desde el SPT 1 al SPT 4 y los suelos arenosos son representados desde el SPT 5 hasta llegar al SPT 8.

6.2.2. Comportamiento físico mecánico a la profundidad de 2 a 3 metros

Para cimentaciones profundas mayores a los 2 metros el suelo que se presenta en el predio está representado en su mayoría por las partículas de arena y disminuyendo las acillas: en clasificación SUCS se identificaron 4 clases en donde:

El suelo (CL) es una arcilla de mediana plasticidad arenosa en donde su coeficiente de permeabilidad está representada por 0,76 cm/h presentando un buen drenaje aunque con una

permeabilidad en la que en una hora de tiempo no deja pasar menos de 1cm de agua por lo que se lo considera como un suelo impermeable que ha sufrido alteraciones por producto del intemperismo se puede observar un suelo mucho más firme de color de color amarillo pálido en donde predominan las partículas finas en un 56% la capacidad portante aumenta llegando hasta 37,5 ton/m².

Los limos de baja plasticidad arenosa (ML) se encuentran como resultado en el SPT 2 Y el SPT 7 en donde la permeabilidad en el SPT 2 llega a 1,1 cm/h mientras que la permeabilidad en el SPT 7 llega hasta 7 cm/h mantienen un buen drenaje, aunque son considerados materiales casi materiales casi impermeables en donde su capacidad portante llega hasta las 42,1 Ton/m².

La arena arcillosa con grava (SC) se caracteriza por presentar un 67% de partículas de arena y un 30% de partículas inferiores a la malla 200 y un 3% de gravas, constituye un material mucho más resistente donde se encuentra la capacidad portante más alta a esta profundidad con 50,4 Ton/m² y una permeabilidad buena en la que de 5 a 19 cm de agua son absorbidos en el tiempo de 1 hora siendo un material no tan impermeable.

Para las arenas limosas (SM) predominan las partículas de arena conformando el 80%, un 15% de partículas finas y un 5% de gravas su permeabilidad varia desde los 39cm/h a los 87cm/h donde existe un buen drenaje propio de las arenas y su capacidad portante llega hasta las 41,2 Ton/m²



Figura 52. Arcillas presentes en la zona al excavar a una profundidad de 5 metros

Tabla 23. Resultados de los 8 ensayos SPT realizados a la profundidad de 2 a 3 metros

SPT	Color	% de agua	Granulometría %			Límites (%)			Clasificación S.U.C.S		q admisible (kg/cm ²)		Losa de ciment
			Grav a	Aren a	Fino s	L.L	L.P	I.P	Tip o	Descripció n	Zapata		
											Aislad a	Corrid a	
1	Amarillo pálido	32,89	0	44	56	44,92	18,68	26,23	CL	Arcilla mediana plasticidad arenosa	4,9	3,75	6,53
	Permeabilidad cm/h		0,76			Permeabilidad cm/s			2,1x10 ⁻⁴				
2	Rojo débil	31,51	0	30	70	45,33	26,89	18,44	ML	Limo baja plasticidad arenosa	5,71	4,34	7,69
	Permeabilidad cm/h		1,1			Permeabilidad cm/s			3,05x10 ⁻⁴				
3	Amarillo pálido	26,79	7	74	19	26,63	17,82	8,806	SC	Arena arcillosa con grava	6,14	4,61	8,32
	Permeabilidad cm/h		19			Permeabilidad cm/s			5,27x10 ⁻³				
4	Amarillo pálido	20,39	0	59	41	34,66	20,59	14,08	SC	Arena arcillosa con grava	7,29	5,47	9,88
	Permeabilidad cm/h		5			Permeabilidad cm/s			1,4x10 ⁻³				
5	Amarillo pálido	21,80	10	66	23	0	0	0	SM	Arena limosa con grava	5,88	4,41	7,96
	Permeabilidad cm/h		39			Permeabilidad cm/s			0,011				
6	Amarillo pálido 5Y8/4	15,53	0	86	14	0	0	0	SM	Arena limosa	5,66	4,25	7,67
	Permeabilidad cm/h		67			Permeabilidad cm/s			0,0186				
7	Amarillo pálido 5Y8/4	12,77	5	41	54	0	0	0	ML	Limo baja plasticidad arenosa	5,44	4,08	7,37
	Permeabilidad cm/h		7			Permeabilidad cm/s			1,94x10 ⁻³				
8	Amarillo olivo 2.5Y	8,98	6	87	7	0	0	0	SM	Arena limosa	4,93	3,70	6,68
	Permeabilidad cm/h		87			Permeabilidad cm/s			0,024				

Nota: Los suelos arcillosos están comprendidos en el SPT 1; los suelos limosos están en el SPT 2 y SPT 7; los suelos arena arcillosos en los SPT 3 y SPT 4; y los suelos arenosos son representados desde el SPT 5, SPT 6 y SPT 8.

6.2.3. Comportamiento físico mecánico a la profundidad de 3 a 4 metros

Solo los SPT 1, 2 y 4 permitieron llegar a una profundidad mayor a los 3 metros en donde predomina las arcillas y la arena arcillosa a esta profundidad el material está prácticamente compactado y homogéneo, no presenta meteorización y la existencia de nivel freático no se observa durante el ensayo.

Las arcillas de mediana plasticidad arenosa (CL) presentan un 58% de materiales inferiores a la malla 200 y un 42% comprendido por materiales de partículas del tamaño de la arena su coloración debido a los silicatos de la zona es de un amarillo pálido y su permeabilidad llega de 1,15 cm/h a 1,2 cm/h siendo considerados suelos casi impermeables con un buen drenaje donde absorbe hasta un 28% de agua al ser un material que no presenta alteración alguna su capacidad portante llega hasta las 51 Ton/m².

Las arenas arcillosas (SC) del SPT 4 están compuestas por una igualdad en sus partículas en donde las arenas y los finos ocupan la mitad respectivamente con una permeabilidad del 3,05cm/h considerada como un suelo impermeable pero que tiene un buen drenaje su capacidad portante es de 72 Ton/m².

Tabla 24. Resultados de los ensayos SPT 1,2 y 4 realizados a la profundidad de 3 a 4 metros

SPT	Color	% de agua	Granulometría %			Límites (%)			Clasificación S.U.C. S		q admisible (kg/cm ²)		
			Grav a	Aren a	Fino s	L.L	L.P	I.P	Tip o	Descripció n	Zapata		Losa de ciment .
											Aislada	Corrida	
1	Amarillo pálido	32,56	0	45	55	43,06	23,96	19,09	CL	Arcilla mediana plasticidad arenosa	6,95	5,16	7,95
	Permeabilidad cm/h		1,2			Permeabilidad cm/s			3,33x10 ⁻⁴				
2	Amarillo	30,35	1	38	61	47,3	27,16	20,14	CL	Arcilla mediana plasticidad arenosa	6,80	5,04	7,77
	Permeabilidad cm/h		1,15			Permeabilidad cm/s			3,2x10 ⁻⁴				
4	Rojo débil	21,04	0	50	50	27,64	17,43	10,22	SC	Arena arcillosa	9,94	7,2	11,51
	Permeabilidad cm/h		3,05			Permeabilidad cm/s			8,472x10 ⁻⁴				

Nota: Los suelos arcillosos están comprendidos en el SPT 1 y SPT 2 mientras que los suelos arena arcillosos en el SPT 4.

6.2.4. Comportamiento físico mecánico a la profundidad de 4 a 5 metros

Están clasificados en dos clases arena arcillosa (SC) y arcilla de mediana a baja plasticidad arenosa (CL). Para la zona donde se realizó el SPT 1 las partículas de arena predominan en un 60% y las finas en un 40% constituye un material de color amarillo pálido el cual se encuentra totalmente compactado en donde la capacidad portante llega hasta las 66,7 Ton/m² la permeabilidad es de 6 cm/h presentando un buen drenaje el cual lo hace un material casi impermeable con modificaciones debido al intemperismo, al predominar las partículas de arena.

Para la arcilla de mediana plasticidad arenosa (CL) del SPT 2 la permeabilidad es de un 1cm por hora lo que lo hace un material impermeable, pero con drenaje casi bueno su capacidad portante es de 63,2 Ton/m² para el SPT4 el índice de plasticidad disminuye por lo que la arcilla de esta zona es mucho más permeable que la del SPT2 llegando a 2,3 cm/h encontrándose dentro de los materiales permeables, pero con un drenaje bueno. La capacidad portante llega hasta los 70Ton/m².

Tabla 25. Resultados de los ensayos SPT 1,2 y 4 realizados a la profundidad de 4 a 5 metros

SPT	Color	% de agua	Granulometría %			Límites (%)			Clasificación S.U.C. S		q admisible (kg/cm ²)		
			Grav a	Aren a	Fino s	L.L	L.P	I.P	Tip o	Descripció n	Zapata		Losa de ciment .
											Aislad a	Corrid a	
1	Amarillo pálido	27,87	0	60	40	43,06	23,96	19,09	SC	Arena arcillosa	9,16	6,67	9,57
	Permeabilidad cm/h		6			Permeabilidad cm/s			1,66x10 ⁻³				
2	Rojo débil	27,73	2	43	55	47,30	27,16	20,14	CL	Arcilla mediana plasticidad arenosa	8,68	6,32	9,07
	Permeabilidad cm/h		1			Permeabilidad cm/s			2,77x10 ⁻⁴				
4	Amarillo pálido	22,69	0	31	69	27,64	17,43	10,22	CL	Arcilla baja plasticidad arenosa	9,61	7,00	10,04
	Permeabilidad cm/h		2,3			Permeabilidad cm/s			6,4x10 ⁻⁴				

6.2.1. Comportamiento físico mecánico a la profundidad de 5 a 6 metros

En la zona donde se realizó el SPT 4 se llegó a una profundidad mayor a los 5 metros en donde se encontró un material arcilloso clasificado como (CL) el cual presenta una plasticidad baba del 12,68% su permeabilidad llega a los 2,3cm/ h siendo considerado un material impermeable con alteraciones por el intemperismo con un drenaje casi bueno y una capacidad portante de 85,9 Ton/m² donde pude absorber hasta un 20,61% de agua.

Tabla 26. Resultados del ensayo SPT 4 realizado a la profundidad de 5 a 6 metros

SPT	Color	% de agua	Granulometría %			Límites (%)			Clasificación S.U.C. S		q admisible (kg/cm ²)		
			Grav a	Aren a	Fino s	L.L	L.P	I.P	Tip o	Descripció n	Zapata		Losa de ciment .
											Aislad a	Corrid a	
4	Amarillo pálido	20,61	4	48	48	31,77	19,09	12,68	CL	Arcilla mediana plasticidad arenosa	11,95	8,59	11,82
	Permeabilidad cm/h		2,3			Permeabilidad cm/s			6,4x10 ⁻⁴				

6.3. Parámetros ingenieriles

6.3.1. Zonas de construcción del relleno sanitario

Definir las zonas en donde se construirán definitivamente las infraestructuras que comprenden un relleno sanitario se basan principalmente en los resultados geológicos y geotécnicos que presenta el predio destinado para este fin, con el propósito de elegir las zonas más idóneas para dichas infraestructuras.

6.3.1.1. Análisis geológico-geotécnico del predio destinado para la construcción del relleno sanitario

Un relleno sanitario requiere de un su suelo de fundición competente que se encuentre impermeabilizado y sobre todo que tenga material de cobertura diaria, intermedia y final apropiado para la operación y funcionalidad del mismo.

Para la elección del lugar más idóneo para la construcción del relleno sanitario existen 3 zonas donde se puede construir el relleno sanitario donde existe la presencia de arcillas de alta a mediana plasticidad arenosa, ver figura 53.

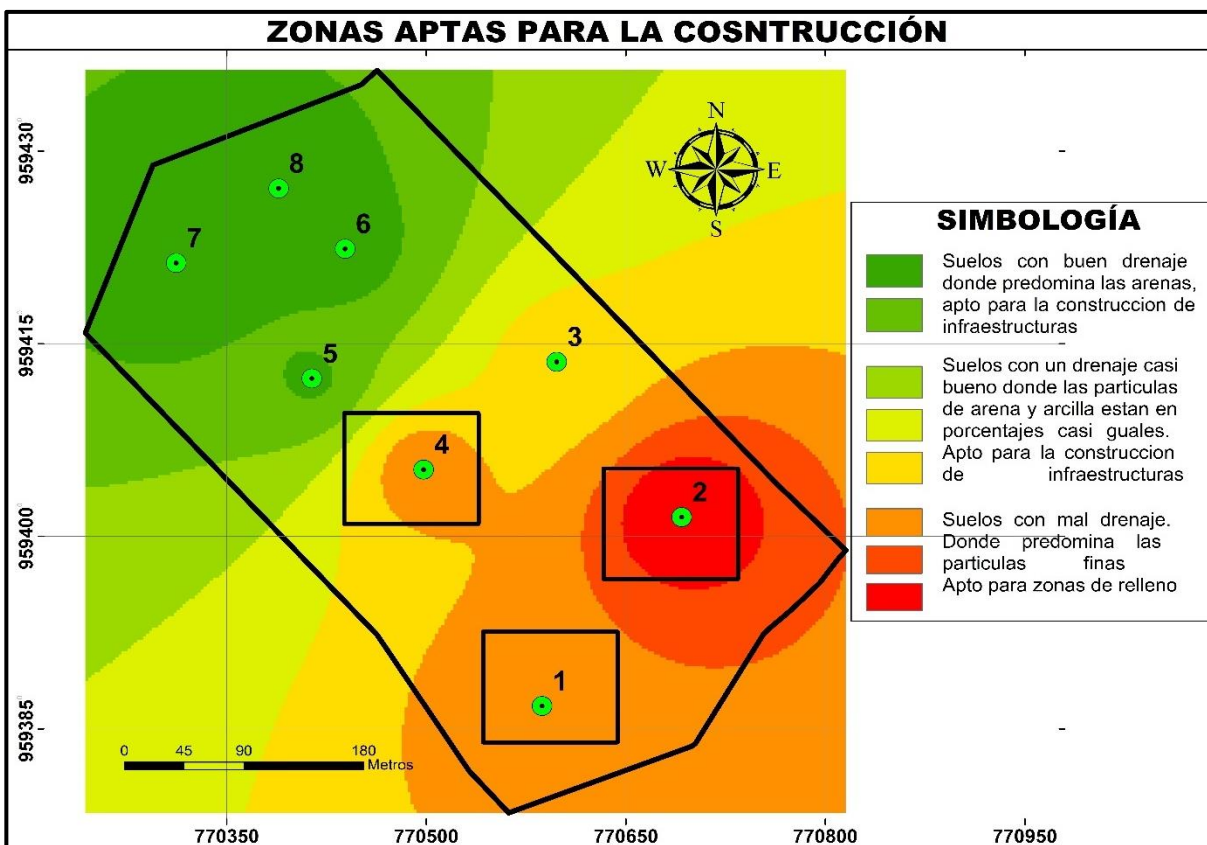
Superficialmente La zona donde se realizó el SPT 1 está rodeada de una cobertura vegetal exuberante con clastos de arenisca cuarzosa y arcillas de color rojizo-pardo, a la profundidad de 1 a 4 metros cuenta con 3 metros de arcilla compactada la cual no presenta estratificación ni fallas lo que indica que no ha sido sometida a esfuerzo alguno y se caracteriza porque el primer metro tiene una alta plasticidad e impermeabilidad en donde 1cm de agua atraviesa en el tiempo de 4 horas, puede almacenar hasta un 40,02% de agua por lo que lo hace una acilla expansiva al ser sobresaturada de agua; los otros 2 metros de arcilla presentan una disminución de plasticidad y permeabilidad siendo de 0,7cm/h a 1,2cm/h y puede almacenar hasta un 33% de agua. Estas condiciones lo hacen un lugar apto para la construcción del relleno sanitario debido a su permeabilidad permitiendo aplicar zanjas de hasta 3 metros de profundidad en donde la capacidad portante llega a los 51,6 Ton/m² aunque existirán dificultades en las operaciones debido al mal drenaje superficial que existió debido a la alta impermeabilidad de las arcillas.

La zona donde se realizó el SPT 2 presenta características similares a las arcillas del SPT 1, en donde a la profundidad de 1 hasta 5 metros presenta 1 metro de arcilla de alta plasticidad y una permeabilidad en la que 1cm de agua se demora hasta 5 horas en atravesar dicho material los otros 3 metros la permeabilidad de las arcillas disminuye el tiempo en donde en 1 hora atraviesa de 1 a 1,15cm de agua. Lo que permite aplicar zanjas de hasta 4 metros de

profundidad y alcanzando una capacidad portante de 63,2 Ton/m² y logra almacenar hasta un 30% de agua lo que lo hace una arcilla expansiva haciéndola una zona apta para la construcción del relleno, pero dificultando las operaciones que se realizaran en el relleno. La zona 3 hasta una profundidad de 1 a 6 metros presenta una arcilla de mediana plasticidad la cual no presenta estratificación alguna observable (figura 52) se encuentra afectada por una arena arcillosa en el tramo de 2 a 4 metros y la permeabilidad de esta es de 5 cm/h a 3,05cm/h la permeabilidad de la arcilla es de 1,7cm/h a 2,3cm/h. Constituye la zona más idónea para construir el rellenos sanitario debido a que el drenaje cercano a esta zona es bueno y el drenaje del suelo de fundición es impermeable pero con drenaje poco deficiente, aporta un mejor uso del suelo ya que permite construir trincheras de hasta 5 metros de profundidad y al tener una capacidad portante de hasta 85,9 Ton/m² permite aplicar el método combinado.

Para la construcción de las infraestructuras del relleno sanitario están las zonas donde se realizaron los SPT del 5 al 8, donde las cimentaciones de las infraestructuras que se vayan a realizar no serán afectadas por la humedad por el buen drenaje que existe y por el suelo competente que tiene una capacidad portante de hasta 24,3 Ton/m² a 27 Ton/m² para cimentaciones no mayores a los 2 metros de profundidad.

Figura 53. Lugares donde se va a construir el relleno sanitario,



6.3.2. Análisis de pendientes

Las pendientes del área de estudio están clasificadas en base al Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos “CLIRSEN” (Ver tabla 16). Estimando así los resultados que se puede observar en la figura 54.

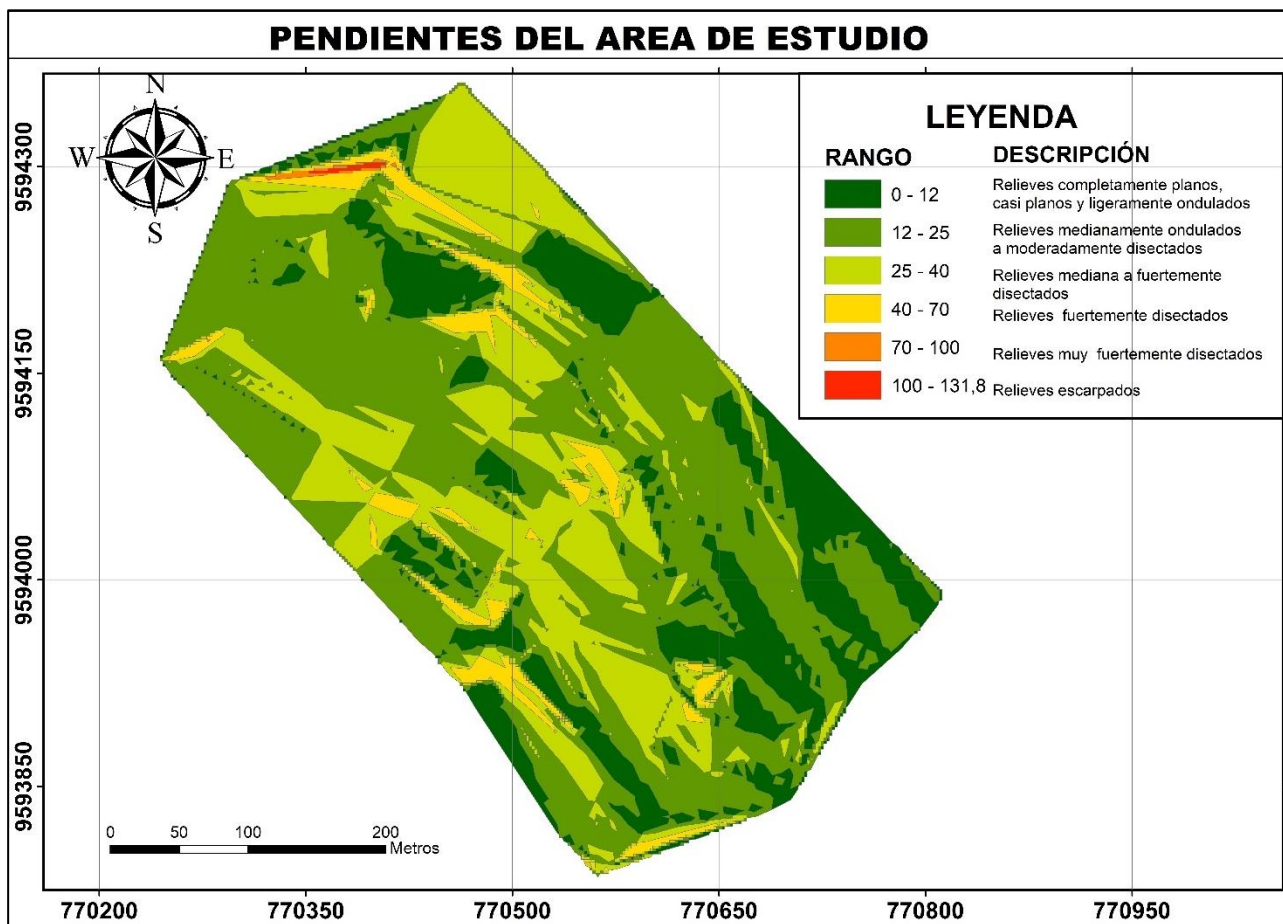


Figura 54. Pendientes del área de estudio

Las pendientes que se presentan son 6 clases que son relieves completamente planos, casi planos y ligeramente ondulados, relieves medianamente ondulados a moderadamente disectados, relieves mediana a fuertemente disectados, relieves fuertemente disectados, relieves muy fuertemente disectados y relieves escarpados.

