

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y
METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA



TESIS

**EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA UBICACIÓN
DEL RELLENO SANITARIO MANUAL EN EL DISTRITO DE
CHAMACA - CHUMBIVILCAS - CUSCO, 2023**

PRESENTADO POR:

BACH. RUBEN DARIO PERALTA CORREA

BACH. JHORDAN DAVID MAMANI ARQUE

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO GEÓLOGO**

ASESOR:

Mg. EDISON SANTIAGO MATTOS OJEDA

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA UBICACIÓN DEL RELLENO SANITARIO MANUAL EN EL DISTRITO DE CHAMACA - CHUMBIVILCAS - CUSCO, 2023

Presentado por: Jhordan David Mamani Arqque DNI N° 73513902

presentado por: Ruben Dario Peralta Correa DNI N°: 47480725

Para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Geólogo

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 08 de Diciembre de 20.24


Firma

Post firma EDISON S. MATTOS OJEDA

Nro. de DNI 23853084

ORCID del Asesor 0000-0002-3236-025x

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:413413812

Peralta, R.- Mamani, J.

Evaluación Geológico- Geotécnico para la ubicación del Relleno Sanitario

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:413413812

Fecha de entrega

6 dic 2024, 2:54 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

6 dic 2024, 3:04 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

Tesis Peralta,R.-Mamani,J.pdf

Tamaño de archivo

12.7 MB

201 Páginas

33,333 Palabras

193,351 Caracteres

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Coincidencias menores (menos de 12 palabras)
- ▶ Fuentes de Internet
- ▶ Base de datos de Crossref
- ▶ Base de datos de contenido publicado de Crossref

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A Dios, el supremo investigador; a mis adorables padres, Juanita y Evaristo; tenerlos aquí es un privilegio.
A mi esposa Juanita, con sumo cariño.

A Diamante Estrella y Rubí Estela, mis adorables hijas gemelas.

A mi hermano Xavier Larzon Peralta Correa, a toda mi familia y amigos que me dieron el motivo para seguir luchando.

Ruben Dario

DEDICATORIA

A Dios, el supremo investigador; y a mis padres, hermanos, a mi novia y familiares por comprenderme tal como soy, a mis amigos y amigas por su amistad, a mí mismo porque lo logré.

Jhordan David

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecemos a la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por habernos permitido ser parte de ella y abierto las puertas de su conocimiento científico para poder estudiar nuestra carrera.

Agradecemos también de todo corazón la labor sacrificada de nuestros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica por derramar sus sabidurías para nuestro desarrollo profesional, así mismo nuestro sincero reconocimiento a nuestro asesor de tesis el Mgt. Edison Santiago Mattos Ojeda, por habernos brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también habernos tenido toda la paciencia del mundo para guiarnos durante todo el desarrollo de la tesis.

Así mismo nuestros agradecimientos a los señores ingenieros miembros del jurado por sus valiosas observaciones; quienes nos ayudaron a terminar este trabajo de investigación.

Y para finalizar, también agradecemos a todos los que fueron nuestros compañeros de clase durante todos los niveles de Universidad ya que gracias al compañerismo, amistad y apoyo moral han aportado en un alto porcentaje a nuestras ganas de seguir adelante en nuestra carrera profesional.

Rubén Darío y Jhordan David

PRESENTACIÓN

Sr. Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Señores Catedráticos
Miembros del Jurado:

En cumplimiento con lo que establece el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica - UNSAAC. Presentamos y ponemos a vuestra consideración el presente trabajo de investigación intitulado: “EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA UBICACIÓN DEL RELLENO SANITARIO MANUAL EN EL DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS, REGIÓN CUSCO EN EL AÑO 2023”, con la finalidad de optar al título profesional de Ingeniero Geólogo; Peralta Correa Rubén Darío y Mamani Arque Jhordan David.

El presente trabajo de investigación tiene como propósito de evaluar las condiciones geológicas y parámetros geotécnicos para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca- Provincia de Chumbivilcas- Región de Cusco.

Los tesisistas

RESUMEN

En la presente investigación titulada “EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA UBICACIÓN DEL RELLENO SANITARIO MANUAL EN EL DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS, REGIÓN CUSCO EN EL AÑO 2023” fijo por objetivo evaluar las condiciones geológicas y parámetros geotécnicos para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023. En la metodología, se aplicó la observación cuantitativa como la observación cualitativa, diseño no experimental, del tipo descriptivo. Los resultados obtenidos muestran que geomorfológicamente, la zona de estudio está ubicado en una colina con superficies planas, geológicamente está formado por material cuaternario de hasta más de 6 m. Los parámetros geotécnicos son: arena bien gradada con limo (SW-SM), con humedad de 5.04%, que no presenta límites de consistencia, permeabilidad muy baja ($1.45 \text{ E-}07$). El Relleno Sanitario a diseñar será de tipo manual debido a que la generación per cápita de este proyecto es de 0.331 kg.hab/día (2.102 ton/día), requiriendo un área aproximada de 1.21 ha.

Palabras clave: geología, geomorfología, geotecnia, geohidrología, relleno sanitario.

Abstrac

In the present investigation entitled "GEOLOGICAL-GEOTECHNICAL EVALUATION FOR THE LOCATION OF THE MANUAL SANITARY LANDFILL IN THE DISTRICT OF CHAMACA, PROVINCE OF CHUMBIVILCAS, CUSCO REGION IN THE YEAR 2023" the objective was to evaluate the geological conditions and geotechnical parameters for the location of the manual sanitary landfill in the district of Chamaca, 2023. In the methodology, quantitative observation was applied as qualitative observation, non-experimental design, of the descriptive type. The results obtained show that geomorphologically, the study area is located on a hill with flat surfaces, geologically it is made up of quaternary material up to more than 6 m. The geotechnical parameters are: well-graded sand with silt (SW-SM), with humidity of 5.04%, which does not present consistency limits, very low permeability ($1.45 \text{ E-}07$). The Sanitary Landfill to be designed will be manual because the per capita generation of this project is 0.331 kg.hab/day (2,102 tons/day), requiring an approximate area of 1.21 ha.

Keywords: geology, geomorphology, geotechnics, geohydrology, sanitary landfill.

Índice General

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	iii
PRESENTACIÓN.....	iv
RESUMEN	v
Abstrac.....	vi
Índice de Tablas.....	xi
Índice de Figuras	xiii
CAPÍTULO I.....	16
INTRODUCCIÓN	16
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PRBLEMA.....	17
1.1.1 Descripción del problema.....	17
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.2.1 Problema general.....	20
1.2.2. Problemas específicos	20
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.3.1. Justificación Teórica.....	21
1.3.2. Justificación Práctica.....	21
1.3.3. Justificación Metodológica	22
1.4 Limitaciones de la investigación.....	22
1.5 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.5.1 Objetivo general.....	23
1.5.2 Objetivos específicos	23
1.6 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
1.6.1 Hipótesis general	24
1.6.2 Hipótesis específicas	24
1.7 VARIABLES.....	24
1.7.1 Variables de estudio	24
1.7.2 Operacionalización de variables	24
1.8 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	26
1.8.1 Diseño de la investigación:	26
1.8.2 Tipo de investigación	26
1.8.3 Población de estudio:.....	27
1.8.4 Selección de muestra:.....	27
1.8.5 Toma de muestra:.....	27
1.9 INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO	27

1.9.1 Instrumentos de trabajo:	27
1.9.2 Etapas de trabajo:	28
CAPÍTULO II	31
MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL	31
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	31
2.1.1 Antecedente Internacional	31
2.1.2 Antecedentes Nacionales	33
2.1.3 Antecedente Local	38
2.2 BASES LEGALES	39
2.2.1 Constitución Política del Perú 1993.....	39
2.2.2 Ley general del ambiente, ley n.º 2861	39
2.2.3 Ley orgánica de municipalidades - ley n.º 27972”	40
2.2.4 Decreto legislativo n.º 1278 - ley de gestión integral de residuos sólidos	40
2.2.5 Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado	40
2.3 BASES TEÓRICAS	41
2.3.1 Geología	41
2.3.2 Geomorfología.....	42
2.3.3 Mecánica de Suelos	43
2.3.3.1 Calicatas	43
2.3.4 Geohidrología	44
2.3.4.1 Acuíferos.....	44
2.3.5 RELLENO SANITARIO.....	47
2.3.5.1 Definición de relleno sanitario	47
2.3.5.2 Tipos de rellenos sanitarios.....	47
2.3.5.3 Ventajas y desventajas de un relleno sanitario	48
2.3.5.4 Criterios de selección de sitio del relleno sanitario	50
2.3.5.5 Calificación del sitio propuesto como relleno sanitario	54
2.3.5.6 Métodos de construcción de un relleno sanitario.....	56
2.3.5.7 Cálculos necesarios para el relleno sanitario	58
2.4 MARCO CONCEPTUAL	67
CAPÍTULO III	69
CARACTERIZACIÓN DEL RELLENO SANITARIO MANUAL.....	69
3.1 Generalidades	69
3.2 Ubicación política.....	69
3.3 Ubicación geográfica	70

3.4 Accesibilidad.....	72
3.5 Clima y vegetación	73
3.5.1 Clima	73
3.5.2 Temperatura	74
3.5.3 Vegetación.....	74
3.5.4 Topografía	74
3.5.5 Trabajos de campo	74
3.5.2 Trabajo de gabinete	76
CAPÍTULO IV.....	77
DIMENSIONAMIENTO Y UBICACIÓN DEL RELLENO SANITARIO PARA EL DISTRITO DE CHAMACA	77
4.1 Dimensionamiento del relleno sanitario para el distrito de chamaca	77
4.1.1 Proyección de la población	77
4.1.2 Proyección de la producción per cápita de los residuos sólidos	78
4.1.3 Proyección de la producción diaria	80
4.1.4 Proyección de la producción anual	80
4.1.5 Cálculo del volumen necesario	82
4.1.6 Volumen de los residuos sólidos.....	82
4.1.7 Volumen del relleno sanitario necesario.....	85
4.1.8 Cálculo del área requerida	86
4.1.9 Área total requerida	87
4.1.10 Volumen de zanja	88
4.1.11 Dimensiones de la zanja	89
4.2 Propuesta de ubicación del área para el relleno sanitario en el distrito de Chamaca.....	90
4.3 Descripción del área propuesta	91
4.4 Criterios técnicos para la selección del relleno sanitario	92
4.4.1 Accesibilidad al sitio	92
4.4.2 Disponibilidad y propiedad del terreno	93
4.4.3 Localización	93
4.4.4 Restricciones de Ubicación	94
4.4.5 Preservación del patrimonio arqueológico, cultural y monumental de la zona.....	96
4.4.6 Identificación de áreas naturales protegidas por el estado o zonas de amortiguamiento.....	97
4.4.7 Vulnerabilidad del área a desastres naturales.....	97
4.4.8 Infraestructuras existentes	99

4.4.9 Geomorfología	99
4.4.10 Condiciones hidrológicas	100
4.4.11 Condiciones Hidrogeológicas.....	101
4.4.12 Geología	102
4.4.13 Área disponible	102
4.4.14 Vida útil	103
4.4.15 Material de cobertura	104
4.4.16 Opinión Pública.....	104
4.4.17 Dirección de los Vientos.....	104
4.5 Calificación del área propuesta para el relleno sanitario para la ciudad de Chamaca.....	105
CAPÍTULO V.....	108
CLIMA Y VEGETACIÓN	108
5.1 Generalidades	108
5.2 Clima	108
5.3 Temperatura	109
5.4 Vegetación.....	110
5.5 Precipitación	110
CAPÍTULO VI.....	113
GEOMORFOLOGÍA.....	113
6.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	113
6.1.1 Cordillera occidental	113
6.2 Geomorfología local.....	120
6.2.1 Colinas.....	120
6.2.2 Montaña baja Apu Chelcco:	121
6.2.3 Montaña baja de Waqrawiri:.....	122
6.2.4 Montaña baja de Piusha:	122
6.2.5 Laderas.....	123
6.2.6 Altiplanicies.....	125
6.2.7 Valles.....	126
6.2.8 Quebradas	126
CAPÍTULO VII.....	130
GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL.....	130
7.1 GEOLOGÍA REGIONAL:	130
7.1.1 Estratigrafía regional:	130
7.1.2 Rocas intrusivas:.....	133
7.2 GEOLOGIA LOCAL:	141

7.2.1 Estratigrafía local:	141
CAPÍTULO VIII.....	159
GEOTENIA	159
8.1 Generalidades	159
8.1.1 El perfil estratigráfico C-1:.....	160
8.1.2 El perfil estratigráfico C-2:.....	162
8.1.3 El perfil estratigráfico C-3:.....	164
8.2 Ensayos de laboratorio	166
8.3 Análisis y Discusión	181
CAPÍTULO VX	184
GEOHIDROLOGÍA.....	184
9.1 Generalidades	184
9.1.1 Clasificación hidrogeológica de las unidades geológicas.	184
9.2 Características hídricas de las formaciones geológicas	186
9.2.1 Compacto	186
9.2.2 Poroso	187
9.2.3 Suelto y Poroso.....	188
9.3 Características hidráulicas de la zona de estudio del relleno sanitario.....	189
9.3.1 Porosidad.....	189
9.3.2 Permeabilidad.....	190
CONCLUSIONES	193
RECOMENDACIONES	195
BIBLIOGRAFÍA	196
Anexos.....	199

Índice de Tablas

Tabla 1 Cuadro de matriz de operacionalización de las variables.....	24
Tabla 2 Ventajas y desventajas de un relleno	49
Tabla 3 Escala de calificación para la idoneidad del sitio de un relleno Sanitario. (DIGESA, 2008)	54
Tabla 4 Ubicación política de la zona de estudio.	69
Tabla 5 Ubicación geográfica de la zona de estudio.	71
Tabla 6 Accesibilidad a la zona de estudio.	72
Tabla 7 Accesibilidad a la zona de estudio.	72
Tabla 8 Coordenadas de puntos de control	75

Tabla 9 Vida útil de relleno sanitario, proyección de población y de producción per cápita para el distrito de Chamaca. -----	78
Tabla 10 Producción de residuos sólidos proyectada a 25 años para el distrito de Chamaca. -----	80
Tabla 11 Volumen de residuos sólidos proyectado a 25 años para el distrito de Chamaca. -----	83
Tabla 12 Volumen acumulado de residuos sólidos proyectado a 25 años para el Distrito de Chamaca. -----	85
Tabla 13 Área requerida para el relleno sanitario del Distrito de Chamaca. -----	87
Tabla 14 Escala de calificación para la idoneidad del área de un relleno sanitario. (DIGESA, 2008) -----	106
Tabla 15 Calificación para la idoneidad del área del relleno sanitario del distrito de Chamaca. -----	106
Tabla 16 Variación mensual de la precipitación media. -----	109
Tabla 17 Variación mensual de la precipitación media. -----	110
Tabla 18 Información de la precipitación máxima dentro de 24 Horas en la Estación	
Tabla 19 El perfil estratigráfico C-1 -----	160
Tabla 20 El perfil estratigráfico C-2 -----	162
Tabla 21 El perfil estratigráfico C-3 -----	164
Tabla 23 Límites de consistencia -----	169
Tabla 24 Análisis granulométrico de suelos por tamizado -----	170
Tabla 25 Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) -----	172
Tabla 26 Proctor modificado -----	174
Tabla 27 Contenido de Humedad natural de un suelo -----	175
Tabla 28 Gravedad específica del suelo -----	177
Tabla 29 Permeabilidad con cabeza constante -----	178
Tabla 30 Capacidad admisible -----	179
Tabla 31 Resumen de ensayos básicos de laboratorio -----	180
Tabla 32 Resumen de ensayos especializados de laboratorio -----	180
Tabla 33 Resumen de ensayo de permeabilidad -----	181
Tabla 34 Resumen de ensayos básicos de laboratorio -----	181
Tabla 35 Resumen de ensayos especializados de laboratorio -----	181
Tabla 36 Grado de permeabilidad de acuerdo al coeficiente de permeabilidad -----	182
Tabla 37 Grado de permeabilidad de la muestra -----	182
Tabla 38 Grado de permeabilidad de la muestra -----	183
Tabla 39 Comportamiento de unidades litológicas frente al agua. -----	185
Tabla 40 Clasificación de unidades hidrogeológicas de las formaciones geológicas del área de trabajo, de acuerdo a la metodología del INGEMMET. -----	185

Tabla 41 Valores estimados de porosidad. -----	189
Tabla 42 Valores estimados de porosidad y permeabilidad, basado en pruebas y mediciones de campo en las formaciones geológicas. -----	190
Tabla 43 Clasificación de la permeabilidad. -----	191
Tabla 44 Valores relativos de permeabilidad o conductividad hidráulica -----	191
Tabla 45 Grado de permeabilidad de acuerdo al coeficiente de permeabilidad K ₂₀ -----	191
Tabla 46 Grado de permeabilidad de la muestra -----	192

Índice de Figuras

Figura 1 Área de estudio-----	27
Figura 2 Unidades litológicas -----	42
Figura 3 Tipos de acuíferos según su comportamiento hidráulico. -----	45
Figura 4 Método de trinchera o zanja. Tomada de la «Guía diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitarios manuales». -----	56
Figura 5 Método de área. Tomada de la «Guía diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios manuales». -----	57
Figura 6 Combinación de ambos métodos. Tomada de la «Guía diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios manuales».-----	58
Figura 7 Mapa de ubicación política del distrito de Chamaca -----	70
Figura 8 Área de estudio. -----	71
Figura 9 Accesibilidad hacia la zona de estudio. -----	73
Figura 10 Dimensiones de la zanja para el relleno sanitario -----	89
Figura 11 Área requerida para el relleno sanitario manual del distrito de Chamaca -----	90
Figura 12 Ubicación del Área Relleno Sanitario para el Distrito de Chamaca ----	91
Figura 13 Vista de la vía de acceso hacia el relleno sanitario del distrito. -----	93
Figura 14 Distancia del área propuesta para el relleno sanitario a la población más cercana.-----	94
Figura 15 Distancia a granjas de crianza de animales -----	95
Figura 16 Distancia a pistas de aterrizaje y aeropuertos -----	96
Figura 17 Mapa de áreas naturales protegidas por el estado. -----	97
Figura 18 Imagen del área propuesta para el relleno sanitario del distrito de Chamaca. -----	98
Figura 19 Imágenes del área donde se instalará el relleno sanitario donde se aprecia superficies planas con pendientes moderadas -----	99
Figura 20 Distancias del área propuesta para el relleno sanitario los cuerpos de aguas superficiales se encuentran a una distancia mayor a 500 m. -----	100

Figura 21 Detalle de las cárcavas hacia los extremos del área propuesta donde no hay evidencia de humedad -----	101
Figura 22 Calicata para comprobar si había acumulación de agua en el fondo.	102
Figura 23 Área para la instalación del relleno sanitario. -----	103
Figura 24 Variación Anual de la precipitación promedio multimensual (2003 – 2018).-----	111
Figura 25 Rio Velille. -----	117
Figura 26 Mapa morfo estructural (fuente: adaptado de Chacón, 1996) -----	118
Figura 27 Unidades geomorfológicas regionales (fuente: adaptado de Valdivia, 2012) -----	119
Figura 28 Colinas con predominante vegetación de “ichu”, “canlli” en la zona de estudio.-----	121
Figura 29 Montaña baja de apu chelqo con predominante vegetación de “ichu”, “qayara” al NE de la zona de estudio -----	121
Figura 30 Montaña baja de Waqrawiri con predominante vegetación de “ichu”, “qayara” al NW de la zona de estudio-----	122
Figura 31 Al lado izquierdo montaña baja de Piusha y al lado derecho montaña de Mamacha Orqo; con predominante vegetación de “ichu”, “qayara” al NW y E de la zona de estudio -----	123
Figura 32 Unidades de laderas de Sihuincha y Limamayo de moderado a fuertemente inclinadas, con pendientes 20° a 45°; en ambos lados de la colina, de la zona de trabajo -----	123
Figura 33 Laderas de Limamayo con pendiente de 45°; ubicado al norte de la zona de trabajo-----	125
Figura 34 Altiplanicie con gran potencial de pastizales en la zona de estudio---	126
Figura 35 Unidad de valles en “U” y quebradas en “V” con gran potencial de pastizales en la zona de estudio.-----	127
Figura 36 Zona de estudio para la ubicación del relleno sanitario, caracterizada por un típico relieve de fuerte modelado en una colina con superficie plana. -----	128
Figura 37 Mapa geomorfológico de la zona de estudio, distrito de Chamaca. ---	129
Figura 38 Mapa geológico regional -----	131
Figura 39 Columna estratigráfica regional-----	139
Figura 40 Mapa de geología regional-----	140
Figura 41 Geológico Local-----	142
Figura 42 Columna estratigráfica del cuadrángulo de Santo Tomás 29r. -----	143
Figura 43 Columna estratigráfica del cuadrángulo de Livitaca 28s -----	144
Figura 44 <i>Afloramiento de calizas nodulosas, que forman colinas, cerros y montañas.</i> -----	145
Figura 45 Afloramiento de sillar (rocas volcánicas de la formación vilcarani) al norte y sur de nuestra zona de estudio. -----	146
Figura 46 Afloramiento de rocas intrusivas con alteración supérgena -----	147

Figura 47 Diorita blanquecina parduzca, de textura granular con cristales anhedrales subhedrales de plagioclasa y horblenda, con accesorios de biotita, con ligera alteración supérgena-----	147
Figura 48 Diorita gris blanquecina, de textura granular con cristales anhedrales subhedrales de plagioclasa y horblenda, que están cloritizando. Presenta ligero magnetismo -----	148
Figura 49 Granodiorita gris blanquecina de textura granular principalmente está constituida por cuarzo de 10 a 25 %, plagioclasas mayores a 45%, feldspatos menores a 10% y los máficos menores a 5%, con pátinas de óxido de hierro en su superficie intemperizada-----	149
Figura 50 -----	150
Figura 51 Material cuaternario aluvial en las faldas de la montaña baja de Apu Chelcco -----	151
Figura 52 Que muestra material fluvio-glaciar del Río Sihuncha, vista al Suroeste -----	152
Figura 53 Que muestra material coluvial de Diorita, cubierto por ichu en las laderas de la colina Ramaderoyoq -----	153
Figura 54 Que muestra los Bofedales con sus características aguas estancadas al norte de nuestra zona de estudio en el sector Limamayo -----	154
Figura 55 Unidades litológicas presentes en la zona de estudio. -----	155
Figura 56 Mapa de geología local de la zona de estudio. -----	156
Figura 57 Mapa de perfil geológico local de la zona de estudio. -----	157
Figura 58 Perfil geológico - geotécnico de la zona de estudio. -----	158
Figura 59 Calicata N°01, de la zona de estudio-----	161
Figura 60 Calicata N°02, de la zona de estudio-----	163
Figura 61 Calicata N°03, de la zona de estudio-----	165
Figura 62 Contenido de Humedad natural (%) -----	168
Figura 63 Límite líquido -----	169
Figura 64 Curva granulométrica -----	171
Figura 65 Gráficos del sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS) A -----	173
Figura 66 Diagrama de clasificación de suelos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos -----	173
Figura 67 Relación Humedad y Densidad -----	175
Figura 68 Contenido de humedad natural (%) -----	176
Figura 69 Gravedad específica (gr/cm ³)-----	177
Figura 70 (Izquierda). Afloramiento de rocas compactas impermeables, calizas de la formación Arcurquina, (Derecha): Rocas intrusivas del Plutón de Colquemarca: granodiorita, dioritas y granito en la zona de estudio. -----	187
Figura 71 Estratos de calizas y lutitas altamente fracturadas de la formación ---	188
Figura 72 Depósitos cuaternarios en la zona de estudio para el relleno sanitario. -----	188

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En el siguiente trabajo de investigación: “EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA UBICACIÓN DEL RELLENO SANITARIO MANUAL EN EL DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS, REGIÓN CUSCO EN EL AÑO 2023”, se ha desarrollado a nivel de Ingenierías los datos geotécnicos, valores y cálculos con el objetivo de evaluar las condiciones geológicas y parámetros geotécnicos para la ubicación de un relleno sanitario manual para el distrito de Chamaca.

La zona de estudio en donde se ubicará el relleno sanitario manual se encuentra en una colina, al norte del distrito de Chamaca en la comunidad de Sihuincha, que se localiza a una altitud entre 3979 y los 3983 m.s.n.m, se encuentra cubierta de material cuaternario, también se encuentra como basamento rocoso al Plutón de Colquemarca y la formación Arcurquina que rodea la zona de estudio.

La presente investigación pretende en conocer la geología, geomorfología, geohidrología y los parámetros geotécnicos del suelo en donde se ubicará el relleno sanitario manual del distrito de Chamaca. Donde se plantea el problema principal: ¿Cuáles son las condiciones geológicas y parámetros geotécnicos para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023?

La presente investigación se desarrolló siguiendo un procedimiento en las tres etapas: la primera etapa se buscó y compendió la información y antecedentes existente del sector, la segunda etapa se realizó los trabajos de reconocimiento de la zona y toma de muestras, en la tercera etapa se analizó y se interpretó los resultados obtenidos en el campo y también de laboratorio.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PRBLEMA

1.1.1 Descripción del problema

Con el incremento acelerado de la población a nivel mundial, se ha generado que los residuos municipales aumenten, lo cual ha provocado que el manejo de los residuos sólidos se convierta en un problema. Según el documento “What a Waste 2.0: A Global Snapshot Of Solid Waste Management To 2050” del Banco Mundial (BM), hasta el 2016 se tenía registrado que a nivel mundial se generaba 2010 millones de toneladas y que éstas aumentarán a 3400 millones en los próximos 30 años.

De toda la población mundial, dos mil millones de habitantes no cuentan con el servicio de recolección de residuos y tres mil millones de habitantes no tienen acceso a una infraestructura para la disposición de sus residuos sólidos. Así mismo, la falta de un adecuado tratamiento y disposición de estos residuos provoca impactos locales (a la salud, medio ambiente y a la economía) e impactos globales (agotamiento de recursos, cambio climático y basura marina), y una de las causas principales es que la economía es lineal, es decir, extraen los recursos naturales, elaboran productos manufacturados y, finalmente, los desechan sin ningún manejo.

El consumo de productos procesados a nivel mundial, ha elevado la tasa de generación diaria de residuos sólidos por habitante. La organización panamericana de la salud, en el año 2005, informo que la tasa media per cápita de los residuos sólidos urbanos asciende a 0.91 kg/habitante-día para América Latina y el Caribe. La tasa de generación de residuos sólidos en algunas ciudades principales y municipios de Latinoamérica es mayor a 1 kg/habitante-día.

Nuestro país no es ajeno a esta problemática; el 75 % de la población peruana vive en zonas urbanas, y esto significa una mayor producción de residuos sólidos; el 50 % de estos residuos no se dispone adecuadamente. Existen más de 1500 botaderos de residuos sólidos en el país, estos son focos infecciosos para la población y un peligro para los recicladores que tienen trabajos en estos entornos, para sacar algún tipo de valorización de los residuos sólidos. La contraloría ha notificado al Ministerio del Ambiente que la mayoría de las municipalidades viene dejando los residuos sólidos en lugares no autorizados, esto afecta a la salud de las personas y contamina al ambiente. La disposición de los residuos sólidos en los botaderos se traduce en la creación de nuevos focos infecciosos que exponen la salud de las personas que viven alrededor, prolifera plagas y contamina el ambiente (Ricaldi, Huaman, & Callupe, 2021).

En nuestra región de Cusco; El acelerado crecimiento de la población ha incrementado la generación de residuos sólidos urbanos (RSU); Durante años los problemas ocasionados por un inadecuado manejo de los residuos han afectado, tanto a las grandes ciudades y sus zonas marginales, así como a las poblaciones rurales. En muchos municipios, el manejo empírico del servicio de limpieza pública, se realiza con una evidente falta de criterios técnicos, económicos y sociales, ocasionando que este servicio carezca de una adecuada planificación y organización, traduciéndose en altos costos de funcionamiento, que las mismas municipalidades han tenido que subsidiar consumiendo buena parte de su presupuesto.

En Chumbivilcas- Chamaca, actualmente, cuenta con una gestión integral de residuos sólidos deficiente, debido a la falta de compromiso por parte de las autoridades, como también la falta de educación por parte de la población,

además de una cultura medio ambiental. Por otro lado, no cuenta con una infraestructura adecuada de disposición final para los residuos sólidos generados por parte de la población urbana.

A nivel local, la Municipalidad Distrital de Chamaca, provincia de Chumbivilcas, hay escasez de áreas para la disposición final de los residuos sólidos motivo por el cual se habilitó un botadero provisional en el sector Sihuincha Alto, generando un impacto ambiental negativo hacia la población. Asimismo, el botadero se encuentra ubicado a menos de medio kilómetro de la ciudad de Chamaca, cerca al río Challuma, cerca de las viviendas de los comuneros, entre las tierras de uso agrícola y ganadera.

Así mismo la población del distrito de Chamaca tiene 6244 habitantes que produce un aproximado de 1.018 Tn/día, de Residuos Sólidos. Como consecuencia. Un relleno Sanitario Manual constituye una solución a esta problemática, pues es una técnica de eliminación de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud y seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de terminado el mismo, utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más pequeña posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos en el relleno, por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

Son estos los motivos por los cuales el presente estudio pretende hacer una evaluación geológica, ubicar el área; según las condiciones geológicas, geomorfológicas, geotécnicas y desde luego proponer un diseño del relleno

sanitario manual en el distrito de Chamaca. Dentro de ello incluye la recopilación de información, datos, parámetros, cálculos y análisis que plantean una propuesta del diseño de un Relleno Sanitario Manual, ubicado en el distrito de Chamaca, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco. Este relleno sanitario es un proyecto de ingeniería más, destinado a la disposición sanitaria y ambientalmente segura de los residuos sólidos que se generan en dicho municipio, de acuerdo con los principios y métodos de la ingeniería sanitaria y ambiental, ayudando a resolver en gran parte de los problemas que se generan por la inadecuada disposición de los residuos sólidos, tomando en cuenta una buena planeación desde las etapas iniciales de diseño, hasta las de su clausura.

Para lo cual se formula la siguiente interrogante que delimitan el problema:

¿Qué condiciones geológicas-geotécnicas son pertinente para la ubicación del relleno sanitario manual en el del distrito de Chamaca- Chumbivilcas- Cusco?

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema general

¿Cuáles son las condiciones geológicas y parámetros geotécnicos para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuáles son las condiciones geomorfológicas para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023?
- b) ¿Cuáles son las condiciones geológicas para la ubicación del relleno sanitario en el distrito de Chamaca, 2023?

c) ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023?

d) ¿Cuál es el área y volumen del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Justificación Teórica

A nivel teórico, se pretende contribuir con conocimientos científicos y metodológicos para la ubicación de un relleno sanitario y servir como base para futuras investigaciones sobre la optimización del proceso de tratamiento de los residuos sólidos municipales del distrito. El presente estudio permitió ubicar un área adecuada de un relleno sanitario manual, para la disposición final de los residuos sólidos, como proponer un diseño de relleno Sanitario partiendo de la perspectiva de que debe responder a la realidad, necesidades y demandas del distrito, pero sobre todo debe adecuarse a cada localidad, por lo que es alternativo todo el proceso dependiendo de cada realidad.

1.3.2. Justificación Práctica

El presente estudio pretende analizar, procesar los datos obtenidos para la ubicación del relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos en el distrito de Chamaca, 2023. También este trabajo de investigación permitirá ubicar y diseñar infraestructuras de manejo y disposición final de residuos en el distrito de Chamaca. Por lo que, el manejo de residuos sólidos

debe ser ambientalmente más seguro con énfasis en el impacto ambiental negativo ocasionados al entorno y la salud conforme a normativas nacionales

1.3.3. Justificación Metodológica

Metodológicamente este tipo de trabajos de investigación va a servir de base para poder aplicar la misma metodología en otros trabajos de investigación que respondan otras realidades, ya que este problema es a nivel nacional.

El problema de los residuos sólidos en nuestro país es perceptible, la escasez de áreas para la disposición final de los residuos sólidos, cada día la acumulación de los residuos sólidos es mayor, los estudios muestran que la mayoría de ello se debe a la mala gestión de los gobiernos locales a ello se suma la falta de sensibilidad de las personas para actuar de la manera correcta, y el marcado consumismo que se estima en la población.

1.4 Limitaciones de la investigación

En el transcurso del desarrollo del trabajo de investigación se presentaron las siguientes limitaciones:

- La escasez de áreas para la disposición final de los residuos sólidos en el distrito de Chamaca, provincia de Chumbivilcas.
- Accesibilidad a informaciones, así como la fuente documental y bibliográfica de manejo interno y muchas veces de carácter reservado de las municipalidades.
- El aspecto económico, el tiempo de ejecución, proceso de intercambio de información, carencia de data básica en el distrito y el apoyo por parte

de la alcaldía del distrito de Chamaca, que es la entidad gubernamental obligada a gestionar estos estudios.

Sin embargo, pese a estas y muchas limitaciones, que de alguna forma fueron superados, razón por la cual concluimos y entregamos nuestro trabajo con el fin de que dé origen a otras investigaciones, al mismo tiempo se dé mayor interés en la gestión integral de los residuos sólidos; se considera necesario involucrar a todos los sectores sociales, organizaciones barriales, municipios, gobierno local, provincial y nacional, para poner en marcha un plan que permita desarrollar una verdadera gestión integral de los residuos sólidos, con tecnología adecuada para el manejo sustentable de los residuos que permitirá maximizar el aprovechamiento de los recursos, minimizarla degradación ambiental y mejorar la calidad del ambiente.

1.5 OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 Objetivo general

Evaluar las condiciones geológicas y parámetros geotécnicos para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023.

1.5.2 Objetivos específicos

- a) Determinar las condiciones geomorfológicas para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023.
- b) Determinar las condiciones geológicas para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023.
- c) Determinar los parámetros geotécnicos para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023.

- d) Estimar el área y volumen del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023.

1.6 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1 Hipótesis general

Las condiciones geológicas y parámetros geotécnicos son favorables para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023

1.6.2 Hipótesis específicas

- a. Las condiciones geomorfológicas serán convenientes para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023.
- b. Las condiciones geológicas son adecuadas para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023.
- c. Los parámetros geotécnicos son adecuados para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023.
- d. La estimación del área y volumen nos determinara la vida útil del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023.

1.7 VARIABLES

1.7.1 Variables de estudio

- Evaluación geológico-geotécnico
- Ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca.

1.7.2 Operacionalización de variables

Tabla 1

Cuadro de matriz de operacionalización de las variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	DATOS
<i>Evaluación geológico geotécnico</i>	La evaluación geológica significa valorar su ubicación, accesibilidad, topografía, condiciones geológicas, climáticas, hidrológicas superficiales y subterráneas (Allende, 2005) y los aspectos condicionantes como seguridad aérea, integridad de los recursos naturales y bienes culturales, infraestructura existente, proyectos de desarrollo urbano, regional y nacional, entre otros, como establece la Ley Orgánica para la Planificación y Gestión de la Ordenación del Territorio (2005).	La geología permite el conocimiento de las características y propiedades del suelo ya que considera la información de las condiciones climáticas, aspectos litológicos, geomorfológicos, geodinámicos y geohidrológicos (Allende, 2005).	GEOLOGÍA	Litología	Altura, potencia (m).
				Geología estructural	Fallas, Pliegues, discordancias (m)
			GEOMORFOLOGÍA	Relieve,	Parámetros de pendientes (°), Unidades fisiográficas
				clasificación	
			A	Parámetros Geomorfológicos	Análisis granulométrico por tamizado - Norma ASTM D-422.
				Propiedades índices del Suelo.	Clasificación de suelos
			GEOTÉCNIA	propiedades físico- mecánicas del suelo.	Minutos, mm/hora, mm/año, C°.
				Precipitación, Temperatura	Dirección del viento
			CLIMA	viento	Resultado de análisis químico de muestras de agua.
				Aguas subterráneas	Resultado del ensayo de permeabilidad.
GEOHIDROLOGÍA	Permeabilidad del suelo.				

Nota. Fuente: Elaboración propia

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA VALORATIVA
Ubicación del relleno sanitario	Es una infraestructura que permite disponer los residuos sólidos urbanos en el suelo, sin causar daños a la salud pública y a su seguridad, minimizando los impactos ambientales, método que utiliza principios de ingeniería para confinar los residuos sólidos a la menor área posible y reducirlos al menor volumen permisible (Flores & Cuba, 2020).	Para el diseño se utilizará los datos de la caracterización de los residuos sólidos y datos del suelo (Flores & Cuba, 2020). Criterios técnicos	Condiciones para su ubicación de un relleno sanitario.	1 Distancia a la población más cercana (m)	1 = Muy malo 2 = Malo 3 = Regular 4 = Bueno 5 = Muy bueno
				2 Distancia a granjas crianza de animales (m)	
				3 Distancia a aeropuertos (m)	
				4 Área del terreno (m2)	
				5 Vida útil	
				6 Uso actual del suelo y del área de influencia	
				7 Propiedad del terreno	
				8 Distancia a vía de acceso principal (km)	
				9 Pendiente del terreno	
				10 Posibilidad del material de cobertura	
				11 Profundidad de la napa freática (m)	
				12 Distancia a fuentes de agua superficiales (m)	
				13 Geología del suelo (permeabilidad)	
				14 Opinión pública	
				15 Área natural protegida por el estado	
				16 Área arqueológica	
				17 Vulnerabilidad a desastres naturales	
				18 Dirección predominante del viento	

Nota. Fuente: Elaboración propia

1.8 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

- En la metodología, Se aplicó Método de observación, (Guevara, 2020), es el más eficaz para llevar a cabo la investigación descriptiva. Se utilizan tanto la observación cuantitativa como la observación cualitativa. Los investigadores no son sólo tabuladores, sino que recogen los datos sobre la base de una hipótesis o teoría, exponen y resumen la información de manera cuidadosa y luego analizan minuciosamente los resultados, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento.
- Alcances de la investigación: descriptivo. Su propósito es describir variables.

1.8.1 Diseño de la investigación:

No Experimental

(Hernández, 2014) Define que es la investigación que se realiza sin manipulación deliberada de las variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos.

1.8.2 Tipo de investigación

Descriptivo; según (Guevara, 2020); Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables. Los investigadores no son sólo tabuladores, sino que recogen los datos sobre la base de una hipótesis o teoría, exponen y resumen la información de

manera cuidadosa y luego analizan minuciosamente los resultados, a fin de extraer generalizaciones significativas que contribuyan al conocimiento.

1.8.3 Población de estudio:

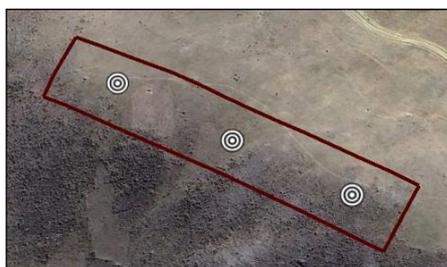
La población objetivo de la investigación es el distrito de Chamaca que abarca 67419 hectáreas, conformada por 10 comunidades.

1.8.4 Selección de muestra:

La muestra del presente trabajo de investigación es un área aproximada de 1.22 hectáreas que abarca la zona de estudio. Donde se realizó 3 calicatas en suelos.

Figura 1

Área de estudio



Fuente: elaboración propia

1.8.5 Toma de muestra:

Se extrae las muestras que conforma la población son de 10 kg en peso para los ensayos correspondientes en laboratorio.

1.9 INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE TRABAJO

1.9.1 Instrumentos de trabajo:

Durante el trabajo se utilizarán los siguientes equipos e instrumentos:

- Wincha (flexómetro)

- Picota
- Brújula
- Estación total, con todos sus accesorios, para levantamiento de topografía
- Sistema de posicionamiento global (GPS)
- Equipos para ensayo de mecánica de suelos y rocas tales como: tamices estándar, balanza electrónica, instrumentos de medición de densidad de campo y otros formularios y registros.

1.9.2 Etapas de trabajo:

Etapas de pre-campo

Se recolecto información previa de trabajos realizados anteriormente cerca de la zona de Sihuincha, con la finalidad de conocer las características y aspectos que influyan en la ubicación, selección y construcción del relleno sanitario manual.

Luego se evaluó los aspectos geológicos y geotécnicos para la ubicación y selección del relleno sanitario.

Así mismo se investigó y determinó el área del relleno sanitario manual.

Etapas de campo I

Se utilizó mapas base de topografía y geología en la visita, se identificó las condiciones geológicas y parámetros geotécnicas específicos de la zona de estudio para la ubicación, selección y construcción del relleno sanitario. Así mismo toda la información obtenida se registró en el mapa base y cuaderno de campo.

Para realizar la ubicación y selección del área o sitio; se evaluó los aspectos geológicos y geotécnicos según la “Guía de Diseño, Construcción,

Operación Mantenimiento y Cierre de Relleno Sanitario Manual” se toma en cuenta lo siguiente:

- Se debe elegir dos o más sitios como alternativas para proceder a la evaluación.
- En cuanto se tenga elegidas las alternativas, éstas deben ser evaluadas según los parámetros y criterios correspondientes.
- La evaluación de las alternativas se realizará mediante una escala de calificación.
- Después de evaluar las alternativas se identifica la opción con mayor puntaje.

Etapas de campo II

Se realizó las pruebas in situ, excavación de calicatas, así mismos ensayos estándar para calcular los parámetros geotécnicos y aspectos técnicos según la “Guía de Diseño, Construcción, Operación Mantenimiento y Cierre de Relleno Sanitario Manual” considerando los siguientes aspectos técnicos para la selección del área:

- Establecer el lugar geográfico del área para la futura instalación de la infraestructura, teniendo en cuenta que la distancia límite es de 1 km entre la población más cercana; sin embargo, la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) puede aprobar una distancia menor de acuerdo a lo que proponga en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA).
- Disponibilidad del material para la cobertura de los residuos
- Vida útil del sitio
- Acceso al sitio

- Topografía del sitio
- El uso del suelo debe ser compatible con los requerimientos para la ubicación de la infraestructura y con los planes de expansión urbana.
- El diseño de la infraestructura debe ser compatible con el plan de gestión integral de residuos en la provincia.
- Condiciones climáticas
- Geología
- Hidrogeología
- Hidrología superficial
- Si el sitio es vulnerable a desastres

Etapas de post-campo

Se organizó y procesó la información obtenida en las anteriores etapas. Como la calificación del sitio propuesto para la construcción del relleno sanitario del distrito de Chamaca según la “Guía para la Opinión Técnica Favorable de Estudio de Selección de Área para Infraestructuras de Tratamiento, Transferencia y Disposición Final de Residuos Sólidos” de DIGESA (2008).

Se evaluó los parámetros geotécnicos resultantes del material de cobertura.

Etapas de gabinete

Se verificó la información obtenida para luego realizar el procesamiento y corrección de datos de campo. Luego se contrastó con la hipótesis y también se hallará resultados finales para la posterior elaboración del informe de la investigación.

Etapas finales

Los resultados obtenidos durante el estudio se realizan en la presentación como base de la tesis.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedente Internacional

(Morales & Rodriguez, 2016); realizaron un estudio titulado **“Evaluación geológica ambiental para ubicar un relleno sanitario manual en la parroquia Mene de Mauroa, Venezuela”**; artículo científico publicado en Redalyc. El objetivo de esta investigación fue seleccionar, mediante criterios técnicos geológicos, el sitio más adecuado para ubicar un relleno sanitario manual para disponer los desechos sólidos generados en la parroquia Mene de Mauroa (Venezuela). La metodología que empleó fue criterios de selección, según la guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario. Donde se establecieron 19 variables que fueron sometidas a un sistema de valorización por el método de peso y escala, que consiste en la confrontación de variables, dando prioridad según orden de importancia. Mediante una escala de ponderación de cinco valores para el puntaje de cada variable se elige como el terreno más adecuado para el relleno sanitario el área con mayor puntaje. Llegando a la siguiente conclusión, Aunque dos de las áreas analizadas (1 y 2) cumplen satisfactoriamente con los parámetros de impermeabilidad de suelos, distancia de áreas urbanas, distancia de perímetro y suficiente material de cobertura para ubicar el relleno sanitario, se sugiere el área 1 como la mejor alternativa para la disposición de los residuos, atendiendo a una mayor factibilidad técnica y ambiental.

El aporte de este trabajo de investigación; a la investigación que se plantea es: como seleccionar, mediante criterios técnicos geológicos, el mejor sitio para ubicar un relleno sanitario manual para la disposición final de los desechos sólidos generados. Ya que; un relleno sanitario involucra los tres medios: suelo, aire y agua, es indispensable evaluar las características específicas de cada una de las zonas, además de factores técnicos, económicos, sociales y políticos. Para ello en este trabajo de investigación se establecieron 19 variables de campo, siguiendo los parámetros nacionales e internacionales usados para la selección de sitios, entre los que destacan los criterios presentados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos 2012; los sugeridos por la Organización Panamericana de la Salud y los criterios ambientales recomendados por las normas sanitarias para proyecto y operación de un relleno sanitario así como: Distancia a la población más cercana, distancia a granjas crianza de animales, distancia a aeropuertos, área del terreno, vida útil, uso actual del suelo y del área de influencia, propiedad del terreno, distancia a vía de acceso principal, pendiente del terreno, posibilidad del material de cobertura, profundidad de la napa freática, distancia a fuentes de agua superficiales, geología del suelo (permeabilidad), opinión pública, área natural protegida por el estado, área arqueológica, vulnerabilidad a desastres naturales, dirección predominante del viento, cuenta con barrera sanitaria natural.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

De la revisión bibliográfica realizada a nivel nacional, se estableció que existen trabajos relacionados con el tema de investigación; considerando las siguientes:

2.1.2.1 (Churata, 2016); realizó un estudio titulado “**DETERMINACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE RELLENO SANITARIO PARA EL DISTRITO DE SICUANI, CUSCO 2016**”. Tesis de pregrado de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Quién persiguió el objetivo de hallar las dimensiones para el relleno sanitario del distrito de Sicuani, Cusco. Se aplicó el método no experimental, del tipo analítico, descriptivo, hipotético con enfoque cuantitativo. Donde se proyectó para 25 años, considerando que la población es de 59964 habitantes, que según los datos del INEI (2007) ascenderá a 62930 habitantes. Dicha proyección debería servir para el dimensionamiento de la infraestructura. Así mismo, se realizó la propuesta y evaluación de sitios para la ubicación del relleno, cuya alternativa ganadora obtuvo un total de 4401 puntos, con un 83.04 %, aceptados los criterios con base en la Guía de Opinión Técnica Favorable de Estudio de Selección de Área que es emitido por la DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental), criterios de selección como: distancia a la población, área del terreno, vida útil, uso actual del suelo, accesibilidad, pendiente, material de cobertura, profundidad de napa friática, geomorfología, geología, condiciones hidrogeológicas, etcétera.

Los aportes de este trabajo de investigación; a la investigación que se plantea son: determinar la cantidad y volumen de residuos sólidos municipales, como determinar el tipo de relleno sanitario y el tiempo de vida útil del mismo, dimensionamiento de un relleno sanitario que funcione de una manera

adecuada y como establecer los criterios para la calificación del área propuesta para un relleno sanitario.

2.1.2.2 (Escobar, 2016); realizó un estudio titulado “**PROPUESTA DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN, MANTENIMIENTO Y CIERRE DE UN RELLENO SANITARIO MANUAL EN EL DISTRITO DE CUSIPATA AÑO 2016**”. Tesis de pregrado de la Universidad Alas Peruanas. Cuyo objetivo del presente trabajo de investigación fue el diseño de un Relleno Sanitario para el Distrito de Cusipata. La metodología que empleó fue la guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual. Primero procedió a recopilar y analizar toda la información necesaria (topografía, datos estadísticos poblacionales y demográficos, estudios geológicos, biológicos, hidrológicos, luego se evaluó las características físicas y biológicas de la zona de estudio (área de influencia). Se realizó el estudio de Caracterización de Residuos Sólidos. Se procedió a diseñar el Relleno Sanitario y realizar la Evaluación de Impactos Ambientales del proyecto. Finalmente se determinó una producción per cápita de residuos sólidos de 0.3 kg/día-hab., un área total para el Relleno Sanitario de 1 hectárea para una vida útil de 10 años, ubicada a 7 kilómetros del distrito de Cusipata zona estratégica para el desarrollo de la misma.