A continuación, se presenta una tabla resumen de las pendientes con las respectivas áreas existentes en la zona:

Tabla 27. Clases de pendientes que existe en la zona

Rango (%)	Clase	Descripción	Área (m2)	Porcentaje
0 – 12; NA	1	relieves completamente planos, casi planos y ligeramente ondulados	33040,37	19,60
> 12 - 25	2	relieves medianamente ondulados a moderadamente disectados	83150,835	49,33
> 25 - 40	3	relieves mediana a fuertemente disectados.	44390,5291	26,33
> 40 - 70	4	relieves fuertemente disectados.	7510,81	4,45
> 70 - 100	5	relieves muy fuertemente disectados	285,52	0,169
> 100 - 150	6	relieves escarpados.	172	0,10204

Tabla 28. Unidades de relieve

Relieve	Alturas	pendiente (%)	Área (%)
Colinas Medianas	25 a 75 metros	40-70 o mas	4,74
Colinas pequeñas	25 a 5 metros	25-40	26,33
Cuestas	5 a 2 metros	12-25	49,33
Terrazas	Menor a 2 metros	0-12	19,6

6.3.2.1. Zonas de escorrentía

Debido a las características del relieve del predio, las zonas de máxima pendiente por donde pasaran las aguas pluviales están representadas en la figura 55 y como resultado de esto, se puede observar que naturalmente la mayoría de estas desembocan en la quebrada que pasa por el predio, al igual también afecta de forma general todo el predio afectando la funcionalidad de la vía de acceso y las tres zonas donde se planea construir el relleno sanitario, se puede observar que las zonas más afectadas son donde se realizara la primera y tercera etapa debido a que presenta pendientes que van desde fuertemente disectadas a completamente planos haciendo que las aguas pluviales pasen por esta zona por lo que es importante modificar la pendiente al momento de la construcción para que desemboquen en las cunetas de la vía de acceso.

La zona de la segunda etapa del relleno no es afectada significativamente, pero si necesita de modificaciones para transportan el agua a través de las cunetas que se deben realizar en las vías de acceso.

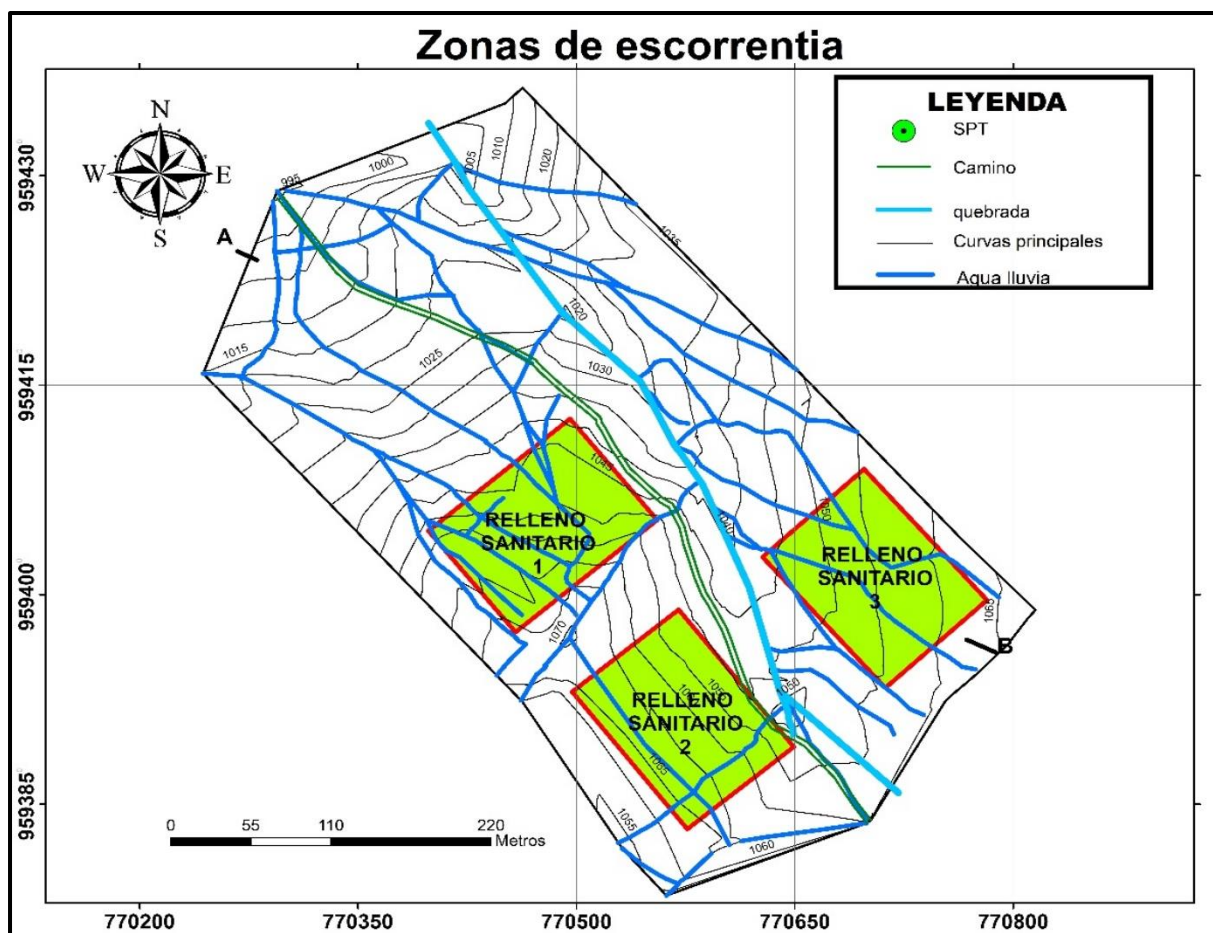


Figura 55. Zonas de mayor escorrentia.

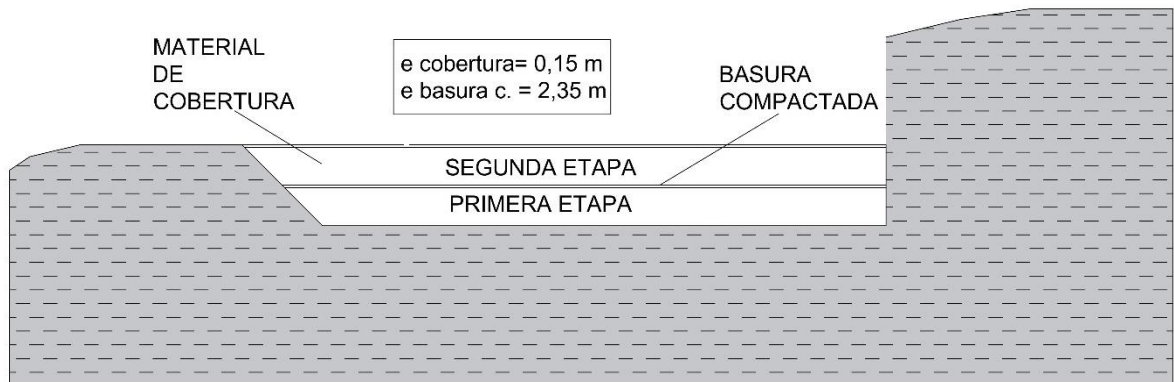
6.3.1. Elección del método constructivo

El método constructivo para el relleno sanitario depende de la topografía de la zona y el tipo de material que se encuentra en esta, es así que al tener un relieve medianamente ondulado a moderadamente disectado con terrazas y colinas pequeñas las cuales presentan materiales como son arcillas, limos y areniscas. Se aplicará la combinación de ambos métodos que consiste en aplicar primeramente el método por trincheras y después se aplicaría el método del área.

La funcionabilidad del método se compone de 5 etapas en la que en la primera etapa se excavara una trinchera de 135m de largo en la parte profunda y 145m en la parte superior por 100m de ancho y una profundidad de 5 metros.

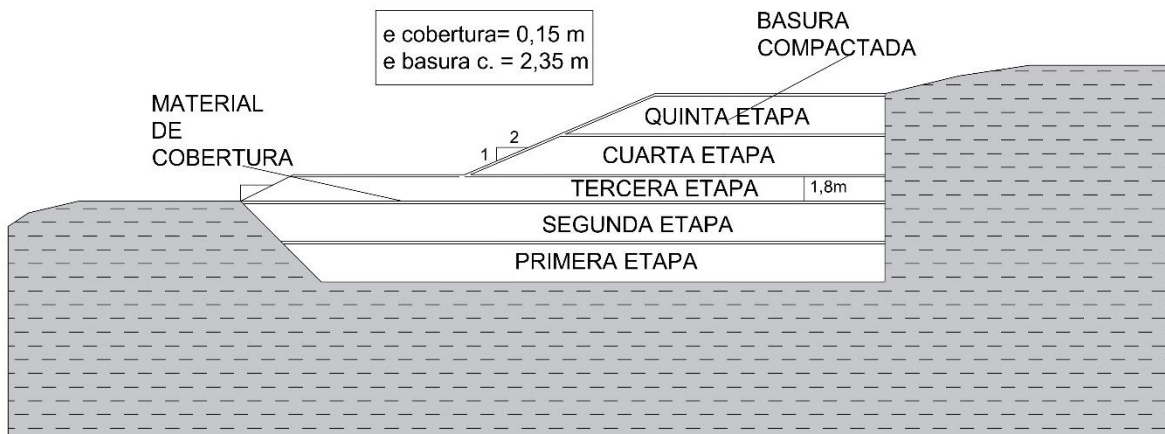
Se compondrá de dos etapas para rellenar esta trinchera. La primera consiste en rellenar con basura compactada hasta alcanzar una altura de 2,35m y se rellena con material arcilloso propio de la zona con una capa de 0,15m. Se repetirá el mismo proceso hasta alcanzar el nivel superficial.

Figura 56. Método de trincheras



Como tercera etapa se aplicará el método del área. Por lo que el espesor de la basura para la tercera etapa será de 1,8m debido a que debe soportar el peso de las otras etapas. Se aplicará dos últimas etapas las cuales siguen el mismo espesor de coberturas. 2,35m para la basura y 0,15 para el material de cobertura.

Figura 57. Aplicación del método del área sobre el método de trincheras



6.3.2. Estabilidad del suelo de fundación y taludes.

Definir el modelo de diseño del método constructivo permite evaluar las cargas a las que serán sometidas las áreas seleccionadas para la construcción, así como garantizar la estabilidad de sus taludes. Es necesario conocer las densidades del futuro material de cobertura y de la basura que se depositara (Ver tabla 29).

Tabla 29. Densidades del estudio de factibilidad y diseño del relleno sanitario del GAD municipal

Densidad de la basura suelta	284,27 kg/m ³
Densidad de la basura compactada	476,70 kg/m ³
Densidad estabilizada	600 kg/m ³
Densidad del material de cobertura	2300 kg/m ³

De acuerdo al modelo de diseño se aplicará la siguiente fórmula para el cálculo de cada una de las etapas que comprende el relleno sanitario

$$V = \left(\frac{a + b}{2} * h \right) * c$$

Donde

a = largo 1

b =largo 2

c =ancho

h =altura

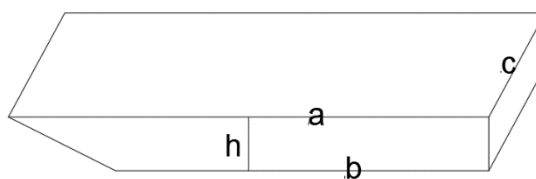


Figura 58. Forma del talud del relleno

- Resumen de cargas aplicadas al área de construcción

Tabla 30. Tabla de cargas del diseño

DESCRIPCIÓN	largo 1 (m)	largo 2 (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)	densidad kg/m ³	Masa (kg)
Primera fase	135	139,7	100	2,35	32277,25	600	19366350
material de cobertura 1	139,7	140	100	0,15	2097,75	2300	4824825
segunda fase	140	144,7	100	2,35	33452,25	600	20071350
material de cobertura 2	144,7	145	100	0,15	2172,75	2300	4997325
tercera fase	145	141,4	100	1,8	25776	600	15465600
material de cobertura 3	141,4	141,1	100	0,15	2118,75	2300	4873125
cuarta fase	90	85,3	100	2,35	20597,75	600	12358650
material de cobertura 4	85,3	80	100	0,15	1239,75	2300	2851425
quinta fase	55	50,3	100	2,35	12372,75	600	7423650
material de cobertura 5	50,3	50	100	0,15	752,25	2300	1730175
TOTAL							93962475

El relleno sanitario tendrá una carga transmitida de:

$$m = p * g$$

$$m = 93962475 \text{ Kg} * 9,81\text{m/s}^2$$

$$m = 921771879,75 \text{ N}$$

La capacidad transmitida que ejercerá sobre el área es igual a:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$q = \frac{921771879,75 \text{ N}}{15000 \text{ m}^2}$$

$$q = \frac{73145,88608\text{N}}{\text{m}^2}$$

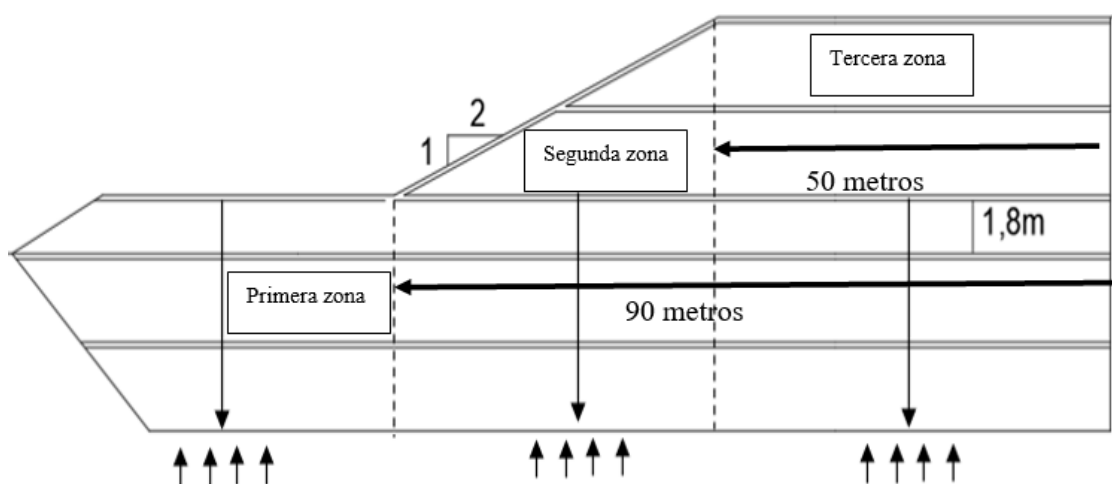
$$q = 61451,45865 \text{ N/m}^2$$

1kg/cm² es igual a 10000 N/m²

$$q = \frac{6,15 \text{ kg}}{\text{cm}^2}$$

Se aplicaría 6,15 Kg/cm² esto si la carga transmitida se aplicara de forma uniforme al área de construcción. Como las columnas que se enganchan a las cimentaciones, distribuyendo la carga a una mayor área. Pero al no ser una obra de estas características la distribución será en 3 zonas, como se puede ver en la figura 59.

Figura 59. Cargas transmitidas



- **Primera zona**

Comprende las tres primeras etapas del diseño donde a todas sus dimensiones se restarán 90 metros. Donde las cargas se dividen en dos partes.

Tabla 31. Cargas en kg para la primera zona

DESCRIPCIÓN	largo 1 (m)	largo 2 (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)	densidad kg/m ³	Masa (kg)
primera fase	45	49,7	100	2,35	11127,25	600	6676350
material de cobertura 1	49,7	50	100	0,15	747,75	2300	1719825
segunda fase	50	54,7	100	2,35	12302,25	600	7381350
material de cobertura 2	54,7	55	100	0,15	822,75	2300	1892325
tercera fase	55	51,4	100	1,8	9576	600	5745600
material de cobertura 3	51,4	51,1	100	0,15	768,75	2300	1768125
TOTAL							25183575

Tabla 32. Cargas del prisma rectangular

DESCRIPCIÓN	largo 1 (m)	largo 2 (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)	densidad kg/m ³	Masa (kg)
primera fase	45	45	100	2,35	10575	600	6345000
material de cobertura 1	45	45	100	0,15	675	2300	1552500
Segunda fase	45	45	100	2,35	10575	600	6345000
material de cobertura 2	45	45	100	0,15	675	2300	1552500
tercera fase	45	45	100	1,8	8100	600	4860000
material de cobertura 3	45	45	100	0,15	675	2300	1552500
TOTAL							22207500

Cargas transmitidas para el prisma rectangular.

$$m = p * g$$

$$m = 22207500 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$m = 217855575 \text{ N}$$

La capacidad transmitida que ejercerá sobre el área es igual a:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$q = \frac{217855575 \text{ N}}{4500}$$

$$q = 48412,35 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

1kg/cm² es igual a 10000 N/m²

$$q = \frac{4,84 \text{ Kg}}{\text{cm}^2}$$

Para la carga transmitida de las rampas se restan las cargas de la primera zona y la parte del prisma rectangular.

$$\text{masa de las rampas} = 25183575 \text{ kg} - 22207500 \text{ kg}$$

$$\text{masa de las rampas} = 2976075 \text{ kg}$$

$$m = p * g$$

$$m = 2976075 \text{ kg} * 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$m = 29195295,75 \text{ N}$$

La capacidad transmitida que ejercerá sobre el área es igual a:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

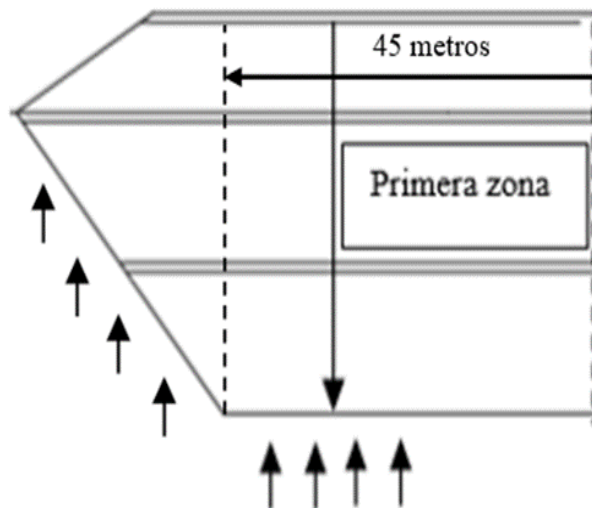
$$q = \frac{29195295,75 \text{ N}}{1000 \text{ m}^2}$$

$$q = 29195,296 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

1kg/cm² es igual a 10000 N/m²

$$q = \frac{2,92 \text{ Kg}}{\text{cm}^2}$$

Figura 60. Cargas para la primera zona



- **Segunda zona**

Se obtuvo las siguientes cargas

Tabla 33. Cargas aplicadas para la segunda zona

DESCRIPCIÓN	largo 1 (m)	largo 2 (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)	densidad kg/m ³	Masa (kg)
primera fase	40	40	100	2,35	9400	600	5640000
material de cobertura 1	40	40	100	0,15	600	2300	1380000
segunda fase	40	40	100	2,35	9400	600	5640000
material de cobertura 2	40	40	100	0,15	600	2300	1380000
tercera fase	40	40	100	1,8	7200	600	4320000
material de cobertura 3	40	40	100	0,15	600	2300	1380000
cuarta fase	40	35,3	100	2,35	8847,75	600	5308650
material de cobertura 4	35,3	30	100	0,15	489,75	2300	1126425
quinta fase	5	0,3	100	2,35	622,75	600	373650
material de cobertura 5	0,3	0	100	0,15	2,25	2300	5175
total							26553900

El relleno sanitario tendrá una carga transmitida de:

$$m = p * g$$

$$m = 26553900 * 9,81m/s^2$$

$$m = 260493759 N$$

La capacidad transmitida que ejercerá sobre el área es igual a:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

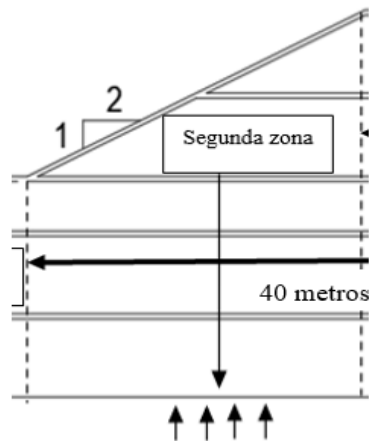
$$q = \frac{260493759 N}{4000 m^2}$$

$$q = \frac{65123,43975N}{m^2}$$

1kg/cm² es igual a 10000 N/m²

$$q = \frac{6,51 kg}{cm^2}$$

Figura 61. Distribución de cargas para la segunda zona



- Tercera zona

Para la cerca zona se aplica el cálculo de volumen para prisma rectangular

Tabla 34. Cargas para la tercera zona

DESCRIPCIÓN	largo 1 (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)	densidad kg/m ³	Masa (kg)
primera fase	50	100	2,35	11750	600	7050000
material de cobertura 1	50	100	0,15	750	2300	1725000
segunda fase	50	100	2,35	11750	600	7050000
material de cobertura 2	50	100	0,15	750	2300	1725000
tercera fase	50	100	1,8	9000	600	5400000
material de cobertura 3	50	100	0,15	750	2300	1725000
cuarta fase	50	100	2,35	11750	600	7050000
material de cobertura 4	50	100	0,15	750	2300	1725000
quinta fase	50	100	2,35	11750	600	7050000
material de cobertura 5	50	100	0,15	750	2300	1725000
total						42225000

El relleno sanitario tendrá una carga transmitida de:

$$m = p * g$$

$$m = 42225000 * 9,81m/s^2$$

$$m = 414227250N$$

La capacidad transmitida que ejercerá sobre el área es igual a:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

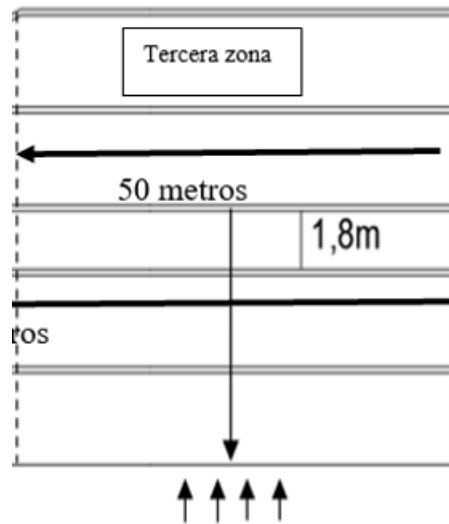
$$q = \frac{414227250 N}{5000 m^2}$$

$$q = \frac{82845,45N}{m^2}$$

1kg/cm² es igual a 10000 N/m²

$$q = \frac{8,285 \text{ kg}}{\text{cm}^2}$$

Figura 62. Cargas para la tercera zona



6.3.2.1. Análisis de asentamientos

- Ensayo de SPT 4. De acuerdo a la planeación en este sector se construirá el primer relleno sanitario por lo que a la profundidad de 5m sin contar el material de cobertura y la capa erosionada, alcanza una capacidad admisible para zapatas corridas de 8,59 kg/cm² y losas de cimentación de 11,82 kg/cm². La mayor zona donde se producirá asentamiento tiene una capacidad de carga transmitida de 8,285 Kg/cm² estando dentro del rango.

Profundidad	q admisible (kg/cm ²)		
	Zapata		Losa de ciment.
	Aislada	Corrida	
1	3,22	2,65	5,73
2	7,29	5,47	9,88
3	9,94	7,2	11,51
4	9,61	7,00	10,04
5	11,95	8,59	11,82

Tabla 35. Capacidades admisibles del ensayo SPT 4

- Ensayo de SPT1. De acuerdo a la planeación en este sector se categoriza como una segunda opción para otro posible relleno sanitario por lo que a la profundidad de 5m alcanza una capacidad recomendada que va desde los 6,67 kg/cm² y que no sobrepase los 9,57 kg/cm².

Profundidad	q admisible (kg/cm ²)		
	Zapata		Losa de ciment.
	Aislada	Corrida	
1	2,84	2,34	5,05
2	4,9	3,75	6,53
3	6,95	5,16	7,95
4	9,16	6,67	9,57

Tabla 36. Capacidad admisible del ensayo SPT1

- Ensayo de SPT2. De acuerdo a la planeación en este sector se categoriza como una tercera opción para otro posible relleno sanitario por lo que a la profundidad de 5m alcanza una capacidad recomendada que va desde los 6,32 kg/cm² y que no sobrepase los 9,07 kg/cm².

Profundidad	q admisible (kg/cm ²)		
	Zapata		Losa de ciment.
	Aislada	Corrida	
1	2,88	2,37	5,13
2	5,71	4,34	7,69
3	6,80	5,04	7,77
4	8,68	6,32	9,07

Tabla 37. Capacidades admisibles del ensayo SPT2

6.3.1. Condiciones hidrogeológicas, generación de lixiviados

6.3.1.1. Condiciones hidrogeológicas de la zona de estudio.

Debido al material que predomina en el área de construcción, son las arcillas, el nivel freático se encuentra cercano a la superficie. Es importante estudiar la precipitación pluvial del lugar, con el fin de establecer las características de los drenajes perimetrales y las obras necesarias. Así se minimizarán la producción del líquido lixiviado o percolado y se evitará la contaminación de las aguas. Las precipitaciones pluviales presentan los siguientes resultados:

AÑO MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC
2013	128,6	207,4	118,9	149,9	226,6	247,7	189,8	100,6	177	166,4	84,5	121,9
2012				237,9	199,1	182	181,1	184,7	97,8	71	124,9	106,7
2011	69,9	156,6	113,9	289,6	190,3	137,1	205,4	87,9	131,2	47,7	0	
2010	55,4	103,8	95,8	217,5	290,6	149,4	292,8	94,2	93			
2009	190,7		145,8	225,2	143,2	140,4	228,7	136,9	143,5	141,9	102	211,5
2008	132,8	120,7	145,7	159	198,4	205,7	198,2	82	239,2	196,3	264,2	122,6
2007	176	55,7	216	335,1	230,9	282,6	142,7	188,3	100,4	262,7	193,4	112,8
2006	147,9	158,2	166	166,8	101,4	222,3	155,3	89,8	86,4	65,7	116,7	239,4
2005	44,6	165,5	126	265	152,4	164,9	159,3	42,9	93,8		83,8	171,8
2004	74,9	79,3	185,9	175	159,8	148	169,5		101,8	152,2	188,1	125,3
2003	167,7	121,8	70	216,9	183,8	154,5	130	67,7	81,7	173,7	106,8	66
2002	104,2	125,6	190,2	226,7	179,2	141,5	202	127,1	76,3	145,1	143,4	173,3
2001		143,3	188,3	351	191,8	159,9	147,5	73,9	158,2	141,7	81,1	161,2
2000	62,8	164,3	178,7	170,9	193,4	256,9	127,5	140,2	165,8	93,7	68,4	99,1
1999	196,9	143,1	143,8	192,9	232,9	198,7	156,4	96	120	92,3	90	145,8
1998	211,1	116,2	201,8	186,4		127,8	126,6	57,1	66,7	129,2	87,5	77,2
1997	94,4	183,6	188,8	129,2	164,9	96,4	89,1	351,6	134	75,8	149	126,5
1996	115,4	76,7	142,1	142,5	93,7	99,1	142,1	146,8	138,5	91,8	50,9	70,8
1995	91,7	51,8	152,1	180,6	135,1	174,3	132,5	53,9	79,6	67,7	227,6	124,8
PROMEDIO	121,5	127,9	153,9	211,5	181,5	173,1	167,2	117,9	120,3	124,4	120,1	132,7
PROMEDIO DE 1993-1984	110,05	157,76	157,88	184,29	161,47	147,29	130,31	96,812	118,22	143,144	123,225	107,96
TOTAL	115,8	142,8	155,9	197,9	171,5	160,2	148,7	107,3	119,2	133,8	121,7	120,4

Tabla 38. Resultados de los datos del INAMHI desde el 2013-1984 en mm

El registro de los datos del INAMHI desde el 2013 hasta 1984 indican que el cantón el Pangui presenta precipitaciones que van desde los 1600 hasta los 2200 normalmente. Aunque se registra datos en los que su valor mínimo por año ha alcanzado los 1310mm (año 1996) hasta los 2300mm (año 2007).

Los meses en los que más llueve son febrero, marzo, abril y mayo. Mientras que los meses que registran menores precipitaciones son agosto, septiembre, diciembre y enero.

Registrándose un promedio de **141,26 mm** por mes, con temperaturas que alcanzan los 22°C a 24°C.

6.3.1.2. Condiciones del suelo, donde se construirá el relleno sanitario

Las características del material donde se construirá el relleno indican que su porcentaje de humedad es del 20,61%. El límite líquido que es el límite entre el estado semilíquido y plástico es de 31,77%, el límite plástico que indica el límite entre los estados semi sólido y plástico es de 19,09% y el índice de plasticidad que es el rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene plástico es de 12,68%.

Tabla 39. Datos del SPT4

Profundidad	% de agua	Límites (%)		
		L.L	L.P	I.P
1 a 2	24,81	39,63	23,18	16,46
2 a 3	20,39	34,66	20,59	14,08
3 a 4	21,04	27,64	17,43	10,22
4 a 5	22,69	27,64	17,43	10,22
5 a 6	20,61	31,77	19,09	12,68

La humedad de la muestra es del 27,87%. El límite líquido que es el límite entre el estado semilíquido y plástico es de 43,06%, el límite plástico que indica el límite entre los estados semi sólido y plástico es de 23,96% y el índice de plasticidad que es el rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene plástico es de 19,09%.

Profundidad	% de agua	Límites (%)		
		L.L	L.P	I.P
1 a 2	40,02	62,26	20,48	41,78
2 a 3	32,89	44,92	18,68	26,23
3 a 4	32,56	43,06	23,96	19,09
4 a 5	27,87	43,06	23,96	19,09

Tabla 40. Datos del SPT 1

La humedad de la muestra es del 27,73%. El límite líquido que es el límite entre el estado semilíquido y plástico es de 47,30%, el límite plástico que indica el límite entre los estados semi sólido y plástico es de 27,16% y el índice de plasticidad que es el rango de humedad dentro del cual el suelo se mantiene plástico es de 20,14%.

Profundidad	% de agua	Límites (%)		
		L.L	L.P	I.P
1 a 2	33,14	54,17	24,87	29,3
2 a 3	31,51	45,33	26,89	18,44
3 a 4	30,35	47,3	27,16	20,14
4 a 5	27,73	47,30	27,16	20,14

Tabla 41. Datos del SPT 2

El material presente en la zona retiene el agua naturalmente desde un 20,64% hasta un 27,87%. Con un valor promedio de 25,40%

6.3.1.3. Evapotranspiración

Cálculo de la evapotranspiración de referencia en mm/mes

Tabla 42. Valores de evapotranspiración en cada mes en mm

meses del año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA	23,57	23,45	23,2	23,4	23,01	21,85	21,46	22,14	22,44	23,27	23,8	23,65
% DE ILIMINACION DIURNA (p)	8,64	7,76	8,5	8,17	8,39	8,08	8,2	8,41	8,19	8,56	8,33	8,65
FORMULA	ETo = f * Kt											
f= T+17,8/21,8*p*1	16,40	14,68	15,99	15,44	15,71	14,70	14,77	15,41	15,12	16,13	15,90	16,45
Kt	0,97	0,97	0,96	0,97	0,96	0,92	0,91	0,93	0,94	0,96	0,98	0,98
evaporacion de referencia	159,64	142,42	153,81	149,52	150,19	135,22	134,08	143,16	141,88	155,51	155,91	160,55

Se registra una evapotranspiración mensual promedio de 148,49 mm/mes lo que indica el nivel de agua que será evaporada. En un día debido a las condiciones climáticas se evaporan en un área de 1 metro cubico 4,95 litros de agua que ha sido estancada o retenida por el material arcilloso.

6.3.1.4. Generación de lixiviados.

El factor que influye directamente en la generación de lixiviados es la cantidad precipita de agua, también el contenido de humedad, la evapotranspiración y la humedad de la basura compactada.

Tabla 43. Cantidad de agua para generar lixiviados en el relleno sanitario en mm

meses del año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMPERATURA	23,57	23,45	23,2	23,4	23,01	21,85	21,46	22,14	22,44	23,27	23,8	23,65
% DE ILIMINACION DIURNA (p)	8,64	7,76	8,5	8,17	8,39	8,08	8,2	8,41	8,19	8,56	8,33	8,65
FORMULA	ETo = f * Kt											
f= T+17,8/21,8*p*1	16,40	14,68	15,99	15,44	15,71	14,70	14,77	15,41	15,12	16,13	15,90	16,45
Kt	0,97	0,97	0,96	0,97	0,96	0,92	0,91	0,93	0,94	0,96	0,98	0,98
evaporación de referencia (ETo)	159,64	142,42	153,81	149,52	150,19	135,22	134,08	143,16	141,88	155,51	155,91	160,55
precipitaciones	115,8	142,8	155,9	197,9	171,5	160,2	148,7	107,3	119,2	133,8	121,7	120,4
precipitaciones no evaporadas	-43,9	0,4	2,1	48,4	21,3	25,0	14,7	-35,8	-22,6	-21,7	-34,2	-40,2
valor de agua retenida (25,4%)	29,4	36,274	39,5932	50,2627	43,561	40,692	37,78	27,264	30,287	33,979	30,91	30,57
cantidad de agua para lixiv. (mm/mes)	-14,48	36,66	41,66	98,63	64,87	65,68	52,45	-8,56	7,65	12,24	-3,33	-9,62

Debido a las características climatológicas del cantón y características de suelo elegido para la construcción. El agua que está directamente afectada para la generación de lixiviados varía de acuerdo a los meses. Es así que en los meses con mayor riesgo a sufrir grandes cantidades de lixiviados y posibles inundaciones sino se realizan obras de prevención y mitigación; son los meses desde febrero hasta Julio.

Los meses de enero, agosto, noviembre y diciembre no son afectados por las precipitaciones y humedad de la zona debido a que la evapotranspiración es suficiente para disminuir la cantidad de agua generada. Esto no significa que no exista la presencia de lixiviados en estos meses, ya que la basura presenta una humedad propia de la basura orgánica.

6.3.2. Tiempo de vida útil

Se establece en base a los cálculos de los kilogramos de basura que soportan el relleno sanitario y en base a la proyección poblacional del cantón el Panguí.

6.3.2.1. Datos poblacionales del cantón el Panguí.

Según el censo realizado en el 2022 se estima un total de 12768 habitantes en el cantón El Panguí con una tasa de crecimiento anual del 3,4%. De los cuales el 78,5% cuenta con la recolección de basura es decir 10023 personas cuentan con este servicio. Con un ppc de 0,9 kg por habitante al día se estima los siguientes valores:

Tabla 44. Proyección de volúmenes de basura desde el 2025-2040

Año	habitantes	ppc	kilogramos de basura al año (kg)	Volumen de basura al año (m ³)
2022	10023,00	0,90	3292555,50	5487,59
2023	10363,78	0,90	3407906,89	5679,84
2024	10716,15	0,90	3527299,50	5878,83
2025	11080,50	0,90	3650874,91	6084,79
2026	11457,24	0,90	3778779,66	6297,97
2027	11846,78	0,90	3911165,43	6518,61
2028	12249,57	0,91	4048189,20	6746,98
2029	12666,06	0,91	4190013,46	6983,36
2030	13096,70	0,91	4336806,39	7228,01
2031	13541,99	0,91	4488742,06	7481,24
2032	14002,42	0,91	4646000,65	7743,33
2033	14478,50	0,91	4808768,64	8014,61
2034	14970,77	0,91	4977239,04	8295,40
2035	15479,78	0,91	5151611,63	8586,02
2036	16006,09	0,91	5332093,20	8886,82
2037	16550,30	0,91	5518897,75	9198,16
2038	17113,01	0,91	5712246,81	9520,41
2039	17694,85	0,92	5912369,67	9853,95
2040	18296,48	0,92	6119503,63	10199,17
total			73991098	127638,84

Los kg de basura que se proyectan en el diseño son:

Descripción	largo 1 (m)	largo 2 (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)
primera fase	135	139,7	100	2,35	32277,25
segunda fase	140	144,7	100	2,35	33452,25
tercera fase	145	141,4	100	1,8	25776
cuarta fase	90	85,3	100	2,35	20597,75
quinta fase	55	50,3	100	2,35	12372,75
TOTAL					124476

Tabla 45. Volúmenes de basura que ocupara, según el diseño

Para interpretar el tiempo de vida útil del relleno se interpola entre los valores faltantes para completar

Se resta la proyección total de volumen de basura hasta el año 2040 (Tabla 44) para el volumen de basura que ocupará según el diseño (Tabla 45) lo que dará igual al volumen de basura sobrante.

$$127638,84 \text{ m}^3 - 124476 \text{ m}^3 = 3162,84 \text{ m}^3$$

Se divide el volumen de basura sobrante para el volumen de basura del año 2040 para obtener los años que sobran

$$\frac{3162,84 \text{ m}^3}{10199,17} = 0,31 \text{ años}$$

Se resta los años que sobran al total de años proyectados (tabla 44)

$$16 \text{ años} - 0,31 \text{ años} = 15,69 \text{ años}$$

Se estima un tiempo de vida útil de 15,69 años

7. Discusión

La discusión está encaminada al análisis de los resultados obtenidos en cuanto a las características geológicas del área de estudio, las propiedades físico mecánicas de los materiales del predio y los parámetros ingenieriles del estudio geológico-geotécnico necesarios en la construcción del relleno sanitario.

- **Análisis de las características geológicas del área de estudio.**

Los resultados obtenidos indica que los materiales de la zona de estudio presentan características geológicas propias de la formación Hollín; es así que en el PDOT de Pachicutza (2019-2023) describe que está formación está compuesta por areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, con escasas intercalaciones de lutitas arenosas las cuales presentan estratificación cruzada, planar y ripples marks, con algunos depósitos de conglomerados. Características similares a los resultados obtenidos de los 14 afloramientos encontrados en la zona de estudio, en donde existe la presencia de areniscas cuarzosas las cuales conforma la mesa de Pachicutza y la base donde se han depositado las arcillas rojas y lutitas bituminosas con presencia de asfaltos naturales en donde superficialmente por producto del intemperismo y las características climatológicas e hidrológicas dieron como origen a la formación de arenas silíceas y limosas con conglomerados de tipo canto rodado de dimensiones de 1m a 15cm. Dichos afloramientos no sufren estratificación y formaciones estructurales, lo que indica que no han sido sometidos a esfuerzos; aunque se menciona en el PDOT que existe la presencia de la falla de Pachicutza la cual traspasa la parroquia en sentido NE-SW y se encuentra a 8 kilómetros de la zona de estudio, su estado es inactivo por lo que lo convierte en un lugar óptimo para construir la obra, ya que no presenta problemas de deslizamientos o fallamiento y existe la presencia de material arcilloso y limoso necesario para la construcción del relleno debido a su característica impermeable el cual no presenta estratificación alguna lo que lo hace un suelo mucho más firme y resistente al no presenta laminación.

El problema principal que condiciona los materiales que se encuentran superficialmente está representado por los altos niveles de vegetación y los factores erosivos que existe en la zona lo que condiciona los materiales que se encuentran superficialmente por lo que la implantación de una cerca viva disminuirá los altos factores erosivos que existen en la zona.

- **Análisis de las propiedades físico mecánicas de los materiales del predio**

Los parámetros físico mecánicos que se obtuvieron en el área de estudio indica como la zona más idónea para construir el relleno sanitario es donde se efectuó el SPT 4 donde

cumple la mayoría de especificaciones necesarias para la construcción del relleno y garantizar que no existan grandes afectaciones al ambiente. Una de las especificaciones más importantes y que no cumple la arcilla de esta zona es la permeabilidad en donde Weihs, (2011) describe que en los fundamentos para un relleno sanitario es importante tener una arcilla con un coeficiente de permeabilidad de 10^{-7} para impermeabilizar totalmente el area, y la zona presenta una arcilla con un coeficiente máximo de 10^{-5} siendo una arcilla impermeable pero no en su totalidad, mencionando que la zona esta intervenida por una arena arcillosa la cual hace que la permeabilidad sea de 10^{-4} ; por lo que es importante adicionar una geomembrana sobre la arcilla para garantizar que no exista la percolacion de lixiviados al igual que al disponer del material de cobertura final en cada una de las trincheras que se vayan a realizar. Para las etapas dos y tres el comportamiento del suelo de función es similar en donde se tendría que colocar material de mejorameinto para vías al momento de abrilas debido a que la arcilla de estos dos luagres es una arcilla mas expansivas y en tiempos en los que los niveles pluviométricos sean altos y las arcillas sean sobresaturadas se verá un cambio significativo en sus dimensiones produciendo los asentamientos a largo plazo.