Los aportes de este trabajo de investigación; a la investigación que se plantea son: determinación de la Generación Per-Cápita por viviendas, composición física de los Residuos Sólidos, densidad de los Residuos Sólidos, humedad de los Residuos Sólidos. Así mismo sobre la tecnología del Residuo Sólido (trabajos como son, la habilitación de las áreas para la disposición final de

residuos, la construcción de los canales pluviales, la construcción de pozos para lixiviados, entre otros), costos de la implementación de los Residuos Sólidos (ya que existen tres tipos de relleno sanitario que se pueden construir en el Perú) y el estudio de impacto ambiental (impactos negativos e impactos positivos).

2.1.2.3 (Flores & Cuba, 2020); realizaron un estudio titulado “**DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO MANUAL EN EL DISTRITO DE JEPELACIO, SAN MARTÍN**”, **DEL 2020**. Tesis de pregrado de la Universidad Peruana Unión. Con el motivo de diseñar un relleno sanitario manual para la disposición final de los residuos sólidos en el distrito de Jepelacio - San Martín. La metodología que emplearon fue la guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario. Para la investigación, primero se realizaron la caracterización de los residuos sólidos, cálculo del área y volumen del relleno; en segundo lugar, se realizó la selección de sitio y cálculo de la magnitud del impacto ambiental del relleno sanitario. Dicha investigación tuvo un diseño no experimental transversal de tipo descriptivo. Donde obtuvieron una generación promedio de residuos sólidos de 3.518 ton/día en los 15 años. Con un volumen de 46,239.122 m³ y estimando un área aproximada de 2.384ha para una vida útil de 15 años. Se llegó a seleccionar el lugar del relleno sanitario; según los requisitos técnicos establecidos en la normativa nacional. Asimismo, en la evaluación del impacto ambiental del relleno se observa impactos tanto positivos como negativos en las etapas de construcción operación y cierre. El aporte de este trabajo de investigación; a la investigación realizada es: la determinación de los parámetros de caracterización de los residuos sólidos

municipales, la estimación del área, volumen y vida útil del relleno sanitario, finalmente el estudio de selección de sitio para el relleno sanitario.

2.1.2.4 (Ricaldi, Huaman, & Callupe, 2021); realizaron un estudio titulado **DISEÑO DE UN RELLENO SANITARIO PARA LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN EL DISTRITO DE EL TAMBO - HUANCAYO 2002**; Tesis de pregrado de la Universidad Continental. El presente proyecto tuvo como finalidad proponer un diseño de relleno sanitario para el distrito de El Tambo mediante la valorización de los residuos aprovechables, para ello, primero realizaron la selección del área. La metodología que emplearon fue la guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado. El sitio elegido fue la alternativa 01, con un área de 6.51 hectáreas tipo de relleno sanitario semimecanizado con diez zanjas cuyas medidas son de 121.18 metros de largo, 35 metros de ancho y una profundidad de 4 metros. Asimismo, contará con 365 celdas de 73 por 5 con cuyas dimensiones de 7 metros de largo y 1.66 metros de ancho y una profundidad de 4 metros, dos plantas de valorización: una de reciclaje y una de compostaje, entre otras áreas complementarias como: pesaje, servicios higiénicos, comedor y una vida útil de 10 años.

Los aportes de este trabajo de investigación; a la investigación que se plantea son: la propuesta del tipo de diseño de un relleno sanitario (según el volumen acumulado de residuos sólidos), estudio de caracterización de residuos sólidos según la generación per cápita domiciliaria, el sitio apropiado para la ubicación de la infraestructura de relleno sanitario (según los criterios establecidos por ley).

2.1.2.5 (Valderrama, 2018); realizó un estudio titulado **EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL BOTADERO DE HAQUIRA, DISTRITO DE SANTIAGO-CUSCO, MEDIANTE LA METODOLOGÍA EVIAVE, LIMA 2018**; Tesis de pregrado de la Universidad Nacional Federico Villarreal. El presente proyecto tuvo como objetivo Aplicar la Metodología de Evaluación de Impactos Ambientales de Vertederos (EVIAVE) en el botadero de Haquira, con la finalidad de realizar el diagnóstico ambiental del punto de vertido, determinar las causas principales de los impactos generados y sugerir alternativas de solución para la mejora técnica de la infraestructura de disposición final y para la adecuada gestión y manejo de los residuos sólidos en la provincia del Cusco. La metodología EVIAVE permitió establecer el impacto global generado a través del Índice de Medio Vertedero (IMV) cuyo puntaje obtenido fue de 15,3 clasificando el resultado como alto, permitiendo cuantificar así la problemática ambiental existente. Estos resultados reflejaron la situación que enfrenta el Botadero de Haquira, debido a su inadecuado diseño y operación, sin considerar los criterios técnicos sanitarios y ambientales establecidos en las normativas vigentes, impactando negativamente a los diferentes elementos del medio por más de 15 años de explotación incontrolada.

Los aportes de este trabajo de investigación; a la investigación que se plantea son: Su aplicación de EVIAVE permite la idoneidad para el “Estudio de sitio para la ubicación de un nuevo relleno sanitario” y una nueva alternativa para la evaluación de impactos ambientales en los Instrumentos de Gestión Ambiental (IGA) para rellenos sanitarios. Así mismo, mejorar el diseño y la operación de los Botaderos que son totalmente inadecuados desde un punto ambiental y sanitario por un relleno sanitario, con una planta de tratamiento de lixiviados

con la finalidad de evitar la contaminación de aguas subterráneas y superficiales, y la contaminación del suelo.

2.1.3 Antecedente Local

(Ccahuana Huaman & Ccalta Arce, 2022); Realizaron la investigación denominada **“EVALUACION GEOLOGICA Y GEOTECNICA PARA EL EMPLAZAMIENTO DE LA PRESA ARURI – CHUMBIVILCAS, CUSCO 2022”**; Tesis de pregrado de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Donde se plantearon como objetivo Evaluar las características geológicas y parámetros geotécnicos para la construcción de la presa Aruri - Uchucarcco, Chumbivilcas 2022. Cuya metodología, el método no experimental, del tipo analítico, descriptivo, hipotético, con enfoque cuantitativo, nivel experimental y diseño explicativa. Los resultados arribados muestran que las características geológicas del área del embalse son de origen circo glaciar y estructura simple, incluyendo a las morrenas del cuaternarios de hasta 5 m de altura y rocas intrusivas del batolito de Apurímac como basamento rocoso. Los parámetros geotécnicos son: permeabilidad de cimentación de la presa que varía de 3.86 UL a 209.92 UL, capacidad portante de cimentación del dique de la presa es de 20 kg/cm², en la capacidad portante de cimentación del suelo varia de 1.0 a 1.5 kg/cm² y las características de las canteras de piedras con resistencias entre 1250 – 1400 kg/cm² y densidad de 2.6 a 2.7 gr/cm³ y la de agregados cumplen con los requisitos de la norma y tiene 22.1 % de desgaste según el ensayo de abrasión de los ángeles. Donde concluyeron que las características geológicas y geotécnicas son las adecuadas para el emplazamiento de la presa Aruri y que es recomendable la construcción de la presa de concreto.

Los aportes de este trabajo de investigación; a la investigación que se plantea son: la evaluación de las condiciones geológicas en su contexto general (geomorfológicos, estructurales litológicos, geodinámicas) y parámetros geotécnicos para una obra ingenieril.

2.2 BASES LEGALES

Entre los dispositivos constitucionales y legales que respaldan este trabajo de investigación, tenemos los siguientes:

2.2.1 Constitución Política del Perú 1993.

La Constitución Política del Perú es la norma legal de mayor jerarquía e importancia en el Estado Peruano. Uno de los derechos fundamentales de la persona es de gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de la vida (Const., 1993, art. 2). Los gobiernos regionales y locales son competentes para desarrollar y regular actividades y/o servicios en materia de educación, salud, vivienda, saneamiento, medio ambiente, sustentabilidad de los recursos naturales, transporte colectivo, circulación y tránsito, turismo, conservación de monumentos arqueológicos e históricos, cultura, recreación y deporte, conforme a ley. (Const., 1993, art. 192 - 195)

2.2.2 Ley general del ambiente, ley n.º 2861

El “Artículo 1, cita que todas las personas tienen derecho a desarrollarse en un ambiente equilibrado y saludable, en el que también las personas deben de contribuir con el ambiente con una buena gestión ambiental para asegurar la salud de las personas colectivas e individuales y la conservación del entorno natural y el aprovechamiento de manera sostenible en el país”

2.2.3 Ley orgánica de municipalidades - ley n.º 27972”

La Ley n.º 27972, tiene como objetivo fijar normas sobre la autonomía, naturaleza, origen y otros de las municipalidades. Dicha Ley en su artículo 80, sobre Saneamiento, Salubridad y Salud establece que todas las municipalidades deben ordenar y realizar un seguimiento la disposición final de los residuos sólidos de su jurisprudencia.

2.2.4 Decreto legislativo n.º 1278 - ley de gestión integral de residuos sólidos

Su finalidad es establecer obligaciones, derechos, responsabilidades y atribuciones de toda la sociedad y de asegurar la gestión y el manejo apropiado de los residuos sólidos de acuerdo con lo establecido en este decreto.

«En el artículo 2, menciona que la disposición final de residuos es la última alternativa para el manejo de los residuos sólidos y que se debe realizar en buenas condiciones ambientales».

El capítulo 7, sobre «la infraestructura para la gestión y manejo de residuos sólidos», menciona, en su artículo 65, los tipos de infraestructura para el manejo de los residuos las cuales son: Centro de acopio de residuos municipales, planta de valorización, planta de transferencia e infraestructura de disposición final.

2.2.5 Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario mecanizado

El MINAM (Ministerio del Ambiente) en conjunto con las instituciones especializadas en Gestión Integral de Residuos Sólidos, propusieron el desarrollo de la Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y

cierre de relleno sanitario mecanizado con el objetivo de que las municipalidades y las EPS-RS(Empresas que Prestan Servicios de Residuos Sólidos) de las ciudades del territorio nacional puedan implementar de manera eficiente una infraestructura para la disposición de sus residuos sólidos.

2.3 BASES TEÓRICAS

2.3.1 Geología

(Rivera, 2005); indica que la geología es una disciplina que se encarga de estudiar la tierra, los fenómenos que ocurrieron en el tiempo pasado y ocurren durante el presente, su composición y estructura, su evolución y su relación con el universo, así como se evidencia la evolución de la vida en las rocas.

Así mismo el estudio geológico se realiza en diferentes escalas siendo las más importantes: la escala regional y local.

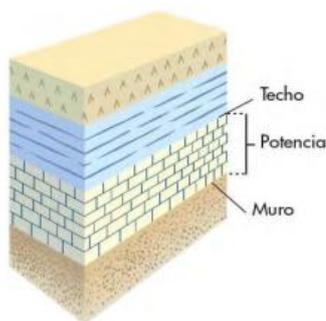
2.3.1.1 Geología regional: Es una de las ramas de la geología que se encarga de estudiar las diferentes configuraciones geológicas de cada continente, regiones y países dentro de la tierra.

2.3.1.2 Geología local: se refiere básicamente a un sitio en particular y en cuanto también a la estructura, es la distribución de todos los materiales afectados por el gran tectonismo de la tierra.

2.3.1.3 Unidad litológica: Es un material rocoso que posee las propiedades y características de composición química y mineralógica similares, esta se limita por otras unidades tanto en las partes inferior e superior y posee también rasgos que determinan su edad.

Figura 2

Unidades litológicas



Fuente: (Ccahuana Huaman & Ccalta Arce, 2022)

2.3.2 Geomorfología

Según (Muñoz, 1995); la geomorfología es una la disciplina científica que estudia el reconocimiento, clasificación y todas las explicaciones de las diferentes configuraciones que presenta la superficie externa de la litosfera de la tierra.

2.3.2.1 Formas de relieve estructurales: Estas formar del relieve dependen de los agentes externos las cuales modelan y otras cuyos caracteres reflejan los factores internos como la naturaleza, forma del yacimiento y disposición tectónica del raqueado recibiendo el nombre de forma estructural.

2.3.2.2 Cerros: Corresponde a elevaciones naturales del terreno con menor altura que las montañas, compuestas por rocas y suelos controladas por los esfuerzos presentando diferentes direcciones.

2.3.2.3 Quebradas: Son geoformas hondonadas profundas con paredes empinadas y abruptas originadas por las aguas permanentes en el transcurso del tiempo o por acciones tectónicas.

2.3.2.5 Colinas: Se trata de relieves estables que representan efectos erosivos menores. En mayor medida se trata de altas montañas, en menor medida fondos de valle, formados a poca profundidad por suelo y roca.

2.3.2.6 Lagunillas y humedales: Los humedales se encuentran en los alrededores de las lagunillas, como resultado de cambios de coeficientes de permeabilidad que mediante pequeños manantes que fluyen de acuíferos que lo constituyen los macizos rocosos fracturados del área.

2.3.2.7 Morrenas: Son materiales como piedra, arena, barro y otros que un glaciar erosiona para luego transportarla y posteriormente acumularlo.

2.3.3 Mecánica de Suelos

2.3.3.1 Calicatas

(Ccahuana Huaman & Ccalta Arce, 2022), Son excavaciones de formas diversas (pozos, zanjas, etc.) que nos permiten observar el terreno directamente, tomar muestra y eventualmente realizar ensayos in situ. Terrenos granulares en donde las perforaciones no serían representativas.

La sección mínima recomendada es de 0,80 m por 1,00 m, a fin de permitir una adecuada inspección de las paredes. El material excavado deberá depositarse en la superficie en forma ordenada separado de acuerdo a la profundidad y horizonte correspondiente. Debe desecharse todo el material contaminado con suelos de estratos diferentes.

Se pueden emplear con:

Profundidades de reconocimiento menores a 3m.

Terrenos excavables de forma manual o con excavadora mecánica.

- Ausencia de nivel freático.
- Terrenos preferentemente cohesivos.

- Así también estas nos permiten:
- Una inspección visual del terreno «in situ».

2.3.3.2 Toma de muestras

Realización de algún ensayo de campo.

En cada calicata se deberá realizar una descripción visual o registro de estratigrafía comprometida.

2.3.3.3 Talud

según Matteis, (2003) Se entiende por talud a cualquier superficie inclinada respecto de la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra. El talud constituye una estructura compleja de analizar debido a que en su estudio coinciden los problemas de mecánica de suelos y de mecánica de rocas, sin olvidar el papel básico que la geología aplicada desempeña en la formulación de cualquier criterio aceptable.

2.3.4 Geohidrología

Trata del estudio de la hidrología subterránea que involucra principalmente a las rocas y suelos por debajo de la superficie.

2.3.4.1 Acuíferos

Son formaciones geológicas que tienen la capacidad de almacenar y transmitir agua subterránea (así como: gravas, arenas, calizas, etcétera). Es decir, aquella que permite el movimiento del agua por gravedad, en condiciones que pueda ser económicamente explotable. Los acuíferos pueden ser porosos consolidados o no consolidados, fisurados, kársticos o combinaciones de estos.

En realidad, no existen unidades o formaciones geológicas completamente impermeables y tampoco formaciones geológicas con porosidad nula. Por lo tanto,

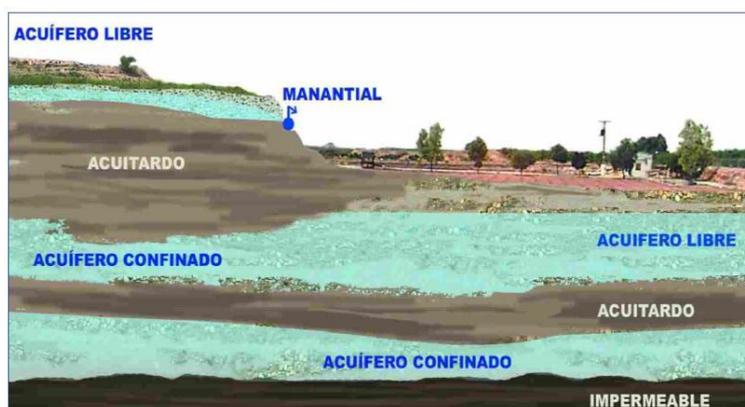
en la naturaleza sólo existirían acuíferos y acuitardos, sin embargo, en la hidrogeología es habitual usar la clasificación anterior. La clasificación más común de acuíferos está basada en la litología de la porosidad media en la que estos se desarrollan (Kresic, 2009).

Tipos de acuíferos

Los acuíferos, según su comportamiento hidráulico pueden ser: acuíferos libres, no confinados y freáticos (aquellos en los cuales existe una superficie libre del agua que contienen, que está en contacto con el aire y por tanto a la presión atmosférica); acuíferos cautivos confinados o a presión (aquellos en los que la superficie superior del agua se encuentra sometida a una presión superior a la atmosférica), y acuíferos semicautivos o semiconfinados (aquellos en los que la pared superior o inferior no es totalmente impermeable, sino que se trata de un acuitardo, es decir, un material que permite la infiltración del agua, pero, de forma muy lenta, lo que sirve de alimentación al acuífero principal (Universidad Nacional de Colombia, 2013), como se puede observar en el gráfico 03.

Figura 3

Tipos de acuíferos según su comportamiento hidráulico.



Fuente: Aguas subterráneas-Acuíferos, J. Ordoñez, 2011.

2.3.4.2 Acuitardos

Son las rocas o suelos que tienen la capacidad de almacenar agua en cantidades muy grandes, pero transmiten que el agua pase con dificultad o muy lentamente dentro de la estructura interna debido a su baja permeabilidad. Generalmente se consideran formaciones semipermeables (limos, arcillas limosas, arenas arcillosas, etcétera), y tienen una capacidad de drenaje es moderada a baja; no son interesantes para obtener caudales que puedan satisfacer cualquier demanda de agua, pero en esencia juegan un papel muy importante como elementos de transporte de agua para la recarga vertical en áreas amplias.

Los acuitardos más conocidos son los depósitos de conos aluviales y los depósitos lacustres; sin embargo, en estos materiales hay niveles de arenas que corresponde a acuíferos confinados. Le siguen en importancia las lutitas y limolitas. Además de los conglomerados, existen acuitardos metamórficos o los acuitardos intrusivos correspondientes a los batolíticos.

2.3.4.3 Acuicludos

Este tipo de formaciones pueden acumular agua en grandes cantidades, llegando incluso al punto de saturación, pero no tienen la capacidad de fluir y descargar el agua es muy difícil. Este tipo de material es poroso, pero no tan permeable como la arcilla.

2.3.4.4 Acuifugos

Corresponden a todas las formaciones geológicas que no son capaces de almacenar y transmitir agua, están representadas por las rocas compactas y muy duras como los granitos, también podemos incluir a los gneises y en ocasiones incluso a calizas compactas no karstificadas, que actúan como impermeables a menos que existan fracturas que pueden permitir flujos.

2.3.5 RELLENO SANITARIO

2.3.5.1 Definición de relleno sanitario

Según (Jaramillo, 2002); El relleno sanitario es una técnica de disposición final de los residuos sólidos en el suelo que no causa molestia ni peligro para la salud o la seguridad pública; tampoco perjudica el ambiente durante su operación ni después de su clausura. Esta técnica utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo más estrecha posible, cubriéndola con capas de tierra diariamente y compactándola para reducir su volumen. Además, prevé los problemas que puedan causar los líquidos y gases producidos por efecto de la descomposición de la materia orgánica.

2.3.5.2 Tipos de rellenos sanitarios

2.3.5.2.1 Relleno sanitario mecanizado

El relleno sanitario mecanizado es aquel diseñado para las grandes ciudades y poblaciones que generan más de 40 toneladas diarias. Por sus exigencias es un proyecto de ingeniería bastante complejo, que va más allá de operar con equipo pesado. Esto último está relacionado con la cantidad y el tipo de residuos, la planificación, la selección del sitio, la extensión del terreno, el diseño y la ejecución del relleno, y la infraestructura requerida, tanto para recibir los residuos como para el control de las operaciones, el monto y manejo de las inversiones y los gastos de operación y mantenimiento.

2.3.5.2.2 Relleno sanitario semimecanizado

Cuando la población genere o tenga que disponer entre 16 y 40 toneladas diarias de RSM en el relleno sanitario, es conveniente usar maquinaria pesada como apoyo al trabajo manual, a fin de hacer una buena compactación de la basura, estabilizar los terraplenes y dar mayor vida útil al relleno. En estos

casos, el tractor agrícola adaptado con una hoja topadora o cuchilla y con un cucharón o rodillo para la compactación puede ser un equipo apropiado para operar este relleno al que podríamos llamar semimecanizado.

2.3.5.2.3 Relleno sanitario manual

Es una adaptación del concepto de relleno sanitario para las pequeñas poblaciones que por la cantidad y el tipo de residuos que producen –menos de 15 Tn/día, además de sus condiciones económicas, no están en capacidad de adquirir el equipo pesado debido a sus altos costos de operación y mantenimiento.

El término manual se refiere a que la operación de compactación y confinamiento de los residuos puede ser ejecutada con el apoyo de una cuadrilla de hombres y el empleo de algunas herramientas.

El relleno sanitario manual se presenta como una alternativa técnica y económicamente factible, tanto en beneficio de las poblaciones urbanas y rurales con menos de 30.000 habitantes que no tienen la forma de adquirir equipo pesado para construir y operar un relleno sanitario convencional como de las áreas marginadas de algunas ciudades.

2.3.5.3 Ventajas y desventajas de un relleno sanitario

Un relleno sanitario es una de las alternativas para la disposición final de los residuos sólidos urbanos, por lo que es importante conocer las ventajas y desventajas, las cuales se describen a continuación:

Tabla 2

Ventajas y desventajas de un relleno

Ventajas	Limitaciones
<p>1. La inversión inicial de capital es inferior a la que se necesita para instaurar el tratamiento de residuos mediante plantas de incineración o de compost.</p>	<p>1. La adquisición del terreno es difícil debido a la oposición de los vecinos al sitio seleccionado, fenómeno conocido como NIMBY (not in my back yard “no en mi patio trasero”), por diversas razones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ La falta de conocimiento sobre la técnica del relleno sanitario. ➤ Se asocia el término relleno sanitario al de botadero a cielo abierto. ➤ La evidente desconfianza mostrada hacia las administraciones locales que no garantizan la calidad ni sostenibilidad de la obra. ➤ La falta de saneamiento legal del lugar
<p>2. Tiene menores costos de operación y mantenimiento que los métodos de tratamiento.</p>	<p>2. El rápido proceso de urbanización, que limita y encarece el costo de los pocos terrenos disponibles, lo que obliga a ubicar el relleno sanitario en sitios alejados de la población.</p>
<p>3. un relleno sanitario es un método completo y definitivo, dada su capacidad para recibir todo tipo de RSM.</p>	<p>3. La vulnerabilidad de la calidad de las operaciones del relleno sanitario y el alto riesgo de transformarlo en un botadero a cielo abierto, principalmente por la falta de voluntad política de las administraciones municipales para invertir los fondos necesarios a fin de asegurar su correcta operación y mantenimiento.</p>
<p>4. Genera empleo de mano de obra poco calificada, disponible en abundancia en los países en desarrollo.</p>	<p>4. No se recomienda el uso del relleno clausurado para construir viviendas, escuelas, etcétera.</p>
<p>5. Su lugar de emplazamiento puede estar tan cerca del área urbana como lo permita la existencia de lugares disponibles, lo que reduce los costos de transporte y facilita la supervisión por parte de la comunidad.</p>	<p>5. Se requiere un monitoreo luego de la clausura del relleno sanitario, no solo para controlar los impactos ambientales negativos, sino también para evitar que la población use el sitio indebidamente.</p>
<p>6. Permite recuperar terrenos que se consideraban improductivos o marginales, tornándolos útiles para la</p>	<p>6. Puede ocasionar impactos ambientales de largo plazo si no se toman las previsiones necesarias en la</p>

construcción de parques, áreas recreativas y verdes, etcétera.	selección del sitio y no se ejercen los controles para mitigarlos. El relleno sanitario de gran tamaño conviene analizar los efectos del tráfico vehicular, sobre todo de los camiones que transportan los residuos por las vías que confluyen al sitio y que producen polvo, ruido y material volante. En el vecindario el impacto lo generan los líquidos, gases y malos olores que pueden emanar del relleno sanitario.
7. Un relleno sanitario puede comenzar a funcionar en corto tiempo como método de eliminación de residuos.	7. Los predios o terrenos situados alrededor del relleno sanitario pueden devaluarse.
8. Se considera flexible porque puede recibir mayores cantidades adicionales de residuos con poco incremento de personal.	8. En general, no puede recibir residuos peligrosos.

Nota: Tomada de “Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales”

2.3.5.4 Criterios de selección de sitio del relleno sanitario

Los criterios utilizados para la selección y posterior calificación del sitio para el relleno sanitario de distrito de Chamaca se basan en la “Guía para la Opinión Técnica Favorable de Estudio de Selección de Área para Infraestructuras de Tratamiento, Transferencia y Disposición Final de Residuos Sólidos” de DIGESA (2008); en la cual se considera lo siguiente:

2.3.5.4.1 Disponibilidad y propiedad del terreno

El interesado debe verificar que los terrenos no tengan impedimentos legales que pongan en riesgo la continuidad de la operación de la infraestructura. Las áreas para los fines de disposición final, no podrán establecerse sobre propiedad privada, concesiones u otros derechos adquiridos previamente, a menos que haya una declaración expresa de necesidad pública, conforme a

ley, o medie consentimiento expreso del titular del predio. (No es exigible el título de propiedad a favor del interesado).

2.3.5.4.2 Localización

La ubicación del terreno es un criterio importante para la priorización de los posibles sitios donde se implementará la infraestructura, ya que la distancia y el tiempo al centro urbano influirán en el costo de transporte de los residuos sólidos.

2.3.5.4.3 Restricciones de Ubicación

La infraestructura de residuos sólidos, deberán ubicarse a una distancia no menor a 1000 m. de poblaciones, granjas porcinas, avícolas, etc.; por excepción y de acuerdo a lo establezca en el estudio ambiental se podrá autorizar distancias menores, según el artículo 69° del D.S. 057-2004-PCM. Así mismo la distancia de la infraestructura de residuos no será menor de 13000 m. de aeropuertos o pistas de aterrizajes, las mismas que podrán variar en función de lo establecido en las normas vigentes.

2.3.5.4.4 Preservación del patrimonio arqueológico, cultural y monumental de la zona

Las áreas evaluadas no deben encontrarse dentro de zonas arqueológicas o monumentos históricos. En zonas donde haya evidencia de la existencia de restos arqueológicos, el interesado deberá presentar el Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos (CIRA) que emite el Instituto Nacional de Cultura (INC), del área seleccionada.

2.3.5.4.5 Identificación de áreas naturales protegidas por el estado o zonas de amortiguamiento

Identificar si las áreas evaluadas se encuentran en área natural protegidas por el estado o en sus zonas de amortiguamiento.

2.3.5.4.6 Vulnerabilidad del área a desastres naturales

Las áreas evaluadas deben ser estables, no registrar antecedentes de inundaciones, derrumbes o deslizamientos de lodos y piedras. No se podrán escoger zonas que presenten fallas geológicas, lugares inestables, zonas con posibilidad de derrumbes ni propensas a ser inundadas.

2.3.5.4.7 Infraestructura existente

No se podrán seleccionar zonas que se encuentren dentro de las áreas de influencia de obras de infraestructura tales como embalses, represas, obras hidroeléctricas, entre otros.

2.3.5.4.8 Geomorfología

Se debe preferir lugares con superficies planas o con pendientes moderadas.

2.3.5.4.9 Condiciones hidrológicas

Deberán considerar el uso de aquellas zonas donde las aguas superficiales se encuentren a una distancia mayor de 500 m. del perímetro de las áreas evaluadas.

2.3.5.4.10 Condiciones Hidrogeológicas

Se preferirá el uso de aquellas zonas donde las aguas subterráneas se encuentren a una profundidad mayor de tres (3) metros de la base de la infraestructura proyectada.

2.3.5.4.11 Geología

Se tendrá preferencia por aquellos lugares que presenten condiciones geológicas favorables del subsuelo como tipo de suelo, estratigrafía, entre otros, sobre la base de la realización de calicatas en las áreas evaluadas u obtención de mapas geológicos del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET). Área disponible (Para plantas de transferencia y tratamiento). Las áreas evaluadas deben tener la capacidad de operación mínima que la envergadura del proyecto requiere.

2.3.5.4.12 Vida útil

La vida útil debe justificar los costos de habilitación e instalación y debe ser compatible con el plan de gestión integral de residuos sólidos de la municipalidad correspondiente, no permitiéndose un periodo menor de 5 años, debiendo sustentar el estimado de la vida útil para cada alternativa.

2.3.5.4.13 Material de cobertura

El lugar seleccionado como cantera del material de cobertura debe contar con suficiente material de fácil extracción. Se debe preferir materiales finos arenos-arcillosos. Se deberá garantizar su adquisición durante la vida útil de la infraestructura, siendo recomendable que la cantera de material de cobertura se encuentre dentro del área evaluada o cerca de la misma.

2.3.5.4.14 Dirección de los Vientos

De preferencia la dirección predominante de los vientos debe estar orientada en sentido contrario a la zona urbana o poblaciones cercanas en relación al área evaluada.

2.3.5.4.15 Opinión Pública

Se debe medir la opinión pública de la implementación del proyecto en las áreas evaluadas, en base a encuestas o reuniones de promoción del proyecto. El área seleccionada debe contar con la opinión favorable de las poblaciones comprendidas en el área de influencia directa e indirecta, debiendo estar sustentado con instrumentos sociales.

2.3.5.5 Calificación del sitio propuesto como relleno sanitario

La calificación del sitio propuesto para la construcción del relleno sanitario manual del distrito de Chamaca se basa en la metodología propuesta en la “Guía para la Opinión Técnica Favorable de Estudio de Selección de Área para Infraestructuras de Tratamiento, Transferencia y Disposición Final de Residuos Sólidos” de DIGESA (2008) para lo cual se establece rangos de calificación que se muestra en la siguiente tabla 3:

Tabla 3

Escala de calificación para la idoneidad del sitio de un relleno Sanitario. (DIGESA, 2008)

Calificación	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Excelente
Puntaje	1	2	3	4	5

Ítem	Criterio de selección	Reglamento de la ley 27314	Calificación	Peso asignado	Resultado final (calificación * peso)
1	Distancia la población más cercana (m)	>1000		7.0	
2	Distancia granjas crianza de animales (m)	>1000		6.2	
3	Distancia aeropuertos o pistas de aterrizaje (m)	>13000		3.5	
4	Área del terreno (m ²)			4.8	
5	Vida útil	> 5		7.0	
6	Uso actual del suelo y del área de influencia			5.2	
7	Propiedad del terreno			7.6	
8	Accesibilidad al sitio (distancia la vía de acceso principal km)			3.5	
9	Pendiente del terreno			3.3	
10	Posibilidad del material de cobertura			4.0	
11	Profundidad de la napa freática (m)			5,0	
12	Distancia fuentes de aguas superficiales (m)			4.0	
13	Geología del suelo			4.0	
14	Opinión pública			8.0	
15	Área natural protegida por el Estado			6.5	
16	Área arqueológica			6.5	
17	Vulnerabilidad a desastres naturales (inundaciones, deslizamientos)			6.5	
18	Dirección predominante del viento (contraria a la población más cercana)			5.2	
19	Cuenta con barrera sanitaria natural			2.2	
TOTALES				100	

Nota, Fuente: Guía para la opinión técnica favorable de estudios de selección de área para infraestructuras de tratamiento, transferencia y disposición final de residuos sólidos – DIGESA, 2008.

Luego de realizar la calificación de cada uno de los criterios de selección se procede al cálculo porcentual del puntaje final, para ello se considera que el máximo puntaje obtenido (valor de 5) se multiplica por el peso asignado obteniéndose un valor de 500 puntos, lo cual representaría el 100%. Los puntos

obtenidos en la calificación real establecen la proporcionalidad en ese porcentaje.

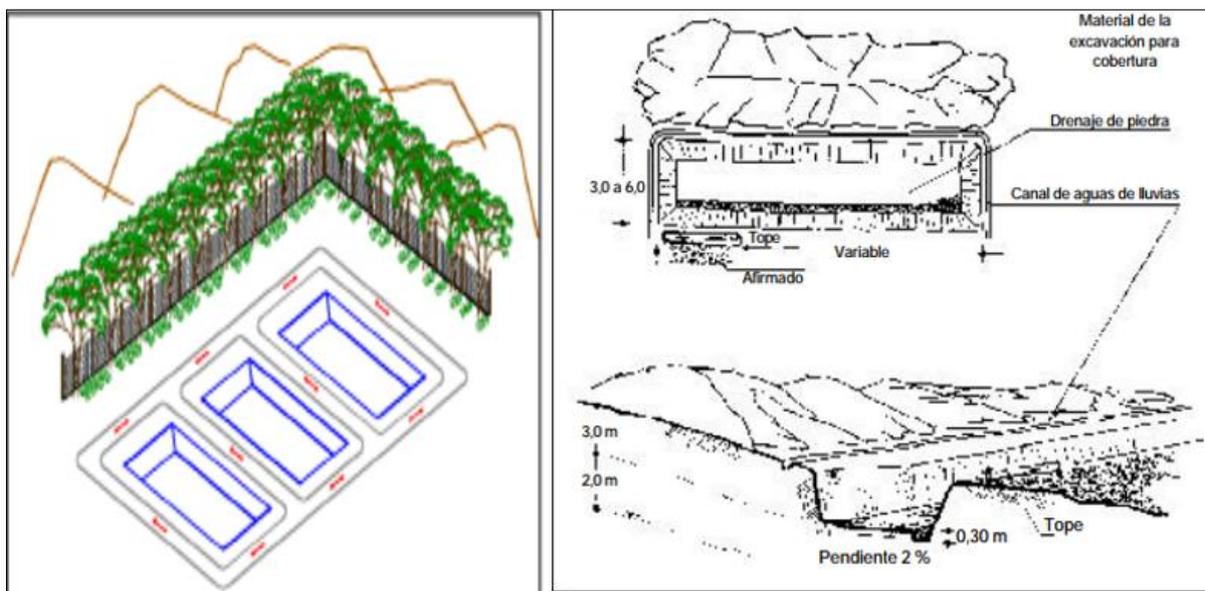
2.3.5.6 Métodos de construcción de un relleno sanitario

2.3.5.6.1 Método de trinchera o zanja

Este método se utiliza en regiones planas y consiste en excavar periódicamente zanjas de dos o tres metros de profundidad con una retroexcavadora o un tractor de orugas. Hay experiencias de excavación de trincheras de hasta de 7 metros de profundidad. Los RSM se depositan y acomodan dentro de la trinchera para luego compactarlos y cubrirlos con la tierra excavada.

Figura 4

Método de trinchera o zanja. Tomada de la «Guía diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitarios manuales».



2.3.5.6.2 Método de área

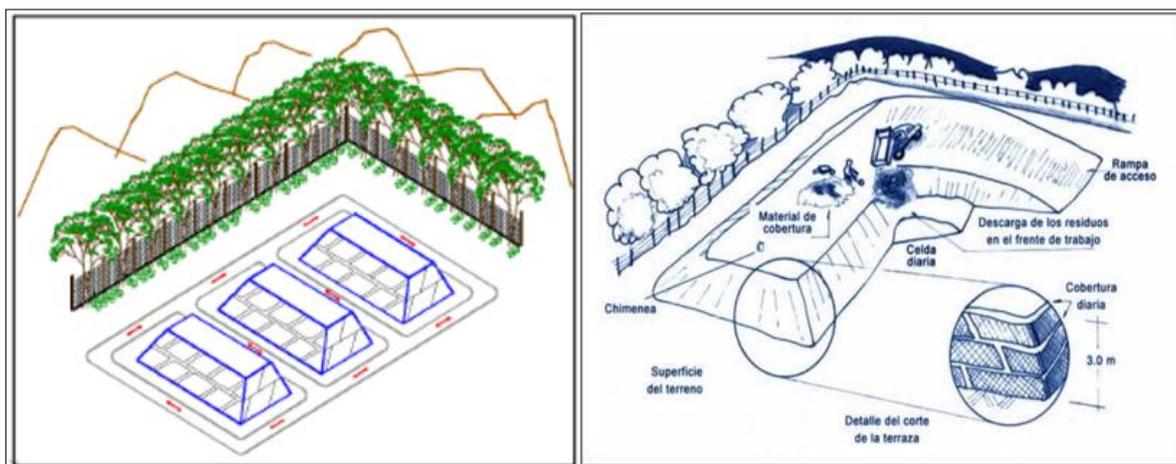
En áreas relativamente planas, donde no sea factible excavar fosas o trincheras para enterrar la basura, esta puede depositarse directamente sobre el suelo original, el que debe elevarse algunos metros, previa impermeabilización del

terreno. En estos casos, el material de cobertura deberá ser transportado desde otros sitios o, de ser posible, extraído de la capa superficial. Las fosas se construyen con una pendiente suave en el talud para evitar deslizamientos y lograr una mayor estabilidad a medida que se eleva el relleno.

Sirve también para rellenar depresiones naturales o canteras abandonadas de algunos metros de profundidad. El material de cobertura se excava de las laderas del terreno o, en su defecto, de un lugar cercano para evitar los costos de acarreo. La operación de descarga y construcción de las celdas debe iniciarse desde el fondo hacia arriba.

Figura 5

Método de área. Tomada de la «Guía diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios manuales».



2.3.5.6.3 Combinación de ambos métodos

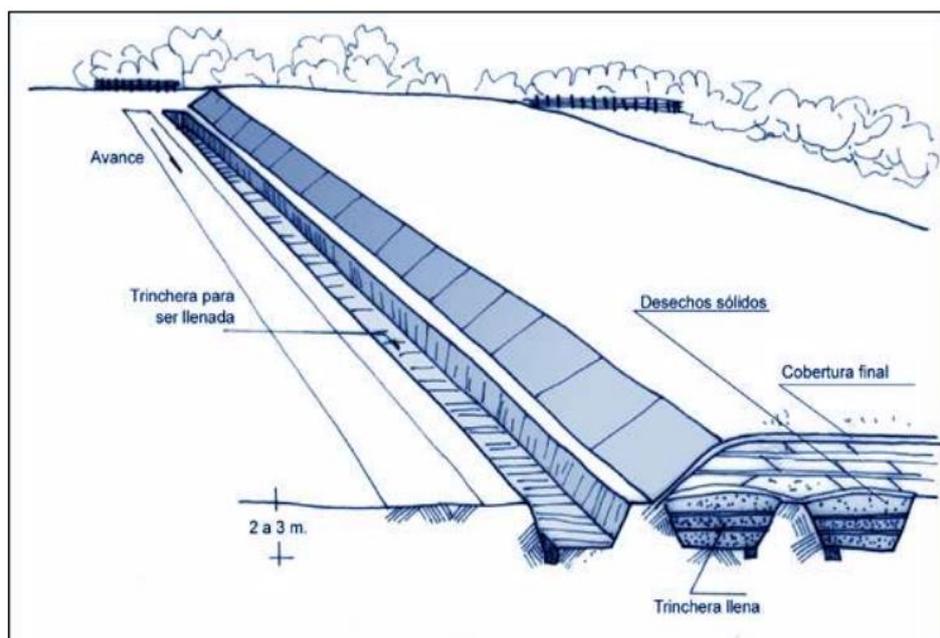
Este método es usado cuando los sitios son totalmente planos, en la mayoría de los casos primero se realiza el método de trincheras y luego el método de área debido a que tiene las siguientes ventajas:

- Emplea menor área para poder lograr un mayor volumen útil de disposición final.

- Aprovecha al máximo el material de la excavación como cobertura.
- Se aplica excavación sin afectar el nivel freático y el suelo con características adecuadas para emplear como material de cobertura.

Figura 6

Combinación de ambos métodos. Tomada de la «Guía diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de rellenos sanitarios manuales».



2.3.5.7 Cálculos necesarios para el relleno sanitario

En cuanto se define el método para el funcionamiento del relleno sanitario, se pasa a realizar los cálculos necesarios para el diseño de la infraestructura.

2.3.5.7.1 Crecimiento poblacional

El cálculo del crecimiento poblacional urbano es necesario, porque permite conocer el aumento de los residuos sólidos, para la adecuada planificación del tratamiento y disposición final de los residuos. La fórmula para calcular el crecimiento poblacional es la siguiente:

$$P_t = P_0 \times \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$

Donde:

Pt = Población en el año que se quiere estimar

P0 = Población en el año inicial o base para el cálculo

n = Número de años entre el año base y el año t

2.3.5.7.2 Generación per cápita de residuos

La generación per cápita de los residuos sólidos urbanos, se expresa en kilogramos por habitante por día (kg/hab/día), debido a que relaciona la cantidad de habitantes, la cantidad de residuos y el tiempo. Por ello, este dato se adquiere de la caracterización de residuos sólidos, la que se realiza con los siguientes pasos:

- Se pesan los residuos domiciliarios de las viviendas participantes y se registra.
- Se calcula el promedio de residuos domiciliarios de los 7 días de caracterización.
- Finalmente se aplica la siguiente fórmula:

$$GPC = \frac{W_p(Kg.)}{Cantidad\ de\ habitantes\ (Hab.)}$$

Donde:

GPC = Generación Per Cápita

Wp = Peso promedio de residuos domiciliarios de los 7 días de caracterización

Para su determinación se debe multiplicar la población total por la producción per cápita mediante la siguiente fórmula; este resultado nos indica la producción de residuos sólidos por día.

RSM (día) = ppc * p, donde:

RSM (día) = Producción de residuos sólidos por día (Kg)

ppc = Producción per cápita (Kg/hab-día)

p = Población total (hab)

La producción anual de desechos sólidos se debe hallar multiplicando el valor diario por 365 días que corresponden a un año.

RSM (año) = RSM (día) * 365, donde:

RSM (año) = Producción de residuos sólidos anual (Kg)

RSM (día) = Producción de residuos sólidos por día (Kg)

La producción de residuos sólidos acumulada se obtiene sumando año a año durante todo el tiempo de vida útil los residuos producidos para darnos el valor total de residuos que al final serán depositados en el relleno sanitario.

2.3.5.7.3 Cálculo del volumen necesario

Para calcular el volumen necesario se necesita tener en cuenta lo siguiente:

- La cantidad total de residuos que se va a disponer, en la que no se incluye los residuos reaprovechables.
- Cantidad del material de cobertura (de 20 a 25 % del volumen compactado de residuos sólidos).
- Densidad de la basura recién compactada 400-500 kg/m³.
- Densidad de la basura estabilizada 500-600 kg/m³.

2.3.5.7.4 Volumen de residuos sólidos

La determinación del volumen diario de residuos depende de la relación de la cantidad de residuos sólidos a disponer y la densidad de los recién

compactados y estabilizados. El cálculo del volumen anual de residuos depende de los residuos a disponer en un día, multiplicado por la cantidad de días en un año. Se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Vol. (día)} = \text{RSM (día)} / 450 \text{ Kg/m}^3, \text{ Donde:}$$

Vol. (día) = Volumen diario de residuos sólidos compactados (m³)

RSM (día) = Producción de residuos sólidos por día (Kg)

En el caso del valor anual compactado se obtiene multiplicando el valor diario por 365 días, según la fórmula siguiente:

$$\text{Vol. (año)} = \text{Vol. (día)} * 365, \text{ donde:}$$

Vol. (año) = Volumen anual de residuos sólidos compactados (m³)

Vol. (día) = Volumen diario de residuos sólidos compactados (m³)

Para la determinación del volumen anual estabilizado se utiliza la producción de residuos sólidos anual y a ella se le divide entre la densidad de los residuos sólidos estabilizados, que para este caso se considera el valor de 550 kg/m³, según la fórmula siguiente:

$$\text{Vol. (estabilizado)} = \text{RSM (año)} / 550 \text{ Kg/m}^3, \text{ donde:}$$

Vol. (estabilizado) = Volumen anual de residuos sólidos estabilizados (m³)

RSM (año) = Producción de residuos sólidos anual (Kg)

Al conformar las celdas de los residuos sólidos estas deben ser cubiertas, para lo cual se puede utilizar el material que se extrajo en el acondicionamiento de la zona, previa a la instalación del relleno; o material de zonas aledañas; corresponde fundamentalmente a tierra que permita una adecuada manipulación; esta cobertura incrementa el volumen de la celda; este incremento puede variar entre 20 a 25 %, pudiendo calcular el nuevo volumen con la siguiente fórmula:

Vol. (RS+MC) = Vol. (estabilizado) * 1.2, donde:

Vol. (RS+MC) = Volumen anual de residuos + material de cobertura (m³)

Vol. (estabilizado) = Volumen anual de residuos sólidos estabilizados (m³)

Posteriormente se procede a hallar el valor de volumen de los residuos acumulados sumando los valores antes obtenidos año a año.

2.3.5.7.5 Volumen del material de cobertura

MC = V_{anual compactado} x (0,20 ó 0,25), donde:

MC = material de cobertura equivale al 20 a 25% del volumen de los desechos recién compactados.

2.3.5.7.6 Volumen del relleno sanitario

El cálculo del volumen del relleno para el primer año, se realiza mediante la multiplicación del volumen de residuos de un año por el material de cobertura.

$$VRS = V_{Anual} \times MC$$

Donde:

VRS = Volumen del relleno sanitario (m³/año)

MC = Factor de material de cobertura (20 - 25 %)

2.3.5.7.7 Cálculo del área requerida

El área requerida para la construcción de un relleno sanitario manual depende principalmente de factores como:

- cantidad de RSM que se deberá disponer;
- cantidad de material de cobertura;
- densidad de compactación de los RSM;
- profundidad o altura del relleno sanitario;

- áreas adicionales para obras complementarias.

$$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h_{RS}}$$

donde:

VRS = volumen de relleno sanitario (m³/año)

ARS = área por rellenar sucesivamente (m²)

HRS = altura o profundidad media del relleno sanitario (m)

y el área total requerida será:

$$AT = F \times ARS$$

donde:

AT= Área total requerida (m²)

F = Factor de aumento del área adicional requerida para las vías de penetración, áreas de retiro a linderos, caseta para portería e instalaciones sanitarias, patio de maniobras, etc. Este es entre 20-40% del área que se deberá rellenar.

2.3.5.7.8 Cálculo de la vida útil del relleno

El sitio elegido para la construcción de la infraestructura debe tener como mínimo una capacidad de 5 años, con la finalidad de que sea acorde a la gestión de una municipalidad, además de los costos de obra. Este cálculo se puede expresar en años, meses o días.

Así mismo, la viabilidad del proyecto depende de la duración de la infraestructura y si es conveniente realizarlo para beneficios a corto y mediano plazo. Empleando la siguiente fórmula:

$$Vu = \frac{tz * n}{365}$$

Donde:

Vu= vida útil

Tz= tiempo de servicio de la zanja (días)

n= número de zanjas

2.3.5.7.9 Cálculo de la generación de lixiviados

Los lixiviados se producen por la descomposición o putrefacción de los residuos sólidos orgánicos. Para determinar la cantidad de lixiviados producidos en el relleno sanitario, se utilizará el método suizo, dada por la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{P * A * K}{t}$$

Donde:

Q = Expresa el caudal promedio de los lixiviados (l/seg)

P = Promedio de la precipitación anual (mm/año)

A = Área superficial del relleno expresado en m²

t = Expresión de segundos en un año (31536000 seg/año)

K = Expresa el coeficiente de acuerdo con la compactación de los residuos, se recomienda los siguientes valores:

- En infraestructuras con pesos específicos de 0.4 a 0.7 ton/m³, se estima una producción de lixiviados entre 25 a 50 % (K=0.25 a 0.50) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.
- Para rellenos sanitarios con pesos específicos > 0.7 ton/m³, se estima una generación de lixiviado entre 15 a 25 % (k=0.15 a 0.25) de la precipitación media anual correspondiente al área del relleno.