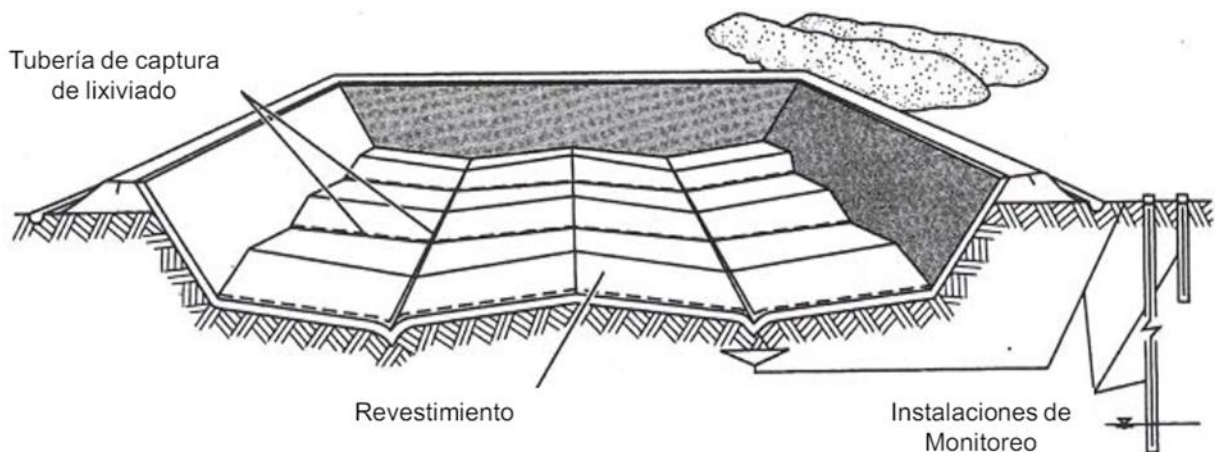


Figura 63. Revestimiento de geomembrana, depositado sobre las arcillas y colocación de tubería de captura de lixiviados

Nota: Obtenido de Weihs, (2011)

La colocación de cualquier impermeabilizante natural hace que con el tiempo disminuya su impermeabilidad es así que un impermeabilizante de tipo natural como las arcillas rojas en un tiempo estimado de 3 semanas sus componentes son afectados por la sobresaturación de lixiviados; un impermeabilizante artificial tiene un tiempo más duradero y favorece mejor la captación de los lixiviados por esta razón se debe mantener un buen sistema

de captación de lixiviados para evitar la acumulación de lixiviados y así evitar la contaminación ambiental.

La parte baja del predio que comprenden las arenas limosas presentan características físico mecánicas buenas para las cimentaciones que se deseen hacer ya que el buen drenaje que presentan evita que se acumule la humedad y afecte las cimentaciones, su capacidad portante es de un suelo firme superando los 24,3 Ton/m² para cimentaciones poco profundas menores a 2 metros lo que indica que es un suelo óptimo para la construcción de infraestructuras, la única limitación que presenta está representada por presentar altos niveles de exuberante cobertura vegetal lo que implicaría una deforestación, previa antes de extraer el material alterado.

- **Análisis los parámetros ingenieriles del estudio geológico-geotécnico necesarios en la construcción del relleno sanitario**

Los parámetros ingenieriles están orientados tanto en el estudio geológico- geotécnico como su relieve y el comportamiento del método del relleno sanitario que se va implementar y las características climatológicas e hidrológicas; es así que:

La topografía de esta zona presenta un relieve medianamente ondulado a moderadamente disectado en un 49,33% con zonas casi planas en su mayoría. Haciendo factible para aplicar el método constructivo mixto; para mayor aprovechamiento del área. Las modificaciones al relieve deben realizarse con el propósito de obtener pendientes que favorezcan el funcionamiento del relleno sanitario, y en base al análisis de pendientes establece que es una zona que no sufre grandes cambios en sus pendientes siendo un lugar relativamente plano que conduce naturalmente las aguas pluviales a la quebrada que pasa por el predio, pero al tener diferentes infraestructuras deben complementarse con obras que conduzcan las aguas pluviales lejos de las zonas de operación e infraestructuras. El drenaje malo de la zona hace que sean necesarias estas obras de mitigación ya que evitaría el riesgo por inundación y sobre todo garantizaría de la funcionalidad de las operaciones que se realizaran a futuro.

La limitación más importante para la construcción del relleno sanitario empieza al analizar las características hidrogeológicas, debido a que son características que estarán presentes siempre en la zona. El cantón el Pangui posee un clima cálido con precipitaciones altas muy propio de la región amazónica. Los registros del INAMHI aportan datos que sirven de referencia para simular la cantidad de agua que será expuesta la zona de construcción, es así que el promedio de las precipitaciones de cada mes varía muy drásticamente dependiendo del

mes que se encuentre. Es así que desde febrero hasta julio indican un factor significativo de inundaciones siendo incluso superior al factor de evapotranspiración.

El suelo donde se destinó para construir el relleno sanitario y posibles futuras zonas de construcción, presenta un contenido de humedad en promedio del 25,4% y su índice plástico es de 16,48%. Es así que el suelo al ser arcilloso-limoso y al excavar las trincheras al no tener una línea de máxima pendiente natural por donde escurrir la zona sufre el riesgo de ser inundada por lo que la construcción del relleno va acompañada de obras de drenajes perimetrales para el desvío de las aguas lluvias, al igual que la construcción de drenes y modificaciones en las pendientes. Estas condiciones hacen que la generación de lixiviados en la zona sería alta, debido a la cantidad de agua que estará presente, pero son riesgos que pueden ser controlados a través de infraestructuras como las antes mencionadas. El emplear una buena impermeabilización con un sistema de captación de lixiviados y drenes de agua pluvial garantizaran un buen funcionamiento del relleno sanitario.

Referente a la capacidad portante del terreno cumple con los requisitos para la construcción, al igual que la distribución de cargas de diseño que han propuesto aplicar. Es así que la carga aparente que se va aplicar por diseño es de $6,15 \text{ kg/cm}^2$ si la distribución fuera anclada al área total. La mayor carga para mayor producción de asentamientos es de $8,283 \text{ kg/cm}^2$ y los ensayos de capacidad portante dan como resultado una capacidad de $8,59 \text{ kg/cm}^2$ para no tener ningún posible riesgo. Siendo óptimo para la construcción porque se encuentra fuera del límite de carga admisible y no llega a su carga máxima de soporte que es $10,04 \text{ kg/cm}^2$. Las otras 2 zonas aceptadas como aptas para la construcción presentan características similares al comportamiento de la primera haciendo que el proyecto este encaminado a un mejor desarrollo y mejor uso del terreno estimando un tiempo de vida útil mínimo del relleno de 15,69 años.

- **Comparación de los resultados obtenidos con otros autores.**

Jorge Jaramillo (2001) en su libro “Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales” indica que para ciudades pequeñas no mayores a 30 000 habitantes el ppc es menor a $0,5 \text{ kg/hab/día}$, al igual señala que el material de cobertura debe ser el 20% de el volumen de los residuos sólidos compactados y que geológicamente un relleno sanitario debe estar localizado de preferencia sobre un terreno cuya base sean suelos areno-limo-arcillosos, también son adecuados los limo-arcillosos y los arcillo-limosos. Es mejor evitar los terrenos areno-limosos porque son muy permeables. Datos muy diferentes a los expuestos en la presente investigación ya que la (INEC, 2021) señala que los habitantes de la

zona urbana ecuatoriana producen en promedio 0,9 Kg de residuos sólidos al día mientras que el material de cobertura es de un espesor de 0,15m representando de un 6,4% a 8,33% y geológicamente presenta un suelo arcillo-limoso.

Un estudio más cercano es de (Armijos G. & Ramos, 2001) en su tema de tesis “Estudio, diseño y tratamiento técnico de los desechos sólidos mediante el empleo de un relleno sanitario en la ciudad de El Pangui”. Que comprende los estudios realizados en el anterior relleno sanitario, donde indican que para el levantamiento topográfico se empleó el teodolito con el método de poligonales, y los ensayos que se realizaron fueron: contenido de humedad con un 22,5% promediar , análisis granulométrico clasificando al suelo en arcilla de mediana plasticidad arenosa (CL) y limo de baja plasticidad arenosa (ML), su índice de plasticidad de suelo arcilloso llega a 17 y 15 mientras que en los limos y arenas llega a 3. Geológicamente indica que el sector está conformado por arenisca cuarzosa blanca. Las calicatas efectuadas son de 1,5 metros encontrándose hasta 0,5 material de cobertura y un metro solo arcilla.

Mientras que señala que los desechos sólidos poseen una densidad de 278,54 kg/m³ con un contenido de humedad del 56,10% y un 69,93% de material orgánico presente. Características muy similares a la zona de estudio del presente trabajo, esto debido a que se encuentran muy próximos, distando 400 metros.

8. Conclusiones

- Geológicamente la mesa de Pachicutza está conformada por rocas de arenisca cuarzosa de la formación Hollín con pequeños depósitos de arcillas rojas de la formación Tena y lutitas bituminosas las cuales han atrapado asfaltos naturales durante la formación de la cuenca oriente. A sus alrededores presenta materiales de tipo aluvial y coluvial los cuales son arrastrados a través de la quebrada Pachicutza y el Río Zamora.
- El predio destinado para la construcción del relleno sanitario está conformado por 17 hectáreas las cuales se emplazan dentro de la formación Hollín, que se caracteriza por la presencia de arcillas y limos de la zona, derivados del proceso de meteorización de los materiales de sílice; los cuales no presentan estratificación ni estructura alguna que afecte a la viabilidad del proyecto.
- De los 8 ensayos de SPT realizados, el SPT 4, llegó a la profundidad de 6 metros, donde otorgo los resultados que validan los estándares establecidos para la construcción de la primera etapa del relleno sanitario; presenta una arcilla de mediana plasticidad arenosa de tipo impermeable (10^{-4} cm/s) con capacidad portante competente y un porcentaje de agua de 20,64%.
- La acilla presente en el predio se encuentra desde los 3 hasta los 6 metros de profundidad con una plasticidad que va desde media a alta y una permeabilidad entre 10^{-5} cm/s a 10^{-4} cm/s por lo que se tiene que el material arcilloso no es prácticamente impermeable en donde su granulometría a medida que se profundiza disminuye las partículas finas comportándose de una manera más arenosa.
- Los parámetros ingenieriles estiman una carga de diseño propuesta de 8,283 kg/cm²; en comparación con las capacidades admisibles que determinan los SPT's, el suelo es óptimo para soportar dicho diseño ya que se encuentra debajo del límite de 8,59 kg/cm², no presenta fallas, estratificaciones o alguna afectación que condicione la estabilidad del suelo de fundición.
- El comportamiento hidrogeológico de la zona es el factor que limita mucho más el establecer esta zona como apta para la construcción debido a los altos niveles de lluvia en los meses de abril a julio y las características de los materiales arcillosos, Por lo que deben construirse obligatoriamente obras para contribuir a la disminución de este factor; como son canales perimetrales y drenes.

9. Recomendaciones

- Se recomienda realizar la canalización de la pequeña quebrada que pasa por el medio de la zona destinada para el relleno, debido a que está en los meses con mayor lluvia aumenta su caudal considerablemente y se desborda, generando un aumento de la probabilidad de riesgo por inundaciones y puede ocasionar daños de funcionamiento para las operaciones que se realicen en el relleno sanitario.
- Es necesario la construcción de drenajes para conducir las aguas lluvias fuera de las zonas que serán destinadas para el relleno sanitario, a su vez posibles drenes que son tuberías perforada en zanjas, llenadas con piedra chispa a lo largo de estas, que estarán cubiertas con geotextil. Si estas medidas no funcionan se puede bombear el agua o a su vez aplicar medias como un techo.
- Monitorear cada una de las etapas del método constructivo, para garantizar que vayan de acuerdo a los estudios establecidos y así si existe algún inconveniente cambiar los espesores de cobertura y basura de acuerdo a la funcionabilidad del relleno sanitario, ya que si no se realiza una buena compactación y mejoramiento de estabilidad en la basura puede ocasionar ciertos inconvenientes para los taludes que se vayan añadiendo, esto debido a la producción de asentamientos.
- Considerar en aumentar el espesor del material de cobertura de los residuos, esto debido a que la capa puede considerar muy fina (0,15m de espesor), autores como Jorge Jaramillo 2002, proponen que el material de cobertura mínimo este representado por el 20% del volumen de basura y el volumen estimado del diseño propuesto es del 6,4% a 8,33%.
- Al disminuir el largo y ancho del diseño, el área que será afectada por los procesos hidrológicos no sería tan extensa. Es cierto que el tiempo de vida útil será afectado, pero al existir 3 zonas aptas para construir se puede tener un tiempo de vida útil equivalente.

10. Bibliografía


- Borselli, L. (2022). *GEOTECNIA I*. UASLP. Obtenido de https://www.lorenzoborselli.eu/geotecnia1/Geotecnia_1_parte_II.pdf
- Arciniega, F. (s.f.). *Introducción a la Prospección Geofísica*. Obtenido de https://www.academia.edu/19225480/Introduccion_a_la_Geofisica
- Armijos G., G. O., & Ramos, R. (2001). *Estudio, diseño y tratamiento técnico de los desechos sólidos mediante el empleo de un relleno sanitario en la ciudad de el Pangui*.
- ASTM D-2216. (1998). *Metodo de prueba estandar para la determinación del contenido de agua (humedad) de suelos y rocas*.
- ASTM D-422. (s.f.). *ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO*.
- Bartolomé., J. (s.f.). *Laboratorio De Geotecnia. Análisis granulométrico*. Obtenido de https://www.geocities.ws/geo_info/geo/labing/labing.htm
- Braja M., D. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Mexico. Obtenido de https://issuu.com/williamgamboa/docs/fundamentos_de_ingenieria_geot_cnica_-_braja_m._d/40#google_vignette
- C.N.V. de Mexico. (2010). *MANUAL DE CIMENTACIONES*. Mexico.
- Devicenzi, M., y Frank, N. (1995). *Ensayo de penetración estándar*. IGEO TEST S.L. Obtenido de http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/ingenieria_civil/investigacion_y
- DGJ Ingeniería. (2022). *DISEÑOS DEFINITIVOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL CANTÓN EL PANGUI PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE*. EL PANGUI.
- Echeveste, H. (2018). *MANUAL DE LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO UNA INTRODUCCIÓN A LA GEOLOGÍA DE CAMPO*. Plata: Universidad de la Plata.
- Edward J., T., & Frederick K. , L. (2005). *CIENCIAS DE LA TIERRA, Introducción a la geología física*. Madrid: PEARSON PRENTICE HALL. Obtenido de <https://www.xeologosdelmundo.org/wp-content/uploads/2016/03/TARBUCK-y-LUTGENS-Ciencias-de-la-Tierra-8va-ed.-1.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s.f.). *¿Qué es la topografía?* Obtenido de https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6707s/x67

- G.F. (13 de junio de 2017). *Geotécnia Fácil*. Obtenido de <https://geotecniafacil.com/calicatas-geotecnicas/>
- GEOLOGIAWEB. (2022). *¿Qué es el nivel freático?*
- GEOTECNIA facil. (2019). Obtenido de Ensayo de penetración estándar SPT (Standard Penetration Test).
- IGM. (1997). *Carta topografica del canton El Pangui escala 1: 50000*. Obtenido de GEOPORTAL IGM.
- IIGE. (2018). *Instituto de investigacion geologico y energetico* . Obtenido de geoenergia.gob.ec
- INAMHI. (2013-1984). *Anuanorio meteorologicos de las estaciones del ecuador* . Pangui.
- INEC. (2021). *Estadisticas de informacion ambiental economica en gobiernos autonomos descentralizados municipales*. Obtenido de [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2021/Residuo_solidos_2021/Presentaci%C3%B3n%20residuos%202021%20v07JA_CGTP%20\(Rcv%20%20CGTPE\)%20\(Rcv%20Dicos\).pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2021/Residuo_solidos_2021/Presentaci%C3%B3n%20residuos%202021%20v07JA_CGTP%20(Rcv%20%20CGTPE)%20(Rcv%20Dicos).pdf)
- INEC. (2022). *CENSO ECUADOR* . Obtenido de <https://www.censoecuador.gob.ec/data-y-resultados/>
- INFOCIVIL. (Septiembre de 2013). *Metodos de Exploración* . Obtenido de <https://fannsn.files.wordpress.com/2013/09/metodos-de-exploracion.pdf>
- Jaramillo, J. (2002). *GUÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS MANUALES*. Antioquia, Colombia.
- López Menardi,, R. E. (2003). *DETERMINACION IN SITU DE PROPIEDADES INGENIERILES DE LOS SUELOS Y SU RELACION CON EL ENSAYO NORMAL DE PENETRACION* .
- Naranjo, H., y Dranichnikov, T. (2012). *Cálculo de capacidad portante basado en geofísica y metodo convencional El caso del puente sobre el río Maicito*. Universidad Politecnica Salesiana .
- NEC-SE-GC. (2012). *Geotecnica y cimentaciones* .
- Nij Patzán , J. E. (2009). *GUÍA PRÁCTICA PARA EL CÁLCULO DE CAPACIDAD DE CARGA EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES, LOSAS DE CIMENTACIÓN, PILOTES Y PILAS PERFORADAS*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3004_C.pdf


- Pachas, R. (2009). *El levantamiento topográfico: uso del GPS y Estación Total*. Obtenido de <http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/30397/articulo3.pdf;jsessionid=>
- Padilla y Sánchez, R. J. (2021). *GEOLOGÍA ESTRUCTURAL Métodos modernos*. ciudad de Mexico. Obtenido de http://www.dict.unam.mx/Libros1/Padilla_Libro_de_Geologia_Estructural_Digital_2021_V_Final/Padilla_y_S%C3%A1nchez_2021_M%C3%A9todos_Modernos_de_Geolog%C3%ADa_Estructural_V_Final_Jun21.pdf
- Paladines y Soto. (2010). *Geología y yacimientos minerales del Ecuador Agustín Paladines*. Loja, Ecuador. Obtenido de <https://biblioteca.casadelacultura.gob.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=29834>
- PDOT. (2019-2023). *Plan de Ordenamiento Territorial del canton el Pangui*. El Pangui.
- Rabat Blázquez, Á. (2016). *Aplicabilidad del penetrómetro cónico en la determinación del límite líquido en suelos de baja y mediana plasticidad*. Alicante. Obtenido de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/58086/1/APLICABILIDAD_DEL_PENETROMETRO_CONICO_EN_LA_DETERMI_Rabat_Blazquez_Alvaro.pdf
- Ramos Rivera, J. (2011). *GEOTECNIA DE RELLENOS*. Colombia. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Johnatan-Ramos-Rivera/publication/264332755_Geotecnia_de_rellenos_sanitarios/links/53d8f6f00cf2631430c3858c/Geotecnia-de-rellenos-sanitarios.pdf
- Roberto Barragán, R., Frédéric , C., Howard , W., Patrice , P., Rivadeneira, M., Félix , R., & José , R. (1998). *La cuenca oriente: Geogia y Petroleo*.
- SEHEDIS. (2018). *Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)*. Obtenido de <https://sismica.com.mx/procedimientos/sondeo-electrico-vertical.php>
- TDR. (2011). *TÉRMINOS DE REFERENCIA PARA LA CONTRATACIÓN DE SERVICIOS DE CONSULTORÍA PARA LA EJECUCIÓN DE: “ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD Y DISEÑOS DEFINITIVOS PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS Y CIERRE TÉCNICO DE/LOS BOTADERO/S*. Ecuador. Obtenido de <https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/bajarArchivo.cpe?Archivo=3iPtmDVb5n5kNdTlxbw8nrHgY5HDQ8Zc0CldvIvMtzQ>,
- Weih, J. (2011). *Fundamentos sobre los Rellenos Sanitarios*. Buenos Aires.