2.3.5.7.10 Distribución de la infraestructura

La infraestructura del relleno sanitario contará con:

- Área de administración y control de ingreso de los residuos sólidos
- Vías de acceso
- Sector de operación
- Área de abastecimiento y almacenamiento de material de cobertura
- Barrera sanitaria
- Zona de seguridad

2.3.5.11 Operación, mantenimiento y cierre del relleno sanitario

La construcción y operación de un relleno sanitario se realiza conforme a las especificaciones y recomendaciones dadas, además, para tener certeza de los objetivos propuestos, es impredecible contar con una buena administración. Se debe considerar como un factor prioritario a las relaciones públicas, tanto durante la construcción y después de su cierre. Para ello se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

2.3.5.7.12 Cierre del botadero municipal

Para que el proyecto sea viable, en primer lugar, se debe realizar la clausura o cierre del botadero del municipio, y de los sitios donde se abandona formalmente la basura, realizando las siguientes acciones:

- Divulgar públicamente que el relleno sanitario entre en funcionamiento, así mismo que el botadero ya no recibirá ningún tipo de residuo.
- Enseñar a la población sobre la necesidad del diseño y construcción de un relleno sanitario por los diferentes medios de comunicación del distrito.
- Informar a los comercios que generan cantidades significativas de residuos de manera esporádica, de la existencia del relleno sanitario e indicar que será el nuevo destino de los desechos que generen.

- Construir un cerco para restringir el acceso de personas extrañas y animales que puedan seguir llevando su basura al lugar.
- Instalar un cartel, letrero o avisos donde se informe a la población que el botadero ha sido cerrado y se indique las sanciones que se imputarán a quienes infrinjan las normas dictadas al respecto.
- Realizar un plan de erradicación de roedores y artrópodos, evitando que conlleven problemas y riesgos a la salud de los habitantes de las viviendas más cercanas.

2.3.5.7.13 Operación y mantenimiento del relleno sanitario

2.3.5.7.13.1 Control de operaciones

Se realiza el control de las actividades de «Ingreso de materiales (residuos sólidos y material de cobertura), cantidad (peso y volumen estimado), procedencia (sector de área urbana), tipo de transporte (compactador, motocarro, entre otros), recepción de los residuos sólidos administrados por la administración del relleno sanitario, ingreso de vehículos y visitantes, horario del personal empleado, mantenimiento de las herramientas, ocurrencias extraordinarias».

2.3.5.7.13.2 Control de costos

El descuido por parte de los administradores de las municipalidades tiene influencia en la recolección y el análisis de costo de servicio de aseo urbano, puesto que en general este servicio debe ser subsidiado por el municipio; pues presenta uno de los mayores problemas debido a la gran cantidad de presupuesto que se designa a este sector. Por lo tanto, es importante acopiar la información vinculada con los costos del relleno sanitario tanto durante la etapa de inversión como de construcción, operación y mantenimiento, puesto

que su análisis nos permite buscar máximos rendimientos con una mayor economía.

2.3.5.7.13.3 Control ambiental

El control de chimeneas de gases, aguas subterráneas y superficiales se realizará de acuerdo con los parámetros ordenados por la autoridad local o regional de calidad de agua y de aire. Además, el funcionamiento de las chimeneas o tubos de ventilación estará permanentemente en verificación. En las áreas subterráneas o superficiales, inicialmente se efectuará un control mensual y después con menor frecuencia.

2.3.5.7.14 Cierre del relleno sanitario

En esta fase se formaliza con un plan de cierre, con actividades destinadas a mantener el relleno, es decir, con las condiciones similares antes de que se ejecute el proyecto, el cual incluye la conservación de la cobertura, los sistemas de drenaje tanto de los lixiviados como de los gases.

El afloramiento y escurrimiento de lixiviados es la principal causa que puede alterar la estabilidad del relleno sanitario; también se tener en cuenta las dificultades de paso en la red de lixiviados. Por lo que los lixiviados pueden ser uno de los mayores peligros y causar daños al medio ambiente y a la salud.

2.4 MARCO CONCEPTUAL

Definición de los términos básicos que han sido utilizados en la investigación:

- **Botadero:** Acumulación inapropiada de residuos en vías y espacios públicos, así como en áreas urbanas, rurales o baldías que riesgos sanitarios o ambientales.

- **Suelo:** según (Juárez & Rico, 2005) es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas con organizaciones definidas y propiedades que varían vectorialmente.
- **Calicata:** según (Espinoza & Mendoza, 2017); son excavaciones que se realizan para conocer las características del terreno.
- **Permeabilidad:** Es aquella capacidad que tiene el suelo que permite que el agua se infiltre en él, a través de sus poros. El coeficiente de permeabilidad (k) es un indicador de la velocidad con la que el agua atraviesa los diferentes tipos de suelo” Jaramillo (2002).

Porosidad: (Salazar, 2018); Como consecuencia de la textura y estructura de las rocas y suelos tenemos su porosidad, es decir su sistema de espacios vacíos o poros.

Transmisividad: es el volumen de agua que atraviesa una banda de acuífero de ancho unitario en la unidad de tiempo y bajo la carga de un metro. Es representativa de la capacidad que tiene el acuífero para ceder agua.

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DEL RELLENO SANITARIO MANUAL

3.1 Generalidades

El trabajo de estudio realizado sirve como aporte ingenieril de las características geológicas y geotécnicas de la zona de Sihuincha, Chamaca-Chumbivilcas cuyo proyecto es el “relleno sanitario manual”.

3.2 Ubicación política

La zona de estudio políticamente se encuentra ubicado dentro de la jurisdicción del distrito Chamaca, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco; específicamente en la comunidad campesina de Sihuincha; geográficamente se ubica al norte del distrito de Chamaca.

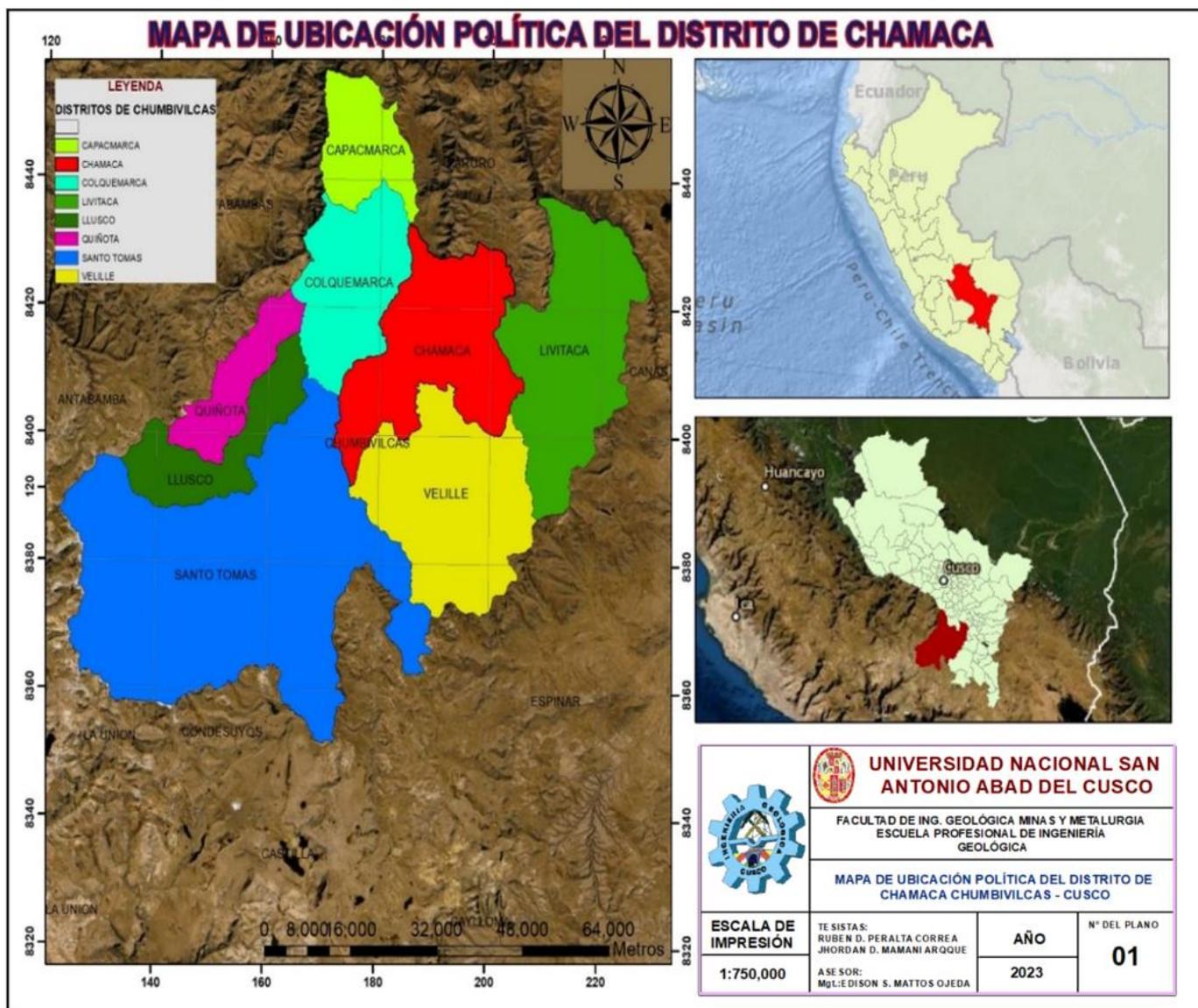
Tabla 4

Ubicación política de la zona de estudio.

	Ubicación política
Región	Cusco
Provincia	Chumbivilcas
Distrito	Chamaca

Figura 7

Mapa de ubicación política del distrito de Chamaca



Fuente: Elaboración propia

3.3 Ubicación geográfica

El área de estudio se localiza a una altitud entre 3979 y los 3983 m.s.n.m. y su lugar geográfico – geológico corresponde a la hoja del Cuadrángulo de Livitaca 29 S, en la escala 1:100,000. de la carta geológica nacional, Datum WGS 84, Zona 19L. Para llegar a la zona de estudio se accede mediante la vía más

usada Cusco–tungasuca (carretera asfaltada), Tungasuca-Chamaca (carretera afirmada), Chamaca-zona de estudio (trocha); haciendo un total de 79 Km.

A continuación, se muestra los cuatro vértices límites de la zona de estudio en coordenadas UTM.

Tabla 5

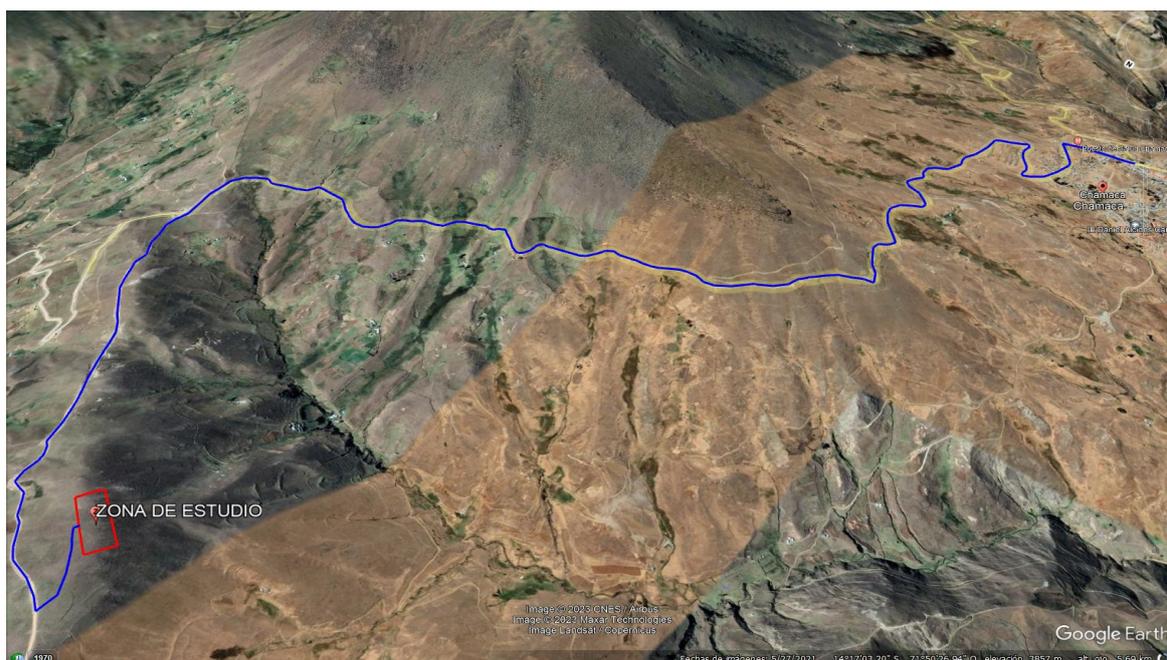
Ubicación geográfica de la zona de estudio.

Vértice	Este	Norte	Altitud (msnm)	Zona	Proyección
1	193986.00	8420155.00	3979	19L	WGS84
2	193810.00	8420246.00	3981	19L	WGS84
3	193830.00	8420283.00	3982	19L	WGS84
4	194005.81	8420191.35	3982	19L	WGS84

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 8

Área de estudio.



Fuente: Google Earth

3.4 Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio se puede hacer desde el Cusco por diferentes vías, Uno por carretera asfaltada y bicapa por la vía Cusco-Sicuani-Espinar - Chilloroya –Chamaca y desde allí tomado el camino a la comunidad de Sihuincha, Limamayo y Quellamarca por trocha carrozable, el tiempo de recorrido en camioneta es de 6:50 horas en promedio.

Tabla 6

Accesibilidad a la zona de estudio.

Ruta - 01	Distancia	Vía	Movilidad	Tiempo de viaje
CUSCO - SICUANI - ESPINAR	223 km	Carretera asfaltada	Camioneta	4:00 horas
ESPINAR- CHAMACA	113 km	Carretera afirmada	Camioneta	2:30 horas
CHAMACA – ZONA DE ESTUDIO	3 km	Trocha	Camioneta	0:10 horas
Total	339 km			6:50 Horas

Nota. Fuente: Elaboración propia

La otra vía es Cusco-Combapata –Yanaoca- Túpac Amaru- Livitaca – Chamaca y de allí por trocha carrozable de la zona de estudio. El tiempo de recorrido es de 5:10 horas en camioneta.

Tabla 7

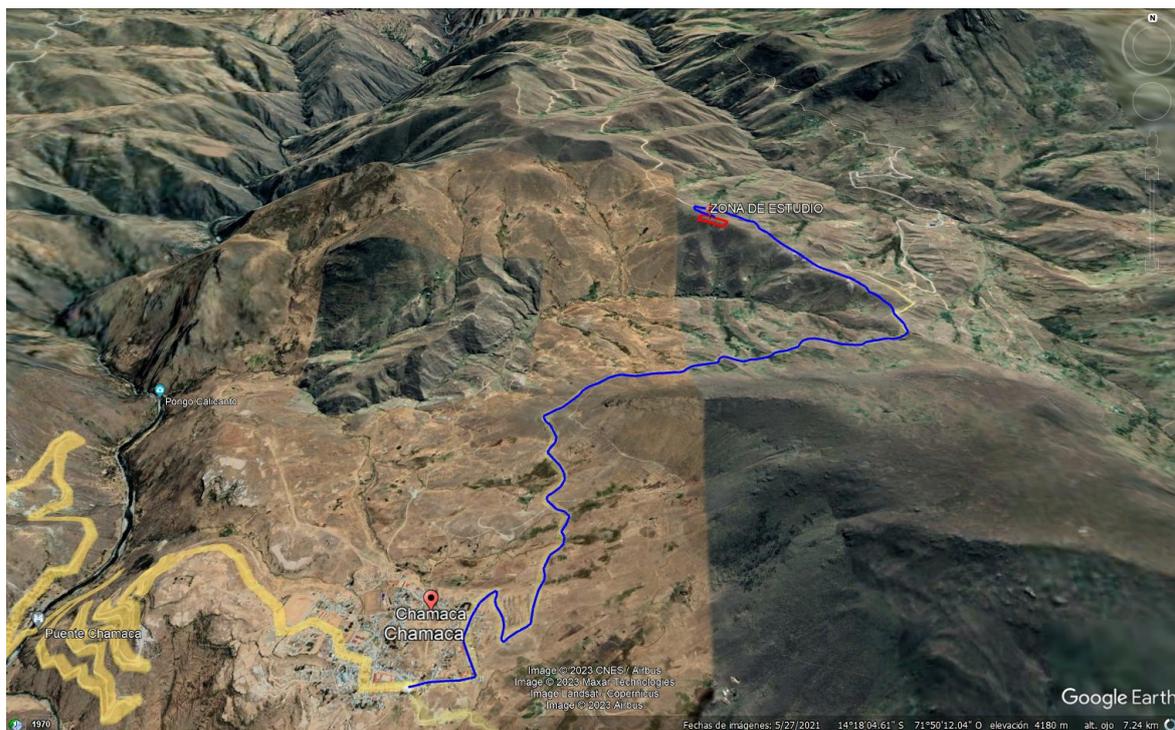
Accesibilidad a la zona de estudio.

Ruta - 02	Distancia	Vía	Movilidad	Tiempo de viaje
CUSCO – COMBAPATA	107 km	Carretera asfaltada	Camioneta	2:00 horas
COMBAPATA - CHAMACA	117.1km	Carretera afirmada	Camioneta	3:00 horas
CHAMACA – ZONA DE ESTUDIO	3 km	Trocha	Camioneta	0:10 horas
Total	227 km			5:10 Horas

Nota. Fuente: Elaboración propia

Figura 9

Accesibilidad hacia la zona de estudio.



Fuente: Google Earth

3.5 Clima y vegetación

3.5.1 Clima

El clima de la región está determinado por las condiciones meteorológicas de una zona y la duración de una determinada estación, principalmente en dos estaciones: veranos lluviosos e inviernos con temporada de heladas, que determinan la actividad económica de los pobladores. Las características geomorfológicas y la elevación determinan el cambio climático; Las regiones bajas tienen un clima abrigado con humedad relativa, mientras que otras regiones tienen un clima riguroso donde la producción se limita al cultivo de papa y granos andinos como la cañihua y la quinua.

3.5.2 Temperatura

Tiene un clima predominantemente seco, con temperaturas que van desde 9.6°C a 12.9°C en la época de lluvias de noviembre a marzo y de 8.5°C en invierno de mayo a junio y menos 9.6 C°, hay años con extremos: Fuertes lluvias, nevadas y granizo. Años de sequía severa y heladas severas.

3.5.3 Vegetación

La flora es diversa, pero los pastizales naturales se utilizan para la alimentación del ganado, del cual la zona es el principal productor. En la parte inferior de la zona hay matorrales de arbustos, plantas silvestres, arbustos y en la zona superior hay muchas plantas medicinales poco desarrolladas.

3.5.4 Topografía

La topografía del terreno es importante para la construcción del relleno sanitario manual, el objetivo de este estudio es determinar la altimetría y planimetría de los puntos del terreno. Estos datos nos permiten obtener la información verdadera de la zona de estudio para luego:

- Ubicar la zona de estudio y facilita dimensionar los elementos estructurales
- La elaboración de planos bases (topográficos) local y regional.
- Servir de información base para estudios posteriores (hidrología, geología, geotecnia, impacto ambiental) para el diseño del relleno sanitario.

3.5.5 Trabajos de campo

Trabajos de campo del relleno sanitario manual

El trabajo de levantamiento topográfico se realizó con receptor de satélite 01 "GPS Navegador", marca Garmin, Estación Total, prismas, trípode, winchas, pintura entre otros accesorios.

- **Control planimétrico**

Para el control planimétrico se realizaron dos actividades: en el control planimétrico y en el Sistema de Coordenadas UTM.

Coordenadas y cota de partida

Se ubicó dos puntos de control con el GPS para el control altimétrico y planimétrico de las cuales se obtuvo la coordenada de partida y el azimut. Se trabajo con los siguientes puntos GPS y se consideró la altura ortométrica:

Tabla 8

Coordenadas de puntos de control

Vértice	Este	Norte	Altitud (msnm)	Zona	Proyección
1	193986.00	8420155.00	3979	19L	WGS84
2	193810.00	8420246.00	3981	19L	WGS84
3	193830.00	8420283.00	3982	19L	WGS84
4	194005.81	8420191.35	3982	19L	WGS84

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo como base de partida cuatro (04) puntos del GPS para el control horizontal que se desarrolló a lo largo de la zona de construcción de las estructuras con circuitos cerrado de poligonal electrónica que cubre el área del presente estudio.

- **Control altimétrico**

Para el control altimétrico se dio por el circuito de nivelación geométrica teniendo de punto de partida el punto uno (01) del GPS ubicado al norte de la zona de estudio.

Se realizó el levantamiento topográfico detalladamente en la zona de estudio; tomando en consideración las partes más altas del relleno sanitario. Los levantamientos se relazaron a la escala de 1: 2500 con curvas de nivel principales a cada 10 m, secundarias que se separan a 1 m y la proyección vertical al sistema de coordenadas planas.

3.5.2 Trabajo de gabinete

Con todos los puntos obtenidos en el campo con el equipo de GPS se realizó el procesamiento de este ordenamiento con el software Microsoft Excel para luego introducirlo al software ArcGIS donde se visualizan estos puntos para luego a partir de estos generar los DEM Y TIN para luego verlo en 3D seguidamente generar las curvas de nivel para realizar el plano topográfico de la zona con detalles específicos del relleno sanitario.

CAPÍTULO IV

DIMENSIONAMIENTO Y UBICACIÓN DEL RELLENO SANITARIO PARA EL DISTRITO DE CHAMACA

4.1 Dimensionamiento del relleno sanitario para el distrito de Chamaca

Para el dimensionamiento del relleno sanitario del distrito de Chamaca se utilizó la información generada en el “Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos del distrito de Chamaca”, realizado por la gerencia de gestión ambiental del municipio del distrito de Chamaca (2019-2022), cuyo cuadro resumen de los resultados de las investigaciones realizadas se presenta en el Anexo 07.

4.1.1 Proyección de la población

La proyección de la población del distrito de Chamaca se realizó para los próximos 25 años, de tal manera que, de obtener una población de 25 años desde el año 1, tomando como base los datos de los censos nacionales de población y vivienda del 2017, según los cuales es de 6244 habitantes y que se ha proyectado al año 0 (2023) con 6351, tomando como el año 1 al 2024. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 9, obtenidos en base a los siguientes cálculos:

$$P_t = P_0 * (1+r/100)^n$$

Donde:

P_t = Población total

P_0 = Población en el año inicial ($P_0 = 6351$)

r = Taza de crecimiento poblacional de 0.02%

n = Número de años entre el año base y el año t ($n=25$)

$$P_{25} = 6351 * (1+0.02/100)^{25}$$

$$P_{25} = 6514$$

4.1.2 Proyección de la producción per cápita de los residuos sólidos

Se recomienda calcular la generación per cápita futura para cada año, con un incremento de 0.5 a 1 %. (Jaramillo, 2002). Para el presente proyecto se optó por el incremento de 1 % de generación per cápita por año consecutivo; para ello se tomó la generación per cápita en el año 0 de 0.331 kg/ hab-día, realizada en la caracterización de residuos sólidos en el año 2023.

$$PPC_0 = 0.331 \text{ kg/hab-día}$$

$$PPC_1 = PPC_0 + 1 \%$$

$$PPC_1 = 0.331 \text{ kg/hab-día} * 1.01 = 0.334 \text{ kg/hab-día}$$

Sucesivamente se ha calculado el GPC para los siguientes 25 años, obteniendo para el año 2048 una producción per cápita de 0.424 kg/hab-día, mostrándose los cálculos en la Tabla 9.

Tabla 9

Vida útil de relleno sanitario, proyección de población y de producción per cápita para el distrito de Chamaca.

VIDA UTIL	AÑO	POBLACIÓN HAB.	GPC
		1	2
0	2023	6351	0.331
1	2024	6482	0.334
2	2025	6483	0.338
3	2026	6485	0.341
4	2027	6486	0.344
5	2028	6487	0.348
6	2029	6489	0.351
7	2030	6490	0.355
8	2031	6491	0.358
9	2032	6493	0.362
10	2033	6494	0.366
11	2034	6495	0.369
12	2035	6497	0.373
13	2036	6498	0.377
14	2037	6499	0.380
15	2038	6501	0.384

16	2039	6502	0.388
17	2040	6503	0.392
18	2041	6505	0.396
19	2042	6506	0.400
20	2043	6507	0.404
21	2044	6509	0.408
22	2045	6510	0.412
23	2046	6511	0.416
24	2047	6513	0.420
25	2048	6514	0.424

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla anterior, se ha estimado un tiempo de vida útil de 25 años, según (EPA, 2015), debido a la envergadura de la inversión se recomiendan tiempos de vida útil que fluctúe entre los 20 y los 50 años, teniendo en cuenta fundamentalmente asegurar el funcionamiento y control de sus efectos ambientales.

La proyección poblacional se realiza con base el valor de crecimiento poblacional porcentual establecido por la estadística poblacional INEI (2023), que corresponde al calculado en el censo poblacional del año 2017; el valor es de 0.02% anual, así se estima que la población para el año 2048 en el distrito de Chamaca será de 6,514 habitantes. Así mismo según la tasa de crecimiento intercensal Red de Servicios de Salud Cusco Sur (2013 al 2023); la provincia de Chumbivilcas tiene una tazan de crecimiento poblacional de 0.4%.

Por otra parte, también se estima el incremento de la producción per cápita; según (EPA, 2015), para los países de América Latina y el Caribe se establecen valores de crecimiento de la producción per cápita de residuos sólidos del 1% al año, tomándose este índice para la tabla precedente. obteniendo para el año 2048 una producción per cápita de 0.424 kg/hab-día.

4.1.3 Proyección de la producción diaria

Para proyectar la producción diaria de los residuos, se tuvo en cuenta la relación entre población y generación per cápita, para cada año, por ejemplo:

$$RSd = \text{Población (habitantes)} * GPC$$

$$RSd_0 = 6351 \text{ hab} * 0.331 \text{ kg/ hab-día} = 2102.181 \text{ kg/hab-día} = 2.102 \text{ Tn /día}$$

$$RSd_1 = 6482 \text{ hab} * 0.33431 \text{ kg/ hab-día} = 2164.988 \text{ kg/hab-día} = 2.165 \text{ Tn /día}$$

$$RSd_{25} = 6514 \text{ hab} * 0.424 \text{ kg/ hab-día} = 2765.165 \text{ kg/hab-día} = 2.765 \text{ Tn /día}$$

Donde:

RSd= cantidad de residuos producidos por día (kg/día)

P = población total

Los datos obtenidos se muestran en la tabla 10.

4.1.4 Proyección de la producción anual

Este se calculó a partir de la producción diaria multiplicado por 365 días (1 año). Los datos obtenidos se muestran en columna 4 de la Tabla 10 y se calculan de la siguiente manera:

$$RSanual_0 = DSd_0 * 1 \text{ año} = 2.102 \text{ Tn/día} * 365 \text{ día/año} = 767.296 \text{ Tn/año}$$

$$RSanual_1 = DSd_1 * 1 \text{ año} = 2.165 \text{ Tn/día} * 365 \text{ día/año} = 790.954 \text{ Tn/año}$$

$$RSanual_{25} = DSd_{25} * 1 \text{ año} = 2.765 \text{ Tn/día} * 365 \text{ día/año} = 1009,2 \text{ Tn/año}$$

Tabla 10

Producción de residuos sólidos proyectada a 25 años para el distrito de Chamaca.

AÑO	CANTIDAD DE RESIDUOS SOLIDOS		
	Diaría (Kg) (3)	Anual T (4)	Anual Acumulada T (5)
0	2102.181	767.296	767.296
1	2166.997	790.954	1558.250
2	2189.119	799.028	2357.278

3	2211.466	807.185	3164.464
4	2234.041	815.425	3979.889
5	2256.847	823.749	4803.638
6	2279.886	832.158	5635.796
7	2303.160	840.653	6476.450
8	2326.671	849.235	7325.685
9	2350.423	857.904	8183.589
10	2374.416	866.662	9050.251
11	2398.655	875.509	9925.760
12	2423.142	884.447	10810.207
13	2447.878	893.475	11703.682
14	2472.867	902.596	12606.278
15	2498.110	911.810	13518.089
16	2523.612	921.118	14439.207
17	2549.374	930.521	15369.729
18	2575.399	940.020	16309.749
19	2601.689	949.617	17259.366
20	2628.248	959.311	18218.676
21	2655.078	969.103	19187.780
22	2682.182	978.996	20166.776
23	2709.563	988.990	21155.766
24	2737.223	999.086	22154.853
25	2765.165	1009.225	23164.138

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se muestra la producción diaria estimada de residuos sólidos año a año, es decir, que diariamente se proyecta producir 2765.165 toneladas de residuos sólidos en un día en el año 2048; en la columna anual se observa los valores calculados y proyectados para los residuos sólidos generados en todo el año, se debe mencionar además que los valores se encuentran convertidos a toneladas, así, para el año 2048 el distrito de Chamaca producirá 1009.285 toneladas de residuos sólidos. En cuanto al diseño del relleno sanitario, es interesante conocer la cantidad de residuos sólidos que se acumulan en el mismo a lo largo del tiempo. Por tanto, en la misma tabla se observa la cantidad de residuos sólidos acumulados anualmente. Se entiende que cuando el vertedero comience y entre en funcionamiento el próximo año, habrá depositado 23164.138

toneladas en 2048. A de más el tipo de relleno sanitario sería manual por lo que; la cantidad de residuos sólidos no supera los 3 Tn/días.

4.1.5 Cálculo del volumen necesario

Las exigencias respecto al espacio para el relleno sanitario están en función de los siguientes datos:

La generación diaria de residuos sólidos municipales a disponer a un 90%, siendo así que la cantidad de residuos sólidos producidos por la municipalidad de Chamaca para el año 2024 es de 2166.997 Kg/día o 790.954 Tn/año de residuos sólidos.

Según (Jaramillo, 2002), para una celda diaria, la densidad de la basura recién compactada que varía entre 400-500 Kg/m³, como en la ley peruana no establece un valor fijo en este estudio se trabajó con el valor medio, es decir con 450 Kg/m³. Jaramillo plantea que la densidad de la basura estabilizada varía entre 500-600 Kg/m³. Según la Guía de diseño, construcción, operación, mantenimiento y cierre de relleno sanitario manual del MINAM, establece un valor mínimo de 600 Kg/m³. El material de cobertura varía entre el 20 y el 25% del volumen estabilizado de los residuos sólidos.

4.1.6 Volumen de los residuos sólidos

Para realizar este cálculo fue necesario el dato de la producción diaria (residuos sólidos domiciliarios + residuos sólidos no domiciliarios), la densidad compactada (450Kg/m³) y la densidad estabilizada (600Kg/m³), se obtuvo el volumen diario y anual de los residuos sólidos que se requieren disponer, con una eficiencia del 90%, de la siguiente manera:

a) Volumen diario compactado

$$V_{diario} = \frac{RSd}{D_{srm}} = \frac{2102.181Kg/día}{450Kg/m^3} = 4.6715m^3/día$$

b) Volumen anual compactado

$$V_{\text{anual}} = V_{\text{diario}} * 365 = \frac{4.6715\text{m}^3}{\text{día}} * 365\text{días/año} = 1705.102\text{m}^3/\text{año}$$

c) Volumen anual estabilizado

$$V_{\text{anual(estabilizado)}} = \frac{RS(\text{año})}{\frac{550\text{Kg}}{\text{m}^3}} = \frac{767.296}{\frac{0.55\text{Tn}}{\text{m}^3}} = 1395.084\text{m}^3/\text{año}$$

Donde:

RS = cantidad de residuos producidos (diario/anual)

Dsrm = Densidad compactada y densidad estabilizada

De la misma forma se realizó para los próximos años. Los datos obtenidos se muestran en la columna 7 (compactados) y columna 8 (estabilizados) de la Tabla 11.

Tabla 11

Volumen de residuos sólidos proyectado a 25 años para el distrito de Chamaca.

VOLUMEN DE RESIDUOS SOLIDOS		
COMPACTADO		ESTABILIZADO
Diario	Anual	Anual
m3	m3	m3
6	7	8
4.6715	1705.102	1395.084
4.8155	1757.676	1438.098
4.8647	1775.619	1452.779
4.9144	1793.745	1467.609
4.9645	1812.056	1482.591
5.0152	1830.554	1497.726
5.0664	1849.241	1513.015
5.1181	1868.118	1528.461
5.1704	1887.189	1544.064
5.2232	1906.454	1559.826
5.2765	1925.916	1575.749
5.3303	1945.576	1591.835
5.3848	1965.437	1608.085
5.4397	1985.501	1624.501
5.4953	2005.770	1641.084
5.5514	2026.245	1657.837
5.6080	2046.930	1674.761
5.6653	2067.825	1691.857

5.7231	2088.934	1709.128
5.7815	2110.259	1726.576
5.8406	2131.801	1744.201
5.9002	2153.563	1762.006
5.9604	2175.548	1779.993
6.0213	2197.756	1798.164
6.0827	2220.192	1816.521
6.1448	2242.856	1835.064

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La tabla anterior muestra las cantidades proyectadas de residuos sólidos generados en el Distrito de Chamaca durante los próximos 25 años. En la tabla se muestran dos tipos de cantidades, la cantidad llamada volumen compactada y la cantidad llamada volumen estabilizada; El volumen compactado es el creado por el proceso de compactación que se realiza en los vertederos tras la formación de las celdas; Así, dependiendo del tipo de compactación se determinan los tipos de rellenos sanitarios; Por un lado, están los rellenos sanitarios manuales, cuya compactación se realiza manualmente mediante pisómetros, los cuales se recomiendan para poblaciones menores de 30.000 habitantes y por ello se denominan rellenos sanitarios manuales. El (CEPIS, 1999) establece valores teóricos de densidad compactada que varían entre 400 y 500 kg/m³; Para el cálculo se utiliza el criterio de calidad de clase, es decir, el valor intermedio del rango, que corresponde a 450 kg/m³. Para calcular el volumen diario se dividió el valor de producción diaria en kilogramos por esta densidad. Como resultado, los volúmenes diarios se determinaron en m³ y luego se proyectaron a valores anuales.

Con volumen estabilizado se entiende que luego del proceso de compactación, con el tiempo se desarrollan procesos de descomposición en los residuos sólidos, que como resultado de esta descomposición conducen a un aumento de densidad. Con estos residuos estabilizados se crea una densidad que, como en el caso anterior, está entre 500 y 600 kg/m³, se tiene en cuenta la calidad de clase, es decir, el valor

intermedio, que corresponde a 550 kg/m³ convertidos en toneladas, es decir, 0.55 T/m³.

4.1.7 Volumen del relleno sanitario necesario

Para realizar este cálculo se necesitó definir la cantidad de material de cobertura, en este estudio se usó el 20%, esto en relación con el volumen compactado, luego este dato se adicionará al volumen estabilizado, en la siguiente expresión se ejemplifica el cálculo:

$$VRS = V_{\text{anual}} * MC (20\% + 1) = 1395.084 \text{ m}^3/\text{año} * 1.20 = 1674.101 \text{ m}^3/\text{año}$$

Donde:

VRS = Volumen del relleno sanitario (m³/año)

M.C = Material de Cobertura (20%-30%)

Tabla 12

Volumen acumulado de residuos sólidos proyectado a 25 años para el Distrito de Chamaca.

AÑO	VOLUMEN DEL RELLENO SANITARIO	
	(RS+MC) Anual 9	ACUMULADO m ³ 10
0	1674.101	1674.101
1	1725.718	3399.818
2	1743.335	5143.153
3	1761.131	6904.284
4	1779.109	8683.394
5	1797.271	10480.665
6	1815.618	12296.283
7	1834.153	14130.436
8	1852.876	15983.312
9	1871.791	17855.103
10	1890.899	19746.002
11	1910.202	21656.204
12	1929.702	23585.906
13	1949.401	25535.307
14	1969.301	27504.608
15	1989.404	29494.012
16	2009.713	31503.725

17	2030.229	33533.953
18	2050.954	35584.907
19	2071.891	37656.798
20	2093.041	39749.839
21	2114.408	41864.246
22	2135.992	44000.239
23	2157.797	46158.036
24	2179.825	48337.860
25	2202.077	50539.937

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se muestra el volumen total obtenido para el relleno sanitario, salvo que en cada celda de residuos sólidos se debe agregar un material de cobertura consistente en un volumen de suelo obtenido de su propia zona, este volumen por supuesto aumenta el volumen. volumen de la celda; En este caso se toma en cuenta aproximadamente el 20%, por lo que en la columna RS + MC se ingresa el valor del volumen de residuos anual al que se le suma el 20% que corresponde al material de cobertura; En otra columna se registra el valor acumulado para determinar el volumen final del vertedero, el cual es de 50539.937 m³ que se obtendrá después de 25 años de vida útil del relleno sanitario.

4.1.8 Cálculo del área requerida

Para realizar el cálculo se necesitó el volumen acumulado final para así poder estimar las necesidades de área:

$$ARSo = \frac{VRS}{HRS} = \frac{1674.101}{5m} = 334.820m^2$$

$$ARS = \frac{VRSA}{HRS} = \frac{50539.937}{5m} = 10107.987m^2 = 1.011Ha$$

Dónde:

ARS =Área a rellenar sucesivamente (m²)

VRSA =Volumen del relleno sanitario acumulado (m³)

HRS =Altura o profundidad media del relleno sanitario (m)

4.1.9 Área total requerida

Este dato se obtuvo a través de la siguiente ecuación:

$$AT_0 = F * ARS = 1.2 * 334.820 \text{ m}^2 = 401.784 \text{ m}^2$$

$$AT = F * ARS = 1.2 * 10107.987 \text{ m}^2 = 12129.987 \text{ m}^2 \cong 1.21 \text{ has}$$

Dónde:

AT = Área total requerida (m²)

F = Factor de aumento del área adicional requerida para las vías de penetración, áreas de aislamiento, caseta para portería e instalaciones sanitarias, patio de maniobras, etc. Este se considera entre un 20-40% del área a rellenar.

El valor obtenido del cálculo del área requerida fue de 10107.987 m² y el área total requerida de 12129.585 m² o equivalente a 1.21 ha.

Tabla 13

Área requerida para el relleno sanitario del Distrito de Chamaca.

AÑO	AREA TOTAL			
	AR		Total	AT
	Relleno Sanitario	ACUMULADO	AT	ACUMULADA
	m ²	m ²	m ²	m ²
	11	12	13	14
0	334.820	334.820	401.784	401.784
1	345.144	679.964	414.172	815.956
2	348.667	1028.631	418.400	1234.357
3	352.226	1380.857	422.671	1657.028
4	355.822	1736.679	426.986	2084.014
5	359.454	2096.133	431.345	2515.359
6	363.124	2459.257	435.748	2951.108
7	366.831	2826.087	440.197	3391.304
8	370.575	3196.662	444.690	3835.995
9	374.358	3571.021	449.230	4285.225
10	378.180	3949.200	453.816	4739.040
11	382.040	4331.241	458.448	5197.489
12	385.940	4717.181	463.128	5660.617
13	389.880	5107.061	467.856	6128.473
14	393.860	5500.921	472.632	6601.106
15	397.881	5898.802	477.457	7078.563
16	401.943	6300.745	482.331	7560.894

17	406.046	6706.791	487.255	8048.149
18	410.191	7116.981	492.229	8540.378
19	414.378	7531.359	497.254	9037.631
20	418.608	7949.968	502.330	9539.961
21	422.882	8372.849	507.458	10047.419
22	427.198	8800.048	512.638	10560.057
23	431.559	9231.607	517.871	11077.928
24	435.965	9667.572	523.158	11601.086
25	440.415	10107.987	528.498	12129.585

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se muestra el cálculo del área requerida y el área total para el relleno sanitario del distrito de Chamaca. El valor obtenido del cálculo del área requerida fue de 10107.987 m² equivalente a 1.011 has y el área total requerida de 12129.585 m² o equivalente a 1.21 has.

4.1.10 Volumen de zanja

Para la realización de excavaciones de las zanjas que tendrán una vida útil de 12 meses, se utilizará maquinaria pesada. Las excavaciones de las zanjas tendrán que hacerse planificando todos los años de vida útil del relleno sanitario, dependiendo de la disponibilidad del equipo.

Para el volumen de la zanja, se calcula de la siguiente forma:

$$V_z = \frac{t * DSr * MC}{Drms} = \frac{365 \text{ dias} * 2538.536 \text{ kg/día} * 1.20}{500 \text{ kg/día}} = 2223.758 \text{ m}^3$$

Donde:

V_z = Volumen de la zanja (m³)

T = tiempo de vida útil de la zanja

DSr = Cantidad de residuos sólidos recolectados (2538.536 Kg/día)

MC = Factor de material de cobertura de 1.20 a 1.25 (20 a 25%)

Drms = Densidad de los residuos sólidos en el relleno sanitario (500kg/día)

En las anteriores tablas tenemos un volumen acumulado total para el Relleno Sanitario de 50539.937 m³, el volumen de cada trinchera, sería de 2223.758 m³, este valor se usó para realizar los cálculos y dimensiones de las trincheras.

4.1.11 Dimensiones de la zanja

Las dimensiones se limitan de la siguiente forma:

La profundidad de la zanja, es de 5 metros.

El ancho de la zanja mayor a 6 metros resulta conveniente para evitar el acarreo de larga distancia de los residuos y la materia de cobertura.

El largo está condicionado al tiempo de duración o vida útil de la zanja, por lo tanto, se calcula de la siguiente forma:

$$L = \frac{V_z}{a * H_z} = \frac{2223.758 \text{ m}^3}{7\text{m} * 5\text{m}} = 64 \text{ m}$$

Donde:

L = longitud

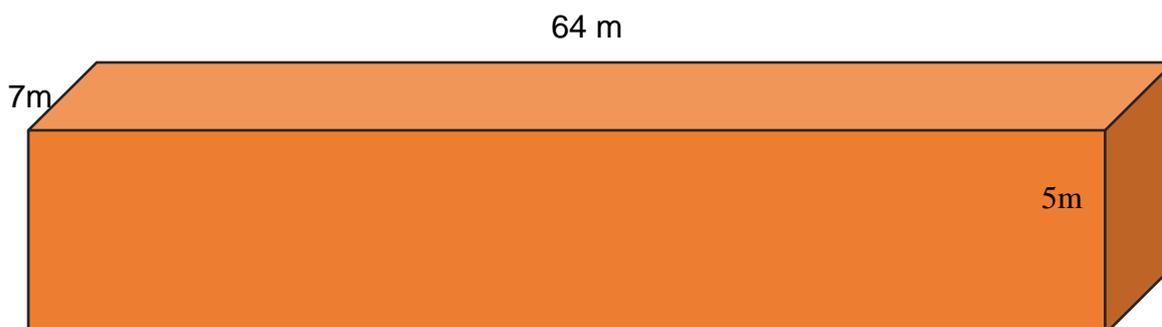
V_z = volumen de la zanja

A = ancho (7m)

H_z = profundidad (5m)

Figura 10

Dimensiones de la zanja para el relleno sanitario



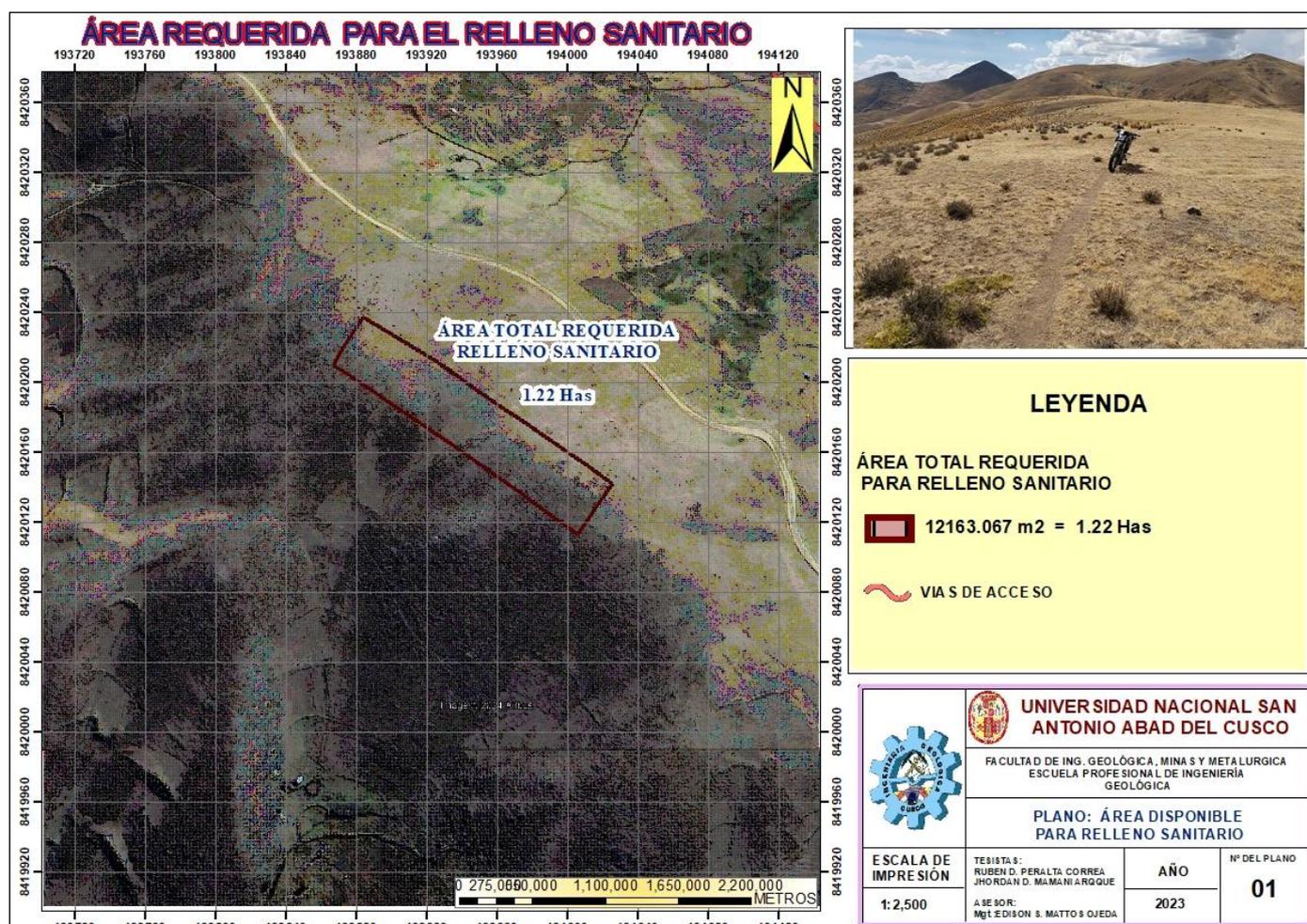
Las trincheras cuentan con un ancho de 7 metros, altura de 5 metros y largo de 64 metros.

4.2 Propuesta de ubicación del área para el relleno sanitario en el distrito de Chamaca

Luego de determinar el área requerida para la instalación del relleno sanitario, se encontró un área de 12129.987 m² con estas dimensiones que cumplió con las características de la “Guía de Opinión Técnica Favorable a partir de Estudios de Selección de Áreas para la Infraestructura de Procesamiento, Transferencia y Disposición Final de Residuos Sólidos”, por (DIGESA, 2008).

Figura 11

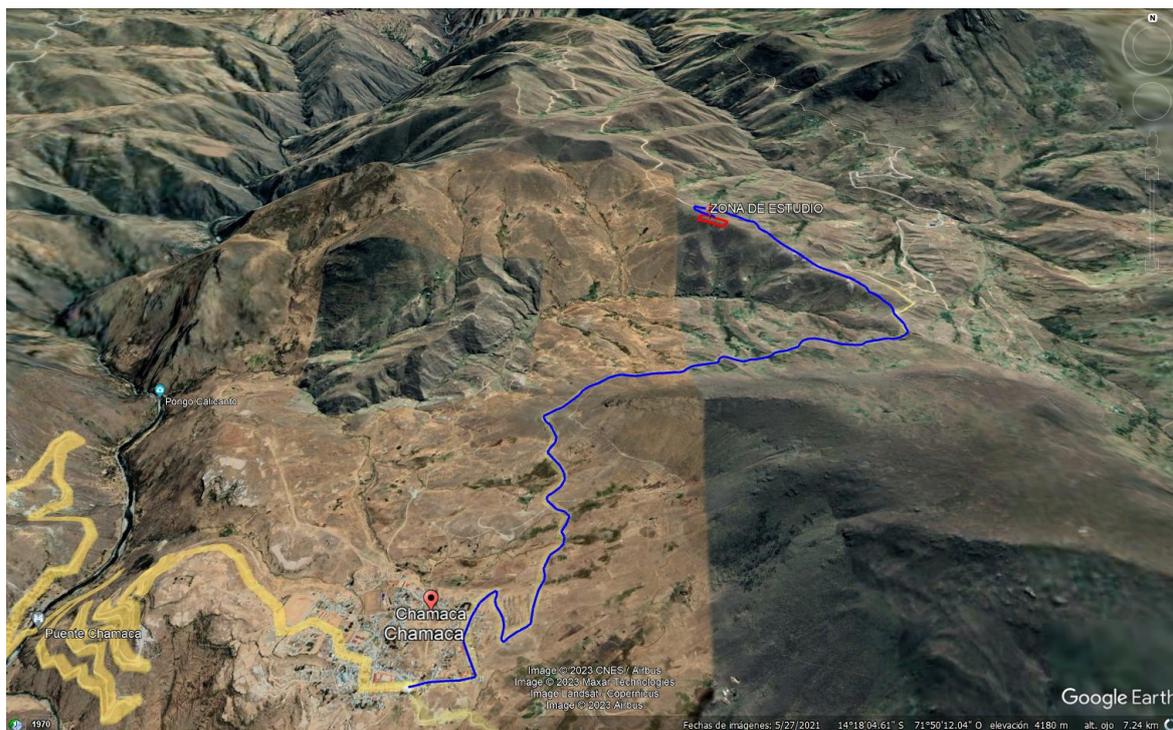
Área requerida para el relleno sanitario manual del distrito de Chamaca



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12

Ubicación del Área Relleno Sanitario para el Distrito de Chamaca



Fuente: Elaboración propia.

La ubicación geográfica de la zona propuesta en grados UTM corresponde a:

- 194026.81 y 193826.24 coordenadas Este
- 8420175.82 y 8420298.15 coordenadas Norte

Se encuentra a una altitud de 3980 m.s.n.m. aproximadamente.

4.3 Descripción del área propuesta

El terreno propuesto en este estudio pertenece a la comunidad campesina de Sihuincha, la cual forma parte del Distrito de Chamaca; con una distancia de unos 1100 m hasta el pueblo más cercano, distancia equivalente al pueblo de Chamaca.

Podemos llegar a la zona propuesta saliendo de la Plaza de Armas del pueblo de Chamaca con dirección norte, tomando la vía a Katanga, desde donde giramos a la derecha y continuamos el recorrido por la carretera transitable hacia la comunidad de Limamayo. Luego continuamos por la carretera Qquellamarca; lo que nos conduce a la zona de estudio.

Además, el área correspondiente al área propuesta tiene una pendiente moderada, lo que resulta favorable para la instalación de un relleno sanitario. La zona tiene una vegetación predominante compuesta casi en su totalidad por ichu y algunas otras especies de pastos y cactus que tampoco están catalogados como protegidos según SERNANP.

El área total del predio es de 1.80 ha y el área total destinada al relleno sanitario es de 1.21 ha.

4.4 Criterios técnicos para la selección del relleno sanitario

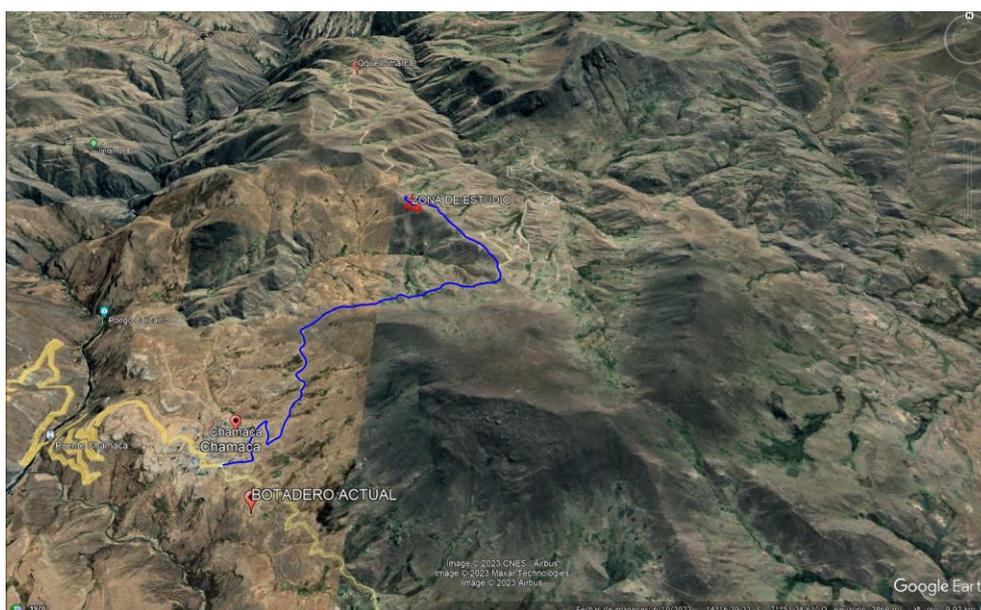
Los criterios que se consideran a continuación están tomados del “Lineamiento para Opiniones Técnicas Favorables de Estudios de Selección de Áreas para la Infraestructura de Procesamiento, Transferencia y Disposición Final de Residuos Sólidos” (2008), el cual considera lo siguiente:

4.4.1 Accesibilidad al sitio

Se puede acceder al área propuesta a través de una trocha carrozable que actualmente sirve como vía de acceso a la comunidad de Qquellamarca, la cual se ubica aproximadamente a 1,500 metros al noroeste del área propuesta para relleno sanitario en esta investigación.

Figura 13

Vista de la vía de acceso hacia el relleno sanitario del distrito.



Fuente: Elaboración propia.

La presencia de un camino de acceso existente al sitio que se considera como alternativa al relleno sanitario hace más factible esta propuesta, ya que el tiempo de viaje desde la ciudad hasta el vertedero actual es de aproximadamente 10 a 15 minutos.

4.4.2 Disponibilidad y propiedad del terreno

La ubicación propuesta para el relleno sanitario se ubica dentro de un terreno cedido por la Comunidad de Sihuincha al Distrito de Chamaca mediante acuerdo en una asamblea con el propósito de establecer un relleno sanitario para la ciudad de Chamaca.

4.4.3 Localización

El sitio propuesto para la instalación del relleno sanitario es parte del territorio del distrito de Chamaca, correspondiente a la provincia de Chumbivilcas, región Cusco y se encuentra ubicado entre los L 194026.81; E 8420175.82 y los L 193817.238;

E 8420213.588. A una altitud aproximada de 3980 msnm. La distancia promedio al centro poblado es de 1100 m (1.1 km), lo cual se considera una distancia adecuada con respecto al transporte de los residuos sólidos desde el ámbito del distrito hasta el futuro emplazamiento del relleno sanitario. Se realizó el levantamiento topográfico del área seleccionada el cual puede ser consultado en el mapa N°01.

4.4.4 Restricciones de Ubicación

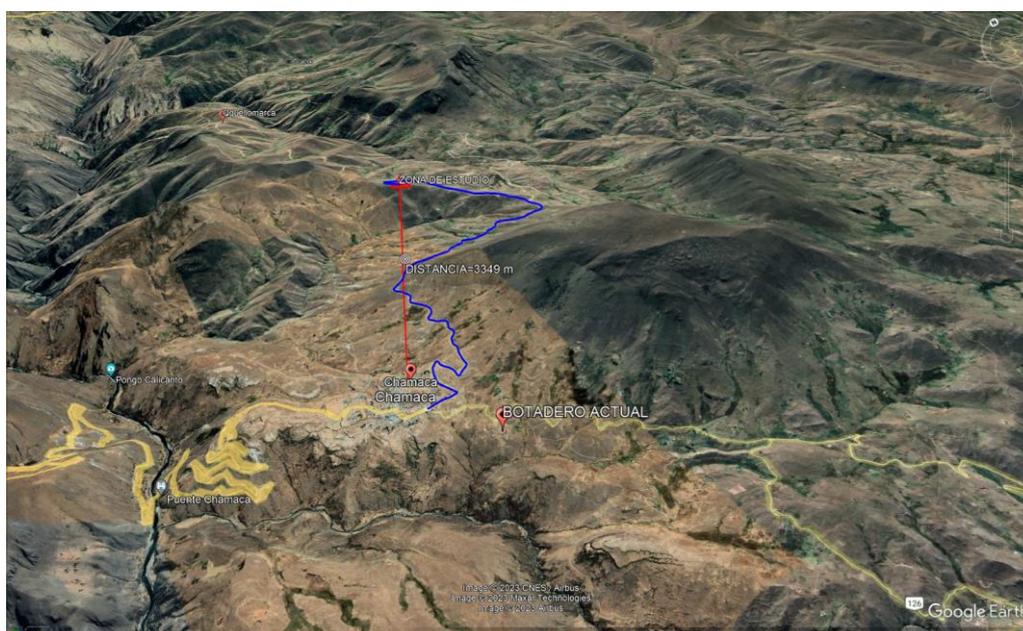
De acuerdo al D.S. 057-2004-PCM, existen distancias mínimas que respetar respecto a la presencia de poblaciones, granjas, avícolas, etc. La cual corresponde a 1000 m; asimismo a 13,000 m de aeropuertos o pistas de aterrizaje.

4.4.4.1 Distancia a la población más cercana

Como se puede observar en la Figura 14 a continuación, la distancia mínima entre el punto más desventajoso del área propuesta y el centro poblado más cercano, la ciudad de Chamaca, es de 3349 m, cumpliendo con lo establecido en la normativa.

Figura 14

Distancia del área propuesta para el relleno sanitario a la población más cercana.



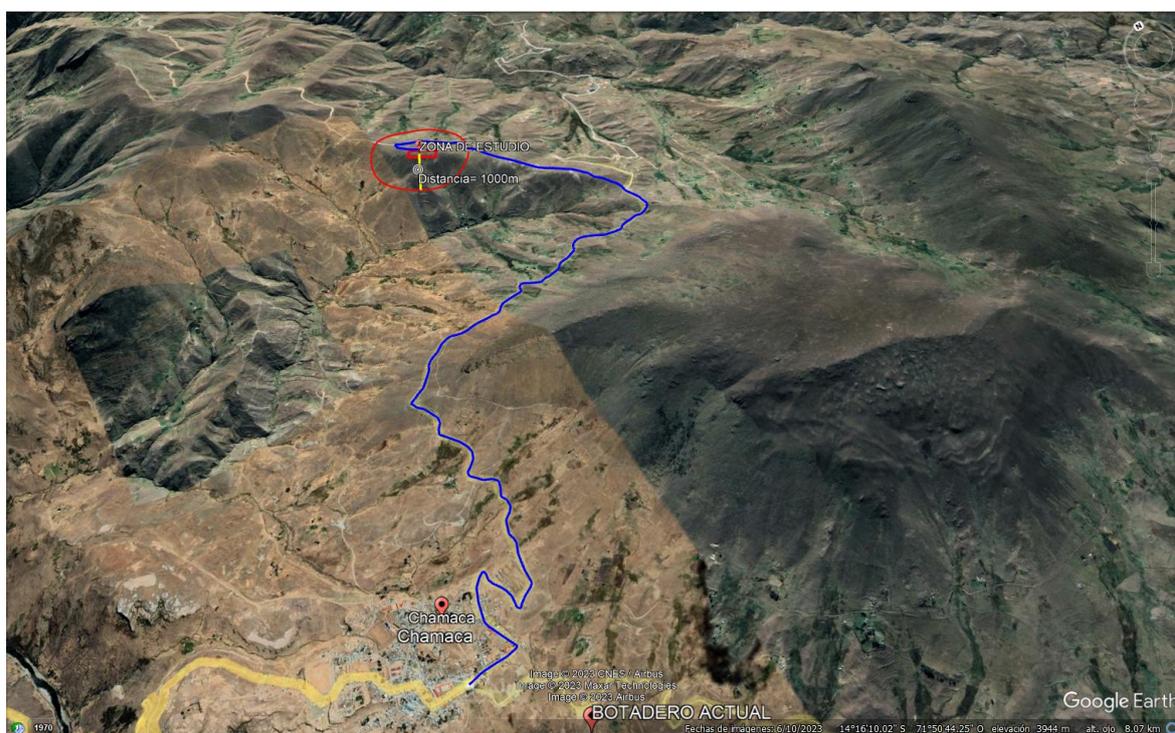
Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.2 Distancia a granjas de crianza de animales

Como se ve en la siguiente imagen, se trazó una línea de 1000 m de largo desde el punto de la esquina del área propuesta, luego se conectaron los extremos de la línea para formar un polígono irregular para ver si había granjas de animales en el área formada, donde, Según se observó, no se encontraron edificaciones que sirvan para la crianza de animales, además, se ha realizado verificación visual y no se encontraron establecimientos de ningún tipo cerca del área de influencia del sitio.

Figura 15

Distancia a granjas de crianza de animales



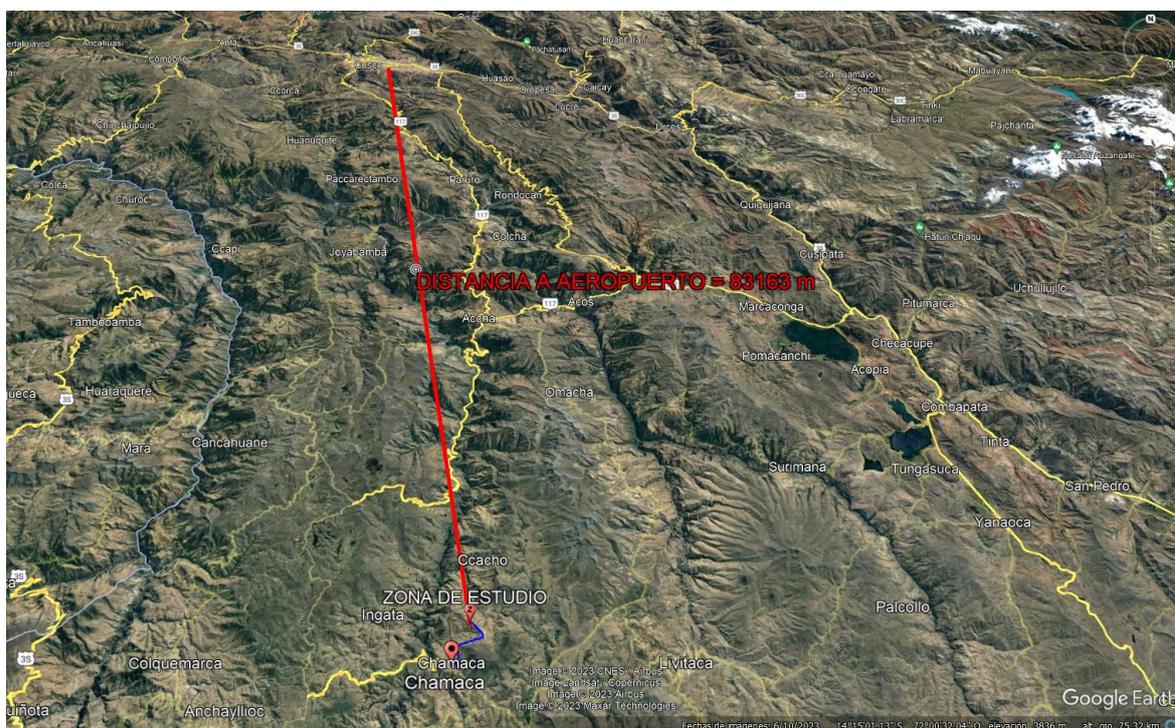
Fuente: Elaboración propia.

4.4.4.3 Distancia a aeropuertos o pistas de aterrizaje

En la siguiente figura se puede ver que el aeropuerto o pista de aterrizaje más cercano se encuentra aproximadamente a 82169 m del área de Chamaca, lo cual está de acuerdo con la normativa.

Figura 16

Distancia a pistas de aterrizaje y aeropuertos



Fuente: Elaboración propia.

4.4.5 Preservación del patrimonio arqueológico, cultural y monumental de la zona

Luego de recabar información y mediante inspección visual de la ubicación del área propuesta, se descubrió que no existe evidencia de restos arqueológicos en la zona, por lo que no habrá ningún problema al patrimonio arqueológico, cultural y monumental del país.

4.4.6 Identificación de áreas naturales protegidas por el estado o zonas de amortiguamiento

El sitio de relleno propuesto en el área de Chamaca no se encuentra dentro de un área natural protegida (ANP) ni dentro de su zona de influencia, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 17

Mapa de áreas naturales protegidas por el estado.



Fuente: Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP).

4.4.7 Vulnerabilidad del área a desastres naturales

El área propuesta para el Relleno Sanitario del Distrito de Chamaca corresponde a una zona donde no existe riesgo de inundaciones, deslizamientos de tierra, deslizamientos de lodo o rocas, ya que se encuentra muy cerca de las mayores altitudes de la zona. es un área bastante estable, como se muestra en la siguiente figura; Además, luego de analizar la zona, se encontró que en este lugar no existen fallas geológicas; También se consultaron los mapas de peligros y riesgos

utilizando el Plan Regional de Prevención y Atención de Desastres de la Región Cusco (2007).

Figura 18

Imagen del área propuesta para el relleno sanitario del distrito de Chamaca.



Fuente: Elaboración propia

4.4.8 Infraestructuras existentes

El área de relleno sanitario propuesta no se encuentra en la zona de influencia de infraestructura como embalses, represas o centrales hidroeléctricas, por lo que sobre él no existen condiciones que impidan su uso.

4.4.9 Geomorfología

Como se puede observar en las imágenes a continuación, el sitio propuesto tiene superficies planas con pendientes moderadas y de fácil manejo, además la textura del terreno permite la acumulación de material de cobertura que se utilizará para formar celdas en el futuro relleno sanitario.

Figura 19

Imágenes del área donde se instalará el relleno sanitario donde se aprecia superficies planas con pendientes moderadas



Fuente: Elaboración propia.

4.4.10 Condiciones hidrológicas

El área propuesta para el relleno sanitario se encuentra a 1321 m del curso de agua más cercano, tal como se ve en la figura siguiente, este es denominado río Limamayo; en cuanto a la quebrada Ccayrayoq no la consideramos como el curso de agua más cercano puesto que la quebrada solo presenta flujo de agua cuando se presentan precipitaciones fuertes.

La hidrología de la zona se encuentra establecida entre la confluencia del río Velille, cuyo curso de agua se encuentra a más de 3800 m del área propuesta; y el río Limamayo, en zonas más cercanas sólo se pueden observar ligeras cárcavas que surgen a través de las precipitaciones ocurridas en la cumbre, y muy cercanas al área propuesta.

Figura 20

Distancias del área propuesta para el relleno sanitario los cuerpos de aguas superficiales se encuentran a una distancia mayor a 500 m.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.11 Condiciones Hidrogeológicas

Se ha determinado que no existen cuerpos de agua subterráneos en la zona, a través de las Cárcavas que se encuentran en los límites del terreno las cuales llegan hasta la roca madre la cual no presenta humedad.

Figura 21

Detalle de las cárcavas hacia los extremos del área propuesta donde no hay evidencia de humedad



Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente se excavaron calicatas en distintos puntos del área seleccionada para comprobar si había acumulación de agua en el fondo, la Calicata 1 tuvo una profundidad de 2.00m; la Calicata 2 tuvo una profundidad de 2 m de profundidad.

En ninguna se encontró flujo o acumulación de agua lo que nos indica que no hay cuerpos de agua que puedan ser contaminados.

Figura 22

Calicata para comprobar si había acumulación de agua en el fondo.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.12 Geología

El área propuesta para el relleno sanitario presenta una estratigrafía favorable compuesta por material de cobertura de buena potencia, suelo inorgánico.

4.4.13 Área disponible

Luego del proceso de dimensionamiento se estableció la necesidad de 1.22 ha para la instalación del relleno sanitario, en el área propuesta existe 1.80 ha, por lo que el área disponible es lo suficientemente adecuada para el emplazamiento de un proyecto de esta envergadura. Se puede observar el plano de levantamiento topográfico del área propuesta en la figura 23.

Figura 23

Área para la instalación del relleno sanitario.



Fuente: Elaboración propia.

4.4.14 Vida útil

El tiempo de vida útil establecido y calculado para el dimensionamiento del relleno sanitario es de 25 años; de acuerdo a la “Guía para la Opinión Técnica Favorable de Estudio de Selección de Área para Infraestructuras de Tratamiento, Transferencia y Disposición Final de Residuos Sólidos” de (DIGESA, 2008), el período de tiempo no puede ser menor a cinco años, por lo tanto en esta característica se excede lo requerido; sin embargo, otros autores como por ejemplo, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, (EPA, 2015) recomiendan que el tiempo de vida útil se ve entre los 20 y 30 años debido a la envergadura del proyecto.

4.4.15 Material de cobertura

Luego de realizada toda la construcción de la infraestructura del relleno sanitario y puesta en funcionamiento, el procedimiento general es de acuerdo a la adecuación de los residuos obtenidos en la unidad de recolección (residuos de un día) y luego de haber sido acondicionados se debe acondicionar. se cubre con tierra y luego se compacta; Por lo tanto, es importante contar con suficiente material de cobertura (suelo) para que el relleno sanitario pueda funcionar correctamente. Efectivamente en la zona de estudio existe material de cobertura.

4.4.16 Opinión Pública

De acuerdo a reuniones llevadas a cabo con diferentes grupos de pobladores del distrito de Chamaca se ha establecido una opinión pública favorable respecto al desarrollo del proyecto del relleno sanitario para el distrito; mencionándose fundamentalmente la tremenda deficiencia que existe respecto al manejo adecuado residuos sólidos, específicamente en el proceso de disposición final, el cual en la actualidad se realiza mediante un botadero que genera problemas a la población al haber alcanzado su área útil. Además, los vecinos de la comunidad de Sihuincha, quienes cedieron el terreno a la Municipalidad Distrital de Chamaca, están de acuerdo con la instalación del relleno sanitario porque ven beneficios económicos en él, tal como se conversó con algunos comuneros, en uno de los acuerdos de uso de suelo reunidos. con el objetivo de establecer un relleno sanitario, prever que los comuneros tengan un trabajo como operadores, situación que, según ellos, se cumple en los rellenos ubicados cerca del área propuesta en este estudio.

4.4.17 Dirección de los Vientos

Tomando como base la rosa de vientos que se ve a continuación, la cual fue construida con base en datos obtenidos de una estación meteorológica llamada Sicuani – 4726158C perteneciente al SENAMHI y ubicada al norte de la ciudad de

Sicuani, esta estación es de tipo Automática cuyos detalles se pueden apreciar en la Mapa de ubicación de la estación meteorológica en el mapa 01.

Esta estación nos proporciona datos de temperatura, presión, humedad, precipitaciones, dirección y velocidad del viento con una frecuencia de un dato al día. Según el procesamiento de los datos, la dirección predominante de los vientos es de Noreste – Suroeste (NE-SW), considerando la ubicación del área propuesta para el relleno sanitario respecto a la población la dirección del viento sería aproximadamente paralela por lo tanto no se estaría arrastrando partículas ni malos olores hacia la población.

4.5 Calificación del área propuesta para el relleno sanitario para la ciudad de Chamaca

De acuerdo con la “Guía para Opiniones Técnicas Favorables a partir de Estudios de Selección de Áreas para la Infraestructura de Procesamiento, Transferencia y Disposición Final de Residuos Sólidos” de (DIGESA, 2008), se establece un procedimiento para calificar las áreas propuestas para su instalación del relleno sanitario propuesto; Este sistema de ranking se basa en el análisis de determinados criterios de selección,

Algunas se ajustan a lo dispuesto en la Ley General de Residuos, Ley núm. 27314, y algunos se adaptan a criterios técnicos obtenidos de guías y manuales relacionados con la construcción de vertederos. Como ya se mencionó en el capítulo metodología, la calificación se hace basado en una escala arbitraria la cual se establece cinco valores que van del muy malo puntaje de 1; al excelente con un puntaje 5; en la siguiente tabla se observa la escala de calificación:

Tabla 14

Escala de calificación para la idoneidad del área de un relleno sanitario. (DIGESA, 2008)

Calificación	Muy malo	Malo	Regular	Bueno	Excelente
Puntaje	1	2	3	4	5

Nota. Fuente: Guía para la opinión técnica favorable de estudios de selección de área para infraestructuras de tratamiento, transferencia y disposición final de residuos sólidos – (DIGESA, 2008).

Tabla 15

Calificación para la idoneidad del área del relleno sanitario del distrito de Chamaca.

Ítem	Criterio de selección	Reglame nto de la ley 27314	Calific ación	Peso asign ado	Resulta do final (calific ación *peso)
1	Distancia a la población más cercana (m)	>1000	4	7.0	28
2	Distancia granjas crianza de animales (m)	>1000	3	6.2	18.6
3	Distancia aeropuertos o pistas de aterrizaje (m)	>13000	5	3.5	17.5
4	Área del terreno (m ²)		4	4.8	19.2
5	Vida útil	>5	5	7.0	35
6	Uso actual del suelo y área de influencia		5	5.2	26
7	Propiedad del terreno		4	7.6	30.4
8	Accesibilidad al sitio		5	3.5	17.5
9	Pendiente del terreno		3	3.3	9.9
10	Posibilidad del material de cobertura		5	4.0	20
11	Profundidad de la napa freática (m)		5	5.0	25
12	Distancia fuentes de agua superficiales (m)		4	4.0	16
13	Geología del suelo		4	4.0	16
14	Opinión pública		4	8.0	32

15	Área natural protegida por el estado	5	6.5	32.5
16	Áreas arqueológicas	4	6.5	26
17	Vulnerabilidad a desastres naturales	4	6.5	26
18	Dirección predominante del viento	4	5.2	20.8
19	Cuenta con barrera sanitaria natural	4	2.2	8.8
TOTALES			100	425.2

Nota. Fuente: Guía para la opinión técnica favorable de estudios de selección de área para infraestructuras de tratamiento, transferencia y disposición final de residuos sólidos – (DIGESA, 2008).

En la tabla anterior se observa la calificación final obtiene el área para el relleno sanitario del distrito de Chamca, la cual llega a **425.2** puntos; si el puntaje máximo a obtener es de 500 puntos; y esto se lleva un valor porcentual, se tiene que el área propuesta alcanza una calificación porcentual del 85.04 % la cual le califica como área óptima para la instalación del relleno sanitario.

CAPÍTULO V

CLIMA Y VEGETACIÓN

5.1 Generalidades

Debido a su posición geográfica y a la diversidad de relieve, los factores climáticos varían considerablemente de un sitio a otro, y aún durante el día o la noche, con características propias tanto en las precipitaciones anuales, temperatura media anual y coeficiente de evapotranspiración.

Al respecto existen estudios con datos regionales, pero el aporte estadístico se considera insuficiente, y por tanto las conclusiones tendrían un carácter solamente referencial.

Al igual que en toda la sierra del sur del Perú, en esta área las precipitaciones atmosféricas se producen en su mayoría en el verano austral, es decir, en el lapso comprendido de diciembre a marzo.

Cabe notar que durante estos últimos años han ocurrido notables variaciones, no sólo en cuanto a este tipo de fenómenos, sino en el clima en general, presentándose aún durante el invierno austral, abundante granizada y aguaceros.

La temperatura es muy variable entre el día y la noche, siendo los meses de junio y julio los más fríos, llegando fuera de los valles aún por debajo de -6° centígrados durante la noche. Los terrales son comunes, así como las denominadas “heladas” que causan serios daños a la agricultura.

5.2 Clima

El clima de la región está determinado por las condiciones meteorológicas de una zona y la duración de una determinada estación, principalmente en dos estaciones:

veranos lluviosos e inviernos helados, que determinan la actividad económica de los pobladores, dijo. Las características geomorfológicas y la elevación determinan el cambio climático; Las regiones bajas tienen un clima abrigado con humedad relativa, mientras que otras regiones tienen un clima riguroso donde la producción se limita al cultivo de papa y granos andinos como la cañihua y la quinua.

5.3 Temperatura

Los valores representativos de temperatura media ambiental y los regímenes térmicos del área de estudio corresponden un clima predominantemente seco, con temperaturas que van desde 9.6°C a 12.9°C en la época de lluvias de noviembre a marzo y de 8.5°C en invierno de mayo a junio 9. y menos 9.6 C°, hay años con extremos: Fuertes lluvias, nevadas y granizo. Años de sequía severa y heladas severas.

Para identificar la temperatura de la zona de estudio se ha recurrido al proceso de regionalización por el método de regresión lineal; como se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 16

Variación mensual de la precipitación media.

ESTACION	ALTITUD msnm.	MES / TEMPERATUA MEDIA												
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
		C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°	C°
SAN TOTOMAS	3658	13.4	13.3	13.0	12.9	11.5	10.2	10.0	11.2	12.8	13.8	14.7	13.8	12.5
TAMBOBAMBA	3279	14.6	14.8	14.1	13.8	12.8	12.0	12.7	13.4	14.8	15.6	15.4	16.3	14.2
SICUANI	3550	12.3	12.3	12.1	11.4	9.6	8.2	8.0	9.5	11.4	12.4	12.6	12.4	11.0
YAURI	3927	9.0	8.8	8.8	7.8	5.5	3.4	3.4	4.3	6.6	8.0	9.0	9.0	7.0
Promedio	3603.5	12.3	12.3	12.0	11.5	9.8	8.5	8.5	9.6	11.4	12.4	12.9	12.9	11.2
Desv. Estándar	268.2	2.4	2.5	2.3	2.7	3.2	3.7	3.9	3.9	3.5	3.2	2.9	3.0	3.1

Nota. Fuente: SINAMHI

5.4 Vegetación

La flora es diversa, pero los pastizales naturales se utilizan para la alimentación del ganado, del cual la zona es el principal productor. En la parte inferior de la zona hay matorrales de arbustos, plantas silvestres, arbustos y en la zona superior hay muchas plantas medicinales poco desarrolladas.

5.5 Precipitación

El clima en la zona de estudio muestra cambios en la precipitación. La Tabla N°17 muestra el promedio mensual de precipitación total mensual en cada estación pluviométrica y estación meteorológica de 2003 a 2018. La Figura N°18 muestra las variaciones en la precipitación en cada estación, reflejando las características estacionales de la precipitación en la región.

Durante la temporada de lluvias, los meses más lluviosos son de diciembre a marzo, cuando la precipitación asciende al 73.12% de la precipitación anual, por lo que se considera un período húmedo.

Los meses transitorios o sub húmedo, corresponden a abril y noviembre, donde llueve el 15.60% de precipitación anual.

Por otro lado, el período seco (invierno), comprende los meses de mayo a octubre, las precipitaciones mínimas llegan a ser del 11.28% en promedio de las estaciones, de las precipitaciones totales anuales.

Tabla 17

Variación mensual de la precipitación media.

ESTACION	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL
Santo Tomas	8.15	17.67	59.97	72.92	168.08	189.85	188.05	176.01	67.59	8.45	2.27	6.47
Tambobamba	7.61	19.64	64.20	89.76	173.05	179.47	191.98	140.77	53.52	10.74	2.21	3.12
Sicuani	4.90	17.64	49.28	64.62	118.57	131.19	140.61	107.05	57.34	9.79	2.32	3.88
Yauri	3.80	17.33	47.32	78.90	142.63	157.97	142.45	109.43	39.61	6.73	2.99	2.68

Nota. Fuente: SINAMHI

Figura 24

Variación Anual de la precipitación promedio multimensual (2003 – 2018).

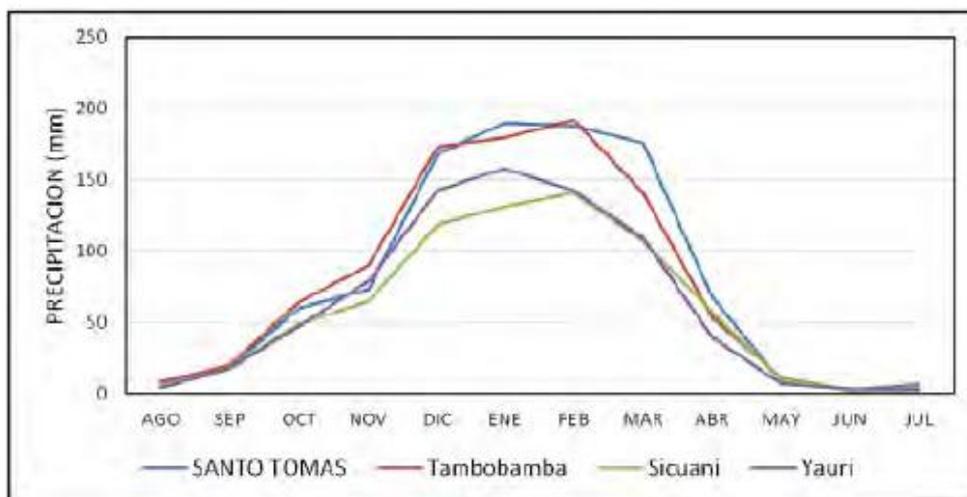


Tabla 18

Información de la precipitación máxima dentro de 24 Horas en la Estación Meteorológica de Santo Tomás.

Estación Meteorológica : SANTOTOMAS

Región: Cusco Prov: CHUMBIVILCAS Código: CO
 Latitud: 14° 27' 00" Long: 72° 06' 00" Altitud: 3658

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MÁX
1986										8.0		16.0	16.00
1987	44.0	10.0		18.3		2.0	10.0	11.0	4.0	5.0			44.00
1988										24.0	5.0	9.0	24.00
1999					0.3	0.0	0.0	0.0	20.5	17.1	0.0	10.5	20.50
2000	30.1	23.2	17.2	12.5	3.4	5.8		0.0	12.5	11.7	0.0	29.8	30.10
2001	19.5	29.2	28.7	29.8	8.9	0.0	0.0	0.0	7.9	13.5	1.3	27.0	29.80
2002	21.8	32.3	35.6	7.8	7.4	3.8	10.2	0.0	10.2	15.7	13.8	26.0	35.60
2003	21.4	25.5	24.6	12.8	0.0	2.4	0.0	9.4	8.4	18.1	23.3	17.8	25.50
2004	25.0	25.2	26.2	7.5	0.0	0.0	19.0	18.4	15.6	21.4	37.6	37.8	37.80
2005	33.8	16.2	24.5	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	12.6	14.4	19.7	33.80
2006	42.5	34.6	36.3	17.6	0.0	2.6	0.0	3.9	5.9	30.3	20.7	36.1	42.50
2007	19.1	28.8	20.5	12.8	3.2	0.0	8.3	0.0	2.9	10.8	14.7	41.5	41.50
2008	22.1	26.4	17.8	5.5	8.2	1.8	0.0	0.0	4.3	22.1	5.2	33.6	33.60
2009	20.2	19.8	20.9	22.6	2.6	0.0	3.0	0.0	0.0	7.4	21.5	20.9	22.60
2010	23.5	45.0	28.7	32.0	10.5	0.0	0.7	0.0	2.8	16.8	29.5	21.0	45.00
2011	23.3	28.5	26.0	26.0	5.8	0.4	4.8	11.7	11.1	15.2	25.5	19.9	28.50
2012	23.0	28.9	32.2	30.2	0.8	0.0	0.9	0.0	9.0				32.20
2013		37.7	21.5	34.0	2.9	7.2	1.7	14.5	2.8	15.6	17.0	32.6	37.70
2014	29.1	25.9	22.1	8.7	2.7	0.0	0.4	3.3	19.6	51.5	13.5	25.7	51.50
2015	26.3	22.3	42.9	17.8	10.1	0.0	2.4	8.3	3.0	15.6	11.6		42.90
2016	19.1	25.2	35.2	27.0	4.3	3.0	5.6	9.4	3.2	7.9	12.9		35.20

Nota. Fuente: SENAMHI

CAPÍTULO VI

GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología es una caracterización del relieve que hace contraste con la geología, donde la Cordillera de los Andes llega a ser la condicionante principal para el resultado actual de las formas del relieve. En base a criterios morfológicos, litológicos, pendientes y estructurales, se delimitaron las unidades geomorfológicas a nivel de unidades morfoestructurales.

La Cordillera de los Andes constituye la unidad morfoestructural de mayor complejidad geológica y geomorfológica, representando además una de las zonas con mayor variabilidad litológica dentro del ámbito regional, siendo compuesto por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Así mismo esta gran unidad, en el dominio nacional presenta dos importantes complejos estructurales, las que son: La deflexión de Huancabamba y la deflexión de Abancay, y éste último interviniendo directamente en nuestro ámbito de estudio; dichas consecuencias primarias son los factores principales condicionantes para la actual configuración de la geomorfología local.

6.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

La zona de estudio en un marco regional se encuentra ubicado dentro de la unidad morfoestructural de la Cordillera Occidental, en una colina. Según la definición de Chacón, 1996, quien realizó una zonación a nivel nacional destacando nueve unidades morfoestructurales; por otra parte (INGEMMET, 2010) realiza una nueva clasificación en 13 unidades morfo estructurales; ver el plano N° 02.

6.1.1 Cordillera occidental

A nivel regional el proyecto se encuentra dentro de una cadena montañosa que constituye el ramal occidental de la Cordillera de los Andes, cuyo emplazamiento

en la región de Cusco se da preponderadamente en las provincias de Chumbivilcas, Espinar, Paruro y parte de Canas. Esta unidad montañosa, litológicamente está constituida por un núcleo rocoso paleozoico cubierto por rocas mesozoicas y cenozoicas, deformadas por un intenso plegamiento, por fallas inversas y por grandes sobrescurrimientos.

La altura alcanzada por esta unidad, es debido a movimientos epirogénicos acontecidos hasta el terciario tardío y el cuaternario (Carta Geológica Nacional, 1997).

Esta unidad está representada por los contrafuertes orientales de la cordillera occidental, que alcanzan altitudes de 4500 a 4900 m.s.n.m., hallándose intensamente afectados por los afluentes del río Alto Apurímac, que inciden como barrera natural en la dirección del viento, erosión del material cuaternario para el proyecto.

Además, dentro de la Cordillera Occidental, se pueden reconocer y describir unidades geomorfológicas regionales entre ellas podemos destacar:

6.1.1.1 Montañas

Esta unidad forma la parte más alta de la cordillera Occidental, y se encuentra discontinuamente distribuida en los cuadrángulos de Cusco y Livitaca.

Están comprendidos entre los 4200 a 4900 m.s.n.m. Morfológicamente, se caracteriza por presentar colinas con pendientes pronunciadas y en algunos casos picos elevados.

La glaciación cuaternaria es particularmente determinante en la parte de los Andes, la mayoría de las porciones más elevadas han sido transformadas por la

glaciación, mientras que en las partes colindantes están cubiertas por depósitos morrénicos y principalmente por depósitos fluvioglaciares, los cuales se encuentran parcialmente ocultos debajo de otros materiales clásticos.

Esta unidad litológicamente, está conformada por calizas y areniscas de la Formación Arcurquina, Grupo Moho, Grupo Puno e intrusivos. Que inciden como barrera natural en la dirección del viento, erosión del material cuaternario para el proyecto, así como montañas de: Chelqo, Piusha, Mamacha Orqo, Waqrawiri.

6.1.1.2 Colinas

Esta unidad morfológicamente tiene un paisaje moderadamente agreste, constituyendo lugares de altitudes entre 3800 y 4600 m.s.n.m.

Asimismo, se puede apreciar un aspecto cárstico con superficie rugosa a áspera, debido al diferente comportamiento frente a la meteorización. En muchos sectores se puede observar colinas suaves con moderados perfiles convexos debido a que están formados por calizas. La caverna de mayor amplitud regional, se encuentra ubicado en Livitaca. Estas geoformas inciden en nuestro proyecto por lo que tienen buena cobertura cuaternaria.

Esta unidad litológicamente está compuesta por rocas calcáreas y clásticas de la Formación Arcurquina y del Grupo Puno.

6.1.1.3 Altiplanicies

Son paisajes con un territorio más o menos plano considerado como meseta, esta unidad geomorfológica tiene una extensión considerable, situados a determinada altura que oscilan entre 3600 y 4200 msnm, con una superficie relativamente ondulada en la que algunas veces se presentan cauces antiguos de ríos abandonados. Esta unidad geomorfológica se reconoce principalmente en el

cuadrángulo de Livitaca, también al NE de nuestra zona de estudio con relieves estables.

Esta unidad posee un suelo hidromórfico denominado regionalmente “bofedal”.

6.1.1.4 Valles

Estos valles forman parte de los valles más importantes de área y constituyen formas negativas por donde discurren caudales de la cuenca del Atlántico, constituyen valles profundos y encañonados, como del río Santo Tomas y el río Velille en el distrito de Chamaca.

Sus perfiles transversales casi siempre son simétricos con gran pendiente y sinuosidades o con marcadas inflexiones, debido a controles litológicos y estructurales. Esta unidad corta a diversas unidades rocosas en el distrito de Chamaca.

- **Valle Glaciar**

Esta unidad morfológicamente se caracteriza por tener la forma de «U», en algunas zonas son parcialmente rellenados por depósitos fluvio-glaciares, tapizados por depósitos de escombros de talud y por corrientes fluviales. Esta geoforma encontramos en Wilque al NW de nuestra zona de estudio del distrito de Chamaca, también uno de los posibles lugares para la ubicación del relleno sanitario.

- **Valle Cañón**

Son valles profundos, encañonados con perfiles simétricos y fondo en “V” producto de una intensa erosión de fondo, presentan acantilados con pendientes verticales a subverticales como los expuestos en el río Velille del distrito de Chamaca.

- **Valle Alto de Fondo Amplio**

Estos valles se encuentran en la parte media entre los valles glaciares y los encañonados, se caracterizan por su perfil amplio, que se pueden observar en detalle, en los poblados de Cacho- Limamayo, rellenos por depósitos piroclásticos, aluviales y fluviales; al norte de nuestra zona de estudio.

- **Valle del rio Velille**

El rio Velille tiene como punto de origen a la laguna de Yanacocha, que recorre en su integridad el distrito del mismo nombre, recibiendo además el caudal del rio Chilliroyoc y Limayoc. Aguas debajo del poblado de chamaca recibe el aporte del rio Tamayco y prosigue su recorrido sobre territorios de Acomayo para unirse con el rio Apurímac y formar luego el rio Santo tomas.

Figura 25

Rio Velille.

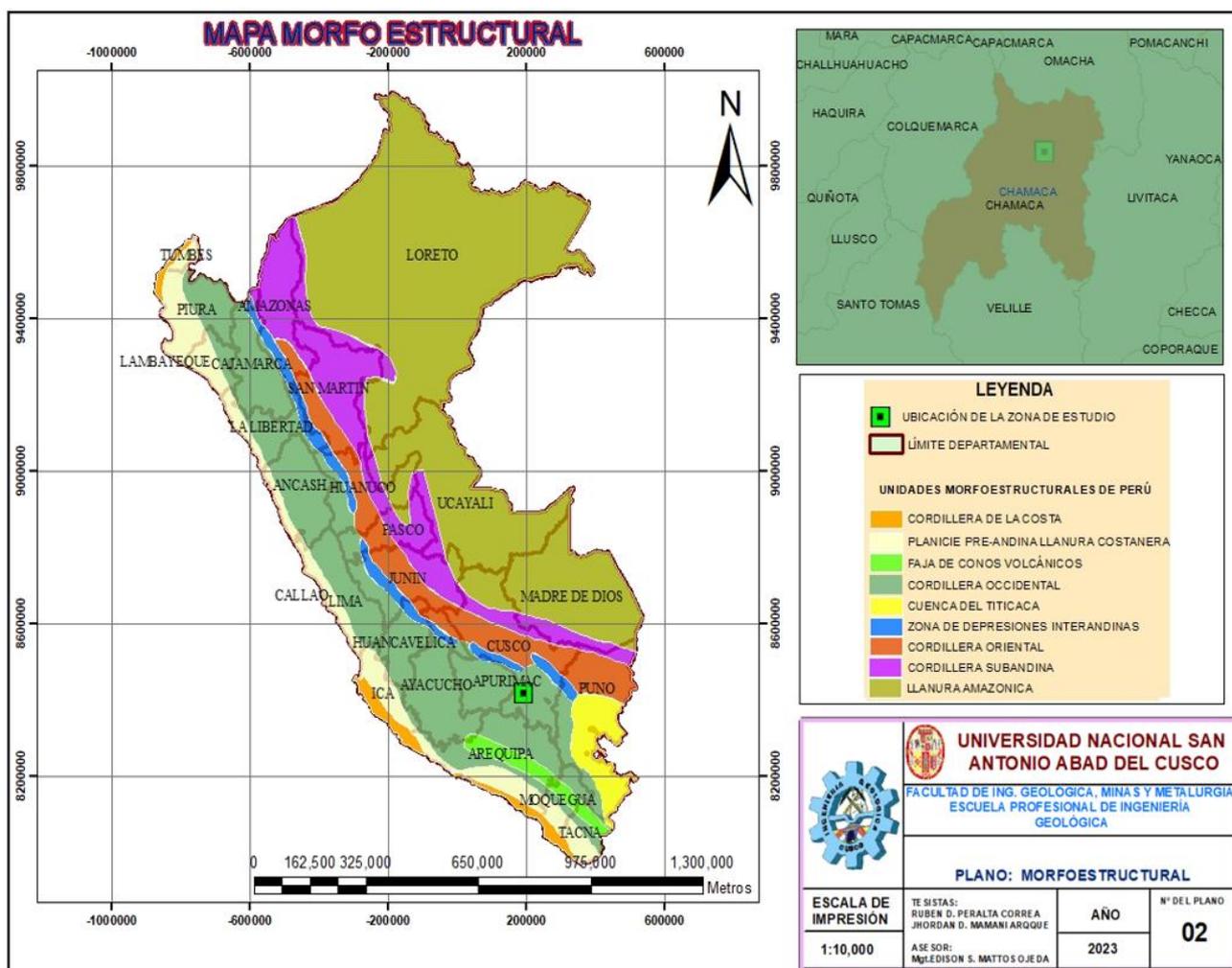


Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°26 se muestran las unidades geomorfológicas regionales descritas.

Figura 26

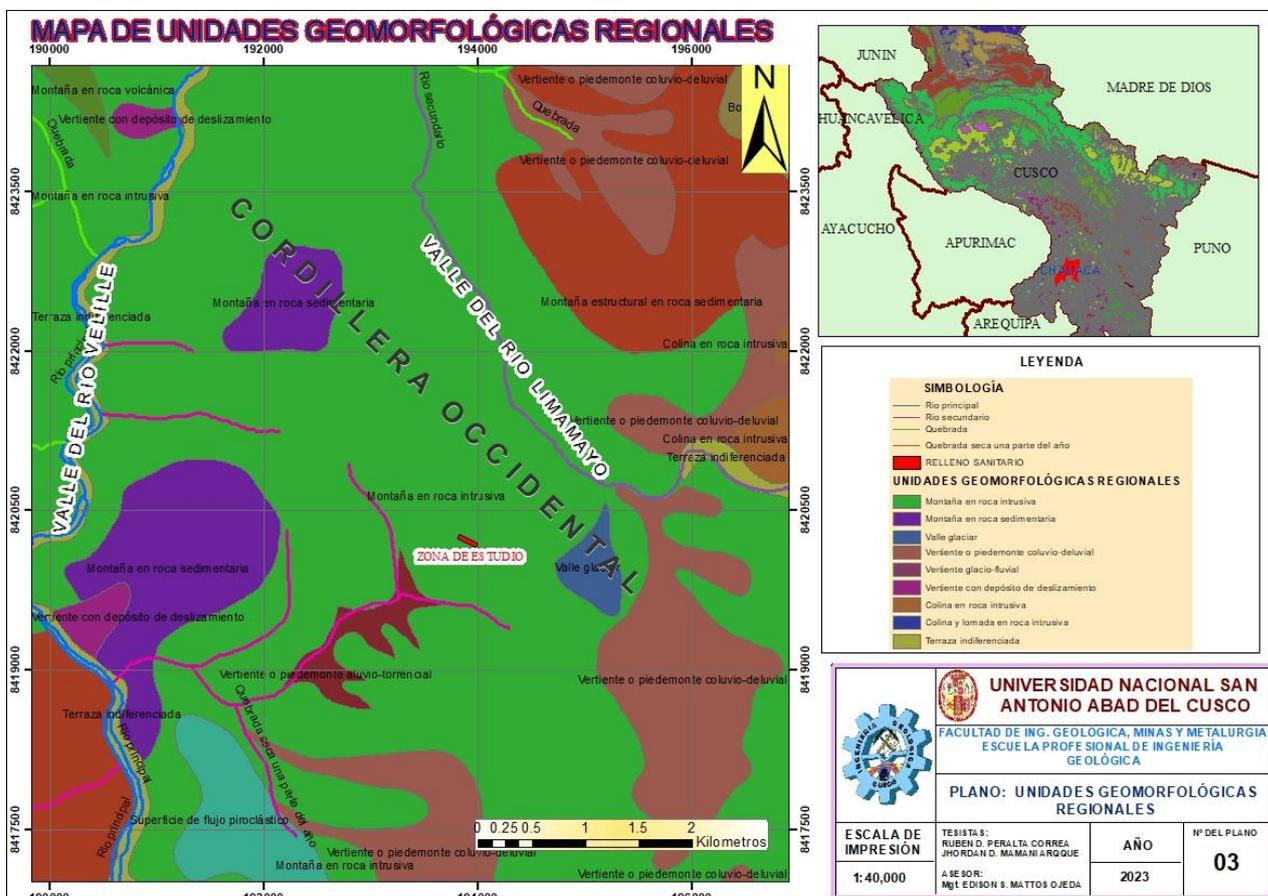
Mapa morfo estructural (fuente: adaptado de Chacón, 1996)



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27

Unidades geomorfológicas regionales (fuente: adaptado de Valdivia, 2012)



Fuente: Elaboración propia.