11. Anexos


Anexo 1. Fichas de campo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial			
FICHA DE DESCRIPCION EN CAMPO			
Proyecto	Relleno Sanitario		
No. afloramiento	1	Código:	001
		DATUM: WGS84	
Ubicación			
Coordenadas UTM	Latitud	Longitud	Altura
	769419	9595687	794
Medidas estructurales	Rumbo	N/S	Buzamiento
			N/S
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico:
			X
Grado de meteorización	Bajo	Medio	Alto
		X	
Dimensiones	Ancho		Altura
	7m		8m
Descripción litológica			
AFLORAMIENTO			
			
Observaciones	Areniscas con cuarzos entre los 2cm a 5cm. Presencia de colores amarillentos producto de la oxidación		

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial	
FICHA DE DESCRIPCION EN CAMPO	
Proyecto	Relleno Sanitario

No. afloramiento	2	Código:	002	DATUM: WGS84
Ubicación				
Coordenadas UTM	Latitud		Longitud	
	769840		9595169	
Medidas estructurales	Rumbo	N/S		Buzamiento
Tipo de afloramiento	Natural			Antrópico:
Grado de meteorización	Bajo	Medio		Alto
		X		
Dimensiones	Ancho		Altura	
	10m		4,5m	
Descripción litológica				
AFLORAMIENTO				
				
Observaciones	Arcillas de colores rojizos a amarillentos			

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA				
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables				
Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial				
FICHA DE DESCRIPCION EN CAMPO				
Proyecto		Relleno Sanitario		
No. afloramiento	3	Código:	003	DATUM: WGS84
Ubicación				
Coordenadas UTM	Latitud		Longitud	
	770129		9594277	
Medidas estructurales	Rumbo	083		Buzamiento
Tipo de afloramiento	Natural			Antrópico:
Grado de meteorización	Bajo	Medio		Alto
		X		

Dimensiones	Ancho	Altura
	13m	1m
Descripción litológica		
AFLORAMIENTO		
		
Observaciones	Arcillas de tonalidades negras, que se encuentran cercanas a la zona de estudio	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA			
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial			
FICHA DE DESCRIPCION EN CAMPO			
Proyecto	Relleno Sanitario		
No. afloramiento	4	Código:	004 DATUM: WGS84
Ubicación			
Coordenadas UTM	Latitud	Longitud	Altura
	770243	9594371	955
Medidas estructurales	Rumbo	N/S	Buzamiento N/S
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico: X
Grado de meteorización	Bajo	Medio	Alto
		X	
Dimensiones	Ancho	Altura	
	5m	2m	
Descripción litológica			
AFLORAMIENTO			




Observaciones	Areniscas, con presencia de conglomerados
----------------------	---

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA			
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables			
Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial			
FICHA DE DESCRIPCION EN CAMPO			
Proyecto	Relleno Sanitario		
No. afloramiento	5	Código:	005
		DATUM: WGS84	
Ubicación			
Coordenadas UTM	Latitud	Longitud	Altura
	770306	9594420	957
Medidas estructurales	Rumbo	N/S	Buzamiento
			N/S
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico:
			X
Grado de meteorización	Bajo	Medio	Alto
		X	
Dimensiones	Ancho	Altura	
	10m	4,5m	
Descripción litológica			
AFLORAMIENTO			



Observaciones	Presencia de sílice en la parte alta
----------------------	--------------------------------------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA				
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables				
Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial				
FICHA DE DESCRIPCION EN CAMPO				
Proyecto		Relleno Sanitario		
No. afloramiento	6	Código:	006	DATUM: WGS84
Ubicación				
Coordenadas UTM	Latitud		Longitud	
	770155		9594308	
Medidas estructurales	Rumbo	N/S		Buzamiento
Tipo de afloramiento	Natural			Antrópico:
Grado de meteorización	Bajo		Medio	
			X	
Dimensiones	Ancho		Altura	
	7m		1,5m	
Descripción litológica				
AFLORAMIENTO				

	
Observaciones	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial FICHA DE DESCRIPCION EN CAMPO			
Proyecto		Relleno Sanitario	
No. afloramiento	7	Código:	007
		DATUM: WGS84	
Ubicación			
Coordenadas UTM	Latitud		Longitud
	770188		9594330
Medidas estructurales	Rumbo	N/S	Buzamiento
			N/S
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico:
			X
Grado de meteorización	Bajo		Medio
			X
Dimensiones	Ancho		Altura
	14m		3m
Descripción litológica			
AFLORAMIENTO			



Observaciones	Areniscas que conforman la base de deposición de las arcillas y limos
----------------------	---

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA			
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables			
Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial			
FICHA DE DESCRIPCION EN CAMPO			
Proyecto		Relleno Sanitario	
No. afloramiento	8	Código:	008
		DATUM: WGS84	
Ubicación			
Coordenadas UTM	Latitud		Longitud
	770292		9594275
Altura	976		
Medidas estructurales	Rumbo	N/S	Buzamiento
			N/S
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico:
			X
Grado de meteorización	Bajo	Medio	Alto
		X	
Dimensiones	Ancho		Altura
	14m		3m
Descripción litológica			
AFLORAMIENTO			



Observaciones	Areniscas de la zona, con erosión
----------------------	-----------------------------------


UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA				
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables				
Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial				
FICHA DE DESCRIPCION EN CAMPO				
Proyecto		Relleno Sanitario		
No. afloramiento	9	Código:	009	DATUM: WGS84
Ubicación				
Coordenadas UTM	Latitud		Longitud	
	770233		9594293	
Medidas estructurales	Rumbo	N/S		Buzamiento
Tipo de afloramiento	Natural			Antrópico:
Grado de meteorización	Bajo		Medio	
			X	
Dimensiones	Ancho		Altura	
	14m		3m	
Descripción litológica				
AFLORAMIENTO				

		
Observaciones	Areniscas de color blanco, en taludes antrópicos, producto de la actividad minera	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA				
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables				
Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial				
FICHA DE DESCRIPCION EN CAMPO				
Proyecto		Relleno Sanitario		
No. afloramiento	10	Código:	010	DATUM: WGS84
Ubicación				
Coordenadas UTM	Latitud		Longitud	
	770372		9594219	
Medidas estructurales	Rumbo	N/S		Buzamiento
Tipo de afloramiento	Natural			Antrópico:
Grado de meteorización	Bajo		Medio	
			X	
Dimensiones	Ancho		Altura	
	14m		3m	
Descripción litológica				
AFLORAMIENTO				

		
Observaciones	Erosión existente en la zona, presencia de limos	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA					
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables					
Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
FICHA DE DESCRIPCION EN CAMPO					
Proyecto		Relleno Sanitario			
No. afloramiento	11	Código:	011	DATUM: WGS84	
Ubicación					
Coordenadas UTM		Latitud		Longitud	
		770462		9594192	
Altura		1032			
Medidas estructurales		Rumbo	N/S		Buzamiento
					N/S
Tipo de afloramiento		Natural			Antrópico:
					X
Grado de meteorización		Bajo		Medio	
				X	
Altura					
Dimensiones		Ancho		Altura	
		14m		3m	
Descripción litológica					
AFLORAMIENTO					

		
Observaciones	Areniscas cercanas en la zona	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA					
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables					
Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
FICHA DE DESCRIPCION EN CAMPO					
Proyecto		Relleno Sanitario			
No. afloramiento	12	Código:	012	DATUM: WGS84	
Ubicación					
Coordenadas UTM		Latitud		Longitud	
		770616		9594067	
Medidas estructurales		Rumbo	N/S		Buzamiento
Tipo de afloramiento		Natural		Antrópico:	X
Grado de meteorización		Bajo		Medio	
				X	
Dimensiones		Ancho		Altura	
		14m		3m	
Descripción litológica					
AFLORAMIENTO					

		
Observaciones	Presencia de limos y arcillas en la zona	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA					
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables					
Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial					
FICHA DE DESCRIPCION EN CAMPO					
Proyecto		Relleno Sanitario			
No. afloramiento	13	Código:	013	DATUM: WGS84	
Ubicación					
Coordenadas UTM		Latitud		Longitud	
		770686		9593930	
Medidas estructurales		Rumbo	N/S		Buzamiento
					N/S
Tipo de afloramiento		Natural			Antrópico:
					X
Grado de meteorización		Bajo		Medio	
				X	
Dimensiones		Ancho			Altura
		14m			3m
Descripción litológica					
AFLORAMIENTO					

		
Observaciones	areniscas con un alto nivel de erosión	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA			
Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables			
Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial			
FICHA DE DESCRIPCION EN CAMPO			
Proyecto	Relleno Sanitario		
No. afloramiento	14	Código:	014
		DATUM: WGS84	
Ubicación			
Coordenadas UTM	Latitud		Longitud
	770780		9593894
Altura	1050		
Medidas estructurales	Rumbo	N/S	Buzamiento
			N/S
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico:
			X
Grado de meteorización	Bajo	Medio	Alto
		X	
Dimensiones	Ancho		Altura
	14m		3m
Descripción litológica			
AFLORAMIENTO			

	
Observaciones	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial				
FICHA DE DESCRIPCION EN CAMPO				
Proyecto		Relleno Sanitario		
No. afloramiento	15	Código:	015	DATUM: WGS84
Ubicación				
Coordenadas UTM	Latitud		Longitud	
	770788		9593884	
Medidas estructurales	Rumbo	N/S		Buzamiento
				N/S
Tipo de afloramiento	Natural		Antrópico:	X
Grado de meteorización	Bajo		Medio	
			X	
Dimensiones	Ancho		Altura	
	14m		3m	
Descripción litológica				
AFLORAMIENTO				



Observaciones

Presencia de sílice

Anexo 2. Tabla para valores de evapotranspiración en la latitud 17 Sur

Tabla de insolación o resplandor solar valores p, para grados latitud solar .

Lat. Sur (°C)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	8.49	7.67	8.49	8.22	8.49	8.49	8.49	8.49	8.19	8.49	8.22	8.49
2	8.55	7.71	8.49	8.19	8.44	8.17	8.43	8.44	8.19	8.52	8.24	8.55
4	8.64	7.76	8.50	8.17	8.39	8.08	8.20	8.41	8.19	8.56	8.33	8.65
6	8.71	7.81	8.50	8.12	8.30	8.00	8.19	8.37	8.18	8.59	8.38	8.74
8	8.79	7.84	8.51	8.11	8.24	7.91	8.13	8.32	8.18	8.62	8.47	8.84
10	8.85	7.86	8.52	8.09	8.18	7.84	8.11	8.28	8.18	8.65	8.52	8.90
12	8.91	7.91	8.53	8.06	8.15	7.79	8.08	8.26	8.17	8.67	8.58	8.95
14	8.97	7.97	8.54	8.03	8.07	7.70	7.98	8.19	8.16	8.69	8.65	9.01
16	9.09	8.02	8.56	7.98	7.96	7.57	7.94	8.14	8.14	8.76	8.72	9.17
18	9.18	8.06	8.57	7.93	7.90	7.50	7.88	8.10	8.14	8.80	8.80	9.24
20	9.25	8.09	8.58	7.92	7.83	7.41	7.78	8.05	8.13	8.83	8.85	9.32
22	9.36	8.12	8.58	7.89	7.74	7.30	7.75	8.03	8.13	8.86	8.90	9.38
24	9.44	8.17	8.59	7.87	7.60	7.24	7.58	7.99	8.12	8.89	8.96	9.47
26	9.52	8.28	8.06	7.81	7.56	7.07	7.49	7.87	8.11	8.94	9.10	9.61
28	9.61	8.31	8.61	7.79	7.49	6.99	7.40	7.85	8.10	8.97	9.19	9.73
30	9.69	8.33	8.63	7.75	7.43	6.94	7.30	7.80	8.09	9.00	9.24	9.80
32	9.76	8.36	8.63	7.70	7.39	6.85	7.20	7.73	8.08	9.04	9.31	9.87
34	9.88	8.41	8.65	7.68	7.30	6.73	7.10	7.69	8.06	9.07	9.38	9.99
36	10.06	8.53	8.67	7.61	7.10	6.59	6.99	7.59	8.06	9.15	8.51	10.21
38	10.14	8.61	8.68	7.59	7.03	6.46	6.87	7.51	8.05	9.19	9.60	10.34
40	10.24	8.65	8.70	7.54	6.95	6.33	6.73	7.54	8.04	9.23	9.69	10.42

Anexo 3. Ensayos de permeabilidad y clasificación



Arquitectura +
Ingeniería

"DELTA CIA. LTDA."

Cel: 0986335585

Cel: 0980080384

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD "K" EN SUELOS

PROYECTO:	ESTUDIO GEOLOGICO- GEOTECNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE".	REALIZADO:	DELTA LABORATORIO
UBICACIÓN:	PREDIO DEL GAD MUNICIPAL, PARROQUIA PACHICUTZA	FECHA:	12/5/2024
SOLICITADO:	EGDO. GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA	PROFUNDIDAD:	1,00 m.

MUESTRA DE ENSAYO	Nº.1	Nº2	
ESPELOR DE AGUA ABSORBIDA (cm)	0,18	0,19	
TIEMPO DE ABSORCIÓN (h.)	1	1	
PERMEABILIDAD "K" (cm/h.)	0,18	0,19	

PERMEABILIDAD "K" (cm/h)	0,19
--------------------------	------

OBSERVACIONES: Estrato correspondiente a la muestra Nro. 1 una arcilla de alta plasticidad con arena , color café oscuro, del tipo "CH".

PABLO
STALIN
JIMENEZ
VEGA

Firmado
digitalmente por
PABLO STALIN
JIMENEZ VEGA
Fecha: 2024.05.12
09:50:20 -05'00'

ING. MSC. PABLO JIMÉNEZ VEGA
ESPECIALISTA GEOTÉCNICO



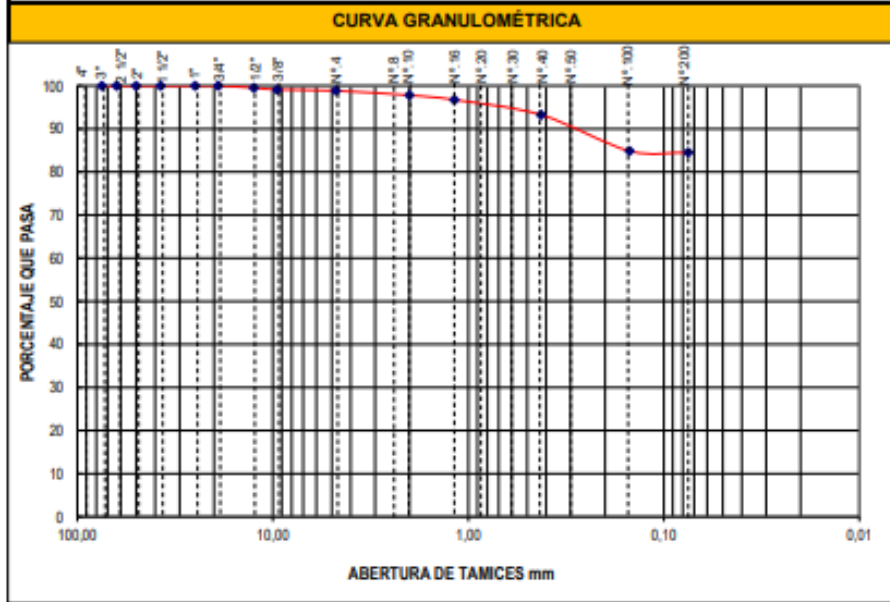
Arquitectura +
Ingeniería

"DELTA CIA. LTDA."
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Cel: 0986335585
Cel: 0980080384

PROYECTO	"ESTUDIO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE".
MUESTRA	MUESTRA N° 1; PROF= 1,00 m.; COLOR CAFE OSCURO
SOLICITA	EGDO. GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA
UBICACIÓN	PREDIO DEL GAD MUNICIPAL, PARROQUIA PACHICUTZA, CANTON EL PANGUI
FECHA	12 de mayo de 2024

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
100	4"	0	0	100	100
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37,5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	0	0	100	
12,5	1/2"	11	0	100	
9,5	3/8"	21	1	99	
4,750	N° 4	27	1	99	
	Pasa N° 4	2300	99	1	
2,360	N° 8				
2,000	N° 10	3	1	98	
1,180	N° 16	6	2	97	
0,850	N° 20				
0,600	N° 30				
0,425	N° 40	16	6	93	
0,300	N° 50				
0,150	N° 100	40	14	85	
0,075	N° 200	41	14	84,5	0 - 20
	Pasa N° 200	242	84,5		
	TOTAL	2327			
Peso Total de Lavado:			283,00		
Peso Total después de Lavado:			41,00		



Firmado digitalmente por
PABLO STALIN JIMENEZ VEGA
Fecha: 2024.05.12 09:40:11 -05'00'
INC. MSC. PABLO JIMENEZ VEGA



Arquitectura +
Ingeniería

"DELTA CIA. LTDA."

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Cel: 0986335585

Cel: 0980080384

PROYECTO	"ESTUDIO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE".
MUESTRA	MUESTRA N° 1; PROF= 1,00 m.; COLOR CAFE OSCURO
SOLICITA	EGDO. GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA
UBICACIÓN	PREDIO DEL GAD MUNICIPAL, PARROQUIA PACHICUTZA, CANTON EL PANGUI
FECHA	12 de mayo de 2024

CONTENIDO DE HUMEDAD				
PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPSULA	% DE HUMEDAD	RESULTADO
62,03	51,93	18,01	29,78	29,11
65,14	54,46	16,84	28,39	
67,48	56,14	17,24	29,15	

PABLO
STALIN
JIMENEZ
VEGA

Firmado
digitalmente por
PABLO STALIN
JIMENEZ VEGA
Fecha: 2024.05.12
09:49:24 -05'00'

ING. MSC. PABLO JIMÉNEZ VEGA
ESPECIALISTA GEOTÉCNICO



Arquitectura +
Ingeniería

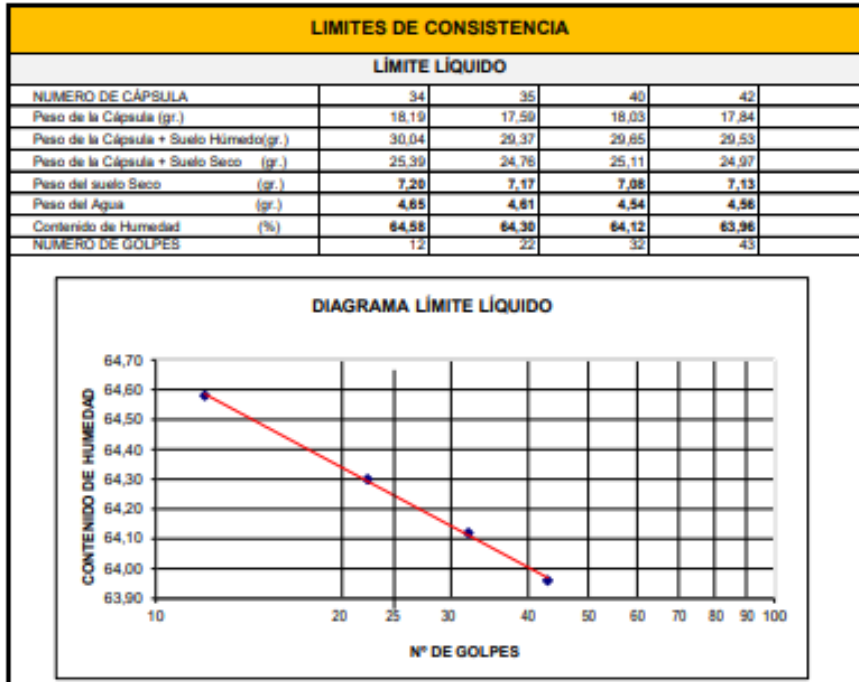
"DELTA CIA. LTDA."