6.2 Geomorfología local

La geomorfología local se ubica sobre los 3979 – 4200 m.s.n.m, está caracterizada por un típico relieve de fuerte modelado. Para el caso de nuestro interés, a lo largo de nuestra zona de estudio, se pueden diferenciar cuatro unidades geomorfológicas locales. Así mismo el proyecto de relleno sanitario se ubica en una colina, con una superficie plana con pendientes moderados, ver plano N° 04.

6.2.1 Colinas

Son relieves elevados que se caracterizan por presentar pendientes entre 8% y más de 50% con alturas variables, pero que no pasan los 300 metros sobre los llanos circundantes. Son geo formas originadas por periodos de disección reciente, eventos geomorfológicos y geológicos, por fallas; por erosión de otros accidentes mayores del terreno como montañas u otras elevaciones, por movimiento y deposición de sedimentos de un glaciar (como las morrenas).

La zona de estudio está ubicada en una colina con superficies planas, entre 3979 a 4000 m.s.n.m. asociada a una superficie moderadamente inclinada de 5%, que está interrumpida por colinas y/o lomadas de pendientes suaves a moderadas (10% a 15%). Con cobertura vegetal persistente como el “ichu y canlli”, que es la vegetación natural de estas alturas. Esta geomorfología con relieves estables de la zona favorece para la ubicación del relleno sanitario, ver figura N°28.

Litológicamente está constituido por rocas ígneas (dioritas y granodioritas), rocas carbonatadas y afloramientos de skarn.

Figura 28

Colinas con predominante vegetación de “ichu”, “canlli” en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

6.2.2 Montaña baja Apu Chelcco:

Tiene una altitud de 4450 m.s.n.m. principalmente sus blancos están constituidos por material cuaternario y tiene una pendiente bien pronunciada ubicada al SE de la zona de estudio. Estas montañas favorecen el proyecto por lo que actúan como barrera natural para la dirección del viento, en sentido contrario a la zona urbana.

Figura 29

Montaña baja de apu chelqo con predominante vegetación de “ichu”, “qayara” al NE de la zona de estudio



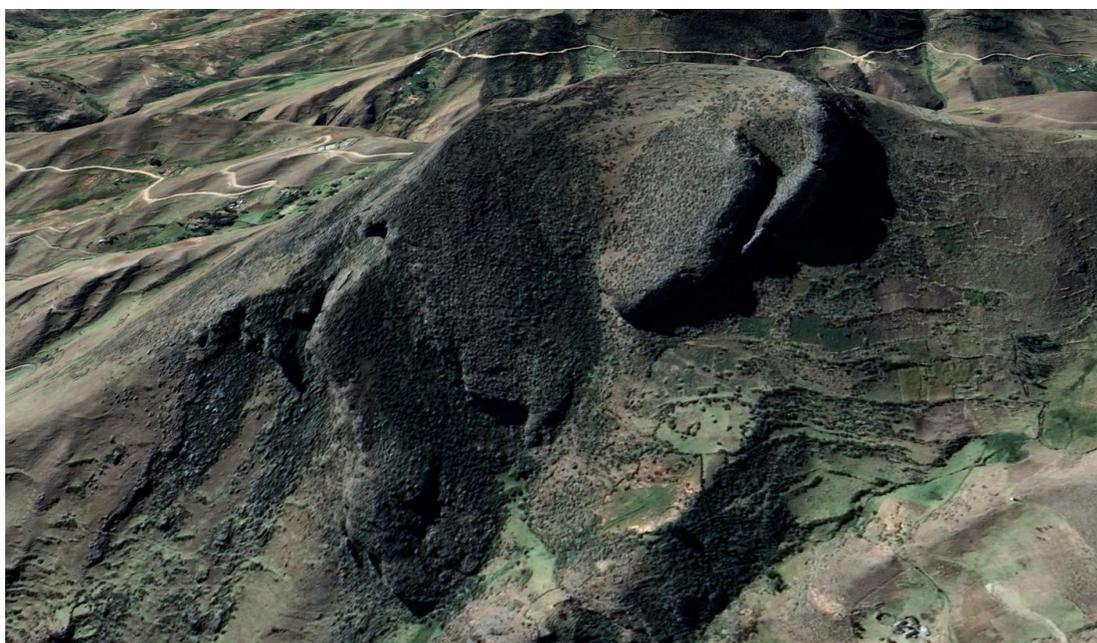
Fuente: Elaboración propia.

6.2.3 Montaña baja de Waqrawiri:

Tiene una elevación de 4120 m.s.n.m. y esta se desarrolla sobre la formación Arcurquina y se encuentran al NW de la zona de estudio; ligeramente se encuentra ondulada y por sus flancos se encuentran erosionado por las aguas superficiales que discurren en épocas de precipitación pluvial. Estas montañas favorecen el proyecto por lo que actúan como barrera natural para la dirección del viento, sentido contrario a la zona urbana.

Figura 30

Montaña baja de Waqrawiri con predominante vegetación de “ichu”, “qayara” al NW de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia.

6.2.4 Montaña baja de Piusha:

Tiene una altitud de 4100 m.s.n.m. en cuyas partes altas podemos encontrar laderas bien empinadas o con bastante pendiente, y se encuentran desarrolladas sobre la formación Arcurquina.

Figura 31

Al lado izquierdo montaña baja de Piusha y al lado derecho montaña de Mamacha Orqo; con predominante vegetación de “ichu”, “qayara” al NW y E de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia.

6.2.5 Laderas

Estas Unidades presentan una topografía suave a ondulada, estas superficies por lo general se encuentran a altitudes de 4150 a 4200 m.s.n.m., ver figura N° 32.

En la zona de estudio estas geofomas están localizadas en las faldas de las colinas antes descritas.

Desde el punto de vista de la litología, su composición está probablemente dada por rocas ígneas, rocas carbonatadas y principalmente de coluviales de las mismas.

Figura 32

Unidades de laderas de Sihuincha y Limamayo de moderado a fuertemente

inclinadas, con pendientes 20° a 45°; en ambos lados de la colina, de la zona de trabajo



Fuente: Elaboración propia.

- **Ladera de limamayo:**

Esta unidad constituye uno de los flancos terminales o declives de las cimas de montaña Mamacha Orqo; que está ubicado al NE de la zona de estudio. Litológicamente se componen de afloramientos de distinta naturaleza y de distintos períodos geológicos, cubiertos muchas veces por capas de depósitos cuaternarios de naturaleza coluvio-aluvial y por afloramientos rocosos con escasa presencia de cobertura vegetal.

Figura 33

Laderas de Limamayo con pendiente de 45°; ubicado al norte de la zona de trabajo



Fuente: Elaboración propia.

6.2.6 Altiplanicies

Esta unidad es típico de relieve de altura, estas planicies en la zona de estudio están situadas a altitudes de 3800 a 4200 m.s.n.m, son de tipo intramontañoso con gran potencial de pastizales, sobre estas geoformas, se desarrolla de forma natural el ichu, principal forraje potencial pecuario y ganadero, ver figura N° 34.

Generalmente plano, con lomadas onduladas por el fuerte modelado a las que han estado expuestas las superficies, por una intensa acción glaciaria, habida en el pasado geológico. Estas geoformas podemos apreciar al NE de nuestra zona de estudio que dan relieves estables para nuestro proyecto.

Esta unidad litológicamente está cubierta por rocas ígneas, rocas carbonatadas, coluviales de las mismas, y tramos de bofedales.

Figura 34

Altiplanicie con gran potencial de pastizales en la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia.

6.2.7 Valles

En nuestra zona de estudio se han identificado valles juveniles, de origen glaciario, es decir que tienen una influencia de forma en “U”; como el valle de Limamayo, pero también están las quebradas que son más estrechas y con los bordes más verticales, algunas de estas quebradas tienen la forma de “V” como el valle del río Velille; donde tienen como confluente al río Catanga, río Cayrayuq y río Limamayo. Estas geoformas inciden en el proyecto; en la dirección del viento.

En general estas geoformas están constituidas por depósitos fluvio-glaciares.

6.2.8 Quebradas

Con pendientes fuertes a lo largo del río Velille tenemos: quebrada Sihuíncha (se desplaza a lo largo del río Velille tiene unas pendientes pronunciadas y abruptas) y la quebrada Qquellamarca (se encuentra al NW de la zona de estudio, con una dirección NW-SE y tienen las pendientes bien pronunciadas y está al pie del cerro Qqoyllor). Estas geoformas inciden en el proyecto; en la dirección del viento y drenaje del agua en la temporada de lluvia.

Figura 35

Unidad de valles en “U” y quebradas en “V” con gran potencial de pastizales en la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Geomorfológicamente nuestra zona de estudio se encuentra sobre los 3979 – 4200 m.s.n.m, está caracterizada por un típico relieve de fuerte modelado en una colina con superficie plana, pendientes moderados que es apta para la ubicación del nuevo relleno sanitario, con relieves estables, elevados que se caracterizan por presentar pendientes entre 8% y más de 50% con alturas variables, pero que no pasan los 300 metros sobre los llanos circundantes. Son geo formas originadas por periodos de disección reciente, eventos geomorfológicos y geológicos, por fallas; por erosión de otros accidentes mayores del terreno como montañas u otras elevaciones, por movimiento y deposición de sedimentos de un glaciar (como las morrenas). ver figura N° 36.

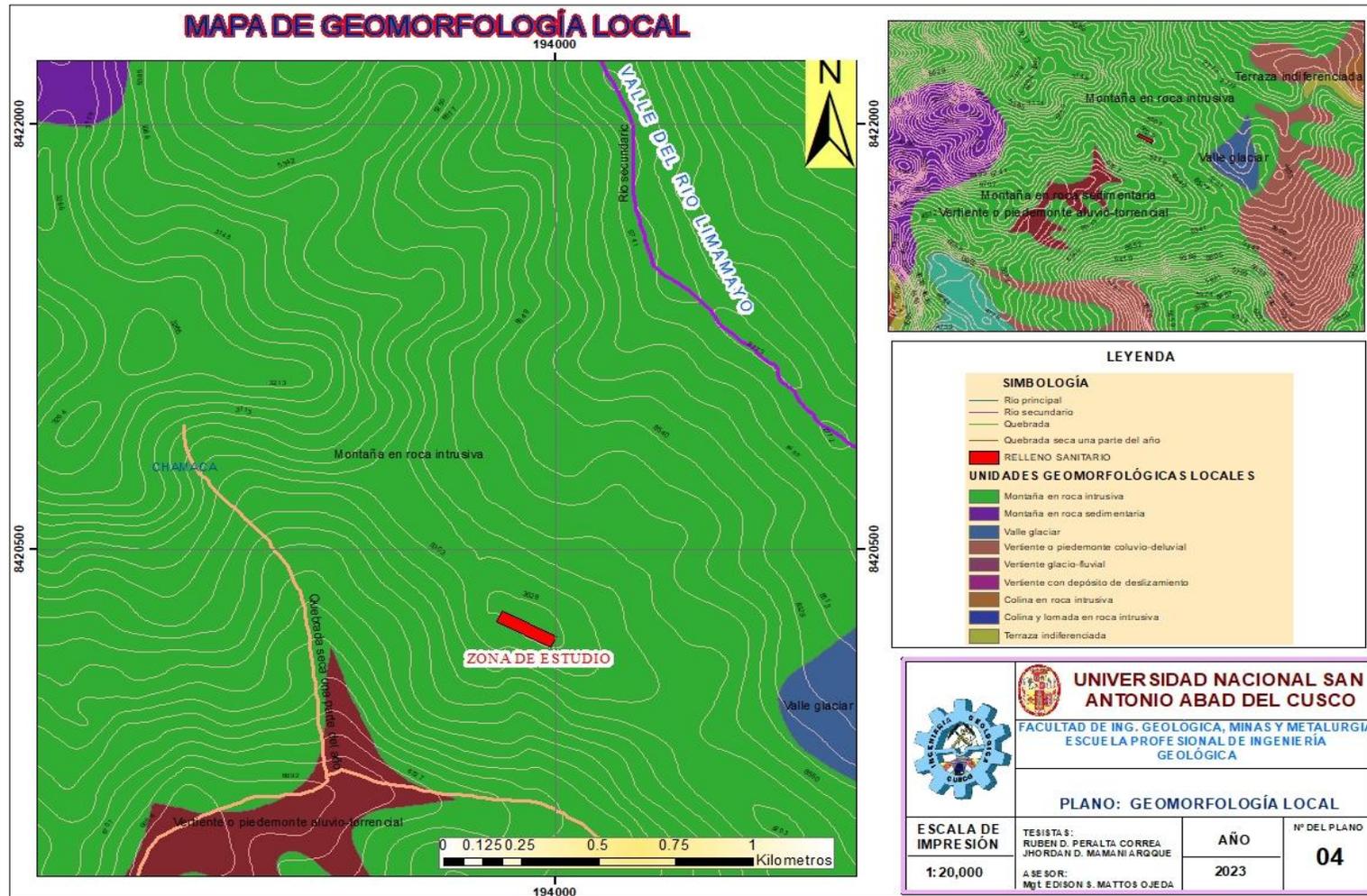
Figura 36

Zona de estudio para la ubicación del relleno sanitario, caracterizada por un típico relieve de fuerte modelado en una colina con superficie plana.



Figura 37

Mapa geomorfológico de la zona de estudio, distrito de Chamaca.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VII

GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

7.1 GEOLOGÍA REGIONAL:

La Geología regional está basada a partir de la información obtenida de los mapas geológicos realizados por el Instituto Geológico minero Metalúrgico (INGEMMET), en una escala de 1:100,000. Correspondiente a los cuadrángulos Cusco – Livitaca del boletín 29 s, como mostrarnos una visión general de comportamiento geológico hacia la zona de trabajo.

En la zona de trabajo se observa una variada secuencia de rocas de diversa naturaleza, principalmente rocas intrusivas y rocas sedimentarias. Cuyas apariciones, sucesiones y sucesos que dieron origen a esta disposición de afloramientos, están datados entre el Cretácico y neógeno. Siendo mayormente cubiertos por depósitos recientemente cuaternarios.

El área de estudio comprende afloramientos de rocas sedimentarias en contacto con rocas intrusivas que van desde el cretáceo inferior hasta el cuaternario.

7.1.1 Estratigrafía regional:

Litológicamente la formación Murco, está constituida por sedimentos clásticos abigarrados, pero mayormente rojizos, según su posición estratigráfica está sobre el grupo Yura y debajo de la formación Arcurquina.

7.1.1.2 Formación Arcurquina:

Esta denominación fue establecida por JENK, W. (1948) y ratificada por Benavides V. (1962) para la secuencia calacarea que sobreyace a la formación Murco al noroeste de Arequipa, pero por Abacay Maroco, R (1975) y Pecho, V. (1981) emplean el término Ferrobamba y para los cuadrángulos de Cusco y Livitaca, formación Arcurquina.

En el cuadrángulo de Velille, las relaciones estratigráficas de la formación Arcurquina con las secuencias subyacentes Formación Huallhuani del grupo Yura; se presentan en concordancia angular y el techo erosionado.

En el cuadrángulo de Livitaca suprayace con igual relación a la formación murco y al este de la mina tintaya sobreyace con igual relación a la Formación Huallhuani (Mendivil & Dávila, 1994)

Sedimentaria de edad cretáceo superior/inferior, compuesta calizas modulosas con intercalaciones de lutitas y margas. Por su resistencia a la erosión, forma picos altos como los cerros Qoyllor, Piusha, Huaqrawiri.

Estos afloramientos están rodeados en su mayor parte por intrusivos del Batolito del Andahuaylas-Yauri, razón por la cual las calizas se encuentran recristalizadas, aunque hay áreas en las que se observa roca fresca.

Por las relaciones estratigráficas regionales y tomando en cuenta la fauna y los fósiles encontrados se asume una edad que va desde el Albiano hasta el Coniaciano.

La Formación Arcurquina se correlaciona con unidades calcáreas del centro y norte de Perú, como Chulec, Pariatambo, Pulluicana, Quilquiñán y Cajamarca (Mendivil & Dávila, 1994).

7.1.1.3 Volcánicos Vilcarani (NQ-vi)

Este término fue introducido por (Pecho, 1981), para describir a una secuencia de piroclastos y derrames lávicos. El grosor de esta formación cambia entre 50 a 100 metros.

Litológicamente está constituida por tobas de composición andesítica, riódacítica y riolítica de coloración rojiza clara a amarillenta. Se encuentran aisladas y alineadas en ambos márgenes del Río Velille.

Morfológicamente forman pequeñas colinas con crestas subredondeadas, contornos irregulares y de muy poca altitud. (Mendivil & Dávila, 1994).

En el cuadrángulo de Livitaca y otras áreas cercanas, la edad de esta unidad volcánica se infiere en base a su posición estratigráfica regional, que estaría comprendida desde fines del Plioceno hasta el Pleistoceno.

7.1.2 Rocas intrusivas:

Las rocas plutónicas de esta región constituyen el batolito Andahuaylas Yauri y están representadas principalmente por grandes cuerpos de granodiorita, tonalita y diorita, que a su vez han sido instruidas por rocas hipo abisales de composición andesítica monzonítica, con la que esta mayormente asociada la mineralización.

Los contactos entre los grandes cuerpos son poco perceptibles en el campo, y ciertos lugares es difícil de marcar un contacto entre ellos, especialmente entre la granodiorita, tonalita y entre esta la diorita.

7.1.2.1 Batolito Andahuaylas – Yauri

La geología de la región está dominada por un conjunto de plutones cenozoicos denominados batolito de Andahuaylas-Yauri. (Carlotto & Zárate, 1988) que instruyen a una secuencia sedimentaria marina mesozoica constituida por rocas clásticas del Grupo Yura (jurásico), horizontes carbonatados de la formación Ferrobamba (cretácico) y en menor proporción por rocas sedimentarias predominantemente lacustres de las formaciones Quilque y Chilca (paleógeno-eoceno).

Este batolito es un cuerpo plutónico de gran tamaño y de forma irregular con dimensiones de 300 x 130 km aproximadamente, reconocidos desde Andahuaylas hasta Yauri, comprende los departamentos de Ayacucho, Apurímac y Cuzco; su emplazamiento habría sido controlado por fallas longitudinales.

Su extremo norte se extiende a las áreas de mayor plegamiento, mientras que hacia el límite sur se encuentra limitado por la faja volcánica cenozoica (cerca del llamado geosinclinal de Caylloma). Es también conocida como Batolito de Apurímac.

a) Composición Petrológica del Batolito

El batolito incluye una primera etapa de rocas máficas caracterizadas por gabros y dioritas emplazadas entre 48 y 43 Ma, las que están intruídas a su vez (segunda etapa) por pulsos de granodiorita y cuarzo monzonita entre 42 y 30 Ma, (Carlotto, 1988; 2002), lo que indica un fuerte levantamiento en el Eoceno medio – Oligoceno inferior.

b) Descripción de las rocas intrusivas

Diorita: Grandes cuerpos de diorita afloran en el cuadrángulo de Santo Tomás, y otros más pequeños en los cuadrángulos de Challhuanca y Antabamba. En el área de Santo Tomás el intrusivo diorítico aflora en gran parte en la margen derecha del Río Santo Tomás. Otros afloramientos menores se encuentran alrededor de la granodiorita cortando a una serie de estructuras de rocas sedimentarias, especialmente a lo largo del anticlinal Mara.

Tonalita: Los principales cuerpos de tonalita afloran en Huancaray y Ancobamba (Challhuanca), San Antonio (Antabamba) y Haqira (Santo Tomás). Estos afloramientos tienen un parecido bastante notable en sus características petrográficas, especialmente entre los de Haqira y San Antonio. Los cuerpos de tonalita están intruídos por numerosos diques de diversa composición y que se entrecruzan. Los grosores de los diques son variables, desde 1 cm hasta 20 cm (excepcionalmente mayores de 50 cm). En cuanto a sus longitudes pueden ser de varios metros.

Granodiorita: Se encuentran aflorando casi en toda el área, notándose grandes cuerpos al suroeste del cuadrángulo de Chalhuanca; al suroeste del cuadrángulo de Antabamba, al norte del cuadrángulo de Santo Tomás; y otros menores se encuentran en Mollebamba – Vitor. Macroscópicamente las granodioritas presentan casi las mismas características que las tonalitas. Mineralógicamente son casi uniformes, aunque en ciertas áreas microscópicamente presenta variación de feldespato potásico, en algunos casos pasan a adamelitas. En general las granodioritas son de textura fanerítica de grano medio a grueso, varían de leucocráticas a mesocráticas, aunque predominan las de color gris claro.

Monzodiorita: Rocas intrusivas muy importantes, las cuales se relacionan con la mineralización de diferentes yacimientos de skarn de toda esta área, en los yacimientos de Tintaya, Atalaya, Coroccohuayco, Chalcobamba, y entre otros se puede diferenciar una variación de monzonitas: Monzonitas de textura granular obliterada, con granos de biotita en paquetes, con ojos de cuarzo, y con máficos grandes alargados, y también monzonitas de textura granular con cristales de plagioclasa subhedrales a euhedrales, con paquetes de biotita y ojos de cuarzo en menor proporción que la anterior, con máficos grandes y alargados.

7.1.2.1.1 Plutón Colquemarca (PN-co-co/to)

Por lo general las características petrográficas de las tonalitas son similares entre las distintas áreas en las que afloran, son esencialmente leucócratas, de grano medio, de 2.5 mm en promedio, y como minerales esenciales presentan plagioclasas y granos de cuarzo. Las plagioclasas son de 2 a 3 tipos, unas veces son oligoclasa y las otras varían entre oligoclasa-labradorita y oligoclasa-albita. Sus cristales son generalmente euhedrales y maclados según uno o dos tipos de maclas (Carlsbad y Baveno), estando casi la totalidad de las plagioclasas zonadas. Como minerales accesorios, en todas las muestras han sido determinadas la biotita y la hornblenda, que son los minerales máficos por excelencia, en estas rocas.

La biotita en algunos casos es abundante mientras que en otros es escasa y se presenta en cristales euhedrales y anhedrales, así como en pajillas, en forma de hojuelas o escamas, estando a veces algo cloritizadas.

La hornblenda, es el accesorio ferromagnesiano más frecuente. En muchos casos se han determinado, apatita, esfena, zircón, etc.

Los principales cuerpos de tonalita afloran en Huancaray y Ancobamba (cuadrángulo de Chalhuanca), San Antonio (Antabamba) y Haquira (Santo Tomás).

Los cuerpos de tonalitas están intruídos por numerosos diques de diversa composición y que se entrecruzan. Sus grosores son variables, desde 1 cm. hasta 20 cm; en cuanto a sus longitudes pueden ser de varios metros. Las tonalitas que muestran mayor cantidad de diques son las de Haquira, Huancaray y Ancobamba.

7.1.2.1.2 Plutón Pisuropata (PN-co-pi/to)

El Plutón Chahuarani, difiere del cuerpo ígneo anteriormente indicado y su exposición más conspicua se halla al borde sureste del plano geológico regional.

Está representado por cuerpos más básicos como dioritas y dioritas cuarcíferas de coloraciones gris oscuras a verdosas, con tonalidades más claras en corte fresco. Sus elementos constitutivos son plagioclasa, ortoclasa y poco cuarzo con algo de hornblenda alterada.

Por entre el afloramiento pasa una falla inferida con una dirección subhorizontal de azimut 100° en promedio y este plutón de dioritas guarda una singular importancia por estar vinculado con los depósitos de hierro, ya que se encuentra en contacto con la Formación Arcurquina, (Mendivil & Dávila, 1994).

7.1.2.2 Depósitos cuaternarios:

Los depósitos cuaternarios constituyen el material de cobertura generalmente no consolidado distribuido irregularmente en la zona de estudio. Tales depósitos se han acumulado esencialmente como resultados de depósitos fluviales, depósitos morrénicos, fluviales y etc.

7.1.2.2.1 Depósitos aluviales

A través del área mapeada en valles, depresiones y llanuras, se observan depósitos aluviales. Comprenden arcillas y limos, arenas y gravas no consolidadas depositadas por la corriente de ríos, flujos de agua y corrientes laminares todas ellas incluyen sedimentos fluviales y coluviales. En los valles principales, los sedimentos coluviales y los depósitos fluviales jóvenes como los más antiguos, pueden distinguirse perfectamente, pudiendo ser mapeados separadamente, pero en los valles pequeños y de áreas con tierras levantadas, son generalmente indiferenciables.

Las llanuras aluviales del altiplano consisten predominantemente de arenas bien clasificadas derivadas en parte de los retrabajamientos de depósitos lacustrinos antiguos. En las áreas de tierra alta muchos de estos materiales aluviales han sido derivados del retrabajamiento de detritos glaciares de morrena y de fluvioglaciares de bloques de grava inconsolidados y de grava de canto que han rellenado muchos de los valles. En muchos de los principales valles se tienen evidencias de erosión reciente. Así como de depósitos aluviales más viejos que están preservados, formando una serie de terrazas levantadas.

Las unidades litoestratigráficas descritas líneas arriba se muestran de una mejor manera en la columna estratigráfica regional, figura N°34, asimismo se ha elaborado un mapa geológico regional, mapa N°05.

Figura 39

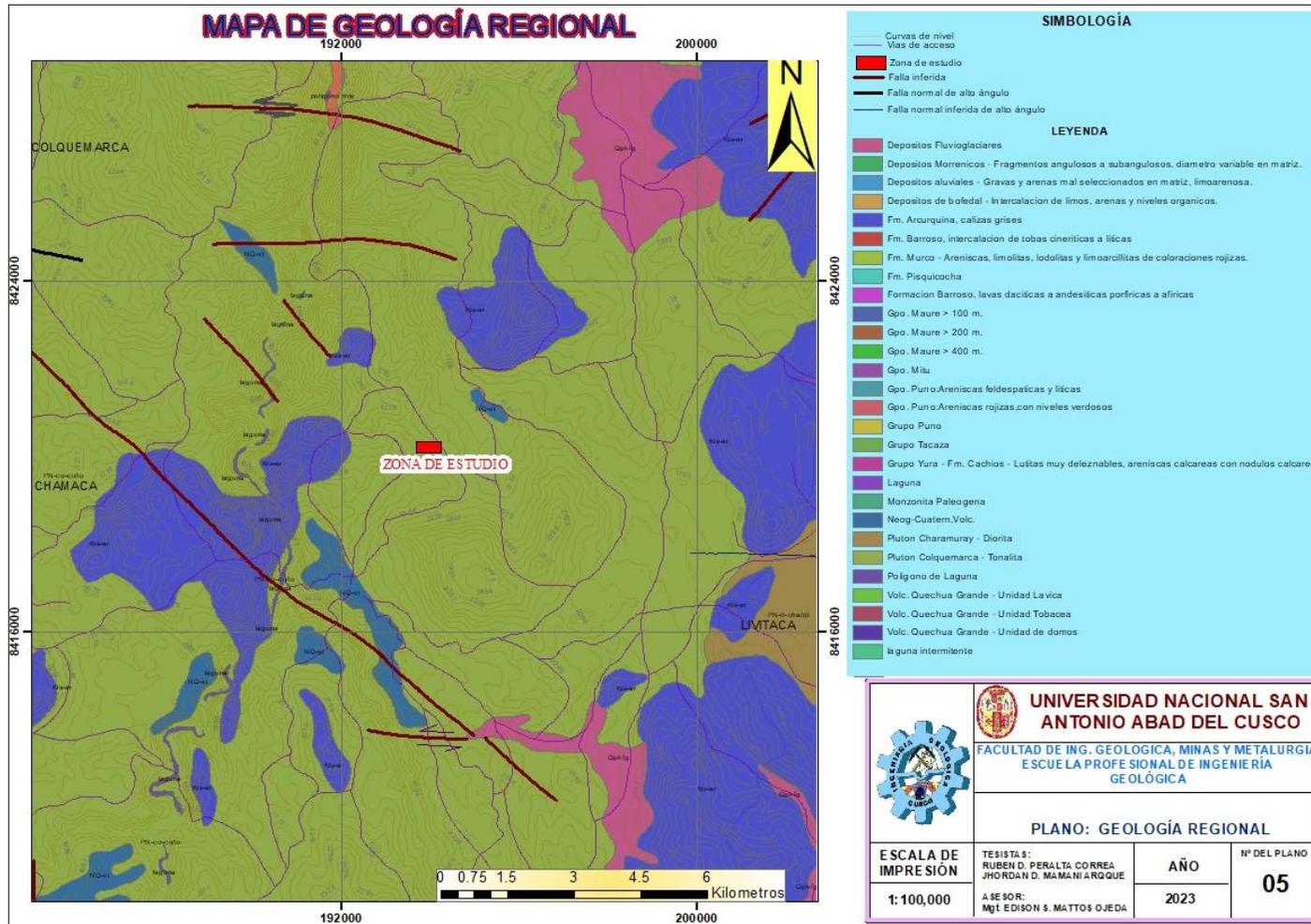
Columna estratigráfica regional

ERA	SIST.	SERIE	FORMACIÓN	ESP. (m.)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENA	Depósitos Aluviales (Qh-al)	25		Clastos y gravas en matriz limoarenosa.
		PLEIS-TOCENA	Dep. Fluvioglaciares (Q-fg)	30		Clastos angulosos y sub angulosos en matriz arenosa.
			Volcánico Vilcarani (NQ-Vi)	100		Tobas cineríticas riódacíticas.
MESOZOICO	CRETÁCICO	SUPERIOR	Formación Arcurquina (Kis-ar)	200 a 300		<p>PN-II-cha/di Plutón Chahuarani (Dioritas)</p> <p>PN-co-co/to Plutón Colquemarca (Tonalita a granodiorita)</p> <p>Calizas nodulosas intercaladas con lutitas y margas.</p>
		INFERIOR	Formación Murco (Ki-mu)	500 a 1000		Limolitas rojas intercaladas con areniscas arcóscicas.

Fuente: (Puma, 2019). Nota: Tomado del trabajo de investigación Geología y aplicación de los diagramas de variación Harker para la caracterización litogeoquímica de rocas ígneas en un depósito de hierro relacionado al batolito de Andahuaylas Yauri en el distrito de Chamaca.

Figura 40

Mapa de geología regional



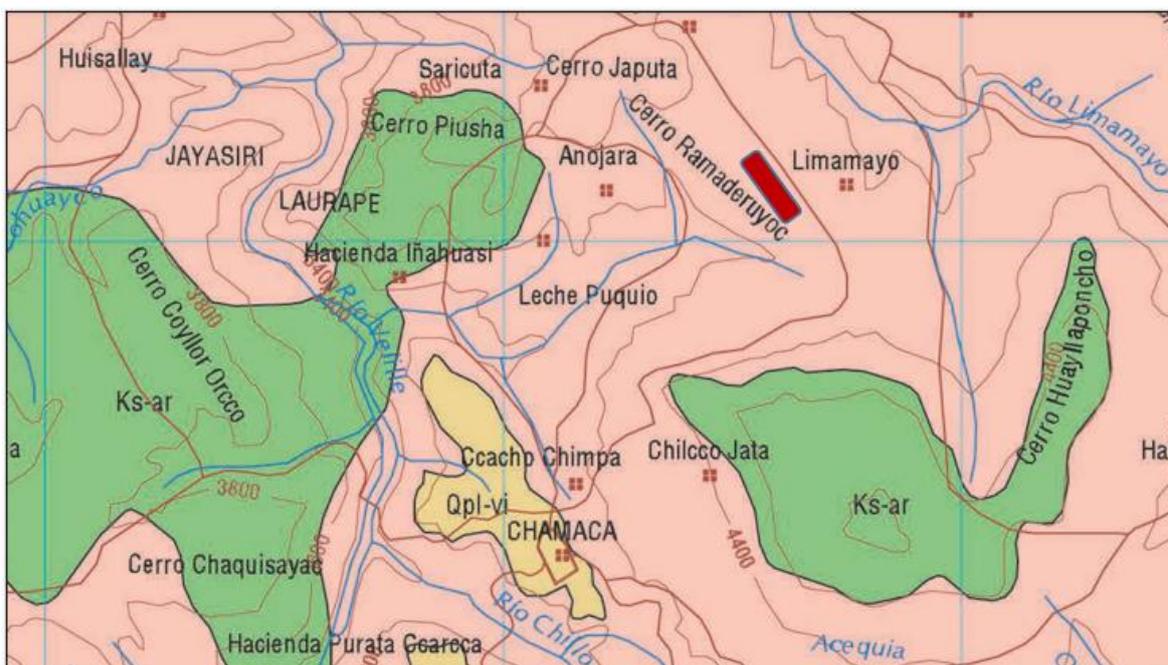
Fuente: Elaboración propia (en base a INGEMMET)

7.2 GEOLOGIA LOCAL:

En la zona de estudio se ha realizado un cartografiado de las unidades litológicas aflorantes, la mayor parte de área está cubierta por material cuaternario (materiales aluviales, suelo orgánico, limo arcilloso, y arenas limosas con gravas de color marrón rojizo), de la cual gran parte de los afloramientos son de los intrusivos del batolito Andahuaylas – Yauri (Plutón de Colquemarca- tonalita) , compuesta por dioritas y en menor cantidad granodioritas y granitos, además se observa también la presencia de los cuerpos de magnetita, calizas de color gris a gris azulado, así como cuerpos de skarn hacia el noroeste de nuestro zona de estudio (Minaschayoq). Asimismo, alrededor de la zona de estudio afloramiento de calizas nodulosas de color gris azulada de la formación Acurquina, que forman las montañas de Waqrawiri, Qoyllor, Mamacha orqo.

7.2.1 Estratigrafía local:

Las unidades que afloran en la zona de estudio corresponden al Cretáceo inferior/superior, terciario y depósitos del cuaternario, diferenciándose las siguientes formaciones:

Figura 41**Geológico Local**

Fuente: INGEMMET- 1994

Figura 42

Columna estratigráfica del cuadrángulo de Santo Tomás 29r.

ERA	SISTEMA	UNIDADES	SERIE LITOESTRATIGRAFICA	DESCRIPCION LITOESTRATIGRAFICA
CENOZOICA	CUATERNARIO	Holoceno	Depósitos Bofedales 	Sedimentación en un ambiente subacuoso con vegetación abundante que aflora en regiones altas y lagunas.
			Depósitos Coluviales 	Son acumulaciones constituidas por materiales de diverso tamaño pero de litología homogénea, englobados en una matriz arenosa.
			Depósitos Aluviales 	Componentes clásticos milimétricos a centimétricos, polimícticos. Afloran rellenando cuencas hidrográficas actuales.
			Depósitos Morrénicos 	Sedimentos de componentes líticos hasta más de 1 m, con matriz arenosa milimétrica a subcentimétrica.
		Pleistoceno	Formación Santo Tomás 	Lavas gris oscuro afaníticas de composición traquiandesíticas con estructuras columnar visible.
	NEÓGENO	Plioceno	Grupo Barroso 	Complejo volcánico Vilcarani: Secuencias de tobas medianamente soldadas intercaladas con estratos de tobas lapilli con cenizas, biotita y líticos, un último evento tobáceo soldado. Estas tobas son de composición, riódacítica de color blanquecino.
		Mioceno	Formación Alpabamba 	Secuencia piro clástica con matriz tobácea, pómez, líticos.
	PALEÓGENO	Oligocena	Brecha Tacaza { Lava Brecha 	Secuencia de brechas lavas alteradas, presenta coloraciones verdosas.
		Eocena		
		Paleocena		
MESOZOICA	CRETÁCEO	Superior	Formación Arcurquina {   	Secuencias de estratos métricos calizas micríticas. Secuencias de calizas de estratos submétricos intercalados con niveles pelíticos y estratos de calizas micríticas y centimétricas. Secuencias de calizas micríticas masivas.
		Inferior	Formación Murco  Formación Huallhuani 	Hacia la base intercalación de arenas pardo rojizas con limoarenas y lutitas. En la parte media estratos submétricos de areniscas cuarzosas. En la parte superior intercalación de areniscas, limoarcillas y limoareniscas rojizas. Arenas cuarzosas blancas en estratos métricos, grano medio.
	JURASICO	Superior	GRUPO YURA { Formación Gramadal  Formación Labra 	Lutitas, areniscas gris oscuro. Al medio calizas hasta de 7 metros de grosor, al tope lutitas, areniscas y niveles carbonatados restringidos.
				Arenas cuarzofeldespáticas en estratos milimétricos a centimétricos intercalados con arenas cuarzosas blanquesinas, limoarenas, lutitas y un nivel delgado de calizas (5m).

Fuente: INGEMMET- 1994

Figura 43

Columna estratigráfica del cuadrángulo de Livitaca 28s

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	ROCAS INTRUSIVAS			
C E N O Z O I C O	H O L O C E N O	H O L O C E N O	Depositos aluviales	Qh-al	DEPOSITO DE APURIMAC PLUTON DE POMAGANCHI		
			Depositos de deslizamiento	Qh-d			
			Depositos glaciofluviales	Qh-gf			
			Depositos morrenicos	Qh-m			
			Formacion Vilcarani	Qpl-vi			
	N E O G E N O	P L I O C E N O	P L I O C E N O	Disc. erosional		Np-pi	
				Formacion Pisquicocha		Disc. angular	Np-hu
				Formacion Huaylla		Disc. angular	Nm-al
		M I O C E N O	M I O C E N O	M I O C E N O		Formacion Alpabamba	Nm-al
						Disc. angular	P-pu
P A L E O - G E N O	P A L E O - G E N O	O L I G O C E N O	GRUPO PUNO	P-pu			
		E O C E N O	Disc. angular	P-mz			
M E S O Z O I C O	C R E T A C E O	S U P E R I O R	Formacion Sangarara	Ks-sa			
			Formacion Arcurquina	Ks-ar			
		I N F E R I O R	I N F E R I O R	G R U P O M U R C O	Ki-mu		
					GRUPO MITU	Ps-mi	
P A L E O - Z O I C O	P E R M I C O	S U P E R I O R	GRUPO MITU	Ps-mi			

Fuente: INGEMMET-1994

7.2.1.1 Rocas sedimentarias:

7.2.1.1.1 Formación Arcurquina (Clz)

Aflora formando alrededor de la zona de estudio formando picos altos así como: en la parte oeste cerro Qoyllor, en la parte noroeste los cerros Piusha y waqrawiri, por el norte el cerro Mamacha Orqo, por el noreste los cerros Fillullo Orqo y Apu Chelqo; que son calizas micriticas de color gris y gris azulado, presentan venilleos de calcita

a entrecruzados; difícilmente se aprecian lineamientos de estratificación, cercanas a la zona se aprecian afloramientos aislados de calizas como calizas colgadas sobre afloramientos dioricos o rodeado de material cubierto.

Estos afloramientos están rodeados en su mayor parte por intrusivos del Batolito del Andahuaylas-Yauri, razón por la cual las calizas se encuentran recrystalizadas, aunque hay áreas en las que se observa roca fresca.

Figura 44

Afloramiento de calizas nodulosas, que forman colinas, cerros y montañas.



Fuente: Elaboración propia.

7.1.1.2 Volcánicos Vilcarani (NQ-vi)

Aflora en la parte norte y sur de la zona de estudio, así como: en la comunidad de limamayo formando cuerpos considerables de un aproximado de 300 metros de largo y al sur de la zona de estudio, casi en todo el pie de llanura del distrito de Chamaca.

Litológicamente está constituida por tobas de composición andesítica, riódacítica y riolítica de coloración rojiza clara a amarillenta. Se encuentran aisladas y alineadas en el margen del río Velille y río Limamayo.

Morfológicamente forman pequeñas colinas con crestas subredondeadas, contornos irregulares y de muy poca altitud. (Mendivil Echevarría & Dávila Manrique, 1987).

Figura 45

Afloramiento de sillar (rocas volcánicas de la formación vilcarani) al norte y sur de nuestra zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia

7.2.1.2 Rocas intrusivas:

Los intrusivos que afloran en la zona de trabajo presentan características particulares que visualmente se pudo identificar y dar una aproximación en campo, aunque en la superficie muestra rasgos de alteración supérgena que decoloran y alteran a los minerales de las rocas aflorantes.

Figura 46

Afloramiento de rocas intrusivas con alteración supérgena



Fuente: Elaboración propia

7.2.1.2.1 Diorita (Dt):

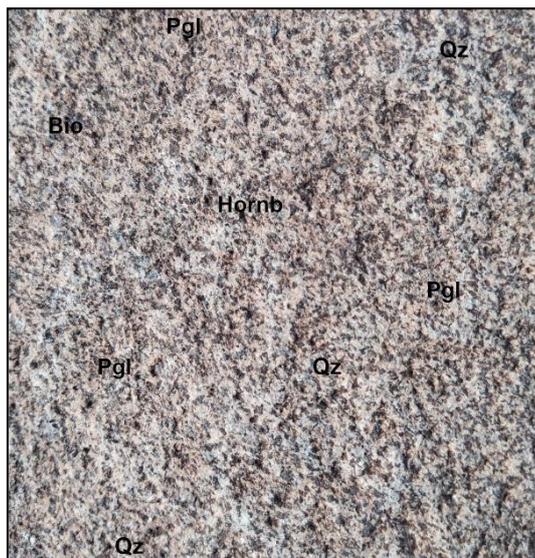
Aforan alrededor de la zona de estudio; se ha encontrado rocas dioríticas, macroscópicamente son de coloración gris oscura, presentando en algunas partes coloración clara, debido a su exposición al intemperismo y alteración supérgena, presentando una textura granular que varía de grano fino a medio, ver figuras N°47 y 48.

La composición mineralógica macroscópica de las dioritas se realizó a través de una apreciación visual, utilizando las tablas QAFP; estimado en un 75% de plagioclasa cálcica, cuarzo <5%, no se aprecian feldespatos, máficos < 15%, magnetita y otros <1%, como se observa en las figuras N°47 y 48.

Figura 47

Diorita blanquecina parduzca, de textura granular con cristales anhedrales

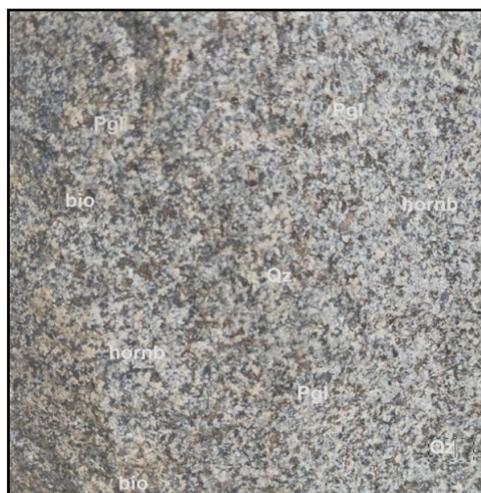
subhedrales de plagioclasa y hornblenda, con accesorios de biotita, con ligera alteración supérgena



Fuente: Elaboración propia

Figura 48

Diorita gris blanquecina, de textura granular con cristales anhedrales subhedrales de plagioclasa y hornblenda, que están cloritizando. Presenta ligero magnetismo



Fuente: Elaboración propia

7.2.1.2.2 Granodiorita (Gdta):

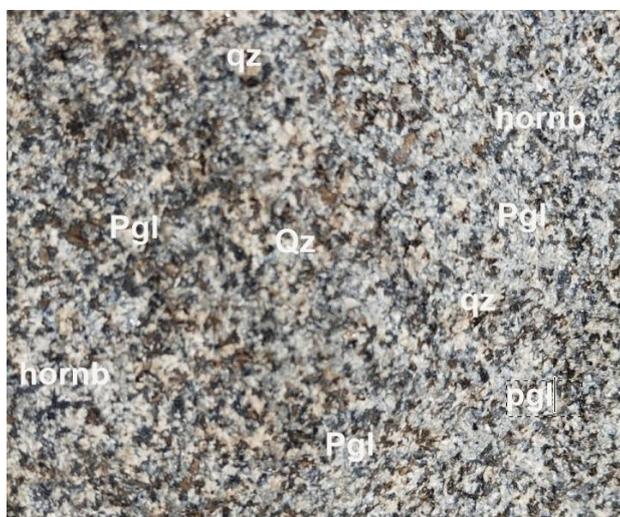
Esta unidad ígnea fue cartografiada a los alrededores del Cerro Minaschayoq, en la esquina noroeste del mapa geológico local.

Macroscópicamente presenta una coloración gris blanquecino, de textura granular; principalmente está constituida por cuarzo de 10 a 25 %, plagioclasas mayores a 45%, feldespatos menores a 25% y los máficos menores a 5%, así como diseminación de magnetita alterada con pátinas de óxido de hierro, ver figura N° 49.

En algunas partes donde aflora la granodiorita presentan una mayor consolidación y mejor consistencia a pesar de estar expuesto en superficie al intemperismo, que se le atribuye a metamorfismo de contacto y a eventos posteriores de silicificación que le da una tonalidad aún más blanquecina.

Figura 49

Granodiorita gris blanquecina de textura granular principalmente está constituida por cuarzo de 10 a 25 %, plagioclasas mayores a 45%, feldespatos menores a 10% y los máficos menores a 5%, con pátinas de óxido de hierro en su superficie intemperizada



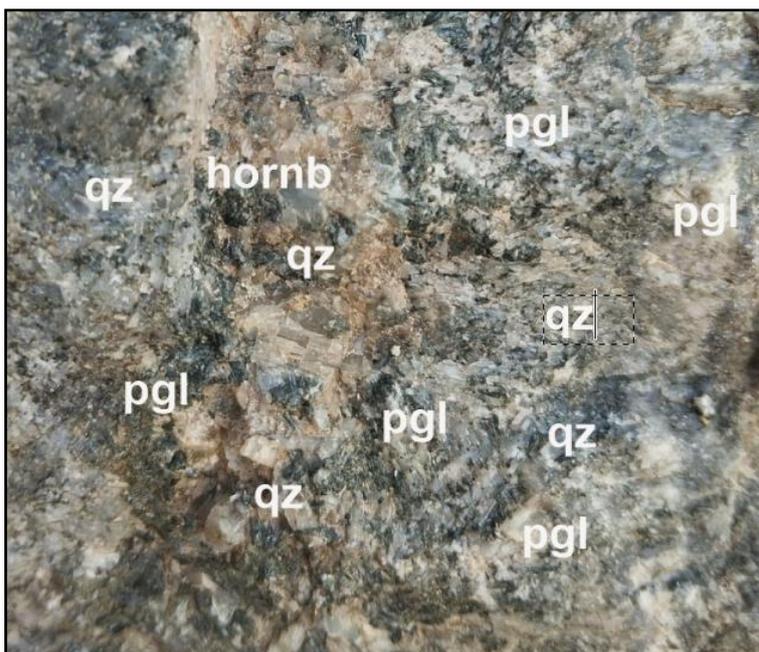
Fuente: Elaboración propia

7.2.1.2.3 Granito (Gra):

Esta unidad ígnea fue cartografiada al sureste de la zona de estudio, está rodeada por depósitos cuaternarios coluviales y también skarn, se presenta en forma de cuerpos redondeados e irregulares, formando cuerpos de un radio aproximado de 10 metros, en su superficie intemperizada se puede observar pátinas de óxido dándole una tonalidad gris marrón rosáceo. Mientras que en superficie fresca presenta un color gris blanquecino con una textura granular y de grano medio, ver figura N°50.

Figura 50

Granito gris blanquecino de textura granular, tamaño de grano medio, principalmente está constituida por cuarzo no menor al 20%, plagioclasas mayores a 45%, los cuales dominan y son de color blanco, feldespatos menores a 10% y los máficos menores a 5%, y su superficie intemperizada de color gris marrón rosáceo.



Fuente: Elaboración propia

7.2.1.3 Cuaternario:

7.2.1.3.1 Aluviales (Q- al):

Se encuentra preferencialmente en los lugares semi-planos o pampas circunscritas por lomadas y en las partes correspondientes al fondo de los valles o ampliaciones debido a su conjunción, dando lugar a llanuras aluviales.

Estos se caracterizan por tener una estratificación gradual natural, ya que en la base presenta grandes bloques o fragmentos rocosos, a la parte intermedia gravas y arenas (Figura N° 51), y en la parte superior limos y arcillas; esto debido a que se originan a partir de aluviones.

Figura 51

Material cuaternario aluvial en las faldas de la montaña baja de Apu Chelcco



Fuente: Elaboración propia

7.2.1.3.2 Fluvioglacial (Q-fg):

Los depósitos fluviales se muestran ligeramente caóticos y provienen también de la remoción de masas transportadas también por flujos de agua, estando englobados por una matriz limoarenosa. Están presentes en los ríos que presenta

la zona de estudio. Observándose materiales de diferentes litologías. (Ver figura N°52)

Figura 52

Que muestra material fluvio-glaciar del Río Sihuncha, vista al Suroeste



Fuente: Elaboración propia

7.2.1.3.3 Coluviales (Q-co):

Estos depósitos se caracterizan por cubrir la mayor parte de la extensión de la zona de estudio, compuesto por material removido con poco transporte que están presentes en las laderas de forma subangular con matriz limoarcillosa cubiertas por ichu generalmente. Los depósitos coluviales también muchas veces se generan a partir de procesos de reptación de suelos, además de formar taludes poco estables, (Ver figura N°53)

Figura 53

Que muestra material coluvial de Diorita, cubierto por ichu en las laderas de la colina Ramaderoyoc



Fuente: Elaboración propia

7.2.1.3.4 Bofedal (Q-bo):

Se presenta al Noroeste y Noreste de nuestra área de estudio caracterizándose en las zonas llanas cerca de los ríos, compuestas principalmente por intercalación de limos y arenas y material orgánico (Ver figura N°54)

Figura 54

Que muestra los Bofedales con sus características aguas estancadas al norte de nuestra zona de estudio en el sector Limamayo



Fuente: Elaboración propia

Geológicamente la zona de estudio es apto para la ubicación del relleno sanitario por las siguientes razones: las unidades litológicas aflorantes, en mayor parte de área está cubierta por material de cobertura, cuaternario (materiales aluviales, limo arcilloso, suelo inorgánico y arenas limosas con gravas de color marrón rojizo), de la cual gran parte de los afloramientos son de los intrusivos del batolito Andahuaylas – Yauri (Plutón de Colquemarca- tonalita) , compuesta por dioritas y en menor cantidad granodioritas y granitos. Así mismo circundantes a la zona hay cerros, lomadas y colinas cubiertas por material cuaternario.

A continuación, se muestra la columna estratigráfica local, figura N°55 donde se muestra las unidades que la conforman.

Figura 55

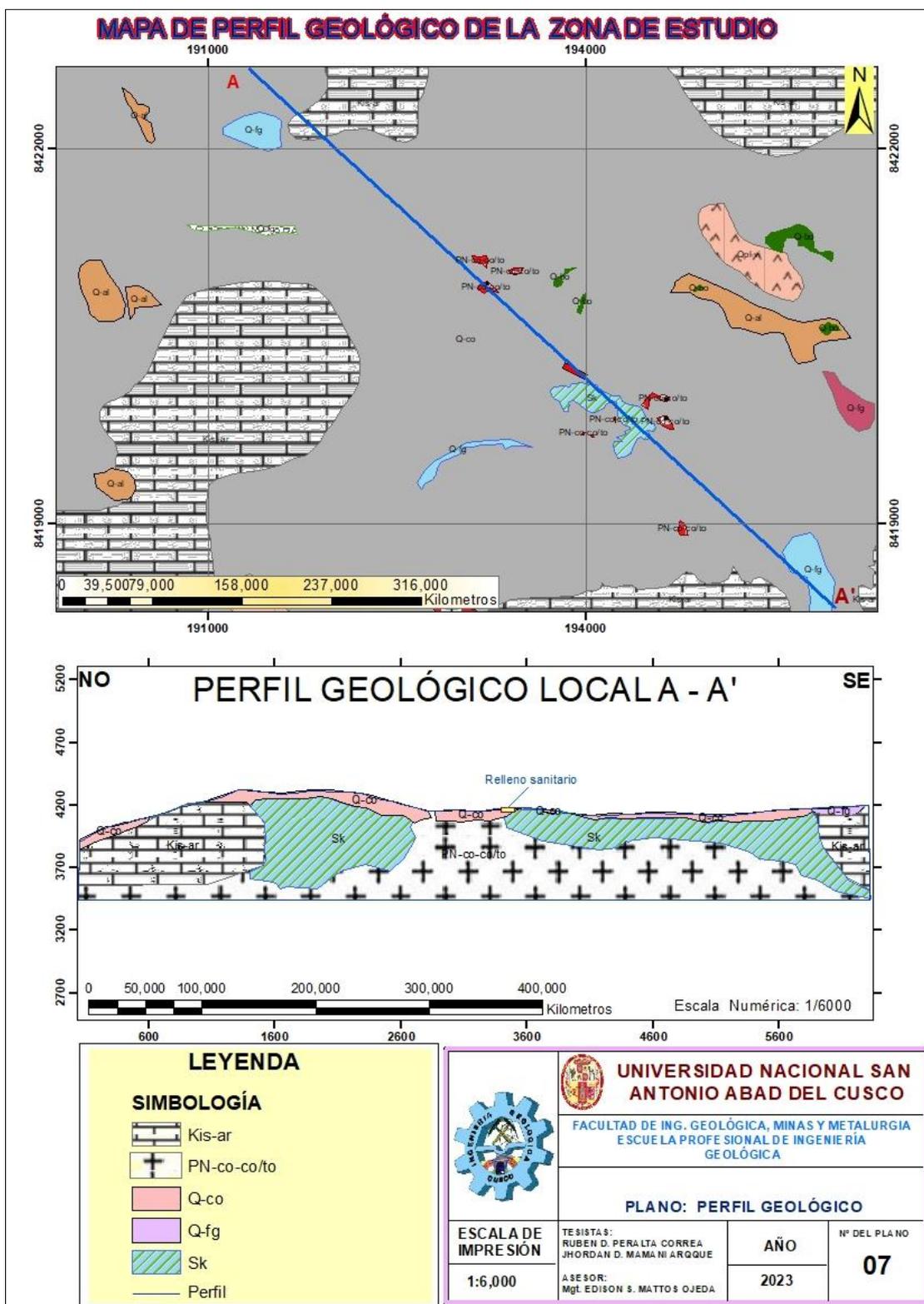
Unidades litológicas presentes en la zona de estudio.

ERA	EDAD	FORMACIÓN	ESPEJOR (m.)	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	Depósitos Bofedales (Q-bo)	25		Intercalación de limos, arenas y material orgánico.
		Depositos Coluviales (Q-co)	30		Clastos de forma subangular envueltos en matriz limoarcillosa.
		Depósitos Fluvioglaciares (Q-fg)	25		Material polimictico compuestos por clastos englobados en una matriz limoarenosa
		Depósitos Morrénicos (Q-mo)	20		Clastos angulosos en matriz gravosa y limo arcillosa
MESOZOICO	CRETACICO INFERIOR	Formación Arcurquina (K-ar)	200 a 300		Cuerpos de Magnetita Mármol Diorita Granodiorita Granito Skarn Calizas micríticas de color gris a gris azulado, presenta venilleos de calcita, en parte se presenta marmolizada y formando skarn.

Fuente: (Puma, 2019). Nota: Tomado del trabajo de investigación Geología y aplicación de los diagramas de variación Harker para la caracterización litogeoquímica de rocas ígneas en un depósito de hierro relacionado al batolito de Andahuaylas Yauri en el distrito de Chamaca.

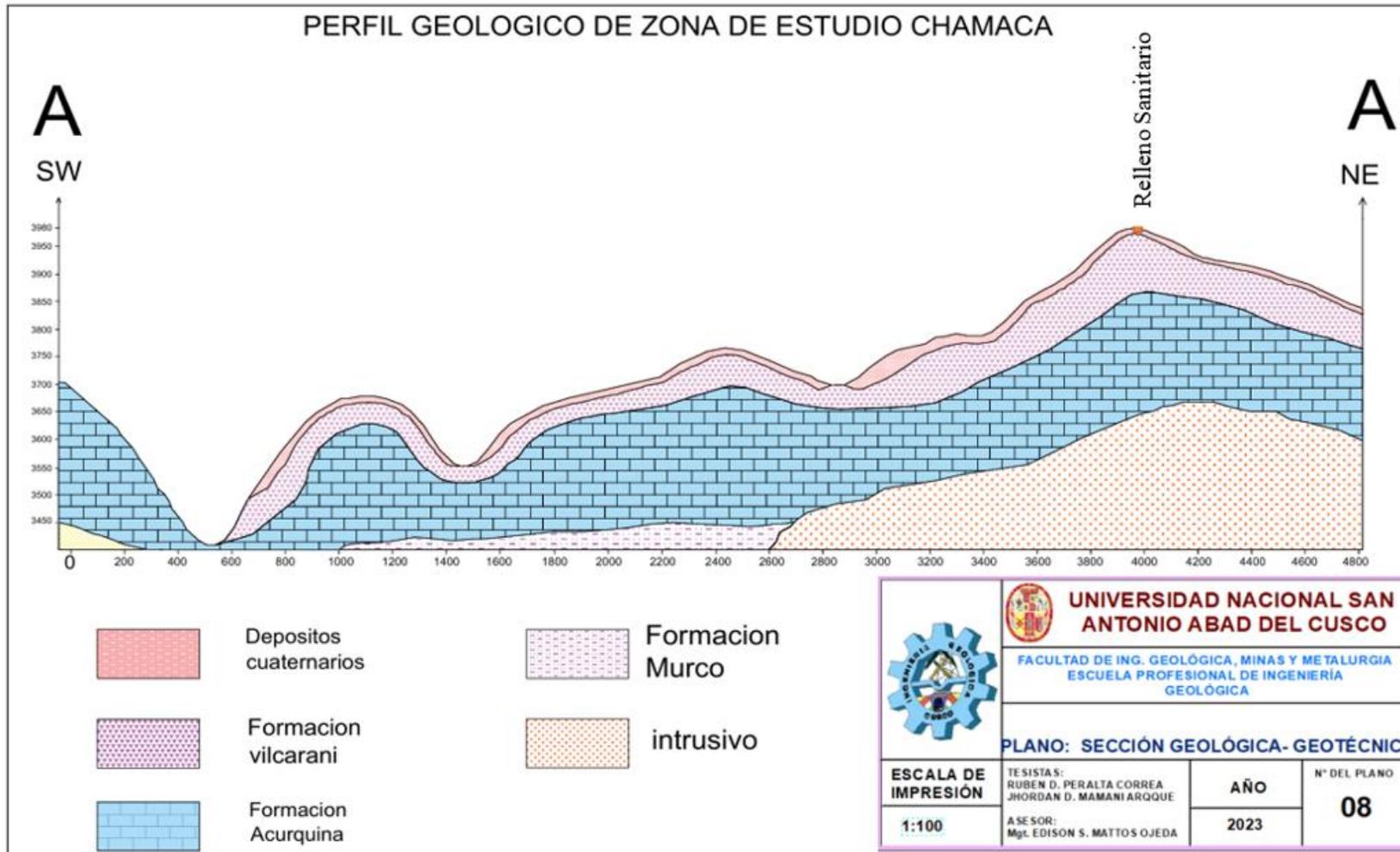
Figura 57

Mapa de perfil geológico local de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 58 Perfil geológico - geotécnico de la zona de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VIII

GEOTENIA

8.1 Generalidades

El trabajo de campo se efectuó en dos partes. La primera, tuvo como objetivo estudiar el terreno utilizado para la disposición final de los residuos sólidos y la segunda, para estudiar el nivel freático de nuestra zona de estudio. En la cual se excavaron tres calicatas: una de ellas con retroexcavadora con una profundidad de 6 metros y las dos siguientes calicatas manualmente con una profundidad de 4 metros; de las cuales se extrajo muestras para el ensayo de mecánica de suelos y se llevó al laboratorio para realizar los siguientes ensayos: contenido de humedad natural, granulometría, clasificación SUCS, límites de consistencia, Proctor modificado, peso específico, permeabilidad. Los resultados obtenidos y las curvas granulométricas correspondientes, se incluye en el anexo 05 y 06.

A continuación, se presenta la estratificación de las calicatas y se realiza una descripción del material, en función con el sistema de clasificación unificada de suelos:

Ubicación: Nuevo relleno sanitario parte este

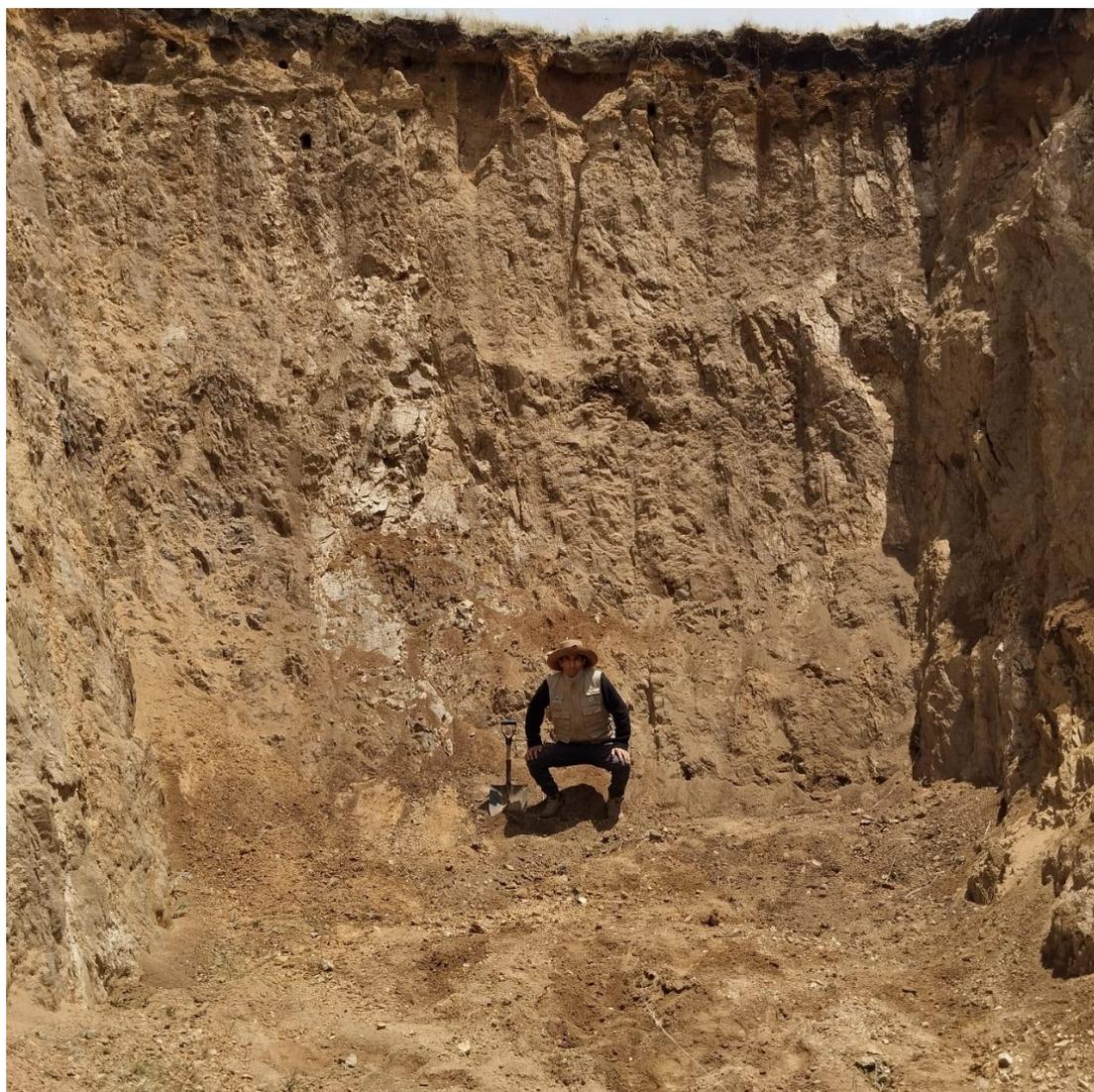
Muestra: 1

Profundidad: 6 metros

Descripción del material: Arena bien gradada con limo de color marrón, con gravas y piedras de hasta 10 cm.

Figura 59

Calicata N°01, de la zona de estudio

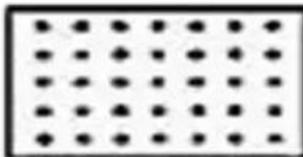
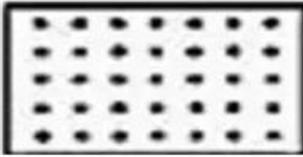


Fuente: Elaboración propia

8.1.2 El perfil estratigráfico C-2:

Tabla 20

El perfil estratigráfico C-2

Profundidad (m)	Simbología	Columna estratigráfica	Descripción litológica
0.00 0.20	OL 		Suelo orgánico, lutita negra con raíces de ichu y pasto.
1.00	SW-SM 		Arena bien gradada con limo de color marrón.
2.80	SW-SM 		Arena limosa de color marrón con grava y piedras de hasta 10 cm. de tamaño.

Nota. Fuente: Elaboración propia

Calicata N°02

Ubicación: Nuevo relleno sanitario parte este

Muestra: 2

Profundidad: 4 metros

Descripción del material: Arena bien gradada con limo de color marrón y con gravas y piedras que sobrepasan los 10 cm de tamaño.

Figura 60

Calicata N°02, de la zona de estudio

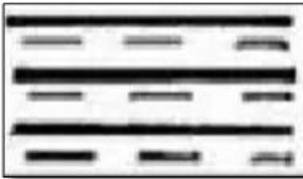
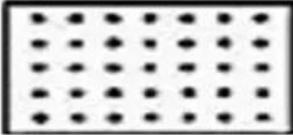
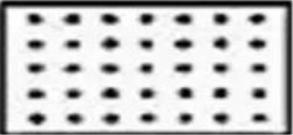


Fuente: Elaboración propia

8.1.3 El perfil estratigráfico C-3:

Tabla 21

El perfil estratigráfico C-3

Profundidad (m)	Simbología	Columna estratigráfica	Descripción litológica
0.00 0.20	<p>OL</p> 		Suelo orgánico, lutita negra con raíces de ichu y pasto.
 1.00	<p>SW-SM</p> 		Arena bien gradada con limo de color marrón.
 2.80	<p>SW-SM</p> 		Arena bien gradada con limo de color marrón con grava.

Nota. Fuente: Elaboración propia

Calicata N°03

Ubicación: Nuevo relleno sanitario parte este

Muestra: 3

Profundidad: 4 metros

Descripción del material: Arena bien gradada con limo de color marrón y con venillas de cuarzo.

Figura 61

Calicata N°03, de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia

Las calicatas en todos los casos, presentan el suelo orgánico con dos niveles, uno superior constituido por suelo orgánico, lutita negra marrón con raíces de ichu y pasto y otro nivel inferior de color marrón, constituido por arenas limosas con gravas de 5 a 12 mm de tamaño promedio. En estos ensayos directos no se ha podido identificar ningún nivel friático en nuestra zona de estudio. Así mismo el muestreo ha sido realizado en el estrato más profundo de las calicatas.

8.2 Ensayos de laboratorio

Según el marco teórico mencionado, la norma E.050 Suelos y Cimentaciones, y los tipos de suelo y roca de la zona de estudio, se han seleccionado los procedimientos indicados en los siguientes ítems.

Los procedimientos para la realización de ensayos del presente estudio se han realizado con base en las siguientes normas:

- MTC E 108 Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo, con referencia en las normas ASTM D 2216 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass y AASHTO T 265 Standard Method of Test for Laboratory Determination of Moisture Content of Soils.
- MTC E 111 Determinación del Límite Plástico (L.P.) de los Suelos e Índice de Plasticidad (I.P.), con referencia en la norma ASTM D 4318 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils y AASHTO T 90 Standard Method of Test for Determining the Plastic Limit and Plasticity Index of Soils.
- MTC E 110 Determinación del Límite Líquido de los Suelos, con referencia en las normas ASTM D 4318 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic

Limit, and Plasticity Index of Soils y Standard Method of Test for Determining the Liquid Limit of Soils.

- MTC E 106 Preparación en Seco de Muestras para el Análisis Granulométrico y Determinación de las Constantes del Suelo, con referencia en la norma ASTM D 421 Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle – Size Analysis and Determination of Soil Constants.
- MTC E 107 Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado, con referencia en las normas ASTM D 422 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils y AASHTO T 88 Standard Method of Test for Particle Size Analysis of Soils.
- ASTM D 2487 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).
- MTC E 115 Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor modificado).
- MTC E 113 Método De Ensayo Estándar Para La Gravedad Especifica De Solidos De Suelo Mediante Picnómetro De Agua
- AASHTO T125 – 66 Determinación de la permeabilidad de un suelo fino

Se realizaron los siguientes ensayos: contenido de humedad natural, granulometría, clasificación SUCS, límites de consistencia, Proctor modificado, peso específico, permeabilidad cuyos datos, cálculos y resultados se encuentran en los anexos.

Tabla 22

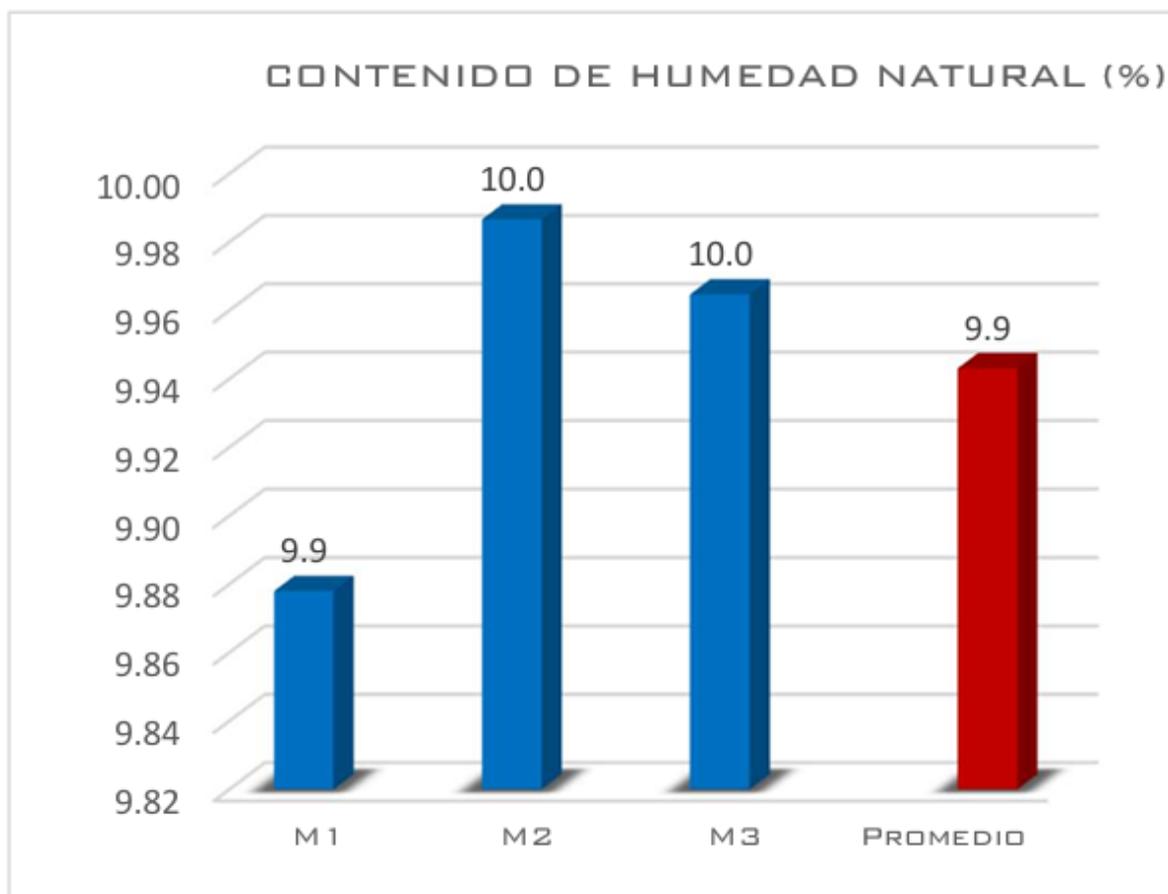
Contenido de humedad natural del suelo (NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108 y ASTM D 2216)

MUESTRA	M1	M2	M3
Peso del Contenedor (gr.)	97.01	97.89	96.07
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	3892.25	3891.43	3894.06
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	3551.06	3546.98	3549.90
Peso del Agua (gr.)	341.19	344.45	344.16
Peso del Suelo Seco (gr.)	3454.05	3449.09	3453.83
Contenido de Humedad (%)	9.88	9.99	9.96
Variación respecto de la media*	0.66%	0.44%	0.22%

Nota. La variación respecto de la media de cada muestra debe ser menor al 7.8 % para cumplir con la precisión exigida por el MTC, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos TRIBUS.

Figura 62

Contenido de Humedad natural (%)



Nota. Contenido de Humedad: 9.94 %, Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23

Límites de consistencia

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)				
Peso del Contenedor (gr.)				
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)				
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)				
Peso del Agua (gr.)				
Peso del Suelo Seco (gr.)				
Contenido de Humedad (%)*				Rango* 0.00

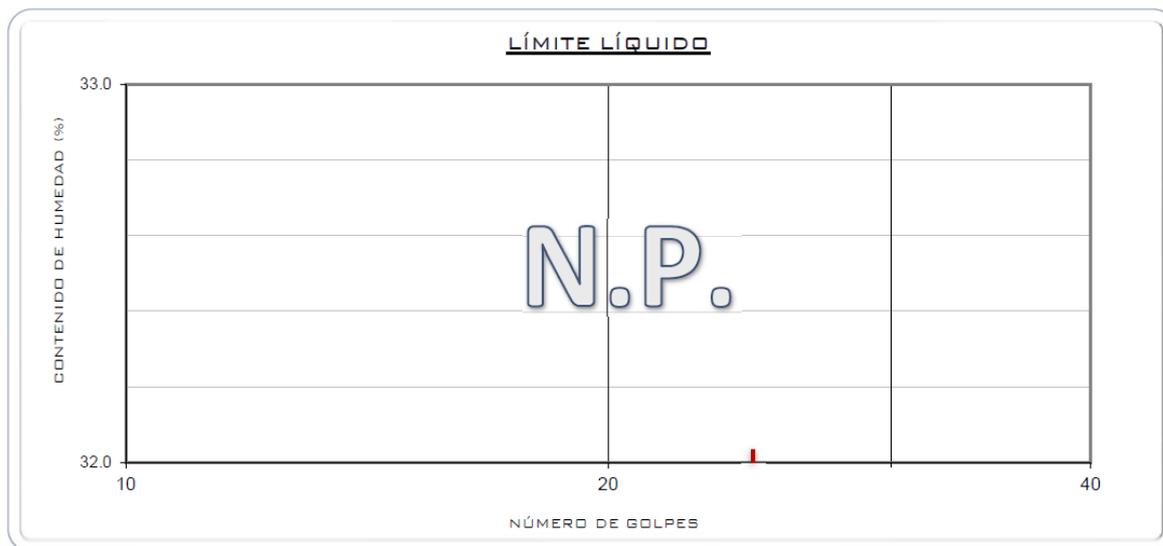
* El rango debe ser menor al 2.6 % para cumplir con la precisión exigida por el MTC.

LÍMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)				
Número de Golpes				
Peso del Contenedor (gr.)				
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)				
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)				
Peso del Agua (gr.)				
Peso del Suelo Seco (gr.)				
Contenido de Humedad (%)				

Nota. No presenta límite plástico, ni límite líquido, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos TRIBUS.

Figura 63

Límite líquido



LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LA MUESTRA			
Límite Plástico (%)	No presenta	Índice de Plasticidad (%)	No presenta
Límite Líquido (%)	No presenta	Límite de Contracción (estimado) (%)	No presenta

Nota. Fuente: Elaboración propia. No presenta límite plástico, ni límite líquido.

Tabla 24

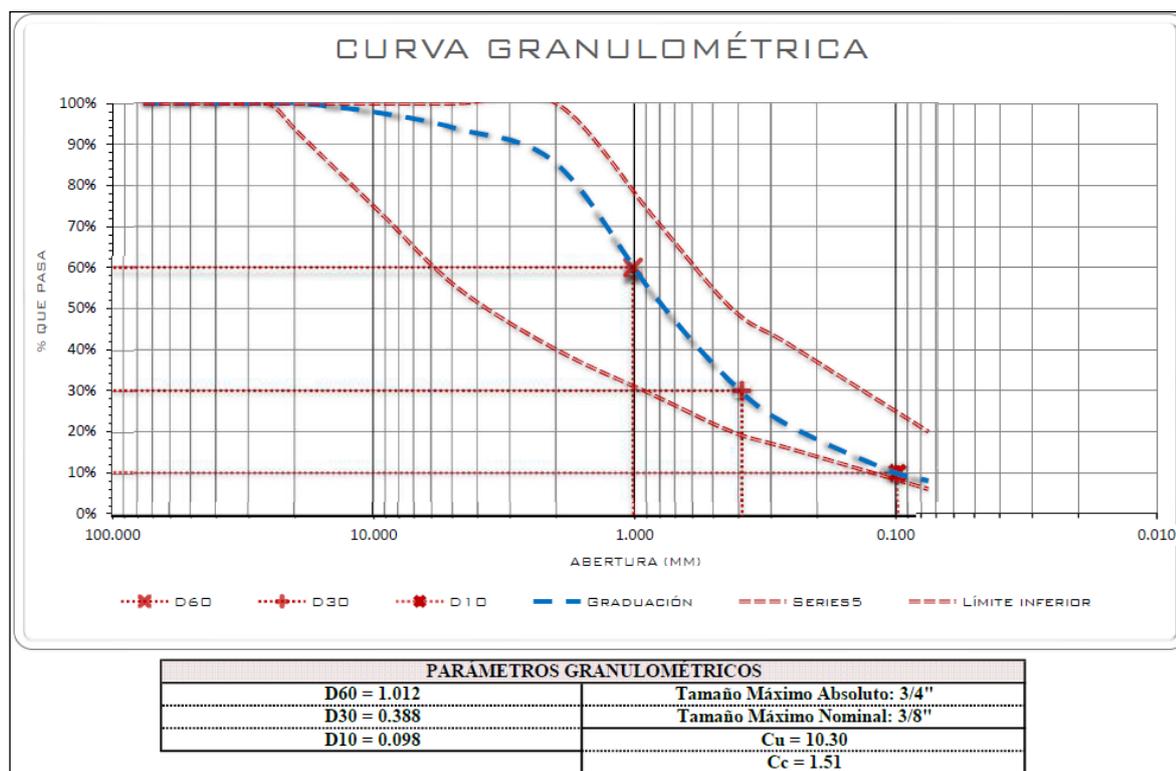
Análisis granulométrico de suelos por tamizado

Tamiz	AASHTO T-27 (mm)	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% QUE PASA	Especificaciones		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
						Superior	Inferior		
3"	76.200	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%	Peso de Muestras	
2"	50.800	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%	Peso Total Seco (gr.)	3454.05
1½"	38.100	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%	Peso Despues de Lavar (gr.)	2911.58
1"	25.400	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%	Perdida por Lavado (gr.)	542.47
¾"	19.050	105.64	3.06%	3.06%	96.94%	92.27%	100.00%	Datos Generales	
3/8"	9.525	250.73	7.26%	10.32%	89.68%	73.64%	100.00%	% de Gruesos	84.24%
Nº 4	4.760	259.83	7.52%	17.84%	82.16%	55.00%	100.00%	% de Finos	15.76%
Nº 10	2.000	383.58	11.11%	28.95%	71.05%	40.00%	100.00%	Total	100.00%
Nº 20	0.840	570.76	16.52%	45.47%	54.53%	28.80%	71.99%	Fracciones de Grava, Arena y Finos	
Nº 40	0.425	624.06	18.07%	63.54%	36.46%	20.00%	50.00%	% de Grava (Ret. Tamiz Nº 4)	17.84%
Nº 60	0.260	458.95	13.29%	76.82%	23.18%	16.03%	41.50%	% de Arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200)	66.40%
Nº 140	0.106	235.68	6.82%	83.65%	16.35%	8.79%	25.98%	% de Finos (Pasa Tamiz Nº 200)	15.76%
Nº 200	0.075	20.63	0.60%	84.24%	15.76%	6.00%	20.00%	% que pasa el tamiz Nº 10	71.05%
< Nº 200	Cazuela	2.00	0.06%	100.00%	-			% que pasa el tamiz Nº 40	36.46%
Lavado	-	542.5	15.71%	-	-			% que pasa el tamiz Nº 200	15.76%
	Peso Total	3454.3	100.01%	Error*	-0.01%			Gradación	E

Nota. La variación entre el peso total y la suma de los pesos de las fracciones debe ser menor al 1% para cumplir con la precisión exigida por el MTC, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos TRIBUS.

Figura 64

Curva granulométrica



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25

Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO			SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más del 50% se retiene en la malla N° 200	GRAVAS Más del 50% de la fracción gruesa se retiene en la malla N° 4	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla N° 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW	Grava bien gradada
			$Cu < 4$ ó $1 > Cc > 3$	GP	Grava mal gradada
		GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla N° 200	$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa
			$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa
			$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC - GM	Grava arcillosa y limosa
		GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla N° 200	Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM	Grava bien gradada con limo
	Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM		GW - GC	Grava bien gradada con arcilla	
	Cumple los criterios para GP y GM		GP - GM	Grava mal gradada con limo	
	Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM		GP - GC	Grava mal gradada con arcilla	
	ARENAS El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla N° 4	ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla N° 200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW	Arena bien gradada
			$Cu < 6$ ó $1 > Cc > 3$	SP	Arena mal gradada
		ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla N° 200	$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
			$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
			$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC - SM	Arena arcillosa y limosa
ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla N° 200		Cumple los criterios para SW y SM	SW - SM	Arena bien gradada con limo	
		Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM	SW - SC	Arena bien gradada con arcilla	
		Cumple los criterios para SP y SM	SP - SM	Arena mal gradada con limo	
		Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SP - SC	Arena mal gradada con arcilla	
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla N° 200		LIMOS Y ARCILLAS El límite líquido es menor que 50	Inorgánicos	$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML
	LL (horno) $> 0.75 * LL$ (ambiente)		$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL	Arcilla de baja plasticidad
			$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL - ML	Arcilla limosa de baja plasticidad
	LIMOS Y ARCILLAS El límite líquido es 50 o mayor	Orgánicos	$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	OL	Limo orgánico de baja plasticidad
		LL (horno) $< 0.75 * LL$ (ambiente)	$IP > 4$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad		Arcilla orgánica de baja plasticidad
		Inorgánicos	Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH	Limo de alta plasticidad
		LL (horno) $> 0.75 * LL$ (ambiente)	Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad
		Orgánicos	Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	OH	Limo orgánico de alta plasticidad
LL (horno) $< 0.75 * LL$ (ambiente)	Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	Arcilla orgánica de alta plasticidad			
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS			Principalmente materia orgánica de color oscuro	Pt	Turba

<p>LA CLASIFICACIÓN SUCS DEL SUELO ES: SM</p> <p>Arena limosa con grava</p>
<p>Los equipos ideales de compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo son rodillo de neumáticos y rodillo de pata de cabra.</p>

DATOS PARA CLASIFICACION SUCS	Tipo de Suelo	Tipo : Inorgánico	Granulometría	Gruesos : 84.24%	Finos : 15.76%	Total : 100.000%	Grava : 17.84%	Arena : 66.40%	Total : 84.24%	Fracción Gruesa	Grava : 21.18%	Arena : 78.82%	Total : 100.000%	Coefficientes	Cu : N.P.	Cc : N.P.	Límites de consistencia	LP : N.P.	LL : N.P.	IP : N.P.	LC ~ N.P.
--------------------------------------	----------------------	-------------------	----------------------	------------------	----------------	------------------	----------------	----------------	----------------	------------------------	----------------	----------------	------------------	----------------------	-----------	-----------	--------------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------

Nota. La clasificación SUCS del suelo en estudio es SM (arena limosa con grava), Fuente:

Laboratorio de mecánica de suelos TRIBUS.

Figura 65

Gráficos del sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS) ASTM D-2487

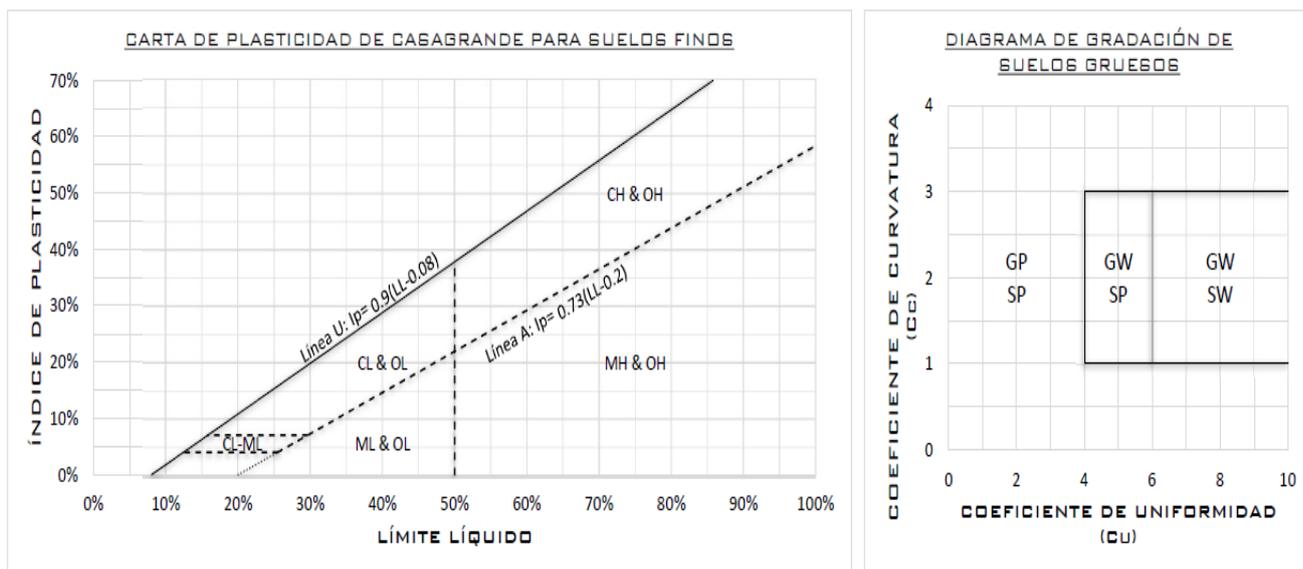
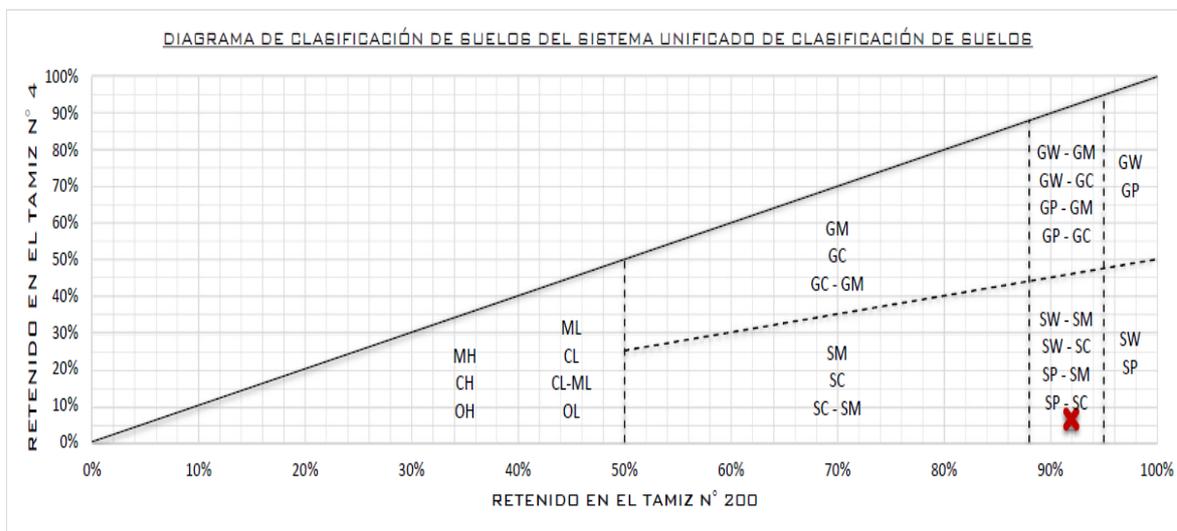


Figura 66

Diagrama de clasificación de suelos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos



Nota. Fuente: Elaboración propia. Clasificación SUCS; SM: Arena limosa con grava. Los equipos ideales de compactación que recomienda la ATM para este tipo de suelo son tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos.

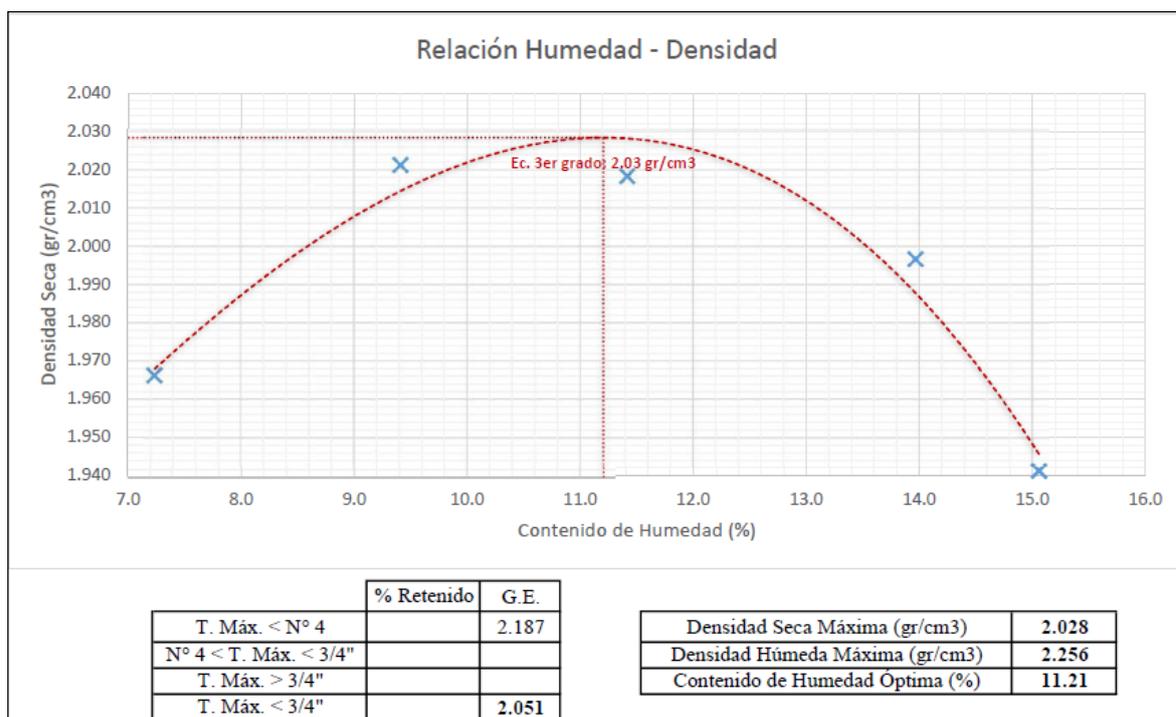
Tabla 26

Proctor modificado

ENSAYO	M1		M2		M3		M4		M5	
Número de Capas (gr.)	5									
Golpes por Capa (gr.)	25		25		25		25		25	
Número de Molde	1229		1229		1229		1229		1229	
Peso del Molde (gr.)	3581		3581		3581		3581		3581	
Peso del Molde + Suelo Húmedo (gr.)	5544.0		5639.9		5674.6		5699.5		5660.4	
Peso del Suelo Húmedo Compactado (gr.)	1963		2058.9		2093.6		2118.5		2079.4	
Volumen del Molde (cm3)	931		931		931		931		931	
Densidad Húmeda (gr/cm3)	2.108		2.211		2.249		2.276		2.234	
Peso del Contenedor (gr.)	70.98	81.95	59.72	43.62	46.91	46.97	46.98	46.76	55.58	56.00
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	965.7	947.9	1018.8	1044.3	871.5	1026.3	918.8	930.7	1137.07	1289.92
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	905.0	889.8	935.9	958.5	786.9	926.1	811.7	822.7	994.93	1129.12
Peso del Agua (gr.)	60.7	58.1	82.8	85.7	84.6	100.2	107.1	108.0	142.1	160.8
Peso del Suelo Seco (gr.)	834.0	807.9	876.2	914.9	740.0	879.1	764.7	775.9	939.4	1073.1
Contenido de Agua (%)	7.3	7.2	9.5	9.4	11.4	11.4	14.0	13.9	15.1	15.0
Contenido de Agua Promedio (%)	7.233		9.412		11.417		13.966		15.058	
Densidad Seca (gr/cm3)	1.966		2.021		2.018		1.997		1.941	

Nota. Según las NORMAS TÉCNICAS: MTC E115, NTP 339.141 y ASTM D 1557,

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos TRIBUS.

Figura 67**Relación Humedad y Densidad**

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27

Contenido de Humedad natural de un suelo

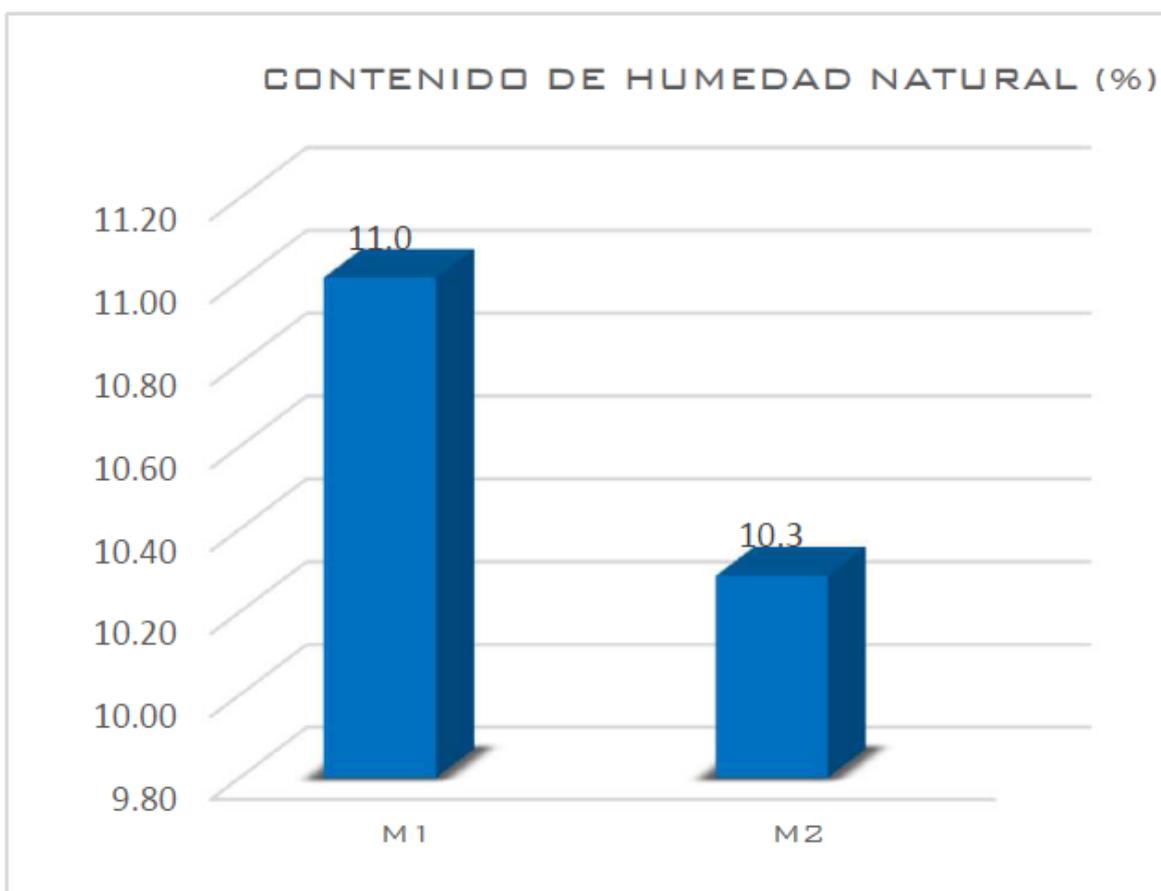
MUESTRA	C.H. ANTES DEL ENSAYO	C.H. DESPUES DEL ENSAYO	
Peso del Contenedor (gr.)	58.03	56.52	
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	674.91	727.27	
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	613.74	664.70	
Peso del Agua (gr.)	61.17	62.57	
Peso del Suelo Seco (gr.)	555.71	608.18	
Contenido de Humedad (%)	11.01	10.29	

Nota. Según las NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108 y ASTM D 2216, Fuente:

Laboratorio de mecánica de suelos TRIBUS.