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Cel: 0986335585

Cel: 0980080384

PROYECTO	"ESTUDIO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE".		
MUESTRA	MUESTRA N° 1; PROF= 1,00 m.; COLOR CAFE OSCURO		
SOLICITA	EGDO. GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA		
UBICACIÓN	PREDIO DEL GAD MUNICIPAL, PARROQUIA PACHICUTZA, CANTON EL PANGUI		
FECHA	12 de mayo de 2024	NORMA	A.A.S.H.O. T 90-56



LÍMITE PLÁSTICO			
NUMERO DE CÁPSULA	9	10	54
Peso de la Cápsula (gr.)	9,76	10,22	10,15
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo(gr.)	11,47	11,87	11,61
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr.)	11,12	11,54	11,31
Peso del suelo Seco (gr.)	1,36	1,32	1,16
Peso del Agua (gr.)	0,35	0,33	0,36
Contenido de Humedad (%)	25,74	25,00	25,86
Contenido Medio de Humedad (%)	L.P.= 25,53 %		

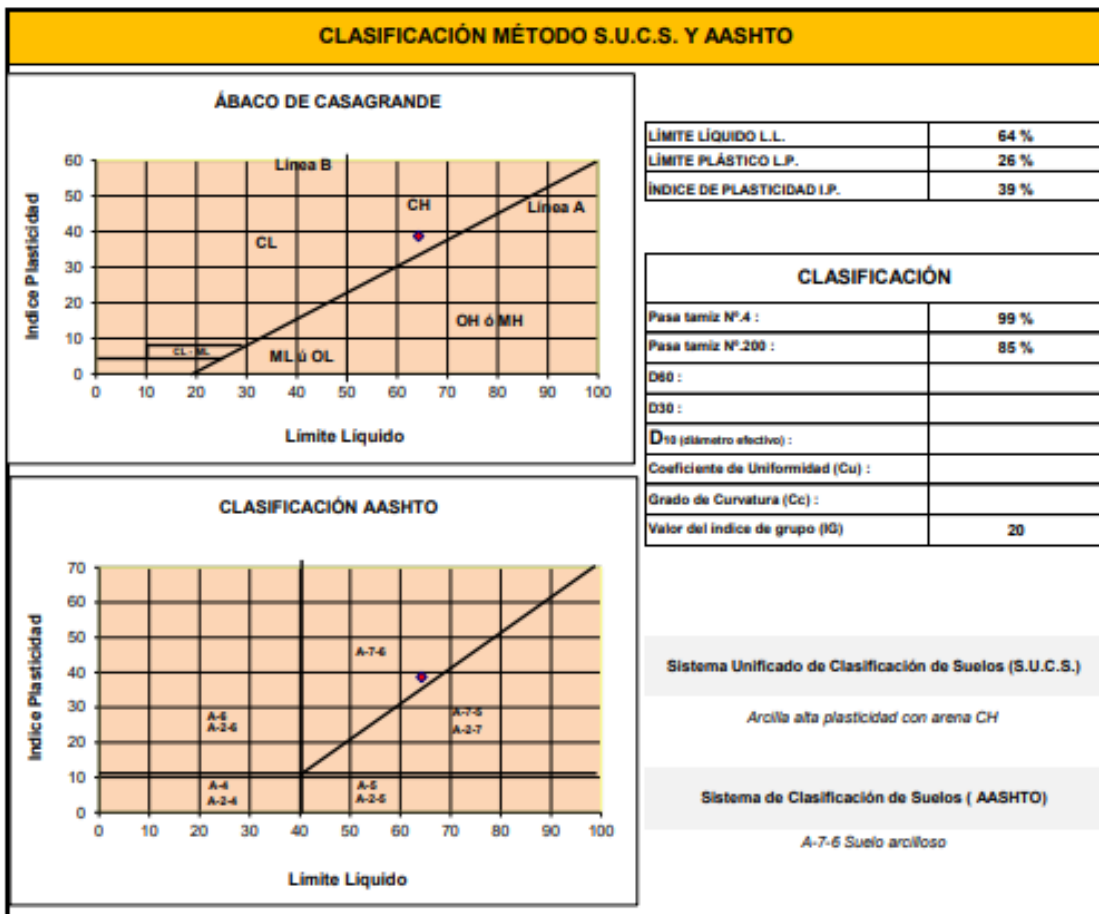
RESULTADOS	
VALORES ENSAYO	VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA
L.L. = 64,3%	L.L. = 64%
L.P. = 25,5 %	L.P. = 26 %
I.P. = 38,7%	I.P. = 39%

PABLO
STALIN
JIMENEZ
VEGA

Firmado digitalmente por PABLO STALIN JIMENEZ VEGA
Fecha: 2024.05.12 09:49:38 -05'00'

ING. MSC. PABLO JIMÉNEZ VEGA
ESPECIALISTA GEOTÉCNICO

PROYECTO	"ESTUDIO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE".
MUESTRA	MUESTRA N° 1; PROF= 1,00 m.; COLOR CAFE OSCURO
SOLICITA	EGDO. GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA
UBICACIÓN	PREDIO DEL GAD MUNICIPAL, PARROQUIA PACHICUTZA, CANTON EL PANGUI
FECHA	12 de mayo de 2024



PABLO STALIN JIMENEZ VEGA
 Firmado digitalmente por PABLO STALIN JIMENEZ VEGA
 Fecha: 2024.05.12 09:49:52 -05'00'
ING. MSC. PABLO JIMÉNEZ VEGA
ESPECIALISTA GEOTÉCNICO



Arquitectura +
Ingeniería

"DELTA CIA. LTDA."

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Cel: 0986335585

Cel: 0980080384

DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD "K" EN SUELOS

PROYECTO:	ESTUDIO GEOLOGICO- GEOTECNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE".	REALIZADO:	DELTA LABORATORIO
UBICACIÓN:	PREDIO DEL GAD MUNICIPAL, PARROQUIA PACHICUTZA	FECHA:	12/5/2024
SOLICITADO:	EGDO. GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA	PROFUNDIDAD:	1,00 m.

MUESTRA DE ENSAYO	Nº.1	Nº2	
ESPEJOR DE AGUA ABSORBIDA (cm)	1,10	1,00	
TIEMPO DE ABSORCIÓN (h.)	1	1	
PERMEABILIDAD "K" (cm/h.)	1,10	1,00	

PERMEABILIDAD "K" (cm/h)	1,05
---------------------------------	-------------

OBSERVACIONES:

Estrato correspondiente a la muestra Nro. 2 una arcilla de media plasticidad arenosa, color crema, del tipo "CL".

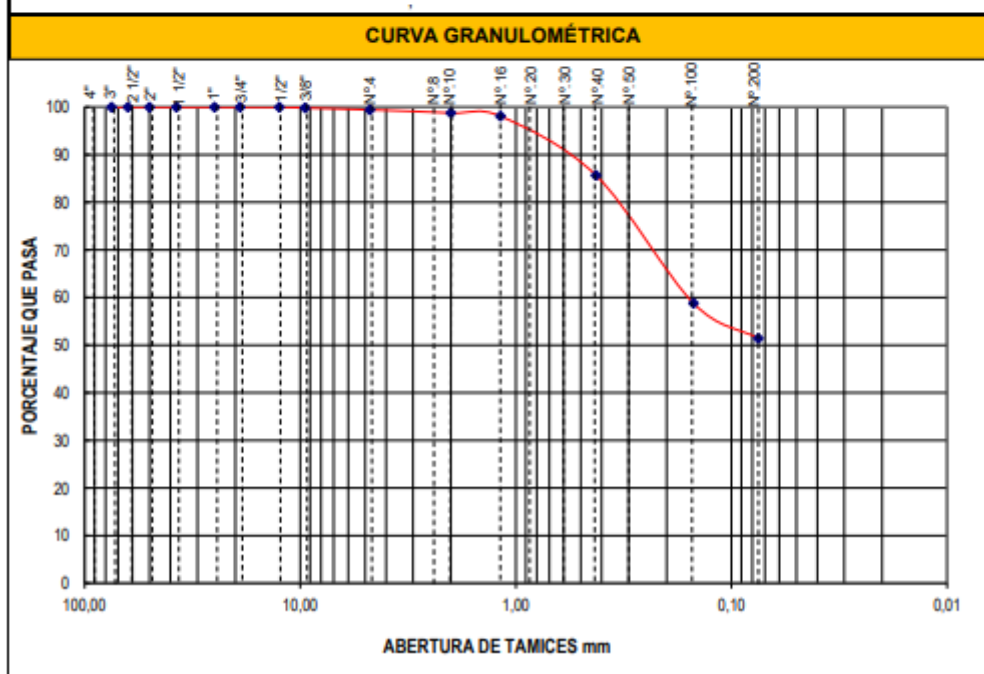
PABLO
STALIN
JIMENEZ
VEGA

Firmado
digitalmente por
PABLO STALIN
JIMENEZ VEGA
Fecha: 2024.05.12
09:51:52 -05'00'

ING. MSC. PABLO JIMÉNEZ VEGA
ESPECIALISTA GEOTÉCNICO

PROYECTO	"ESTUDIO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE".
MUESTRA	MUESTRA N° 2; PROF= 1,00 m.; COLOR CREMA
SOLICITA	EGDO. GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA
UBICACIÓN	PREDIO DEL GAD MUNICIPAL, PARROQUIA PACHICUTZA, CANTON EL PANGUI
FECHA	12 de mayo de 2024

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					
MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
100	4"	0	0	100	100
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37,5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	0	0	100	
12,5	1/2"	0	0	100	
9,5	3/8"	4	0	100	
4,750	N°.4	13	1	99	
	Pasa N°.4	2282	99	1	
2,360	N°.8				
2,000	N°.10	2	1	99	
1,180	N°.16	4	1	98	
0,850	N° .20				
0,600	N° .30				
0,425	N° .40	41	14	86	
0,300	N° .50				
0,150	N° .100	121	41	59	
0,075	N° .200	143	48	51,4	0 - 20
	Pasa N° .200	153	51,4		
	TOTAL	2295			
	Peso Total de Lavado:		296,00		
	Peso Total después de Lavado:		143,00		



Firmado digitalmente
por PABLO STALIN
JIMENEZ VEGA
Fecha: 2024.05.12



Arquitectura +
Ingeniería

"DELTA CIA. LTDA."

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Cel: 0986335585

Cel: 0980080384

PROYECTO	"ESTUDIO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE".
MUESTRA	MUESTRA N° 2; PROF= 1,00 m.; COLOR CREMA
SOLICITA	EGDO. GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA
UBICACIÓN	PREDIO DEL GAD MUNICIPAL, PARROQUIA PACHICUTZA, CANTON EL PANGUI
FECHA	12 de mayo de 2024

CONTENIDO DE HUMEDAD				
PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPSULA	% DE HUMEDAD	RESULTADO
65,87	58,23	17,40	18,71	18,70
66,32	58,78	18,25	18,60	
68,24	60,14	17,02	18,78	

PABLO
STALIN
JIMENEZ
VEGA

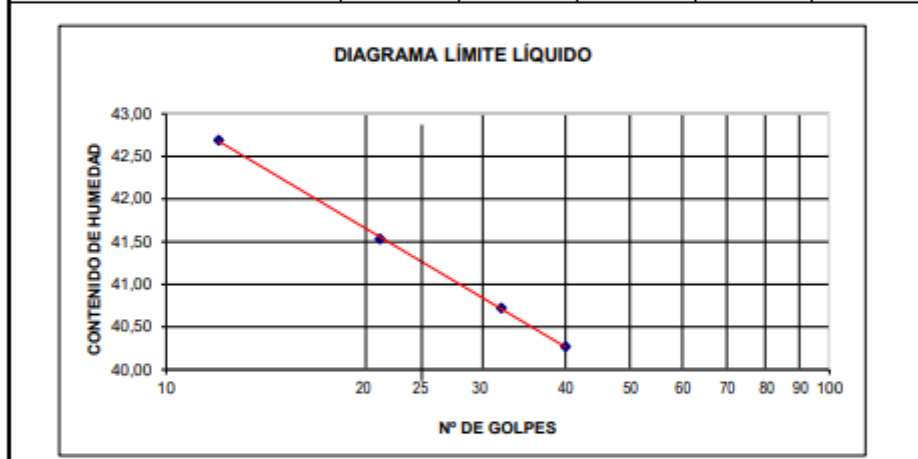
Firmado
digitalmente por
PABLO STALIN
JIMENEZ VEGA
Fecha: 2024.05.12
09:50:57 -05'00'

ING. MSC. PABLO JIMÉNEZ VEGA
ESPECIALISTA GEOTÉCNICO

PROYECTO	"ESTUDIO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE".		
MUESTRA	MUESTRA N° 2; PROF= 1,00 m.; COLOR CREMA		
SOLICITA	EGDO. GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA		
UBICACIÓN	PREDIO DEL GAD MUNICIPAL, PARROQUIA PACHICUTZA, CANTON EL PANGUI		
FECHA	12 de mayo de 2024	NORMA	A.A.S.H.O. T 90-56

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO				
NUMERO DE CÁPSULA	25	14	13	16
Peso de la Cápsula (gr.)	18,17	18,19	17,88	17,99
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo(gr.)	30,07	32,64	32,36	30,32
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr.)	26,51	28,40	28,17	26,78
Peso del suelo Seco (gr.)	8,34	10,21	10,29	8,79
Peso del Agua (gr.)	3,56	4,24	4,19	3,54
Contenido de Humedad (%)	42,69	41,53	40,72	40,27
NUMERO DE GOLPES	12	21	32	40



LÍMITE PLÁSTICO			
NUMERO DE CÁPSULA	18	30	59
Peso de la Cápsula (gr.)	10,43	10,03	9,83
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo(gr.)	11,68	11,69	11,31
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr.)	11,45	11,38	11,04
Peso del suelo Seco (gr.)	1,02	1,35	1,21
Peso del Agua (gr.)	0,23	0,31	0,27
Contenido de Humedad (%)	22,55	22,96	22,31
Contenido Medio de Humedad (%)	L.P.= 22,61 %		

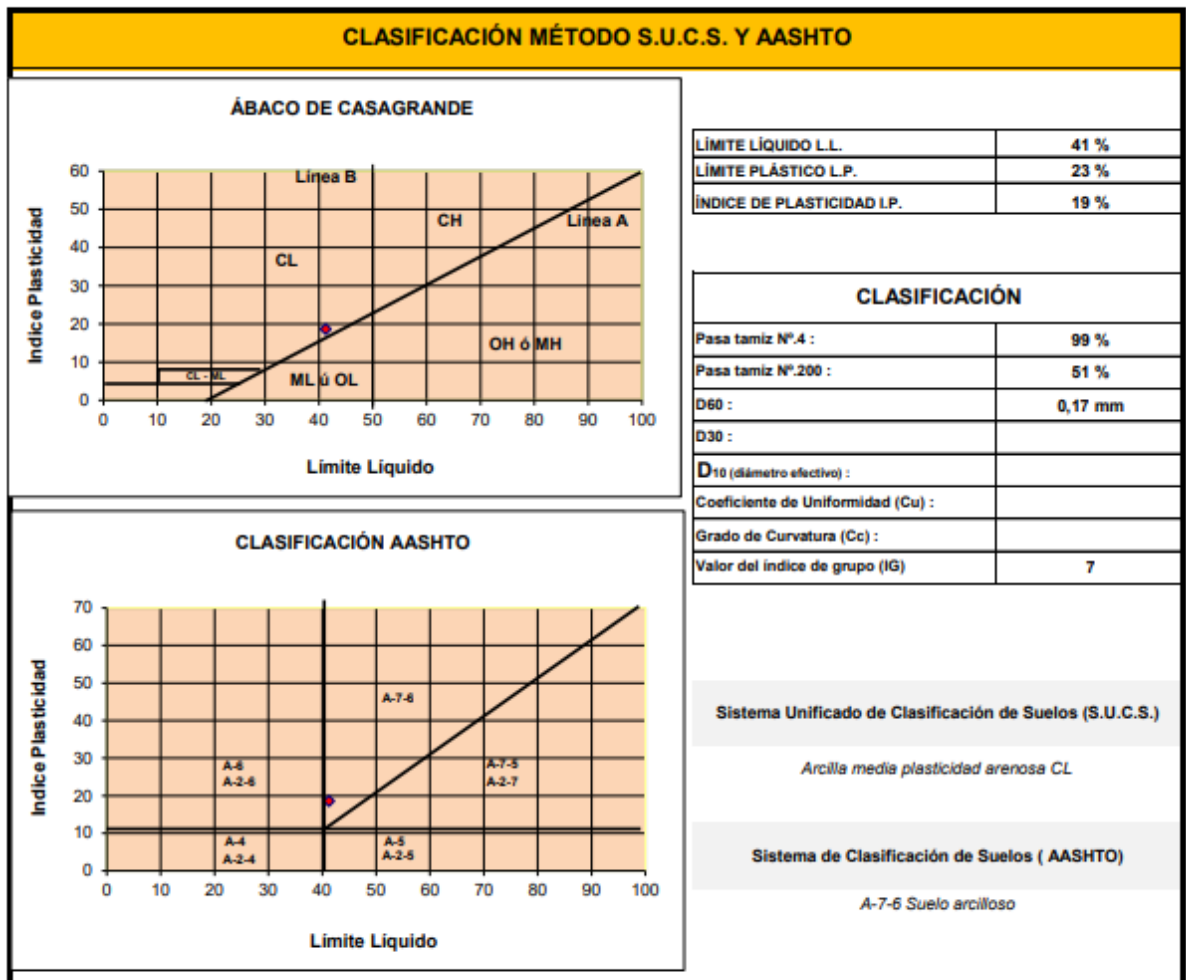
RESULTADOS	
VALORES ENSAYO	VALORES ENTEROS SEGÚN NORMA
L.L. = 41,3%	L.L. = 41%
L.P. = 22,6 %	L.P. = 23 %
I.P. = 18,6%	I.P. = 19%

PABLO
STALIN
JIMENEZ
VEGA

Firmado digitalmente por PABLO STALIN JIMENEZ VEGA
Fecha: 2024.05.12 09:51:12 -05'00'

ING. MSC. PABLO JIMÉNEZ VEGA
ESPECIALISTA GEOTÉCNICO

PROYECTO	"ESTUDIO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE".
MUESTRA	MUESTRA N° 2; PROF= 1,00 m.; COLOR CREMA
SOLICITA	EGDO. GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA
UBICACIÓN	PREDIO DEL GAD MUNICIPAL, PARROQUIA PACHICUTZA, CANTON EL PANGUI
FECHA	12 de mayo de 2024



PABLO
STALIN
JIMENEZ
VEGA

Firmado
digitalmente por
PABLO STALIN
JIMENEZ VEGA
Fecha: 2024.05.12
09:51:27 -05'00'

ING. MSC. PABLO JIMÉNEZ VEGA
ESPECIALISTA GEOTÉCNICO



Arquitectura +
Ingeniería

"DELTA CIA. LTDA."

Cel: 0986335585

Cel: 0980080384

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD "K" EN SUELOS

PROYECTO:	ESTUDIO GEOLOGICO-GEOTECNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE".	REALIZADO:	DELTA LABORATORIO
UBICACIÓN:	PREDIO DEL GAD MUNICIPAL, PARROQUIA PACHICUTZA	FECHA:	12/5/2024
SOLICITADO:	EGDO. GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA	PROFUNDIDAD:	1,00 m.

MUESTRA DE ENSAYO	Nº.1	Nº2	
ESPESOR DE AGUA ABSORBIDA (cm)	1,71	1,69	
TIEMPO DE ABSORCIÓN (h.)	1	1	
PERMEABILIDAD "K" (cm/h.)	1,71	1,69	

PERMEABILIDAD "K" (cm/h)	1,70
---------------------------------	-------------

OBSERVACIONES:

Estrato correspondiente a la muestra Nro. 3 una arcilla de media plasticidad arenosa, color crema, del tipo "CL".

PABLO
STALIN
JIMENEZ
VEGA

Firmado digitalmente por PABLO STALIN JIMENEZ VEGA
Fecha: 2024.05.12 09:53:51 -05'00'

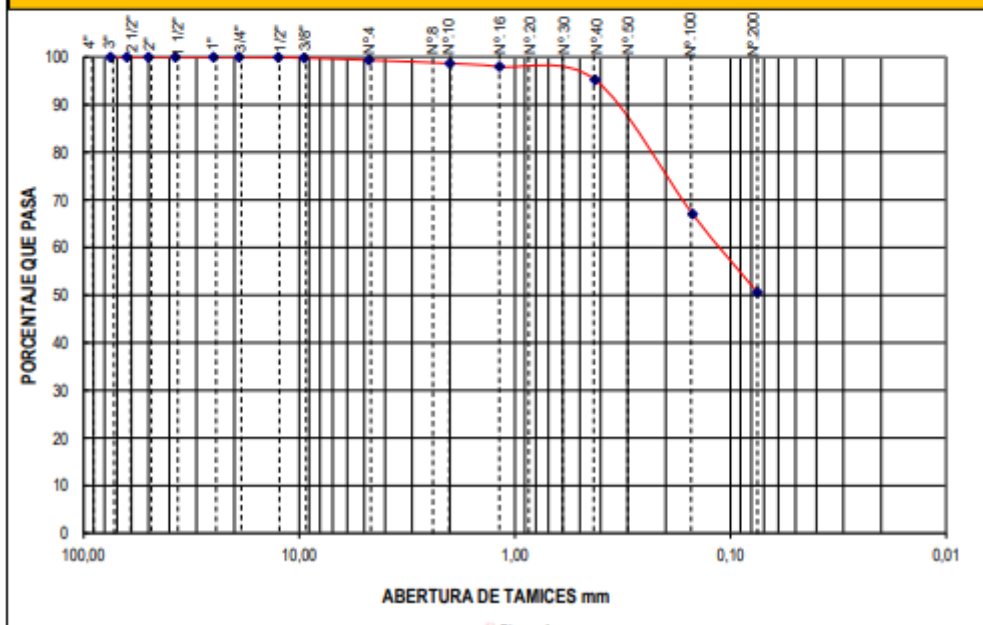
ING. MSC. PABLO JIMÉNEZ VEGA
ESPECIALISTA GEOTÉCNICO

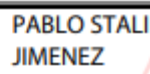
PROYECTO	"ESTUDIO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE".
MUESTRA	MUESTRA N° 3; PROF= 1,00 m.; COLOR CREMA
SOLICITA	EGDO. GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA
UBICACIÓN	PREDIO DEL GAD MUNICIPAL, PARROQUIA PACHICUTZA, CANTON EL PANGUI
FECHA	12 de mayo de 2024

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MICR.	TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	FAJA DE DISEÑO
100	4"	0	0	100	100
75	3"	0	0	100	
63	2 1/2"	0	0	100	
50	2"	0	0	100	
37,5	1 1/2"	0	0	100	
25	1"	0	0	100	
19	3/4"	0	0	100	
12,5	1/2"	2	0	100	
9,5	3/8"	4	0	100	
4,750	N°.4	15	1	99	
	Pasa N°.4	2305	99	1	
2,360	N°.8				
2,000	N°.10	2	1	99	
1,180	N°.16	4	1	98	
0,850	N°.20				
0,600	N°.30				
0,425	N°.40	12	4	95	
0,300	N°.50				
0,150	N°.100	94	32	67	
0,075	N°.200	142	49	50,5	0 - 20
	Pasa N°.200	147	50,5		
	TOTAL	2320			
Peso Total de Lavado:			289,00		
Peso Total después de Lavado:			142,00		

CURVA GRANULOMÉTRICA




 digitalmente por
PABLO STALIN JIMENEZ VEGA



Arquitectura +
Ingeniería

"DELTA CIA. LTDA."

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

Cel: 0986335585

Cel: 0980080384

PROYECTO	*ESTUDIO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE*.
MUESTRA	MUESTRA N° 3; PROF= 1,00 m.; COLOR CREMA
SOLICITA	EGDO. GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA
UBICACIÓN	PREDIO DEL GAD MUNICIPAL, PARROQUIA PACHICUTZA, CANTON EL PANGUI
FECHA	12 de mayo de 2024

CONTENIDO DE HUMEDAD				
PESO HUMEDO	PESO SECO	PESO DE CAPSULA	% DE HUMEDAD	RESULTADO
61,87	54,10	18,29	21,70	21,34
60,48	53,48	19,25	20,45	
62,48	54,49	17,95	21,87	

PABLO
STALIN
JIMENEZ
VEGA

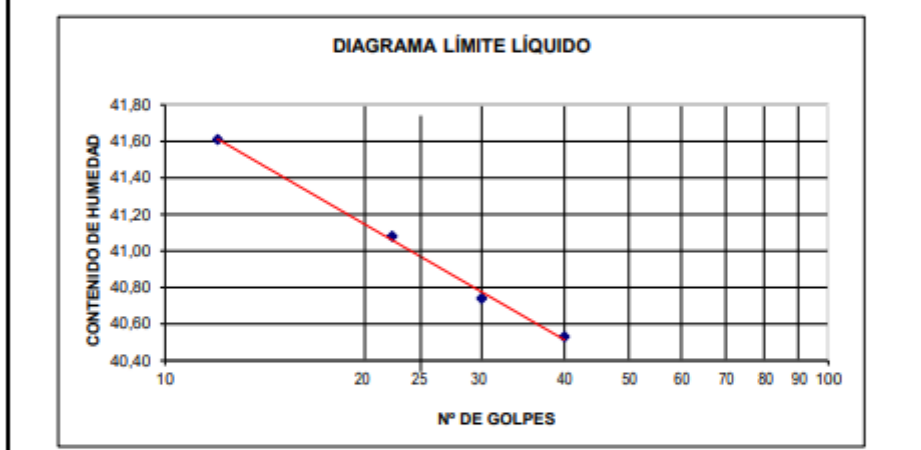
Firmado digitalmente por PABLO STALIN JIMENEZ VEGA
Fecha: 2024.05.12 09:53:03 -05'00'

ING. MSC. PABLO JIMÉNEZ VEGA
ESPECIALISTA GEOTÉCNICO

PROYECTO	"ESTUDIO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE".		
MUESTRA	MUESTRA N° 3; PROF= 1,00 m.; COLOR CREMA		
SOLICITA	EGDO. GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA		
UBICACIÓN	PREDIO DEL GAD MUNICIPAL, PARROQUIA PACHICUTZA, CANTON EL PANGUI		
FECHA	12 de mayo de 2024	NORMA	A.A.S.H.O. T 90-56

LIMITES DE CONSISTENCIA

LÍMITE LÍQUIDO				
NUMERO DE CÁPSULA	31	15	11	28
Peso de la Cápsula (gr.)	17,85	17,80	17,95	17,64
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo(gr.)	32,62	30,65	30,11	30,26
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr.)	28,28	26,85	26,59	26,62
Peso del suelo Seco (gr.)	10,43	9,25	8,64	8,98
Peso del Agua (gr.)	4,34	3,80	3,52	3,64
Contenido de Humedad (%)	41,61	41,08	40,74	40,53
NUMERO DE GÓLPE	12	22	30	40



LÍMITE PLÁSTICO			
NUMERO DE CÁPSULA	1	53	24
Peso de la Cápsula (gr.)	10,33	10,15	10,34
Peso de la Cápsula + Suelo Húmedo(gr.)	12,91	12,25	12,09
Peso de la Cápsula + Suelo Seco (gr.)	12,40	11,84	11,75
Peso del suelo Seco (gr.)	2,07	1,69	1,41
Peso del Agua (gr.)	0,51	0,41	0,34
Contenido de Humedad (%)	24,64	24,26	24,11
Contenido Medio de Humedad (%)	L.P.= 24,34 %		

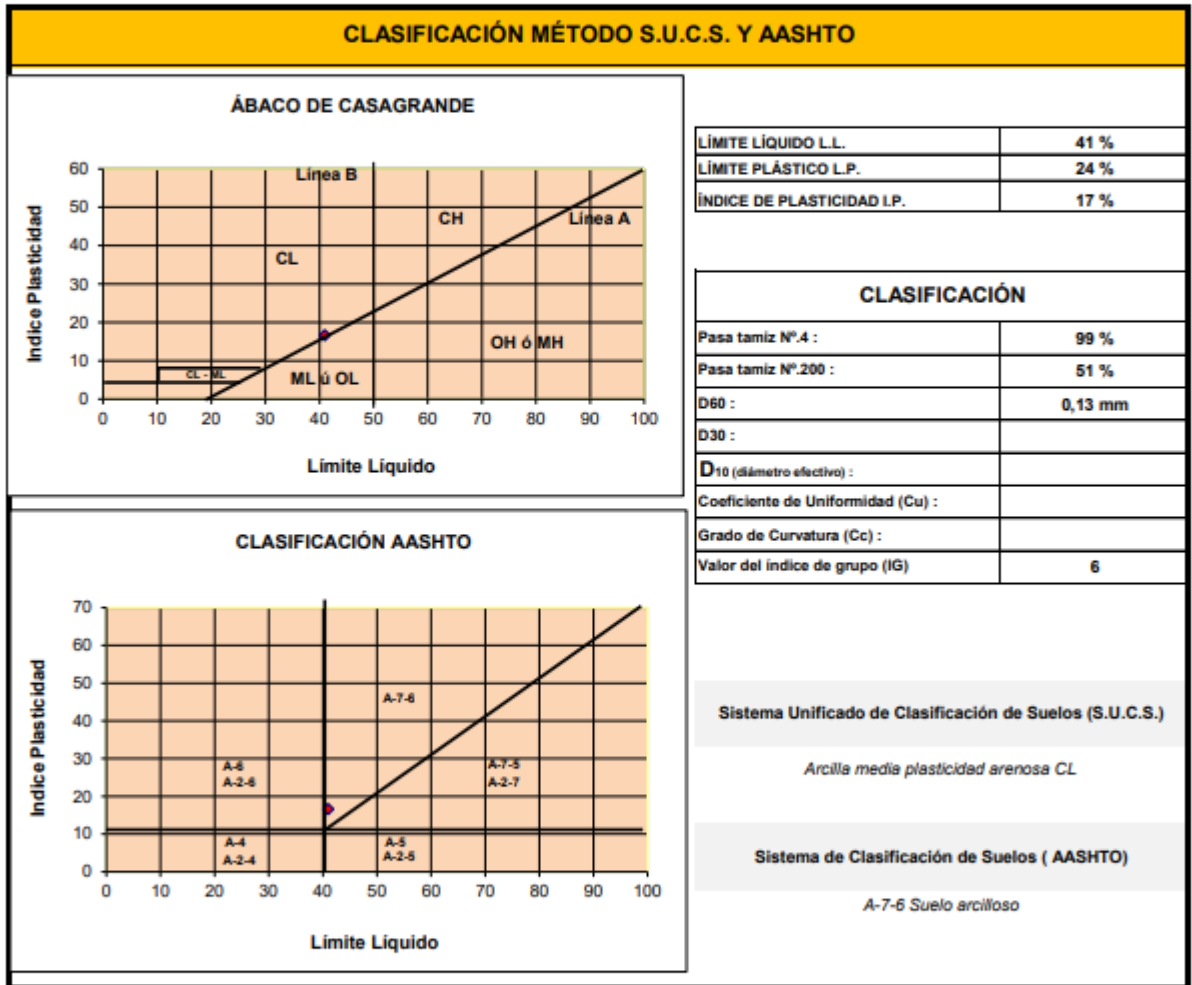
RESULTADOS	
VALORES ENSAYO	VALORES ENTEROS SEGUN NORMA
L.L. = 41,0%	L.L. = 41%
L.P. = 24,3 %	L.P. = 24 %
I.P. = 16,7%	I.P. = 17%

PABLO STALIN JIMENEZ VEGA

Firmado digitalmente por PABLO STALIN JIMENEZ VEGA
Fecha: 2024.05.12 09:53:18 -05'00'

ING. MSC. PABLO JIMÉNEZ VEGA
ESPECIALISTA GEOTÉCNICO

PROYECTO	"ESTUDIO GEOLÓGICO- GEOTÉCNICO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RELLENO SANITARIO DEL GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN EL PANGUI, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE".
MUESTRA	MUESTRA N° 3; PROF= 1,00 m.; COLOR CREMA
SOLICITA	EGDO. GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA
UBICACIÓN	PREDIO DEL GAD MUNICIPAL, PARROQUIA PACHICUTZA, CANTON EL PANGUI
FECHA	12 de mayo de 2024



**PABLO
STALIN
JIMENEZ
VEGA**

Firmado digitalmente por
PABLO STALIN
JIMENEZ VEGA
Fecha: 2024.05.12
09:53:32 -05'00'

ING. MSC. PABLO JIMÉNEZ VEGA
ESPECIALISTA GEOTÉCNICO

Anexo 4. Autorización Para Uso De La Información por parte del GAD municipal

El Pangui, 13 de mayo de 2022

Señor.

Carlos Mesías Punín Tello

**ALCALDE DEL GOBIERNO AUTONOMO DESCENTRALIZADO
DEL CANTON EL PANGUI. -**

Presente. -

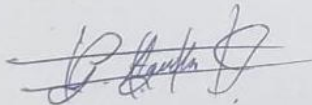
De mis consideraciones:

Yo, **George Alexander Aguilar Zaruma** con Cédula de Identidad **Nro. 1105907313**. En calidad de estudiante de la Carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, expreso a usted el atento saludo y los deseos de éxitos en las delicadas funciones que cumple.

A la vez, hago oportuna la ocasión para solicitarle se digne autorizarme permiso al área e información del **NUEVO RELLENO SANITARIO** con el propósito de realizar un **PROYECTO DE TESIS**, el cual consiste en un estudio geológico-geotécnico del área destinada a esta infraestructura en el periodo 2022-2023 y así determinar si existen zonas susceptibles o posibles complicaciones por las capacidades y características del terreno.

Esperando su pronta respuesta y agradezco desde ya la atención a mi solicitud

Atentamente,



**GEORGE ALEXANDER AGUILAR ZARUMA,
ESTUDIANTE CIGAYOT**

GAD MUNICIPAL DE EL PANGUI	
Recibido:	13 MAY 2022
Hora:	14 H42
Nº. Trámite:	
Secretario:	

CELULAR: 0996332597

CORREO: alexander.aguilar9414@gmail.com

Oficio Nro. GADMEP-UGA-2023-0019-O

El Pangui, 23 de febrero de 2023

Asunto: SOLICITÓ PERMISO PARA REALIZAR LA INFORMACIÓN DEL NUEVO RELLENO SANITARIO CON UN PROYECTO DE TESIS

Señor
George Alexandre Aguilar Zaruma
En su Despacho

De mi consideración:

En respuesta al Oficio No. S/N del 22 de febrero de 2023, suscrito por el Sr. George Alexander Aguilar Zaruma estudiante de la carrera de Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial de la Universidad Nacional de Loja; **me permito adjuntar por medio del presente información relevante con respecto al Sitio de Disposición Final de Residuos Sólidos del cantón El Pangui,**

Cabe indicar que el sitio en mención se encuentra en procesos de aprobación de los Estudios de Impacto Ambiental ante la Autoridad Ambiental Nacional por lo que la información compartida es de uso institucional.

Se autoriza al interesado hacer uso de la información, sin alterar su contenido de origen.

Con sentimientos de distinguida consideración.

Atentamente,

Documento firmado electrónicamente

Tlgo. Brayan Leonardo Zhanay Mendoza
TECNICO AMBIENTAL DEL GADM DE EL PANGUI

Referencias:
- GADMEP-RD-2023-0525-E

Anexos:
- OF. GEORGE AGUILAR.pdf
- MEMORI-1.PDF
- MEMORI-1.PDF

Oficio Nro. GADMEP-UGA-2023-0019-O

El Pangui, 23 de febrero de 2023

Copia:

Señor Doctor
Victor Hugo Castillo Loyola
Director Administrativo del GADM de El Pangui



BRAYAN LEONARDO
ZHANAY MENDOZA

Av. 13 de Mayo y Luis Imaicela



Anexo 5. Mapas

Anexo 5.1. Mapa geológico Regional

Anexo 5.2. Mapa topográfico

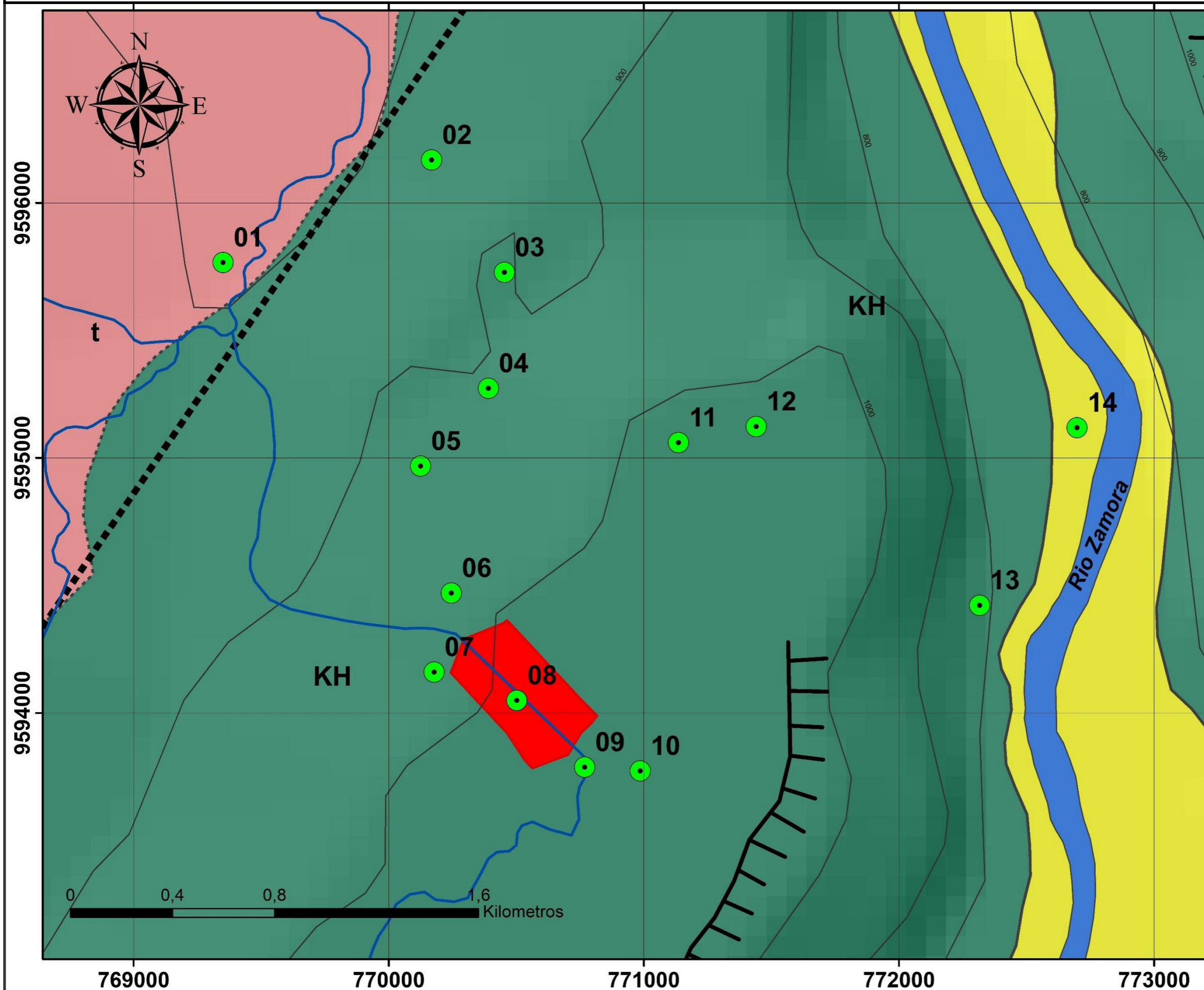
Anexo 5.2. Mapa geológico del área de estudio

Anexo 5.3. Corte geológico A-B

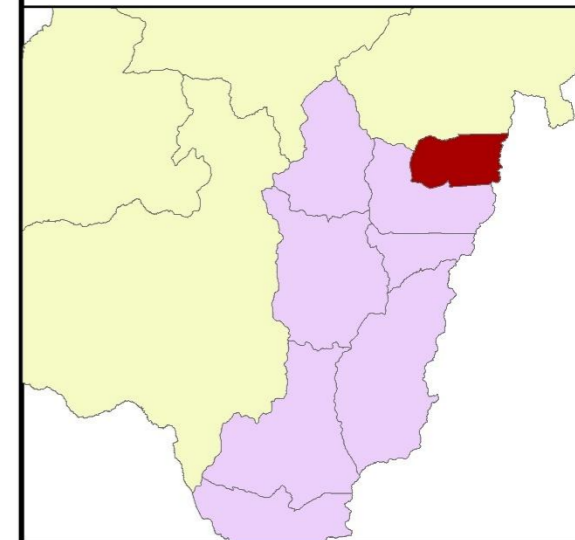
Anexo 5.3. Mapa de pendientes

Anexo 5. 6. Zonas aptas para la construcción

MAPA GEOLÓGICO



UBICACIÓN



SIMBOLOGIA

- Quebrada
- FALLA_INFERIDA
- FALLA
- curvas
- Zona de estudio

LEYENDA

FORMACIÓN

- KH Formación Hollín
- Deposito Aluvial
- t Terraza

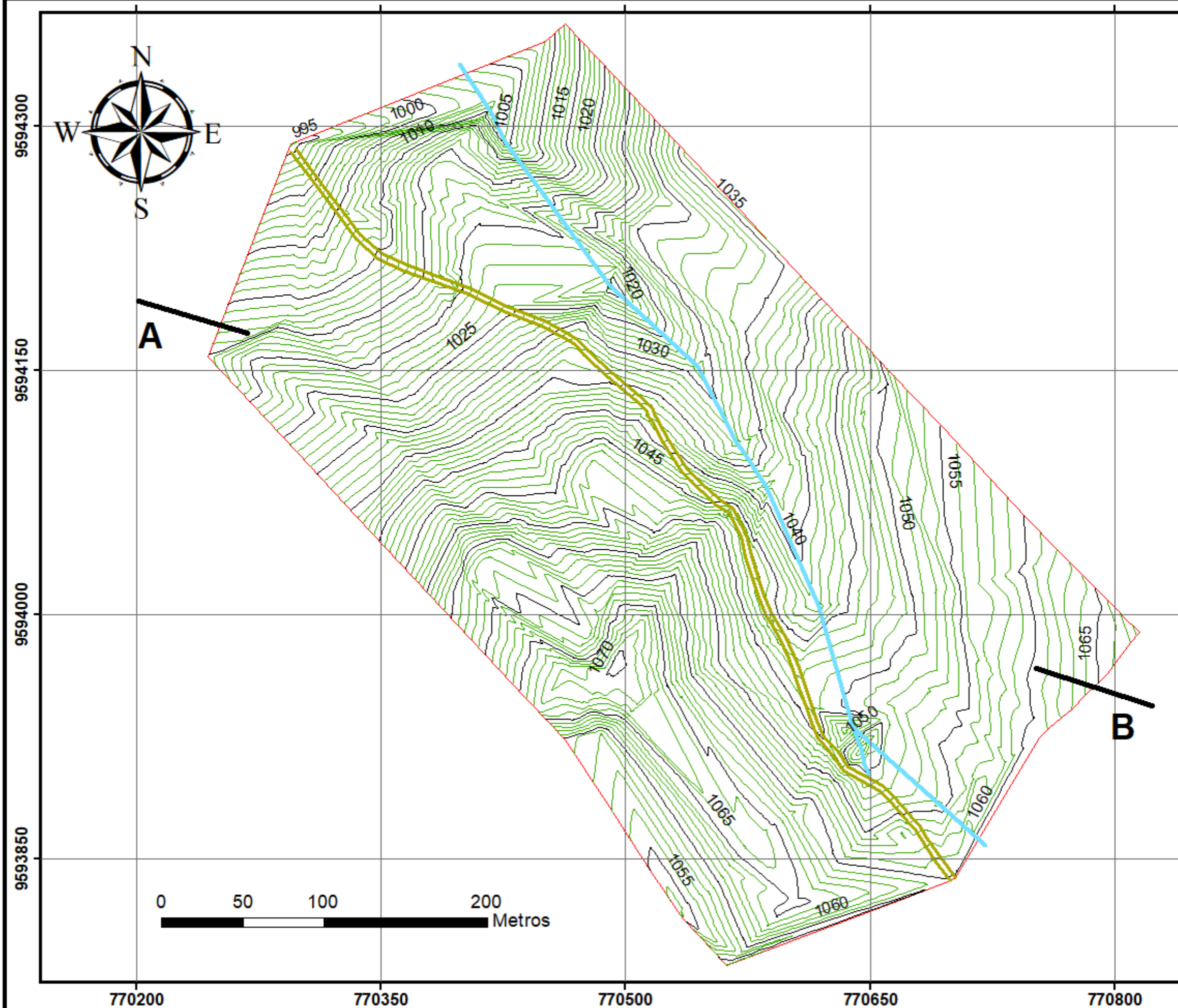
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
 FACULTAD DE LA ENERGIA LAS INDUSTRIAS
 Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
 INGENIERIA EN GEOOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL



Estudio geológico- geotécnico para la construcción del
 relleno sanitario del GAD Municipal del cantón El Pangui,
 provincia de Zamora Chinchipe

ELABORADO	George Alexander Aguilar Zaruma	Escala de impresión
CONTIENE	Geología del area de estudio	1: 15000
DIRECTOR	Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo	Escala de trabajo
FECHA	ENERO 2023	1: 100000

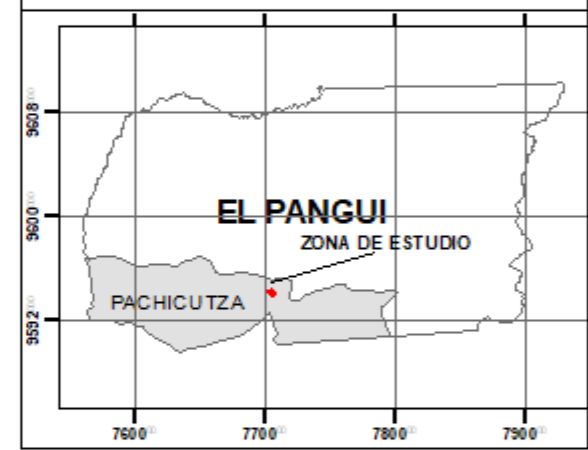
TOPOGRAFÍA DEL AREA DE ESTUDIO



UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN CANTONAL



LEYENDA

- VÍA DE ACCESO
- QUEBRADA
- CURVAS PRINCIPALES
- CURVAS SECUNDARIAS
- LÍMITE TOPOGRÁFICO

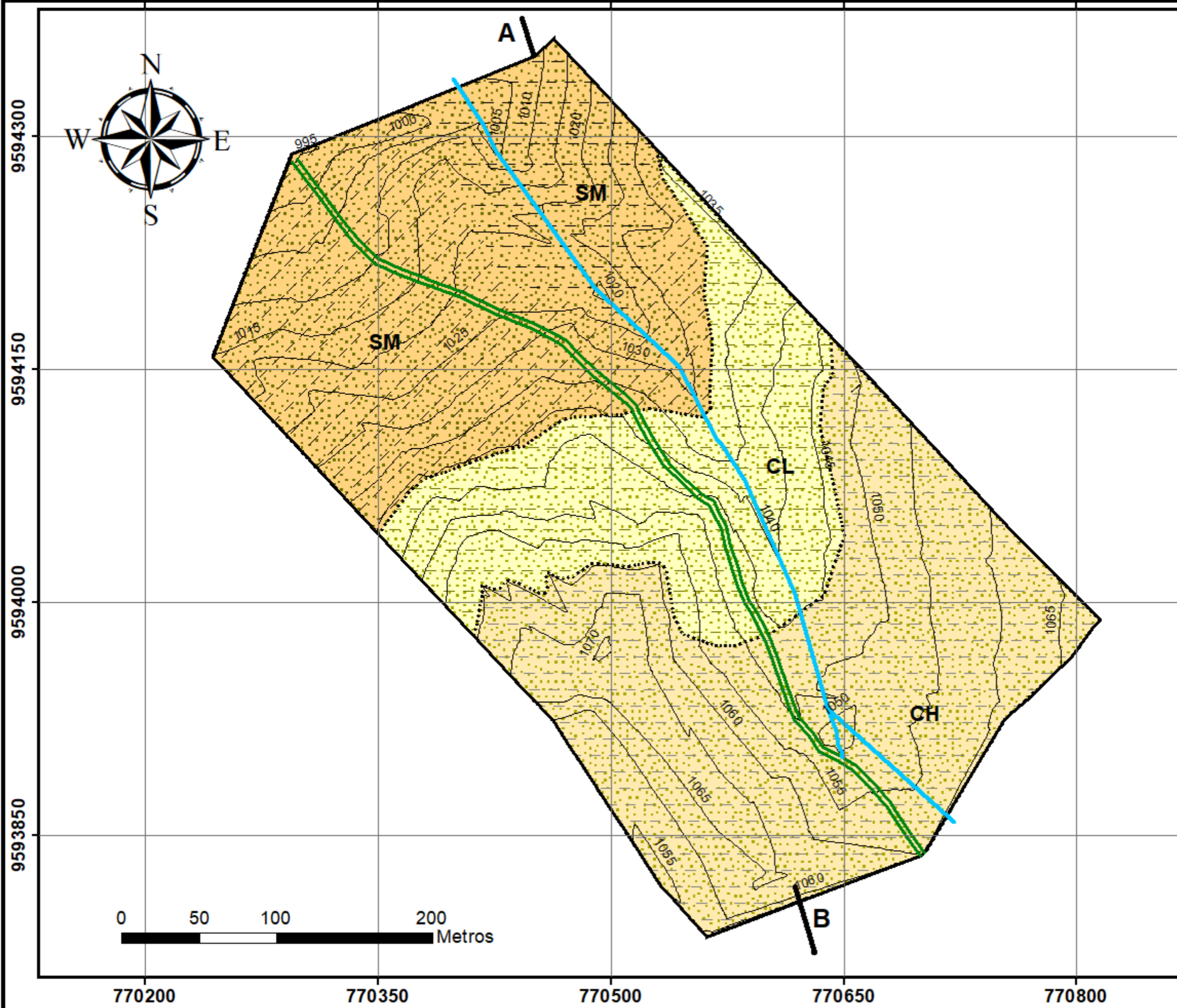
Sistema de coordenadas: UTM 17S- WGS 84

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
 FACULTAD DE LA ENERGÍA LAS INDUSTRIAS
 Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
 INGENIERÍA EN GEOLOGÍA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Estudio geológico-geotécnico para la construcción del
 relleno sanitario del GAD Municipal del cantón El Pangui,
 provincia de Zamora Chinchipe

ELABORADO	George Alexander Aguilar Zaruma	Escala de impresión
CONTIENE	Topografía del area de estudio	1: 2400
DIRECTOR	Ing. Stalin Iván Puglia Arévalo	Escala de trabajo
FECHA	ENERO 2023	1: 1000

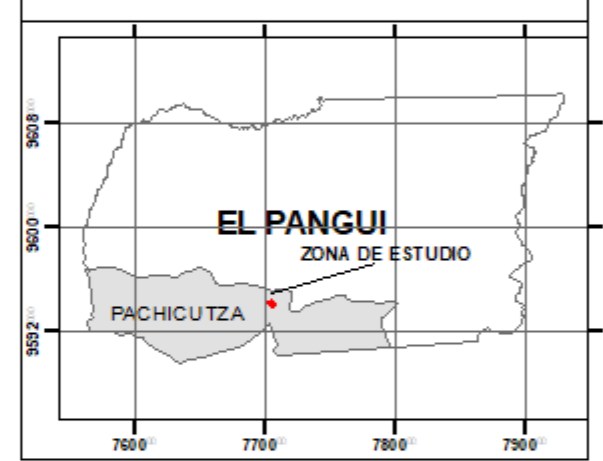
GEOLOGÍA DEL AREA DE ESTUDIO



UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN CANTONAL



SIMBOLOGÍA

- Via de acceso
- Quebrada
- Curvas Principales
- ▭ Límite Topográfico

LEYENDA

- Arcilla de alta plasticidad arenosa
- Arcilla de mediana plasticidad arenosa
- Arena limosa; Arena limosa con grava

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
 FACULTAD DE LA ENERGIA LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
 INGENIERIA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Estudio geológico-geotécnico para la construcción del relleno sanitario del GAD Municipal del cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe

ELABORADO	George Alexander Aguilar Zaruma	Escala de impresión 1: 2500 Escala de trabajo 1: 1000
CONTIENE	Geología del area de estudio	
DIRECTOR	Ing. Stalin Iván Puglia Arévalo	
FECHA	ENERO 2023	

CORTE GEOLÓGICO A-B

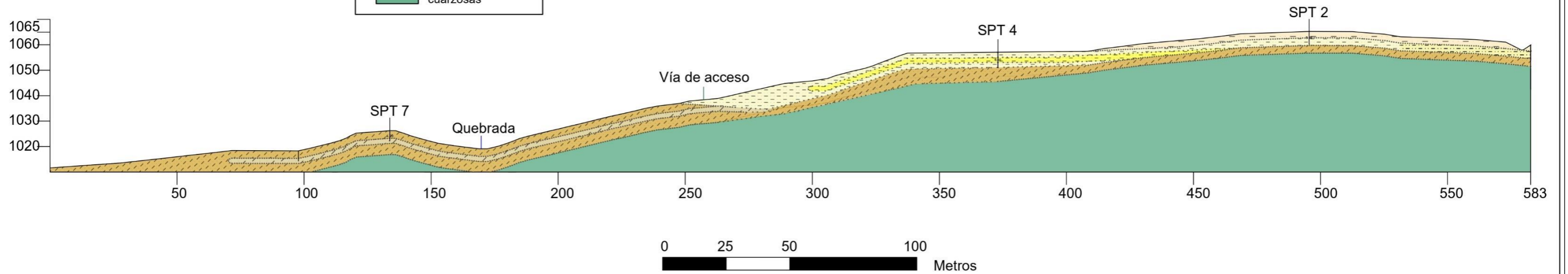
LEYENDA

- Arcilla de alta plasticidad arenosa
- Arcilla de mediana plasticidad arenosa
- Arena arcillosa
- Limo de baja plasticidad arenoso
- Arena limosa
- Areniscas cuarzosas

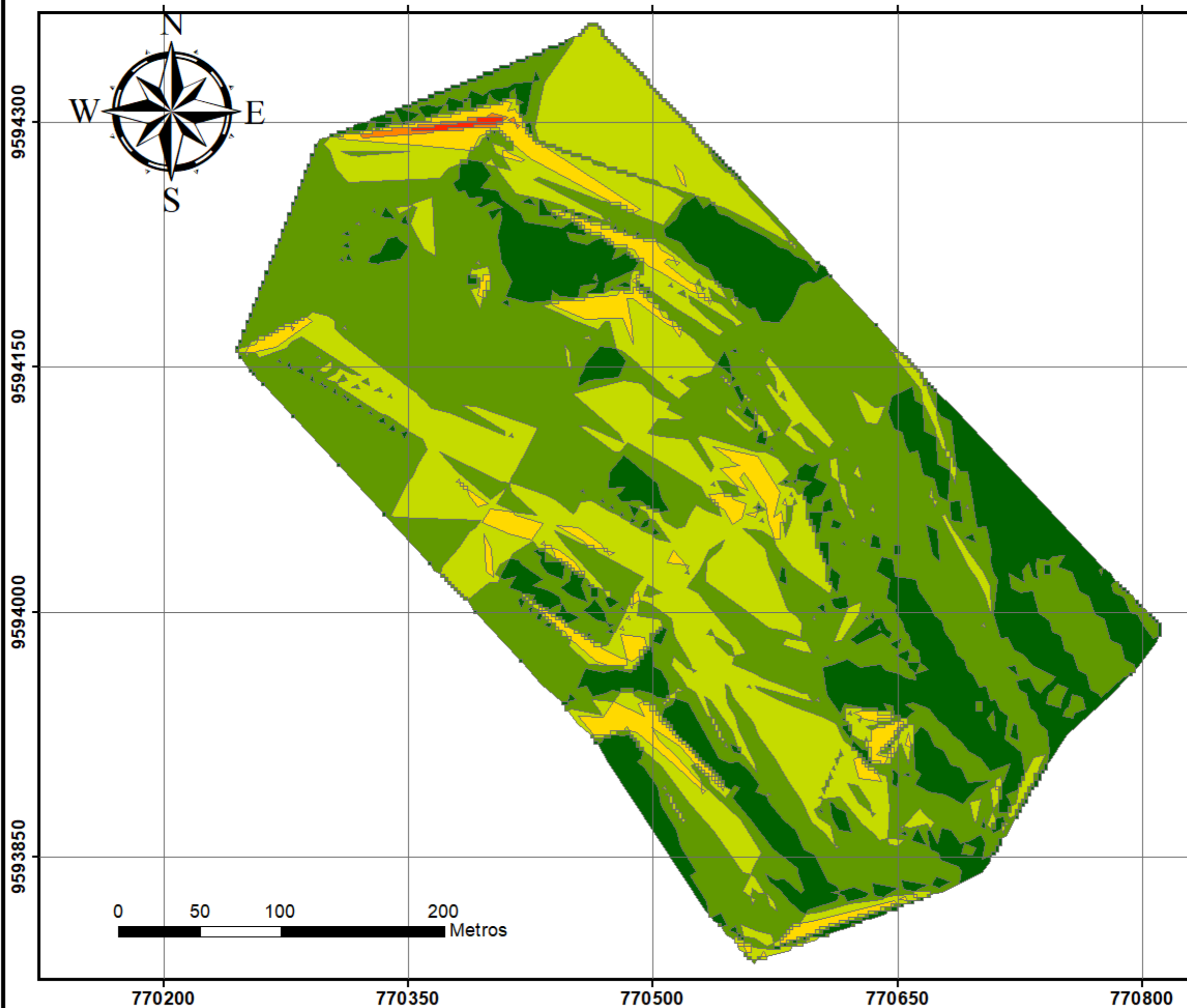
ESCALA 1:1600

NW

SE



PENDIENTES DEL AREA DE ESTUDIO



UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN CANTONAL



LEYENDA

RANGO	DESCRIPCIÓN
0 - 12	Relieves completamente planos, casi planos y ligeramente ondulados
12 - 25	Relieves medianamente ondulados a moderadamente disectados
25 - 40	Relieves medianamente a fuertemente disectados
40 - 70	Relieves fuertemente disectados
70 - 100	Relieves muy fuertemente disectados
100 - 131,8	Relieves escarpados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

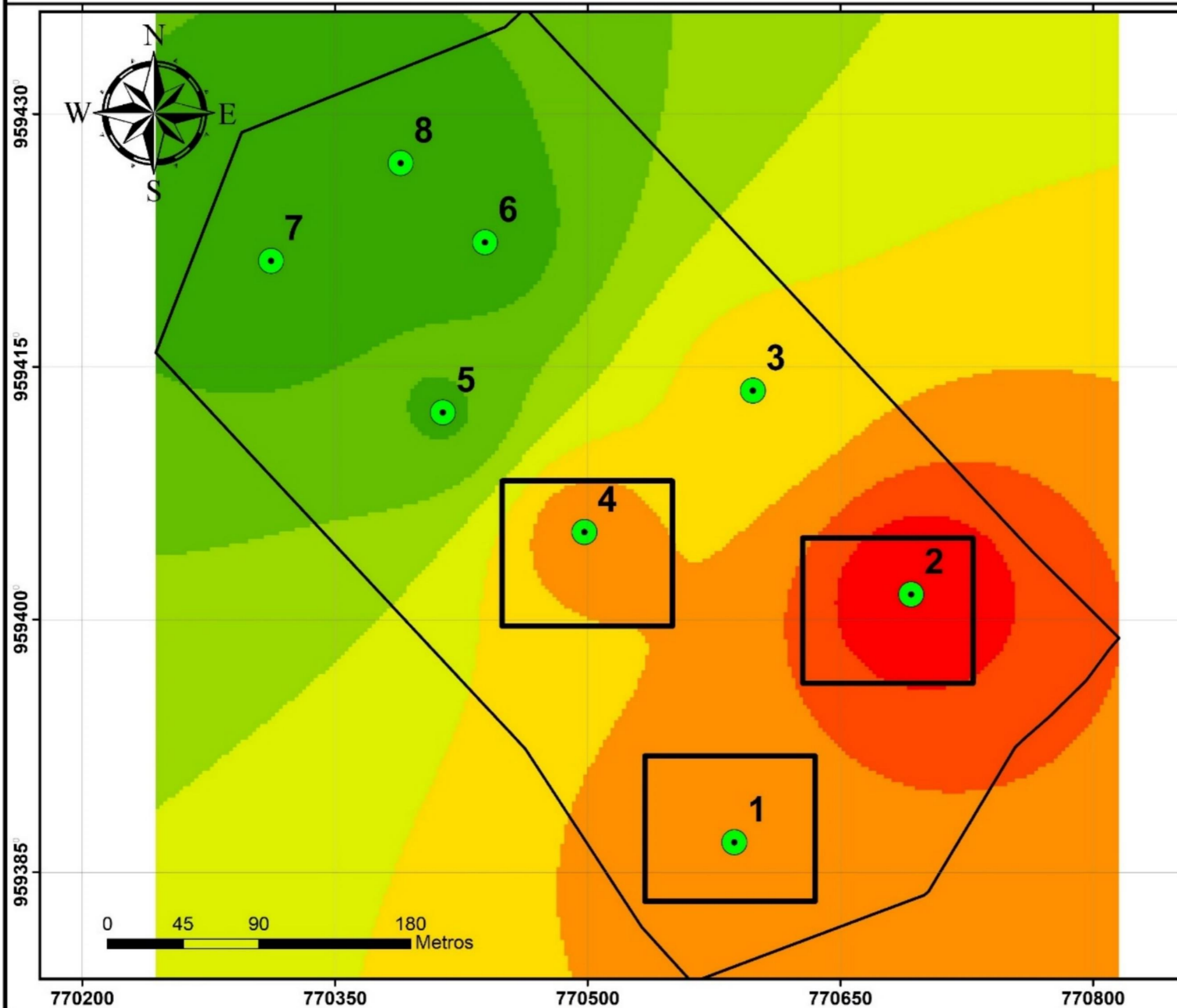
FACULTAD DE LA ENERGIA LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
INGENIERIA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL



Estudio geológico-geotécnico para la construcción del relleno sanitario del GAD Municipal del cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe

ELABORADO	George Alexander Aguilar Zaruma	
CONTIENE	Pendientes del area de estudio	
DIRECTOR	Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo	ESCALA 1: 2400
FECHA	FEBRERO 2023	

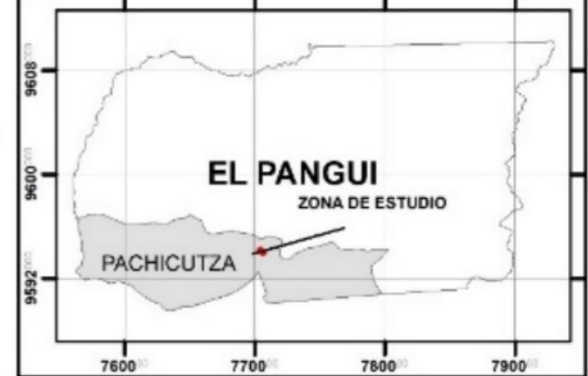
ZONAS APTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN



UBICACIÓN PROVINCIAL



UBICACIÓN CANTONAL



SIMBOLOGÍA

- Suelos con buen drenaje donde predomina las arenas, apto para la construcción de infraestructuras
- Suelos con un drenaje casi bueno donde las partículas de arena y arcilla están en porcentajes casi iguales. Apto para la construcción de infraestructuras
- Suelos con drenaje moderado.
- Suelos con mal drenaje. Donde predomina las partículas finas
- Apto para zonas de relleno

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD DE LA ENERGIA LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
INGENIERIA EN GEOLOGIA AMBIENTAL Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL



Estudio geológico- geotécnico para la construcción del relleno sanitario del GAD Municipal del cantón El Panguí, provincia de Zamora Chichipe

ELABORADO George Alexander Aguilar Zaruma

CONTIENE ZONAS APTAS PARA LA CONSTRUCCION

DIRECTOR Ing. Stalin Iván Puglia Arévalo

FECHA ABRIL 2024

Escala de impresión 1: 2400

Escala de trabajo 1: 1000

Anexo 6. Certificación de traducción del resumen

Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar
Certified English Teacher

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés, del resumen del trabajo de integración curricular, titulado: **“Estudio geológico-geotécnico para la construcción del relleno sanitario del GAD Municipal del cantón El Pangui, provincia de Zamora Chinchipe.”**, de autoría del alumno George Alexander Aguilar Zaruma, con número de cédula 1105907313, estudiante de la carrera de Ingeniería en geología ambiental y ordenamiento territorial, de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifica en honor a la verdad y autoriza a la interesada, hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Loja, 18 de junio del 2024



Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS
Numero de registro: 1031-2022-2463645
C.I.: 1105165672