Figura 68

Contenido de humedad natural (%)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

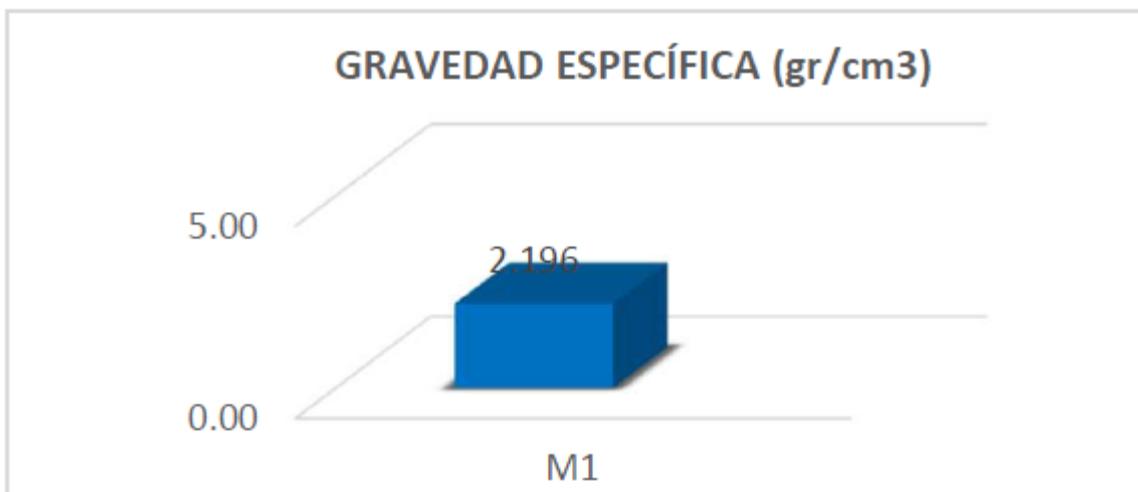
Tabla 28

Gravedad específica del suelo

MUESTRA	M1	M2
Número de Picnómetro	2	
Volumen del Picnómetro (ml)	500	
Peso del Contenedor (gr.)	79.21	
Peso del Contenedor + Muestra Seca (gr.)	175.09	
Peso de la Muestra Seca (gr.)	95.88	
Peso del Picnómetro + Agua + Muestra (gr)	741.98	
Temperatura del Agua (°C)	17.7	
Peso del Picnómetro + Agua (gr.)	689.79	
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	52.19	
Peso del Agua Desplazada (gr.)	43.69	
Gravedad Específica a Temperatura de Ensayo (gr./cm ³)	2.195	
Factor de corrección por Temperatura	1.00045	
Peso Específico (gr./cm ³)	2.196	

Nota. Según las NORMAS TÉCNICAS: MTC E 113, NTP 339.131 y ASTM D 854,

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos TRIBUS.

Figura 69Gravedad específica (gr/cm³)

Nota. Fuente: Elaboración propia. Gravedad Específica Promedio: 2.196 (gr./cm³)

Tabla 29

Permeabilidad con cabeza constante

Dimensiones de la Muestra		
N° Permeámetro :	1	
Diametro :	15.27	cm
Altura de Muestra (L) :	11.63	cm
Area de Muestra (A) :	183.13	cm ²
Volumen :	2130.45	cm ³

PERMEABILIDAD CON CABEZA CONSTANTE DE MUESTRA Y EQUIPO		
Permeabilidad Medida Promedio:	4.13E-04	cm/s
Permeabilidad promedio corregida a 20° C:	4.81E-04	cm/s

PERMEABILIDAD CON CABEZA CONSTANTE DE SUELO		
Permeabilidad promedio corregida a 20° C:	4.04E-04	cm/s

Densidad muestra inicial	
Peso Inicial de suelo +Molde:	10040 gr
Peso molde compactación:	6664 gr
Peso de la muestra inicial:	3376 gr
Peso Unitario inicial:	1.585 gr/cm ³
Contenido de humedad:	0.64%
Peso unitario seco	1.575 gr/cm ³

Condiciones de saturación final	
Gravedad específica de solidos:	2.196
Contenido de humedad:	25.51%
Relación de vacios:	70.20%
Saturación:	97.4%

Procedimiento de Análisis										
Test. Nro	Alturas Piezométricas (cm)		Cabeza, h=(H1-H2) (cm)	Volumen Q (cm ³)	Tiempo "t" (s)	Q/At	h/L	Temperatura, °C	k cm/s	(Corrección por temperatura) K (cm/s)
	H1	H2								
1	185.0	0	185.00	449.23	361.00	0.006795	15.902579	11	0.000427	0.000546
	185.0	0	185.00	431.20	361.00	0.006522	15.902579	11	0.000410	0.000524
	185.0	0	185.00	426.04	361.00	0.006444	15.902579	11	0.000405	0.000518
2	162.5	0	162.50	382.64	360.00	0.005804	13.968481	12	0.000415	0.000515
	162.5	0	162.50	385.99	360.00	0.005855	13.968481	12	0.000419	0.000519
	162.5	0	162.50	394.66	360.00	0.005986	13.968481	12	0.000429	0.000531
3	128.0	0	128.00	526.22	600.00	0.004789	11.002865	14	0.000435	0.000512
	128.0	0	128.00	521.49	600.00	0.004746	11.002865	14	0.000431	0.000507
	128.0	0	128.00	522.56	601.00	0.004748	11.002865	14	0.000432	0.000507
4	80.0	0	80.00	311.60	600.00	0.002836	6.876791	16	0.000412	0.000459
	80.0	0	80.00	310.95	607.15	0.002797	6.876791	16	0.000407	0.000453
	80.0	0	80.00	301.45	600.00	0.002743	6.876791	16	0.000399	0.000444
5	127.4	0	127.40	8.49	15.00	0.003091	10.951289	16	0.000282	0.000313
	127.4	0	127.40	24.38	30.00	0.004437	10.951289	16	0.000405	0.000449
	127.4	0	127.40	53.95	60.00	0.004910	10.951289	16	0.000448	0.000496
	127.4	0	127.40	108.59	120.00	0.004942	10.951289	16	0.000451	0.000500
	127.4	0	127.40	212.99	240.00	0.004846	10.951289	16	0.000443	0.000490
	127.4	0	127.40	410.60	480.00	0.004671	10.951289	16	0.000427	0.000472
127.4	0	127.40	737.38	900.00	0.004474	10.951289	16	0.000409	0.000452	
	0	127.40	1375.16	1800.00	0.004172	10.951289	16	0.000381	0.000422	

Nota. Según las NORMAS TÉCNICAS: AASHTO T 125.66, Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos TRIBUS.

Tabla 30

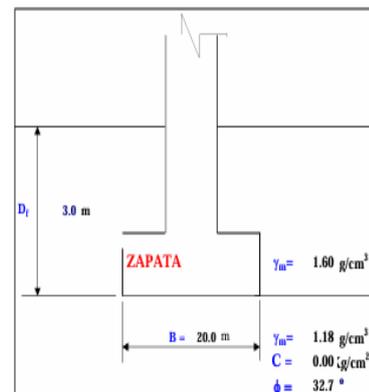
Capacidad admisible

CAPACIDAD ADMISIBLE POR RESISTENCIA

		Cimentación : L/B=1.00					Cimentación : L/B=2.50					Cimentación : L/B=5.00						
Cohesión no drenada	C_u	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Kg/cm ²
Angulo de fricción	ϕ	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	°
Peso unitario del suelo sobre el nivel d	γ_m	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	g/cm ³
Peso unitario del suelo bajo el nivel de	γ_n	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	g/cm ³
Ancho de la cimentación	B	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	40.00	m
Largo de la cimentación	L	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	50.00	62.50	75.00	87.50	100.00	100.00	125.00	150.00	175.00	200.00	200.00	m
Profundidad de la cimentación	D_f	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	m
Factor de seguridad	FS	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
Capacidad última de carga	q_{ult}	56.23	65.81	75.43	85.06	91.54	47.77	55.92	64.09	72.27	80.46	44.96	52.62	60.31	68.01	75.72	75.72	Kg/cm ²
Capacidad admisible de carga	q_{adm}	18.74	21.94	25.14	28.35	30.51	15.92	18.64	21.36	24.09	26.82	14.99	17.54	20.10	22.67	25.24	25.24	Kg/cm ²

Nf = -10

$$q_u = cN_{cs}e^{\lambda}d_j^{\lambda} + qN_{qs}q_d^{\lambda}j_q + \frac{1}{2}\gamma BN_{\gamma}s_{\gamma}d_j^{\lambda}\gamma$$



CAPACIDAD ADMISIBLE POR ASENTAMIENTO

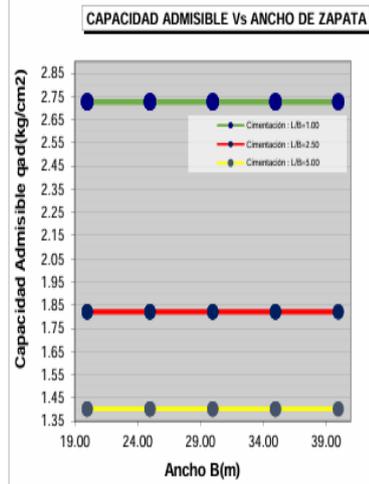
Presión por carga admisible	q_{adm}	18.74	21.94	25.14	28.35	30.51	15.92	18.64	21.36	24.09	26.82	14.99	17.54	20.10	22.67	25.24	25.24	Kg/cm ²
Relación de Poisson	μ	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	
Módulo de Elasticidad	E_s	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	Kg/cm ²
Asentamiento permisible	$S_i(max)$	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	35.56	cm
Ancho de la cimentación	B	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	40.0	m
Factor de forma	I_f	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84	m/m
Asentamiento	S_i	0.178	0.222	0.267	0.311	0.356	0.178	0.222	0.267	0.311	0.356	0.178	0.222	0.267	0.311	0.356	0.356	m
Asentamiento	S_i	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	35.56	cm
Presión por carga	q_{adm}	18.74	21.94	25.14	28.35	30.51	15.92	18.64	21.36	24.09	26.82	14.99	17.54	20.10	22.67	25.24	25.24	Kg/cm ²
	S_i (cm)	122.23	178.84	245.96	323.59	398.02	155.47	227.48	312.86	411.61	523.74	190.06	278.08	382.45	503.17	640.24	640.24	
		Superior																
Presión de carga asumida por asent	q_{adm}	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	Kg/cm ²
	S_i (cm)	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	35.56	
		Superior	OK!															

$$S_i = \frac{qB(1 - \mu^2)}{E_s} I_f$$

$$I_f = \sqrt{\frac{L}{B}}$$

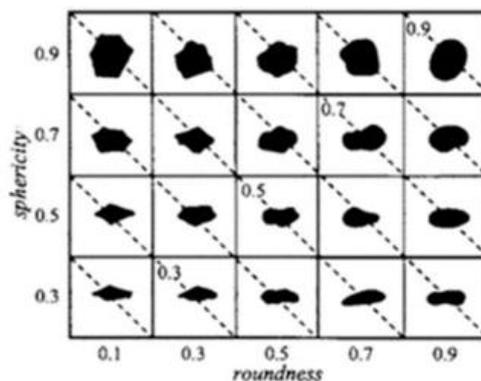
Observación : Se ha considerado un empotramiento de cimiento corrido de: 3.0 m
Se ha considerado una cimiento corrido Flexible

Evaluación geológico-geotécnica para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, Chumbivilcas, Cusco, 2023



Para determinar la capacidad de carga del suelo, se calculó considerando un factor de seguridad de 3, redondez del material y un ángulo de fricción igual a 0°, con base en la fórmula: $\phi = 42^\circ - 17R$.

Figura. Redondez de gravas y arenas



Dónde:

ϕ : Ángulo de fricción

R : Redondez del material granular

Para determinar el asentamiento admisible se calculó considerando un módulo de elasticidad de MPa (kg/cm²).

Los resultados de los ensayos de laboratorio están resumidos en la siguiente tabla:

Tabla 30

Resumen de ensayos básicos de laboratorio

Punto de Estudio	Muestra	C.H. (%)	Granulometría (%)			Límites (%)			SUCS
			Grava	Arena	Finos	L.P.	L.L.	I.P.	
C-01	E-01	9.94	17.84	66.40	15.76	N.P.	N.P.	N.P.	SM
C-02	E-01	11.90	9.88	71.69	18.42	N.P.	N.P.	N.P.	SM
C-03	E-01	10.07	32.38	55.64	11.98	N.P.	N.P.	N.P.	SP-SM

Nota. * C.H.: Contenido de Humedad, L.P.: Límite plástico, L.L.: Límite Líquido, I.P.:

Índice plástico y SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos, Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31

Resumen de ensayos especializados de laboratorio

Densidades máximas		CHO (%)	P.E.
D.S.M (gr/cm ³)	D.H.M. (gr/cm ³)		

			(gr/cm³)
2.028	2.256	11.21	2.196

Nota. * D.S.M.: Densidad seca máxima, D.H.M.: Densidad húmeda máxima, C.H.O.:

Contenido de humedad óptimo, P.E.: Peso específico, Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32

Resumen de ensayo de permeabilidad

Muestra	C.H.A.E. (%)	C.H.D.E. (%)	K20 (m/s)
E-01	11.01	10.29	4.04 E-04

Nota. *C.H.A.E.: Contenido de humedad antes del ensayo, C.H.D.E.: Contenido de humedad después del ensayo, K20: Índice de permeabilidad, Fuente: Elaboración propia.

8.3 Análisis y Discusión

Los ensayos de laboratorio se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 33

Resumen de ensayos básicos de laboratorio

Punto de Estudio	Muestra	C.H. (%)	Granulometría (%)			Límites (%)			SUCS
			Grava	Arena	Finos	L.P.	L.L.	I.P.	
C-01	E-01	9.94	17.84	66.40	15.76	N.P.	N.P.	N.P.	SM
C-02	E-01	11.90	9.88	71.69	18.42	N.P.	N.P.	N.P.	SM
C-03	E-01	10.07	32.38	55.64	11.98	N.P.	N.P.	N.P.	SP-SM

Nota. * C.H.: Contenido de Humedad, L.P.: Límite plástico, L.L.: Límite Líquido, I.P.:

Índice plástico y SUCS: Sistema unificado de clasificación de suelos, Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34

Resumen de ensayos especializados de laboratorio

Densidades máximas	CHO (%)
--------------------	---------

D.S.M (gr/cm³)	D.H.M. (gr/cm³)	P.E. (gr/cm³)	
2.028	2.256	11.21	2.196

Nota. * D.S.M.: Densidad seca máxima, D.H.M.: Densidad húmeda máxima, C.H.O.: Contenido de humedad óptimo, P.E.: Peso específico, Fuente: Elaboración propia.

El coeficiente de permeabilidad K20, así como el grado de permeabilidad de la muestra evaluada es el siguiente:

Tabla 35

Grado de permeabilidad de acuerdo al coeficiente de permeabilidad K20

Grado de permeabilidad	K20 (m/s)
Elevada	Superior a E-1
Media	E-1 a E-3
Baja	E-3 a E-5
Muy baja	E-5 a E-7
Prácticamente impermeable	Menor a E-7

Nota. * K20: Índice de permeabilidad, Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36

Grado de permeabilidad de la muestra

Muestra	K20 (m/s)	Grado de permeabilidad
M-01	4.04 E-04	baja

Nota. * K20: Índice de permeabilidad, Fuente: Elaboración propia.

Según los parámetros geotécnicos para el relleno sanitario manual del distrito de Chamaca según SUCS está constituida por suelo inorgánico de granulometría: gruesos 81.58% y finos 18.42%; siendo así grava 9.88% y arena 71.69%. Estos materiales se extienden grandes áreas horizontales y varios espesores en profundidad. El suelo superficial está conformado de un horizonte de hasta 0,20

metros de un suelo orgánico arena limosa (SM), color marrón oscuro con restos de raíces de ichu y canlli, debajo del cual yace una profundidad de hasta 6 m de un suelo inorgánico arena limosa con grava (SM) color marrón, con humedad de 9.94%, que no presenta límites de consistencia: límite de plasticidad, límite líquido, índice de plasticidad y límite de contracción. No se ha localizado ninguna napa freática en el sector, permeabilidad baja ($4.04 \text{ E-}04$). Asimismo, los equipos ideales de compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo son tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos.

Para la realización de excavaciones verticales de más de 1.5 m de profundidad, el constructor de obra deberá contar con un profesional responsable del diseño de sostenimiento según lo indicado por la NTP E-050. En el esquema geotécnico se muestran los parámetros para dicho diseño.

Tabla 37

Grado de permeabilidad de la muestra

B =	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	m
L =	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	50.0	62.5	75.0	87.5	100.0	100.0	125.0	150.0	175.0	200.0	m
qadm =	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	Kg/cm ²
Si (cm) =	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	cm

CAPÍTULO VX

GEOHIDROLOGÍA

9.1 Generalidades

En el presente trabajo se ha hecho la caracterización hidrogeológica de las unidades geológicas más importantes en la zona de estudio, desde el punto de vista de la capacidad de almacenamiento, transmisividad, producción de aguas y explotación de aguas subterráneas.

Para el presente trabajo desarrollamos la clasificación hidrogeológica, tomando estrictamente el aspecto litológico de las formaciones geológicas, de acuerdo a la metodología del INGEMMET. Y finalmente se realiza una tabla de clasificación de acuerdo a ensayos de infiltración directa en las diversas formaciones geológicas. Nuestra clasificación hidrogeológica de acuerdo a la agrupación de litologías en las formaciones geológicas es relativamente subjetiva, sin embargo, será debido a la predominancia litológica la que se establezca el comportamiento o unidad hidrogeológica de una formación.

9.1.1 Clasificación hidrogeológica de las unidades geológicas.

Para entender mejor un mapa hidrogeológico, es importante conocer la clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico. Las unidades hidrogeológicas se clasifican en: acuíferos, acuicludos, acuitardos y acuífugos (Tabla 37). Así en el área de estudio se han determinado diversos acuíferos: kársticos, fisurados, porosos no consolidados y sedimentarios.

Tabla 38

Comportamiento de unidades litológicas frente al agua.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO	CAPACIDAD DE DRENAJE	CAPACIDAD DE TRANSMISIVIDAD	FORMACIONES CARACTERÍSTICAS
Acuífero	Alta	Alta	Alta	Gravas, Arenas y Calizas
Acuitardo	Alta	Media / Baja	Baja	Limos, Arenas limosas y arcillosas
Acuicludo	Alta	Muy baja	Nula	Arcillas
Acuifugo	Nula	Nula	Nula	Granitos, Gneises y Mármoles

Nota. Fuente: Fundamentos y Métodos de la Hidrología (Tupak).

Tabla 39

Clasificación de unidades hidrogeológicas de las formaciones geológicas del área de trabajo, de acuerdo a la metodología del INGEMMET.

CLASIFICACIÓN					
UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	SISTEMA HIDROGEOLÓGICO	FORMACIÓN HIDROGEOLÓGICA	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA	DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA	
Acuíferos	Poroso no consolidado	Acuífero fluvial	Gravas y arenas depositados en bancos y terrazas	Formaciones permeables consolidados no	
		Acuífero Fluvioaluvial	Gravas, arenas y limos entremesclados		
		Acuífero Morrénico	Bloques heterométricos y gravas en matriz muy variable		
		Acuífero Fluvioglacial	Gravas y arenas en matriz limoarenosa		
	Sedimentario	Acuífero Murco	Niveles de areniscas rojizas intercaladas de limoarenitas, areniscas cuarzosas y feldespáticas, y conglomerados	Formaciones sedimentarias permeables	
	Kárstico	Acuífero Arcurquina	Calizas marinas grises intercaladas con niveles lutáceos y ocasionales dolomías	Formaciones permeables por karstificación y fracturamiento	
	Volcánico Sedimentario	-	Acuífero Mitu	Coladas, aglomerados y brechas volcánicas de basalto y basalto andesítico	Rocas vulcanosedimentarias permeables
	Poroso No Consolidado		Acuitardo Aluvial	Conos aluviales y de deyección, compuesto por gravas en una matriz limoarenosa	Materiales finos de baja permeabilidad
			Acuitardo Coluvial	Depósitos de pendientes, incluidos los deslizamientos	

		Acuitardo Coluvioaluvial		Depósitos de pendientes, incluidos deslizamientos, pero dominados por ambientes aluviales	
Acuitardo	Volcánico	Acuitardo Sañayca		Roca volcánica y subvolcánica	Materiales permeables de pequeña extensión con una producción nula
	Intrusivo	Acuitardo Monzogranito		Monzogranito	Rocas con fracturas superficiales, cuya permeabilidad se reduce a medida que aumenta la profundidad
		Acuitardo Cuarzodiorita		Cuarzodiorita	
Acuitardo Granodiorita			Granodiorita		
Acuicludos	Metamórfico	Acuitardo Ortogneis	de	Ortogneis	Rocas metamórficas de escaso interés hidrogeológico
	Sedimentario	Abancay			Materiales de baja permeabilidad
		Acuicludo Ausangate		Limolitas, limoarenitas y arcillitas pardo rojizas	

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

9.2 Características hídricas de las formaciones geológicas

Como producto del estudio geológico-hidrogeológico y la evaluación en campo de las unidades o formaciones geológicas de zona de trabajo (ensayos de infiltración directa). Después de haber evaluado la naturaleza litológica de las formaciones geológicas en la zona de estudio; se ha podido clasificar en las siguientes categorías:

9.2.1 Compacto

Se refiere a afloramientos que se dan alrededor de nuestra zona de estudio, afloramientos de calizas de la formación Arcurquina (foto N°00), donde dicha roca se presenta con mínimos niveles de fractoramiento. Dichas características litológicas se pueden observar cómo: Piusha, Waqrawiri, Mamacha orqo, Qoyllor; los mismos que son impermeables, a menos que existan fracturas que pueden permitir flujos. El intrusivo de Plutón de Colquemarca; compuesto por granodioritas, diorita y granito, respectivamente, se presentan fuertemente alterados, transformados superficialmente en arcillas, formando considerables

depósitos eluviales, los mismos que tienen comportamiento casi impermeable y que al hallarse cubiertos por suelos con alto contenido orgánico se hacen todavía más impermeables.

Figura 70

(Izquierda). Afloramiento de rocas compactas impermeables, calizas de la formación Arcurquina, (Derecha): Rocas intrusivas del Plutón de Colquemarca: granodiorita, dioritas y granito en la zona de estudio.



9.2.2 Poroso

En este grupo se encuentran fundamentalmente las formaciones con contenido de rocas calcáreas, así podemos identificar a las calizas, de color gris claro, oscuro y calizas oscuras, intercaladas con lutitas; la mayoría de ellas plegadas, fracturadas y fisuradas (Figura 63), pertenecientes a la Arcurquina. Es debido a esa porosidad secundaria que las rocas de la formación Arcurquina se constituyen en los acuíferos importantes, sumado además a su alta permeabilidad y a su gran extensión, aflorando en la parte oriental de la zona de estudio, así como: Apu Chelqo, Fillullo Orqo.

Figura 71

Estratos de calizas y lutitas altamente fracturadas de la formación Arcurquina



9.2.3 Suelto y Poroso

Dentro de esta clasificación tenemos a los depósitos cuaternarios, como son las morrenas, los depósitos locales eluviales, coluviales, aluviales y la interacción de los mismos. Absolutamente todos estos materiales son sueltos o ligeramente compactados como las morrenas.

Efectivamente el proyecto del relleno sanitario se encuentra sobre los depósitos cuaternarios como los depósitos coluviales.

Figura 72

Depósitos cuaternarios en la zona de estudio para el relleno sanitario.



9.3 Características hidráulicas de la zona de estudio del relleno sanitario.

9.3.1 Porosidad.

Como resultado de la estructura y textura de las rocas y suelos tenemos su porosidad (sistema de espacios vacíos o poros). Así los poros en el suelo se diferencian en: macroscópicos y microscópicos. Los primeros son de importantes dimensiones y están generalmente saturados en aire, en efecto, el agua las atraviesa rápidamente impulsadas por la fuerza de la gravedad. Mientras que los segundos en cambio están ocupados en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares. Los terrenos arenosos son ricos en macro-poros, permitiendo un rápido pasaje del agua, pero tienen una muy baja capacidad de retenerlas, mientras que los arcillosos son ricos en micro-poros lo cual hace que tengan una elevada capacidad de retención de agua.

Tabla 40

Valores estimados de porosidad.

MATERIAL	POROSIDAD TOTAL (%)	POROSIDAD EFICAZ (%)
Arcillas	40 - 50	0 - 5
Limos	35 - 50	3 - 19
Arenas finas y arenas limosas	20 - 50	10 - 28
Arenas gruesas o bien clasificadas	21 - 50	10 - 35
Gravas	25 - 40	13 - 26
Lutitas no alteradas	1 - 10	0.5 - 5
Lutitas fracturas y/o alteradas	30 - 50	
Areniscas	5 - 35	0.5 - 10
Calizas y dolomías no karstificadas	0.1 - 25	0.1 - 5
Calizas y dolomías karstificadas	5 - 50	5 - 40
Rocas ígneas y metamórficas no fracturadas	0.01 - 1	0.0005
Rocas ígneas y metamórficas fracturadas	1 - 10	0.00005 - 0.01

Nota. Fuente: (Salazar, 2018).

En nuestra zona de estudio los acuíferos se pueden clasificar en función del tipo de materiales que los constituyen o según sus circunstancias hidráulicas y estructurales. En el primer caso tenemos acuíferos: porosos, donde su

permeabilidad es debida a su porosidad intergranular (porosidad primaria), lo constituyen las gravas, arenas, areniscas cuarzosas, areniscas arcósicas, conglomerados, etcétera; y kársticos y fisurados, donde las permeabilidades son debidas a grietas y fisuras, ya sea de origen mecánico o por disolución, entre ellos se encuentran las calizas, granodioritas, granitos, monzonitas, skar, etc.

Así, la porosidad en los diversos materiales litológicos varía en los siguientes límites (Tabla 40):

Tabla 41

Valores estimados de porosidad y permeabilidad, basado en pruebas y mediciones de campo en las formaciones geológicas.

UNIDAD GEOLÓGICA	POROSIDAD	POROSIDAD	PERMIABILIDAD
	TOTAL (%)	EFIAZ (%)	(m/día)
Plutón de Colquemarca	1	0.1	<-1
Formación Vilcarani	6	4	15 - 40
Formación Arcurquina (calizas)	12	10	-10>100
Depósitos Morrénicos	18	14	2 -17
Depósitos Aluviales	20	15	12 - 25
Depósitos Coluviales	18	10	3 - 15
Depósitos Eluviales	20	8	<1 - 10

Fuente: (Salazar, 2018)

9.3.2 Permeabilidad.

Es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se afirma que un material es permeable si deja pasar a través de él, una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable. Para ser permeable, un material debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros que le permitan absorber

fluido. A su vez, tales espacios deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos para pasar a través del material.

Tabla 42

Clasificación de la permeabilidad.

Permeabilidad	Muy Lenta	Lenta	Moderadamente Lenta	Moderada	Moderadamente Elevada	Elevada	Muy Elevada
cm/h	< 0.1	0.1 - 0.5	0.5 - 2.0	2.0 - 6.5	6.5 - 12.5	12.5 - 25	> 25

Fuente: Soil Conservation Service - EE.UU.

Tabla 43

Valores relativos de permeabilidad o conductividad hidráulica

PERMEABILIDAD RELATIVA	K (cm/s)	SUELO TÍPICO
Muy Permeable	$> 1 \times 10^{-1}$	Grava gruesa
Moderadamente Permeable	1×10^{-1} a 1×10^{-3}	Arena, arena fina
Poco Permeable	1×10^{-3} a 1×10^{-5}	Arena limosa, arena sucia
Muy poco Permeable	1×10^{-5} a 1×10^{-7}	Limo y arenisca fina
Impermeable	$< 1 \times 10^{-7}$	Arcilla

Fuente: Custodio y Llamas, 1993.

Tabla 44

Grado de permeabilidad de acuerdo al coeficiente de permeabilidad K20

Grado de permeabilidad	K20 (m/s)
Elevada	Superior a E-1
Media	E-1 a E-3
Baja	E-3 a E-5
Muy baja	E-5 a E-7
Prácticamente impermeable	Menor a E-7

Nota. * K20: Índice de permeabilidad, Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45

Grado de permeabilidad de la muestra

Muestra	K20 (m/s)	Grado de permeabilidad
E-01	4.04 E-04	Baja

Nota. * K20: Índice de permeabilidad, Fuente: Elaboración propia.

La permeabilidad de nuestra zona de estudio es favorable para la ubicación del nuevo relleno sanitario del distrito de Chamaca; por lo que presenta baja permeabilidad según el grado de permeabilidad evaluado en el laboratorio. Este debido a que el material de cobertura está constituido por arena limosa (SM).

Por otro lado, el valor del coeficiente de permeabilidad de un suelo arenoso-limoso es de 0.71, lo que indica que es altamente susceptible a la erosión. Para ello se tendrá que tomarse medidas de protección.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Las condiciones geológicas y los parámetros geotécnicos son regularmente favorables para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca; Siendo la calificación final del área 425.2 puntos (85.04 %). Con distancia a la población más cercana mayor a 1000 m, área del terreno favorable, vida útil de 25 años, propiedad del terreno en donación, accesibilidad al sitio, pendientes moderados, buen material de cobertura, ausencia de napa fríatica, distancia considerable de aguas superficiales, opinión pública favorable, etcétera.

SEGUNDA: La geomorfología es favorable para la ubicación del relleno sanitario manual del distrito de Chamaca, la zona de estudio está ubicado en una colina con superficies planas, entre 3979 a 4000 m.s.n.m. asociada a una superficie moderadamente inclinada de 5%, que está interrumpida por colinas y/o lomadas de pendientes suaves a moderadas (10% a 15%). Por las condiciones geomorfológicas la zona de estudio es favorable para la construcción de las zanjas o trincheras y en cuanto a la accesibilidad para las maquinarias y carro recolector de los residuos sólidos es muy favorable.

TERCERA: Las condiciones geológicas son favorables para la ubicación del relleno sanitario manual del distrito de Chamaca donde geológicamente se encuentra con formaciones cuaternarias de fácil manejo en la zona de la superficie que tiene una profundidad de hasta más de 6 m de arena limosa y las rocas intrusivas del batolito de Andahuaylas – Yauri (Plutón de Colquemarca) como basamento rocoso. Geológicamente la zona de estudio es favorable para la

excavación de las zanjas o trincheras, buena cantidad de material cuaternario y de fácil manejo de tierra de cobertura. En cuanto al uso de las maquinarias se optimizará horas máquina por el tipo de litología.

CUARTA: Los parámetros geotécnicos del relleno sanitario manual del distrito de Chamaca son favorables; según SUCS nuestra zona de estudio está constituida por suelo inorgánico arena limosa con grava (SM), con humedad de 9.94%, que no presenta límites de consistencia: límite de plasticidad, límite líquido, índice de plasticidad y límite de contracción, permeabilidad baja (4.04 E-04). Geotécnicamente nuestra zona de estudio es estable por el tipo de suelo que presenta de acuerdo a los parámetros obtenidos para el emplazamiento del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca.

QUINTA: El Relleno Sanitario a diseñar será de tipo manual debido a que la generación per cápita es de 0.331 kg.hab/día (2.102 ton/día) y la población de 6351 con la que cuenta el distrito de Chamaca no sobrepasaran las 15 Tn/día de residuos a disposición a lo largo del tiempo de vida del relleno, con un volumen acumulado de 50539.937m³ y requiriendo un área aproximada de 1.21 ha. para su vida útil teórica de 25 años, lo cual supliría las necesidades que presenta el distrito de Chamaca.

RECOMENDACIONES

PRIMERA: Dar a conocer los resultados del presente trabajo de investigación a las autoridades encargadas de tomar la decisión de desarrollo este tipo de proyectos.

SEGUNDA: Que, para impermeabilizar las celdas del relleno sanitario, la base del relleno debe ser cubierta con una geomembrana o capa de arcilla compactada para evitar la infiltración de los lixiviados, y debe estar dotada de un sistema de drenaje que permita captar y evacuar tanto las aguas de precipitación pluvial como los efluentes líquidos que produzca la basura.

TERCERA: Se recomienda buscar otras zonas para la ubicación del relleno sanitario que tengan condiciones óptimas geotécnicamente para la disposición final de los residuos sólidos en del distrito de Chamaca.

CUARTA: Explotar el área por etapas, desarrollando en una primera etapa trincheras y continuar con el sistema de plataforma aprovechando la pendiente de las laderas de la colina. Asimismo, los equipos ideales de compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo son tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos y rodillo de pata de cabra.

QUINTA: Para posteriores investigaciones se recomiendan realizar una prospección geofísica basado en la realización de tomografía eléctrica resistiva y sondaje eléctrico Vertical (SEV); para evaluar el nivel freático superficial.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, E., & Torre, C. D. (2019). *Metodología de la investigación científica*. Lima: Moshera S.R.L.
<http://isbn.bnpp.gov.pe/catalogo.php?mode=detalle&nt=105943>
- Allende, T. (2005). Estudio geológico-geotécnico del área para el relleno sanitario de la ciudad de Suyo, provincia de Ayabaca, departamento de Piura [Estudio de ingeniería, UNMSM]. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*, 77.
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/721>
- Carlotto, & Zárate. (1988). Porphyry-Style alteration and mineralization of the middle Eocene to Early Oligocene Andahuaylas –Yauri Belt, Cuzco región, Peru.
https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/2402/1/Rivera-Metalogenia_Batolito_Andahuaylas-Yauri.pdf
- Carta Geológica Nacional, I. (1997). Geología de los cuadrángulos de Cusco y Livitaca.
- CEPIS. (1999). Guía para el Manejo de Residuos Sólidos en Ciudades pequeñas y rurales [CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA CEPIS /OPS /OMS]. Perú.
- DIGESA. (2008). Guía de Opinión Técnica Favorable a partir de Estudios de Selección de Áreas para la Infraestructura de Procesamiento, Transferencia y Disposición Final de Residuos Sólidos. Lima.

- EPA. (2015). La Autoridad de Protección del Medio Ambiente. Obtenido de <https://www.epa.nsw.gov.au/>
- Espinoza, A., & Mendoza, R. (2017). *Guía técnica para muestreo de suelo*. Nicaragua: Francis Mejía.
<https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- Flores, A., & Cuba, S. (2020). *Diseño de un Relleno Sanitario manual en el distrito de Jepelacio, San Martín*[Tesis de Ingeniero Ambiental, Universidad Peruana Unión]. Registro Nacional de Investigación.
<http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3370>
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Mc Graw Hill Educación. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Jaramillo, J. (2002). *Guía para el diseño, construcción de rellenos sanitarios manuales* [Universidad de Antioquia, Colombia]. Colombia: Centro Panamericano de Ingeniería.
<https://redrrss.minam.gob.pe/material/20090128200240.pdf>
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). *Mecánica de Suelos*. México: Limusa.
- Mendivil, S., & Dávila, D. (1994). Geología de los cuadrángulos de Cusco y Livitaca.
https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/173/2/A-052-Boletin_Cusco_28s-Livitaca-29s.PDF

- Morales, S., & Rodriguez, A. (2016). Evaluación geológica ambiental para ubicar un relleno sanitario manual en la parroquia Mene de Mauroa, Venezuela. *Minería y Geología*, 16.
<https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/1111/697>
- Muñoz, J. (1995). *Geomorfología General*. Madrid: Síntesis.
<https://onggem.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/01/muc3b1oz-1995-la-biblia.pdf>
- Pecho, V. (1981). Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomás.
https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/154/2/A-035-Boletin_Chalhuanca-29p_Antabamba-29q_Santo_Tomas-29r.PDF
- Puma, L. (2019). “*Geología y aplicación de los diagramas de variación de harker para la caracterización litogeoquímica de rocas ígneas en un depósito de hierro relacionado al batolito andahuaylas yauri en el distrito de chamaca, provincia de chumbivilcas, cusco*”. Repositorio Institucional, Cusco.
- Ricaldi, A., Huaman, S., & Callupe, G. (2021). *Diseño de un relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales en el distrito de El Tambo-Huancayo*(Tesis de ingeniería, Universidad Continental).
Repositorio Institucional.
- Rivera, H. (2005). *Geología Genral*. Lima.
<https://www.geogpsperu.com/2011/05/libro-de-geologia-general.html>
- Salazar, E. (2018). *Geología aplicada al ordenamiento territorial de la ciudad de Abancay-Apurimac*. Repositorio Institucional, Cusco.

Anexos

Anexo 01:

Matriz de consistencia

Título	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>“Evaluación geológico-geotécnico para la ubicación del Relleno Sanitario Manual en el distrito de Chamaca - Chumbivilcas - Cusco, 2023”</p>	<p style="text-align: center;">Problema general</p> <p>¿Cuáles son las condiciones geológicas y parámetros geotécnicos para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023?</p> <p>Problema específico 1: ¿Cuáles son las condiciones geomorfológicas para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023?</p> <p>Problema específico 2: ¿Cuáles son las condiciones geológicas para la ubicación del relleno sanitario en el distrito de Chamaca, 2023?</p> <p>Problema específico 3: ¿Cuáles son los parámetros geotécnicos para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023?</p> <p>Problema específico 4: ¿Cuál es el área, volumen y vida útil del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023?</p>	<p style="text-align: center;">Objetivo general</p> <p>Evaluar las condiciones geológicas y parámetros geotécnicos para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023</p> <p>Objetivo específico 1: Determinar las condiciones geomorfológicas para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023</p> <p>Objetivo específico 2: Determinar las condiciones geológicas para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023.</p> <p>Objetivo específico 3: Determinar los parámetros geotécnicos para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023</p> <p>Objetivo específico 4: Estimar el área, volumen y vida útil del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023.</p>	<p style="text-align: center;">Hipótesis general</p> <p>Las condiciones geológicas y parámetros geotécnicos son favorables para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023</p> <p>Hipótesis específica 1: Las condiciones geomorfológicas serán convenientes para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023</p> <p>Hipótesis específica 2: Las condiciones geológicas son adecuadas para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023.</p> <p>Hipótesis específica 3: Los parámetros geotécnicos son adecuados para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023</p> <p>Hipótesis específica 4: La estimación del área, volumen nos determinará la vida útil del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, 2023.</p>	<p>Variable 1: <i>Evaluación geológico geotécnico</i></p> <p>Dimensiones: - Geología - Geomorfología - Geotecnia - Clima - Geohidrología</p> <p>Variable 2: Ubicación del relleno sanitario</p> <p>Dimensiones: - Criterios técnicos</p>	<p>Enfoque: Cuantitativo</p> <p>Diseño: No experimental al</p> <p>Tipo: Transversal Correlacional Descriptivo</p>

Anexo 02:

26

28 AGO. 2023 10:15
 3135 Folios 26

SOLICITO: Informe de estudio de caracterización de residuos sólidos vigentes.

SEÑOR: DOMINGO SALAS CENTENO
 ALCALDE DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CHAMACA

YO, Rubén Darío Peralta Correa, identificado con DNI N°47480725, domiciliado en Calle Catanga S/N del distrito de Chamaca, con teléfono N°987024559 y correo: ing.ruben.dario.130672@gmail.com Ante usted con el debido respeto me presento y expongo:

Que, solicito el Informe de estudio de caracterización de residuos sólidos vigentes, autorización y las facilidades para obtener la información necesaria que me permita desarrollar mi trabajo de investigación, por la ley de derecho de acceso a la información, que la Sub Gerencia de Gestión Ambiental nos brinde dichas informaciones.

Por tal motivo, solicito el Informe de estudio de caracterización de residuos sólidos vigentes, autorización y las facilidades para obtener la información necesaria para la elaboración de mi tesis de investigación titulado "EVALUACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO PARA LA UBICACIÓN DEL RELLENO SANITARIO MANUAL EN EL DISTRITO DE CHAMACA, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS, REGIÓN CUSCO EN EL AÑO 2023". Asimismo, presento mi plan de tesis.

Por lo expuesto:

pedirle a simple.

Ruego a usted acceder a lo solicitado por ser de justicia.

Chamaca, 23 de agosto de 2023

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CHAMACA
 SECRETARIA GENERAL
RECIBIDO
 Fecha: 28 AGO 2023
 Reg: 202 Hora: 16:13
 Folios: 26
 Firma

Rubén Darío Peralta Correa
 DNI N°47480725

Cel: 987024559.

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CHAMACA
 SECRETARIA GENERAL
PROVEIDO
 Visto: MP N. 3135-2023
 Pasa a Resp. Entrega Informac (Ley N° 27806) - Secretaria General
 Por: Sin atención del presentante
 de acuerdo a norma vigente
 28-AGO-2023



Paso 04: entrega de Carta Circular de comunicación oficiales emitidas por la municipalidad y firma del cargo de recepción por del participante.

000120

Fig. 04: Carta enviada a los participantes




Municipalidad Distrital de Chamaca

Chumbivilcas - Cusco - Perú

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN E IMPUNIDAD"

CARTA CIRCULAR 001/AMDCH
Chamaca 20 de noviembre del 2019
Estimado vecino (a):

ASUNTO: Solicitamos su participación en el Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales.

De nuestra mayor consideración:

Es grato dirigirme a usted para saludarlo(a) cordialmente y a la vez comunicarle que nuestra Municipalidad está llevando a cabo el Estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos Domiciliarios del Distrito de Chamaca, que permitirá conocer las particulares de estos, con el fin de mejorar el manejo de los residuos sólidos y las condiciones sanitarias y ambientales de nuestra ciudad y plantear proyectos para poder mejorar la gestión de residuos sólidos.

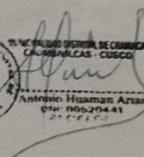
En tal sentido, para llevar a cabo el estudio satisfactoriamente se requiere de su colaboración y su participación en las siguientes actividades:

- Visita a su domicilio para su empadronamiento
- Encuesta a un representante adulto del hogar para solicitarle información respecto al servicio de limpieza pública.
- Participación en el Estudio de Caracterización con la entrega de sus residuos en bolsas de plástico codificadas, que le serán suministradas durante 7 días seguidos, a partir del día 21 hasta el día 27 de noviembre del 2019.

Para lograr nuestro objetivo se ha involucrado a personal capacitado que estará identificado para realizar el empadronamiento y recolección respectiva.

Agradeciéndole su valiosa atención y cooperación, me despido de usted dándole las gracias por su participación.

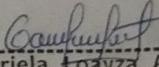
Atentamente,



MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE CHAMACA
CHUMBIVILCAS - CUSCO
Antonio Huaman Azua
DNI: 780070441

Un nuevo comienzo para un futuro mejor...!

Fuente: Municipalidad Distrital de Chamaca – Carta Circular de Invitación



Gabriela Loayza Ayala
Bióloga
CBP N° 13282

28

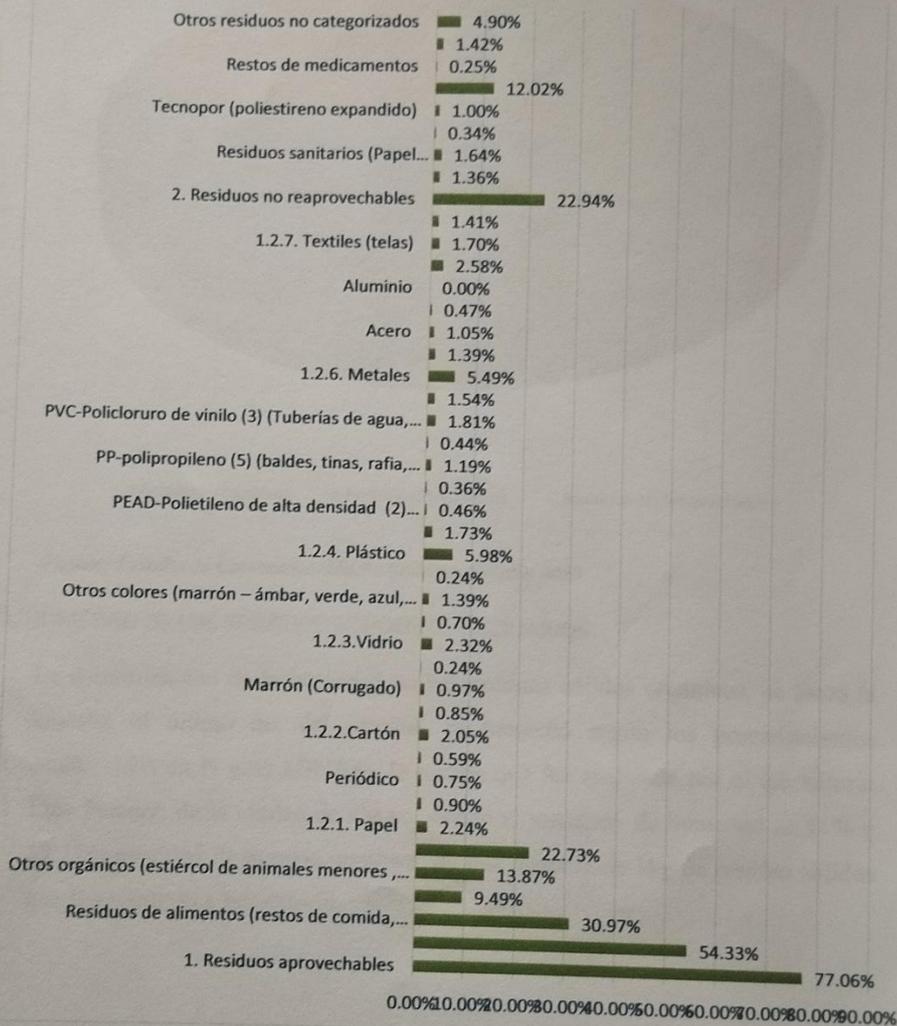
Anexo 03:

6.1.3. COMPOSICIÓN FÍSICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS

000104

Tabla N° 18 : Composición de Residuos Sólidos Domiciliarios

COMPOSICIÓN DE RESIDUOS DOMICILIARIOS DE LA LOCALIDAD DE CHAMACA



Fuente: Estudio de caracterización de Residuos Sólidos

Así mismo se tiene la composición física de los residuos sólidos domiciliarios según sus características, el 54% es orgánico, 23% residuos no orgánicos y 23% residuos no aprovechables.

Anexo 04:**6. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS****6.1. RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DOMICILIARIOS** 000107**6.1.1. GENERACIÓN PER CAPITA (GPC) DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS**

En la siguiente tabla se muestra la generación per cápita de los residuos sólidos domiciliarios del distrito de Chamaca, de acuerdo a los cálculos realizados antes de la validación obteniendo los siguientes resultados:

Tabla N° 14: Generación de RR: SS no domiciliarios

Estrato	Generación per cápita Validada	Representatividad	GPC domiciliaria
Estrato Único	0,331	100%	0,331
TOTAL		100%	0,331

Fuente: Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales 2019

Tras la validación y cálculo de la muestra GPC del distrito de Chamaca es de 0,331 Kg/persona/día.

Para validar la GPC domiciliaria, de acuerdo a la Guía del MINAM, se procedió de la siguiente manera:

- Paso 01: Se eliminaron los datos incompletos que no fueron obtenidos en un 50% como mínimo de participación.
- Paso 02: Se eliminaron los datos atípicos que no se encuentran dentro del intervalo de confianza, establecido para el proceso de validación.
- Paso 03: Se vuelve a calcular la nueva desviación estándar y el número de muestra.



Carolina Ayala

Anexo 05:
Laboratorio de suelos



Figura. Ensayo de granulometría para la muestra E-01

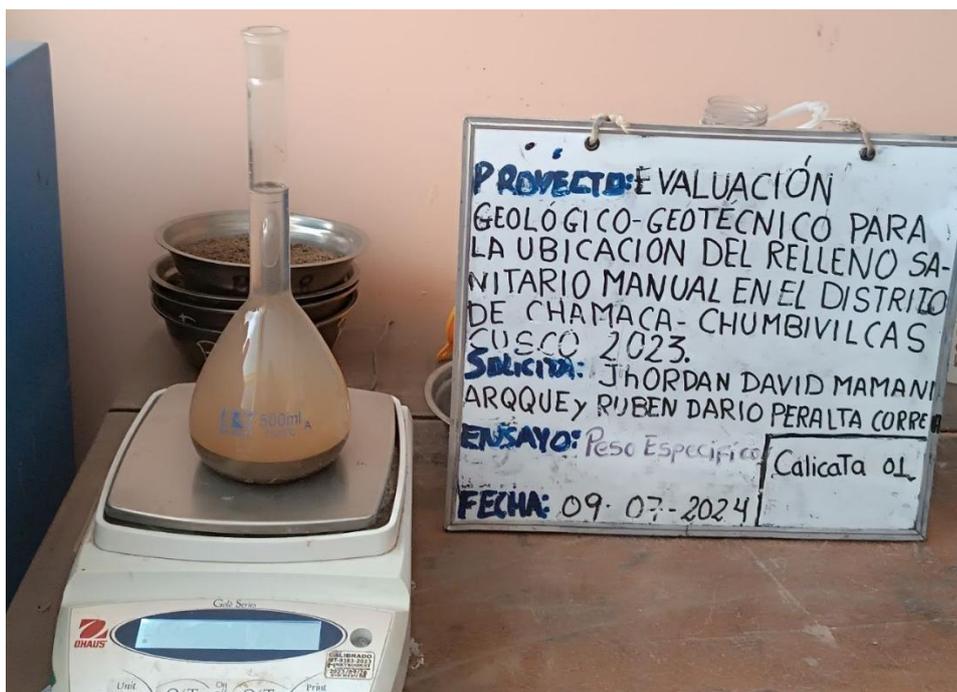


Figura. Ensayo de peso específico para la muestra E-01

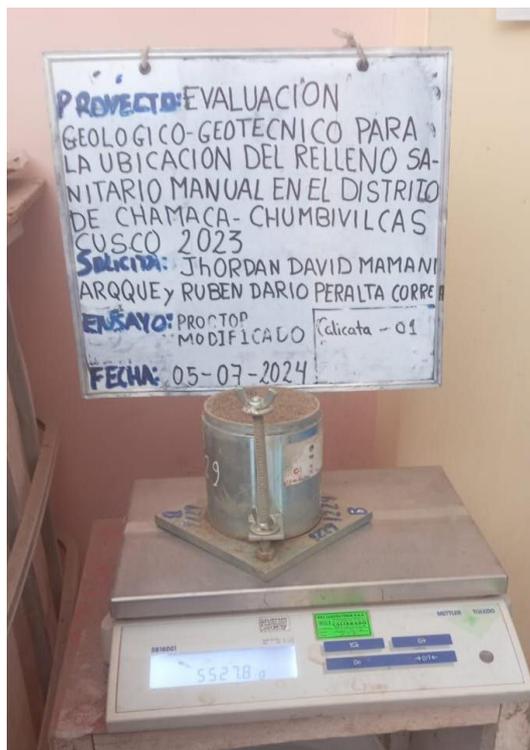


Figura. Ensayo de Proctor modificado para la muestra E-01



Figura. Ensayo de permeabilidad para la muestra E-01

Anexo 6:

Hoja de cálculos

	Código del Proyecto:	4029-TH-SR-01
	Thibus Consultoría & construcción S.R.L.	
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO	
	CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL DE UN SUELO	
	NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108 y ASTM D 2216	
	V. Br 3.3	Form. Aprob. por: L.C.C. Fecha: 31/08/2019 Registro CP-317 Revisión N° 0 Rev. por: V.A.H.D. Fecha: 16/07/2024

DATOS GENERALES

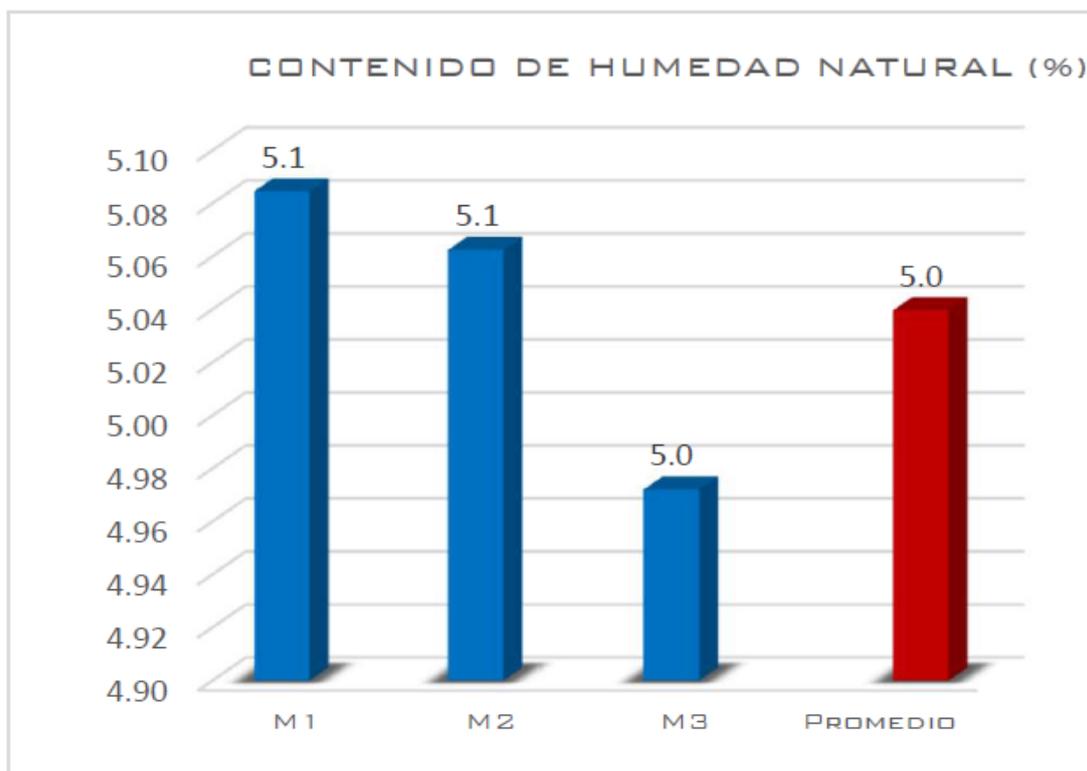
PROYECTO	: "Evaluación geológico-geotécnico para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, Chumbivilcas, Cusco, 2023"
SOLICITA	: Bachs. Jhordan David Mamani Arque y Rubén Dario Peralta Correa
UBICACIÓN	: Chamaca - Chumbivilcas - Cusco

DATOS ESPECÍFICOS

UBICACIÓN	: Chamaca - Chumbivilcas - Cusco	CALICATA	: C-01
FECHA	: miércoles, 3 de Julio de 2024	MUESTRA	: E-01
HECHO POR	: J.A.S.D. y M.L.I.M	PROFUNDIDAD	: -

MUESTRA	M1	M2	M3
Peso del Contenedor (gr.)	44.95	44.77	46.38
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	354.34	351.09	355.65
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	339.37	336.33	341.00
Peso del Agua (gr.)	14.97	14.76	14.65
Peso del Suelo Seco (gr.)	294.42	291.56	294.62
Contenido de Humedad (%)	5.08	5.06	4.97
Variación respecto de la media*	0.89%	0.45%	1.34%

La variación respecto de la media de cada muestra debe ser menor al 7.8 % para cumplir con la precisión exigida por el MTC.



Contenido de Humedad (%) 5.04

	Thibus Consultoría & construcción S.R.L. LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO	Código del Proyecto: 4029-TH-SR-01 Form. Aprob. por: L.C.C. Fecha: 31/08/2019 Registro CP-317 Revisión N° 0 Rev. por: V.A.H.D. Fecha: 16/07/2024
	LÍMITES DE CONSISTENCIA NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318 Y AASHTO T 89 - T 90	V. Br 3.3

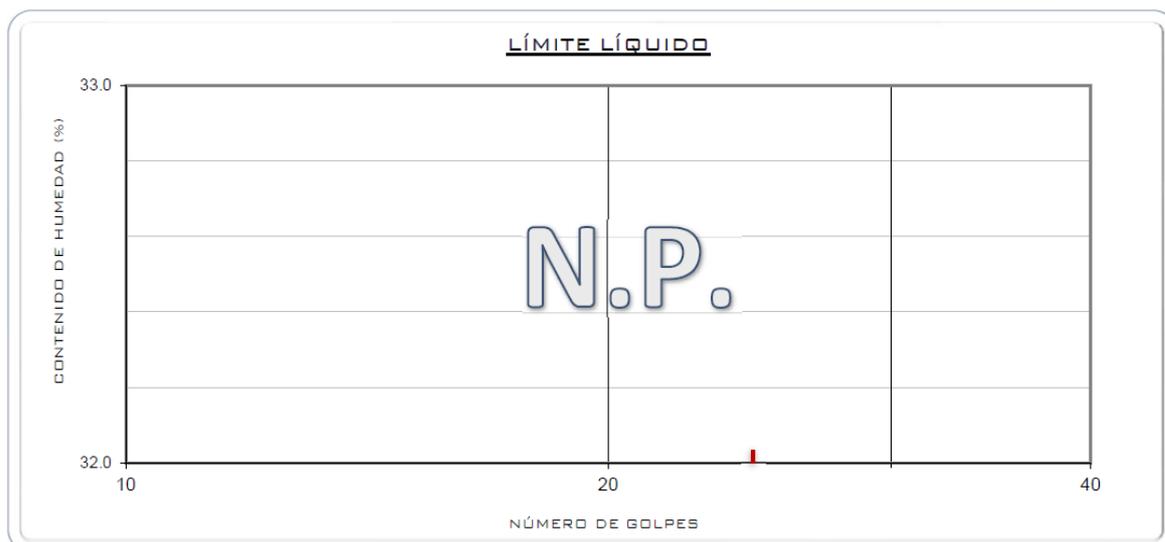
DATOS GENERALES	
PROYECTO	"Evaluación geológico-geotécnico para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, Chumbivilcas, Cusco, 2023"
SOLICITA	Bachs. Jhordan David Mamani Arque y Rubén Dario Peralta Correa
UBICACIÓN	Chamaca - Chumbivilcas - Cusco

DATOS ESPECÍFICOS	
UBICACIÓN	Chamaca - Chumbivilcas - Cusco
FECHA	-
HECHO POR	J.A.S.D. y M.L.I.M
CALICATA	C-01
MUESTRA	E-01
PROFUNDIDAD	-

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)			
Peso del Contenedor (gr.)			<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 100%; position: relative;"> <div style="position: absolute; top: 50%; left: 50%; transform: translate(-50%, -50%); font-size: 2em; opacity: 0.5;">N.P.</div> </div>
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)			
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)			
Peso del Agua (gr.)			
Peso del Suelo Seco (gr.)			
Contenido de Humedad (%)*			
			Rango* 0.00

* El rango debe ser menor al 2.6 % para cumplir con la precisión exigida por el MTC.

LÍMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)			
Número de Golpes			
Peso del Contenedor (gr.)			
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)			
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)			
Peso del Agua (gr.)			
Peso del Suelo Seco (gr.)			
Contenido de Humedad (%)			



LÍMITES DE CONSISTENCIA DE LA MUESTRA			
Límite Plástico (%)	No presenta	Índice de Plasticidad (%)	No presenta
Límite Líquido (%)	No presenta	Límite de Contracción (estimado) (%)	No presenta

	Thibus Consultoría & construcción S.R.L.	Código del Proyecto:	4029-TH-SR-01
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO	Form. Aprob. por:	L.C.C.
	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS POR TAMIZADO	Fecha:	31/08/2019
	NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422 y AASHTO T 88	Registro CP:	317
	V. Br 3.3	Revisión N°:	0
		Rev. por:	V.A.H.D.
		Fecha:	16/07/2024

DATOS GENERALES

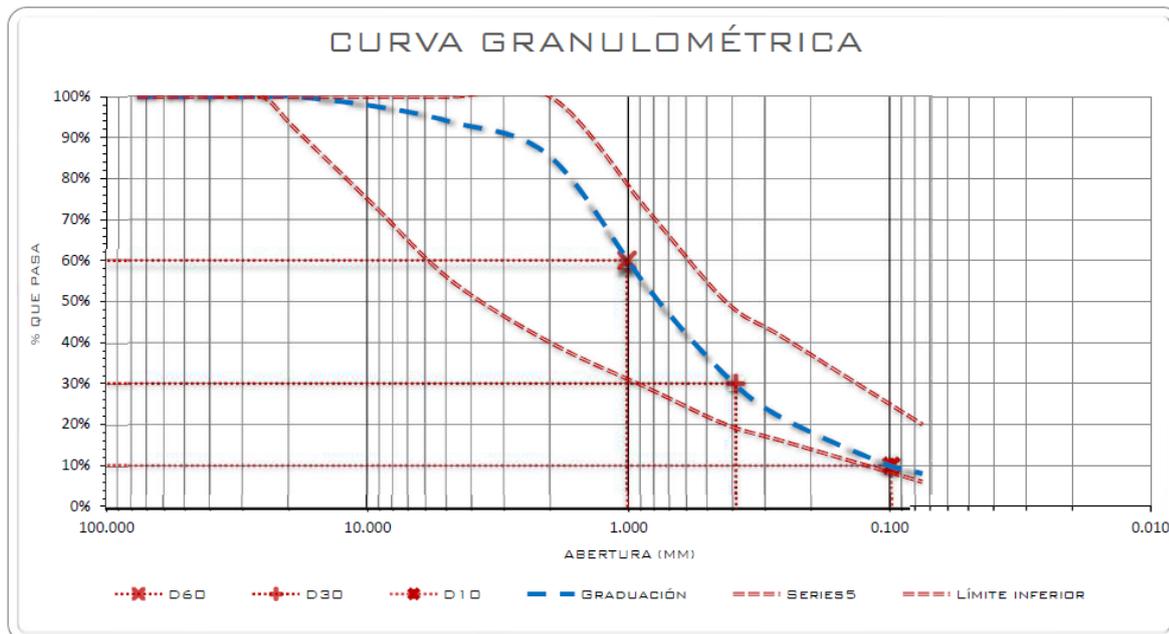
PROYECTO : "Evaluación geológico-geotécnico para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, Chumbivilcas, Cusco, 2023"
SOLICITA : Bachs. Jhordan David Mamani Arque y Rubén Dario Peralta Correa
UBICACIÓN : Chamaca - Chumbivilcas - Cusco

DATOS ESPECÍFICOS

UBICACION : Chamaca - Chumbivilcas - Cusco **CALICATA** : C-01
FECHA : martes, 9 de Julio de 2024 **MUESTRA** : E-01
HECHO POR : J.A.S.D. y M.L.L.M **PROFUNDIDAD** : -

Tamiz	AASHTO T-27 (mm)	Peso Retenido	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% QUE PASA	Especificaciones		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
						Superior	Inferior		
3"	76.200	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%	Peso de Muestras	
2"	50.800	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%	Peso Total Seco (gr.)	1257.99
1½"	38.100	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%	Peso Despues de Lavar (gr.)	1168.49
1"	25.400	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	100.00%	100.00%	Perdida por Lavado (gr.)	89.50
3/4"	19.050	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	92.27%	100.00%	Datos Generales	
3/8"	9.525	28.85	2.29%	2.29%	97.71%	73.64%	100.00%	% de Gruesos	91.96%
N° 4	4.760	49.39	3.93%	6.22%	93.78%	55.00%	100.00%	% de Finos	8.04%
N° 10	2.000	105.85	8.41%	14.63%	85.37%	40.00%	100.00%	Total	100.00%
N° 20	0.840	406.35	32.30%	46.94%	53.06%	28.80%	71.99%	Fraciones de Grava, Arena y Finos	
N° 40	0.425	265.96	21.14%	68.08%	31.92%	20.00%	50.00%	% de Grava (Ret. Tamiz N° 4)	6.22%
N° 60	0.260	128.83	10.24%	78.32%	21.68%	16.03%	41.50%	% de Arena (Pasa N° 4 y Ret. N° 200)	85.74%
N° 140	0.106	140.07	11.13%	89.45%	10.55%	8.79%	25.98%	% de Finos (Pasa Tamiz N° 200)	8.04%
N° 200	0.075	31.55	2.51%	91.96%	8.04%	6.00%	20.00%	% que pasa el tamiz N° 10	85.37%
< N° 200	Cazuela	12.87	1.02%	100.00%	-			% que pasa el tamiz N° 40	31.92%
Lavado	-	89.5	7.11%	-	-			% que pasa el tamiz N° 200	8.04%
	Peso Total	1259.2	100.10%	Error*	-0.10%			Gradación	E

La variación entre el peso total y la suma de los pesos de las fracciones debe ser menor al 1% para cumplir con la precisión exigida por el MTC.



PARAMETROS GRANULOMÉTRICOS	
D60 = 1.012	Tamaño Máximo Absoluto: 3/4"
D30 = 0.388	Tamaño Máximo Nominal: 3/8"
D10 = 0.098	Cu = 10.30
	Cc = 1.51

	Thibus Consultoría & construcción S.R.L. LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) NORMA TÉCNICA: ASTM D-2487	Código del Proyecto: 4029-TH-SR-03 Form. Aprob. por: L.C.C. Fecha: 31/08/2019 Registro CP-50 Revisión N° 1 Rev. por: V.A.H.D. Fecha: 27/12/2024 V. Br 3.3
--	--	--

DATOS GENERALES		DATOS ESPECÍFICOS	
PROYECTO : "Evaluación geológico-geotécnico para la ubicación del relleno sanitario manual" SOLICITA : Bachs, Jhordan David Mamani Arque y Rubén Darío Peralta Correa UBICACIÓN : Chamaca - Chumbivilcas - Cusco	UBICACIÓN : Chamaca - Chumbivilcas - Cusco FECHA : viernes, 27 de Diciembre de 2024 HECHO POR : J.M.A. y R.P.C.	CALICATA : C-01 MUESTRA : E-01 PROFUNDIDAD : 2.00 m	

CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO		SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
SUELOS DE PARTÍCULAS GRESAS Más del 50% se retiene en la malla N° 200	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla N° 200	Cu ≥ 4 y 1 ≤ Cc ≤ 3	GW Grava bien gradada
		Cu < 4 ó 1 > Cc > 3	GP Grava mal gradada
	GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla N° 200	IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM Grava limosa
		IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC Grava arcillosa
	GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla N° 200	4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC - GM Grava arcillosa y limosa
		Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM Grava bien gradada con limo
	ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla N° 200	Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM	GW - GC Grava bien gradada con arcilla
		Cumple los criterios para GP y GM	GP - GM Grava mal gradada con limo
	ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla N° 200	Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GP - GC Grava mal gradada con arcilla
		Cu ≥ 6 y 1 ≤ Cc ≤ 3	SW Arena bien gradada
ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla N° 200	Cu < 6 ó 1 > Cc > 3	SP Arena mal gradada	
	IP < 4 ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM Arena limosa	
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla N° 200	IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC Arena arcillosa	
	4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC - SM Arena arcillosa y limosa	
LIMOS Y ARCILLAS El limite liquido es menor que 50	Cumple los criterios para SW y SM	SW - SM Arena bien gradada con limo	
	Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM	SW - SC Arena bien gradada con arcilla	
LIMOS Y ARCILLAS El limite liquido es 50 o mayor	Cumple los criterios para SP y SM	SP - SM Arena mal gradada con limo	
	Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SP - SC Arena mal gradada con arcilla	
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	IP < 4 o abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML Limo de baja plasticidad	
	IP > 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL Arcilla de baja plasticidad	
LIMOS Y ARCILLAS El limite liquido es mayor que 50	4 ≤ IP ≤ 7 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL - ML Arcilla limosa de baja plasticidad	
	IP < 4 o abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	OL Limo orgánico de baja plasticidad	
LIMOS Y ARCILLAS El limite liquido es mayor que 50	IP > 4 y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	OH Limo orgánico de alta plasticidad	
	Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH Limo de alta plasticidad	
LIMOS Y ARCILLAS El limite liquido es mayor que 50	Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH Arcilla de alta plasticidad	
	Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	OH Limo orgánico de alta plasticidad	
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	OH Limo orgánico de alta plasticidad	
	Principalmente materia orgánica de color oscuro	Pt Turba	

LA CLASIFICACIÓN SUCS DEL SUELO ES: SM Arena limosa con grava
Los equipos ideales de compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo son rodillo de neumáticos y rodillo de pata de cabra.

DATOS PARA CLASIFICACIÓN SUCS Tipo de Suelo : Inorgánico Tipo de Suelo : Granulometría : Gruesos : 84.29% Finos : 15.79% Total : 100.00% Grava : 17.84% Arena : 66.40% Total : 84.29% Fracción Gruesa : Grava : 21.18% Arena : 78.82% Total : 100.00% Coeficientes : Cu : N.P. Cc : N.P. Límites de consistencia : Lp : N.P. Ll : N.P. Ip : N.P. Lc ~ N.P.
--

GRÁFICOS DEL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS) ASTM D-2487

CARTA DE PLASTICIDAD DE CASAGRANDE PARA SUELOS FINOS

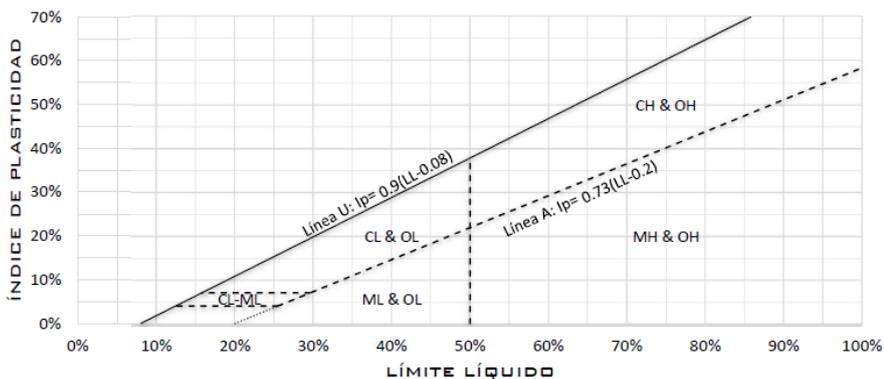


DIAGRAMA DE GRADACIÓN DE SUELOS GRUESOS

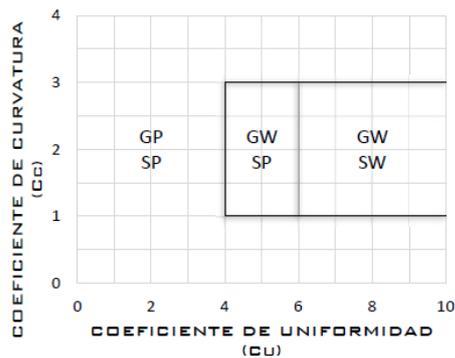
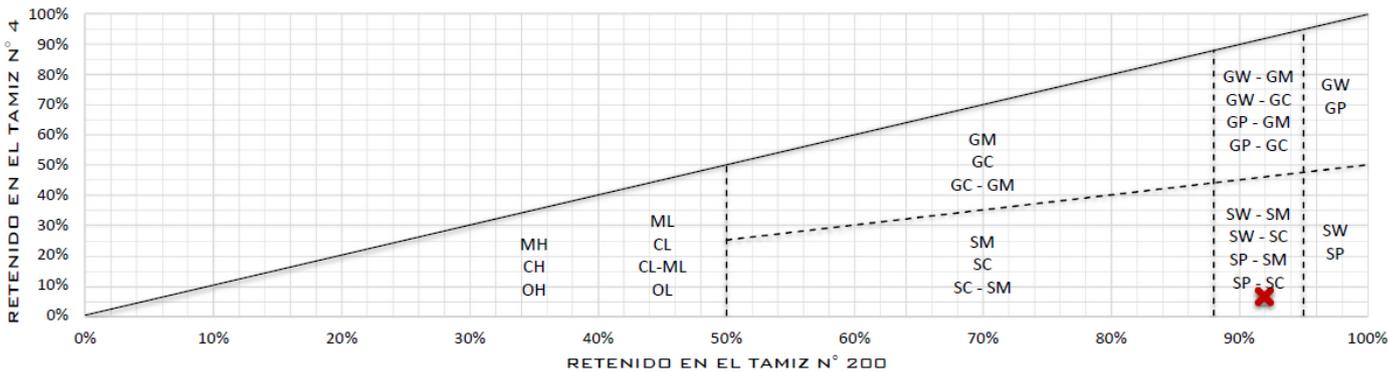


DIAGRAMA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS DEL SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS



CLASIFICACIÓN SUCS

SW - SM

Arena bien gradada con limo

Los equipos ideales de compactación que recomienda la ASTM para este tipo de suelo son tractor tipo oruga, rodillo de neumáticos y rodillo de pata de cabra.

	Thibus Consultoría & construcción S.R.L.	Código del Proyecto:	4029-TH-SR-01
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO	Form. Aprob. por:	L.C.C.
	PROCTOR MODIFICADO	Fecha:	31/08/2019
	NORMAS TÉCNICAS: MTC E 115, NTP 339.141 y ASTM D 1557	Registro RP:	317
	V. Br 3.3	Revisión N°:	0
		Rev. por:	V.A.H.D.
		Fecha:	16/07/2024

DATOS GENERALES

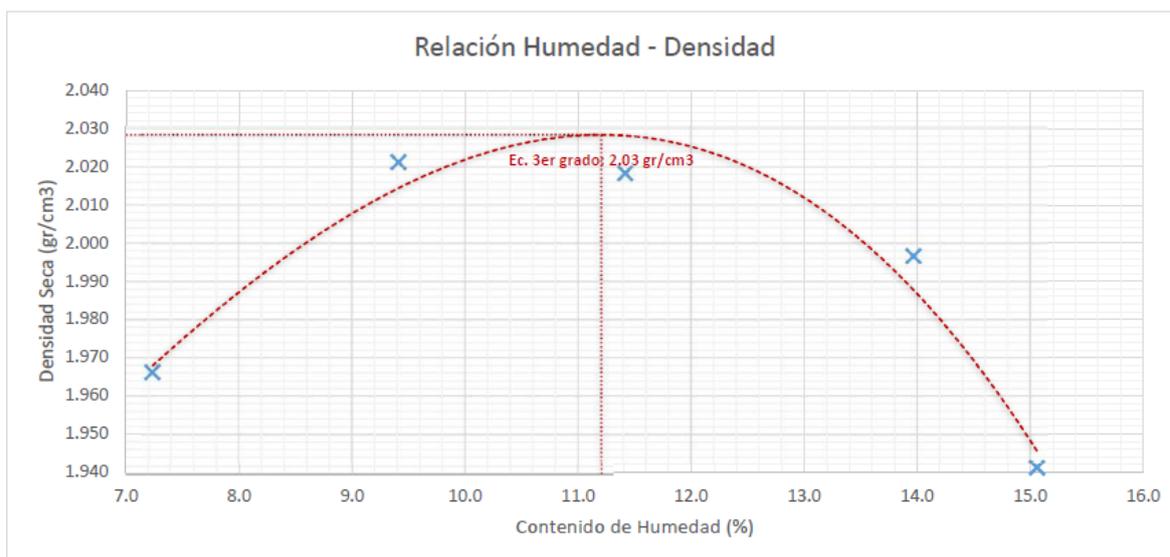
PROYECTO : "Evaluación geológico-geotécnico para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca,
SOLICITA : Bachs. Jhordan David Mamani Arque y Rubén Dario Peralta Correa
UBICACIÓN : Chamaca - Chumbivilcas - Cusco

DATOS ESPECÍFICOS

UBICACIÓN : Chamaca - Chumbivilcas - Cusco **MUESTRA** : E-01
FECHA : viernes, 5 de Julio de 2024 **PROFUNDIDAD** : -
HECHO POR : V.A.H.D. y J.H.H.D **CALICATA** : C-01

ENSAYO	M1	M2	M3	M4	M5
Número de Capas (gr.)	5				
Golpes por Capa (gr.)	25	25	25	25	25
Número de Molde	1229	1229	1229	1229	1229
Peso del Molde (gr.)	3581	3581	3581	3581	3581
Peso del Molde + Suelo Húmedo (gr.)	5544.0	5639.9	5674.6	5699.5	5660.4
Peso del Suelo Húmedo Compactado (gr.)	1963	2058.9	2093.6	2118.5	2079.4
Volumen del Molde (cm ³)	931	931	931	931	931
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	2.108	2.211	2.249	2.276	2.234

Peso del Contenedor (gr.)	70.98	81.95	59.72	43.62	46.91	46.97	46.98	46.76	55.58	56.00
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	965.7	947.9	1018.8	1044.3	871.5	1026.3	918.8	930.7	1137.07	1289.92
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	905.0	889.8	935.9	958.5	786.9	926.1	811.7	822.7	994.93	1129.12
Peso del Agua (gr.)	60.7	58.1	82.8	85.7	84.6	100.2	107.1	108.0	142.1	160.8
Peso del Suelo Seco (gr.)	834.0	807.9	876.2	914.9	740.0	879.1	764.7	775.9	939.4	1073.1
Contenido de Agua (%)	7.3	7.2	9.5	9.4	11.4	11.4	14.0	13.9	15.1	15.0
Contenido de Agua Promedio (%)	7.233		9.412		11.417		13.966		15.058	
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.966		2.021		2.018		1.997		1.941	



	% Retenido	G.E.
T. Máx. < N° 4		2.187
N° 4 < T. Máx. < 3/4"		
T. Máx. > 3/4"		
T. Máx. < 3/4"		2.051

Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	2.028
Densidad Húmeda Máxima (gr/cm ³)	2.256
Contenido de Humedad Óptima (%)	11.21

	Código del Proyecto:	4029-TH-SR-01
	THIBUS	
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO	
	CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL DE UN SUELO	
	NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108 y ASTM D 2216	
	V. Br 3.3	Form. Aprob. por: L.C.C. Fecha: 31/08/2019 Registro CP-317 Revisión N° 0 Rev. por: V.A.H.D. Fecha: 16/07/2024

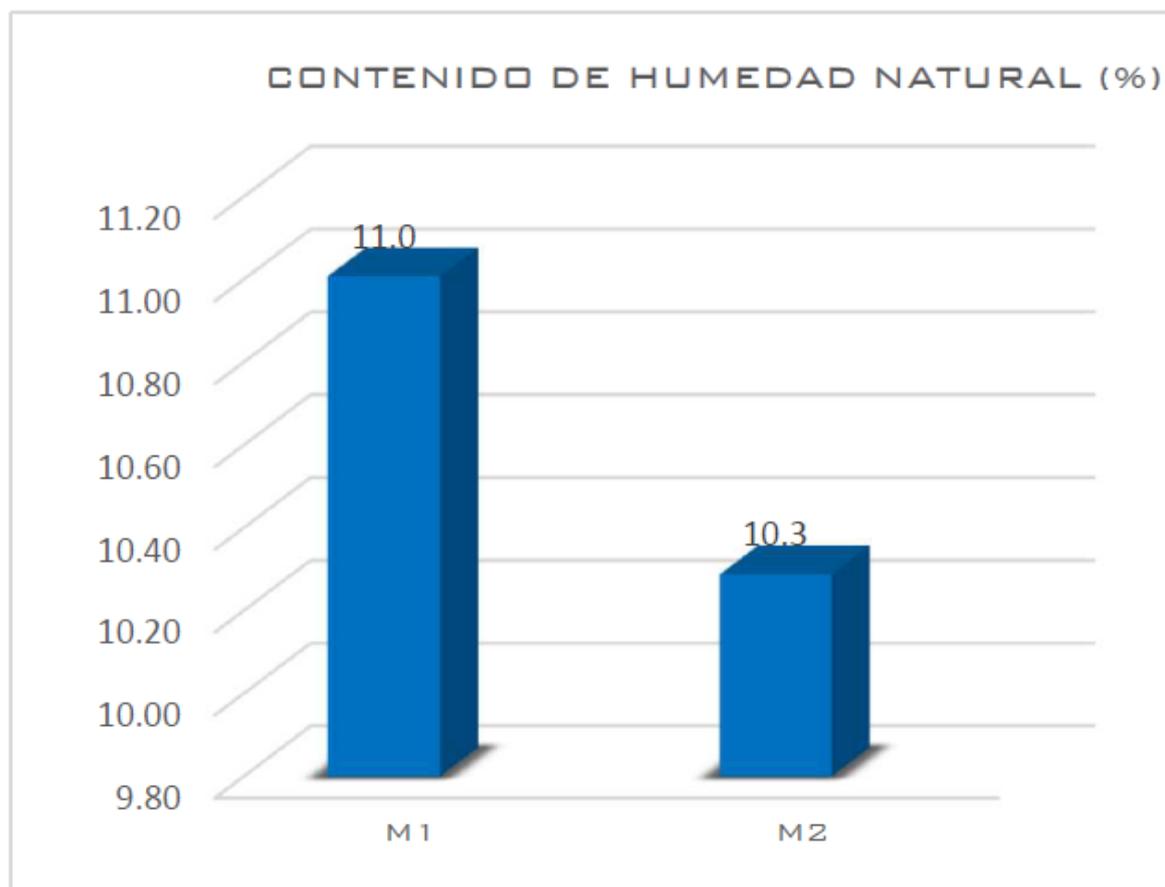
DATOS GENERALES

PROYECTO : "Evaluación geológico-geotécnico para la ubicación del relleno sanitario manual en
SOLICITA : Bachs. Jhordan David Mamani Arque y Rubén Dario Peralta Correa
UBICACIÓN : Chamaca - Chumbivilcas - Cusco

DATOS ESPECÍFICOS

UBICACIÓN : Chamaca - Chumbivilcas - Cusco **CALICATA** : C-1
FECHA : lunes, 8 de Julio de 2024 **MUESTRA** : E-01
HECHO POR : J.A.S.D. y M.L.I.M **PROFUNDIDAD** : -

MUESTRA	C.H. ANTES DEL ENSAYO	C.H. DESPUES DEL ENSAYO	
Peso del Contenedor (gr.)	58.03	56.52	
Peso del Contenedor + Suelo Húmedo (gr.)	674.91	727.27	
Peso del Contenedor + Suelo Seco (gr.)	613.74	664.70	
Peso del Agua (gr.)	61.17	62.57	
Peso del Suelo Seco (gr.)	555.71	608.18	
Contenido de Humedad (%)	11.01	10.29	



	Código del Proyecto:	4029-TH-SR-01
	THIBUS	
	LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, GEOMECÁNICA DE SUELOS Y CONCRETO	
	GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL SUELO	
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 113, NTP 339.131 y ASTM D 854		V. Br 3.3
		Form. Aprob. por: L.C.C.
		Fecha: 31/08/2019
		Registro CP-317
		Revisión N° 0
		Rev. por: V.A.H.D.
		Fecha: 16/07/2024

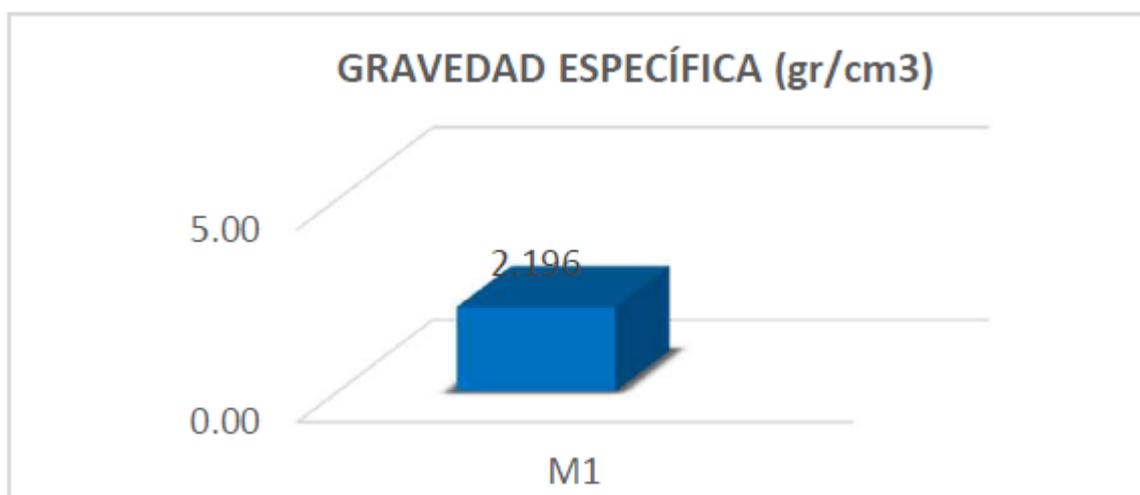
DATOS GENERALES

PROYECTO : "Evaluación geológico-geotécnico para la ubicación del relleno sanitario
SOLICITA : Bachs. Jhordan David Mamani Arque y Rubén Dario Peralta Correa
UBICACIÓN : Chamaca - Chumbivilcas - Cusco

DATOS ESPECÍFICOS

UBICACIÓN : Chamaca - Chumbivilcas - Cusco **CALICATA** : C-1
FECHA : martes, 9 de Julio de 2024 **MUESTRA** : E-01
HECHO POR : J.A.S.D. y M.L.I.M **PROFUNDIDAD** : -

MUESTRA	M1	M2
Número de Picnómetro	2	
Volumen del Picnómetro (ml)	500	
Peso del Contenedor (gr.)	79.21	
Peso del Contenedor + Muestra Seca (gr.)	175.09	
Peso de la Muestra Seca (gr.)	95.88	
Peso del Picnómetro + Agua + Muestra (gr)	741.98	
Temperatura del Agua (°C)	17.7	
Peso del Picnómetro + Agua (gr.)	689.79	
Peso de la Muestra Sumergida (gr.)	52.19	
Peso del Agua Desplazada (gr.)	43.69	
Gravedad Específica a Temperatura de Ensayo (gr./cm ³)	2.195	
Factor de corrección por Temperatura	1.00045	
Peso Específico (gr./cm ³)	2.196	



Gravedad Específica Promedio (gr./cm³)	2.196
--	--------------

	THIBUS LABORATORIO	Código del Proyecto: 4028-TH-SR-03
	PERMEABILIDAD CON CABEZA CONSTANTE	Form. Aprob. por: L.C.C.
	NORMA TECNICA: ASTM D2434-22	mares, 6 de Setiembre de 2022
		Registro CP-50
		Digitado por: J.S.D.
		Fecha: 27/12/2024

DATOS GENERALES

PROYECTO	: Evaluación geológico-geotécnico para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, Chumbivilcas, Cusco, 2023
SOLICITA	: Bachs. Jhordan David Mamani Arque y Rubén Dario Peralta Correa
UBICACIÓN	: Chamaca - Chumbivilcas - Cusco.

DATOS ESPECÍFICOS

UBICACIÓN	: Chamaca	MUESTRA	: M-1
PUNTO	: P-01	PROFUNDIDAD	: -

Dimensiones de la Muestra		
N° Permeámetro	: 1	
Diámetro	: 15.27	cm
Altura de Muestra (L)	: 11.63	cm
Area de Muestra (A)	: 183.13	cm ²
Volumen	: 2130.45	cm ³

Densidad muestra inicial	
Peso Inicial de suelo + Molde:	10040 gr
Peso molde compactación:	6664 gr
Peso de la muestra inicial:	3376 gr
Peso Unitario inicial:	1.585 gr/cm ³
Contenido de humedad:	0.64%
Peso unitario seco	1.575 gr/cm ³

PERMEABILIDAD CON CABEZA CONSTANTE DE MUESTRA Y EQUIPO		
Permeabilidad Medida Promedio:	4.13E-04	cm/s
Permeabilidad promedio corregida a 20° C:	4.81E-04	cm/s

Condiciones de saturación final	
Gravedad específica de sólidos:	2.196
Contenido de humedad:	25.51%
Relación de vacíos:	70.20%
Saturación:	97.4%

PERMEABILIDAD CON CABEZA CONSTANTE DE SUELO		
Permeabilidad promedio corregida a 20° C:	4.04E-04	cm/s

Procedimiento de Análisis

Test. Nro	Alturas Piezométricas (cm)		Cabeza, h=(H1-H2) (cm)	Volumen Q (cm ³)	Tiempo "t" (s)	Q/At	h/L	Temperatura, °C	k cm/s	(Corrección por temperatura) K (cm/s)
	H1	H2								
1	185.0	0	185.00	449.23	361.00	0.006795	15.902579	11	0.000427	0.000546
	185.0	0	185.00	431.20	361.00	0.006522	15.902579	11	0.000410	0.000524
	185.0	0	185.00	426.04	361.00	0.006444	15.902579	11	0.000405	0.000518
2	162.5	0	162.50	382.64	360.00	0.005804	13.968481	12	0.000415	0.000515
	162.5	0	162.50	385.99	360.00	0.005855	13.968481	12	0.000419	0.000519
	162.5	0	162.50	394.66	360.00	0.005986	13.968481	12	0.000429	0.000531
3	128.0	0	128.00	526.22	600.00	0.004789	11.002865	14	0.000435	0.000512
	128.0	0	128.00	521.49	600.00	0.004746	11.002865	14	0.000431	0.000507
	128.0	0	128.00	522.56	601.00	0.004748	11.002865	14	0.000432	0.000507
4	80.0	0	80.00	311.60	600.00	0.002836	6.876791	16	0.000412	0.000459
	80.0	0	80.00	310.95	607.15	0.002797	6.876791	16	0.000407	0.000453
	80.0	0	80.00	301.45	600.00	0.002743	6.876791	16	0.000399	0.000444
5	127.4	0	127.40	8.49	15.00	0.003091	10.951289	16	0.000282	0.000313
	127.4	0	127.40	24.38	30.00	0.004437	10.951289	16	0.000405	0.000449
	127.4	0	127.40	53.95	60.00	0.004910	10.951289	16	0.000448	0.000496
	127.4	0	127.40	108.59	120.00	0.004942	10.951289	16	0.000451	0.000500
	127.4	0	127.40	212.99	240.00	0.004846	10.951289	16	0.000443	0.000490
	127.4	0	127.40	410.60	480.00	0.004671	10.951289	16	0.000427	0.000472
	127.4	0	127.40	737.38	900.00	0.004474	10.951289	16	0.000409	0.000452
	127.4	0	127.40	1375.16	1800.00	0.004172	10.951289	16	0.000381	0.000422

CAPACIDAD ADMISIBLE DE SUELOS

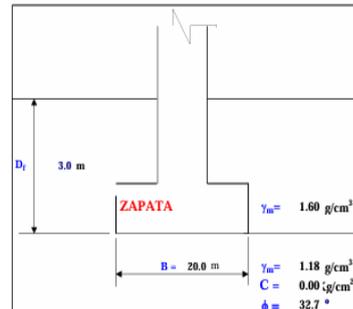
CÓDIGO: 1378-AL-SR-01
 PROYECTO: Evaluación geológico-geotécnica para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, Chumbivilcas, Cusco, 2023
 SOLICITANTE: Jhordan David Mamani Arque y Rubén Darío Peralta Correa
 CALICATA: C-01
 UBICACIÓN: distrito de Chamaca, Chumbivilcas, Cusco
 ESTRATO: E-01

ARCHIVO N° :
 REALIZADO : V.A.H.D.
 REVISADO : B.C.H.C.
 FECHA : 15/01/2025

Evaluación geológico-geotécnica para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, Chumbivilcas, Cusco, 2023

CAPACIDAD ADMISIBLE POR RESISTENCIA

		Cimentación : L/B=1.00					Cimentación : L/B=2.50					Cimentación : L/B=5.00				
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cohesión no drenada	c_{ui}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Angulo de fricción	ϕ	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65	32.65
Peso unitario del suelo sobre el nivel d	γ_m	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60	1.60
Peso unitario del suelo bajo el nivel de	γ_m	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18	1.18
Ancho de la cimentación	B	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00
Largo de la cimentación	L	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	50.00	62.50	75.00	87.50	100.00	100.00	125.00	150.00	175.00	200.00
Profundidad de la cimentación	D_f	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Factor de seguridad	FS	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Capacidad última de carga	q_{ult}	56.23	65.81	75.43	85.06	91.54	47.77	55.92	64.09	72.27	80.46	44.96	52.62	60.31	68.01	75.72
Capacidad admisible de carga	q_{adm}	18.74	21.94	25.14	28.35	30.51	15.92	18.64	21.36	24.09	26.82	14.99	17.54	20.10	22.67	25.24



$$q_{u1} = c N_c s_c e_i c_i + c_f N_q s_q e_f q_i q_f + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma s_\gamma e_\gamma \gamma_i \gamma_f$$

CAPACIDAD ADMISIBLE POR ASENTAMIENTO

		18.74	21.94	25.14	28.35	30.51	15.92	18.64	21.36	24.09	26.82	14.99	17.54	20.10	22.67	25.24
Presión por carga admisible	q_{adm}	18.74	21.94	25.14	28.35	30.51	15.92	18.64	21.36	24.09	26.82	14.99	17.54	20.10	22.67	25.24
Relación de Poisson	μ	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Módulo de Elasticidad	E_s	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9	254.9
Asentamiento permisible	S_i	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56
Ancho de la cimentación	B	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0
Factor de forma	I_f	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	1.42	1.42	1.42	1.42	1.42	1.84	1.84	1.84	1.84	1.84

		0.178	0.222	0.267	0.311	0.356	0.178	0.222	0.267	0.311	0.356	0.178	0.222	0.267	0.311	0.356
Asentamiento	S_i	0.178	0.222	0.267	0.311	0.356	0.178	0.222	0.267	0.311	0.356	0.178	0.222	0.267	0.311	0.356
Asentamiento	S_f	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56

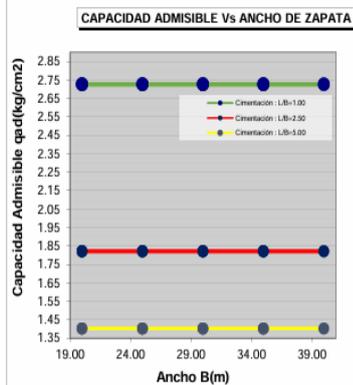
		18.74	21.94	25.14	28.35	30.51	15.92	18.64	21.36	24.09	26.82	14.99	17.54	20.10	22.67	25.24
Presión por carga	q_{adm}	18.74	21.94	25.14	28.35	30.51	15.92	18.64	21.36	24.09	26.82	14.99	17.54	20.10	22.67	25.24
	S_i (cm)	122.23	178.84	245.96	323.59	398.02	155.47	227.48	312.86	411.61	523.74	190.06	278.08	382.45	503.17	640.24
		Superior														

		2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
Presión de carga asumida por asentam	q_{adm}	2.73	2.73	2.73	2.73	2.73	1.82	1.82	1.82	1.82	1.82	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
	S_i (cm)	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56	17.78	22.22	26.67	31.11	35.56
		Superior	OK!													

$$S_i = \frac{qB(1-\mu^2)}{E_s} I_f \quad I_f = \sqrt{\frac{L}{\beta_s}}$$

Observación : Se ha considerado un empotramiento de cimiento corrido de: 3.0 m
 Se ha considerado una cimiento corrido Flexible

Evaluación geológico-geotécnica para la ubicación del relleno sanitario manual en el distrito de Chamaca, Chumbivilcas, Cusco, 2023



Anexo 7:

Hoja de cálculos de dimensionamiento del relleno sanitario

VIDA UTIL	AÑO	POBLACIÓN HAB.		GPC	
		1	2	Kg/Hab./Día	
0	2023	6351		0.331	
1	2024	6482		0.334	
2	2025	6483		0.338	
3	2026	6485		0.341	
4	2027	6486		0.344	
5	2028	6487		0.348	
6	2029	6489		0.351	
7	2030	6490		0.355	
8	2031	6491		0.358	
9	2032	6493		0.362	
10	2033	6494		0.366	
11	2034	6495		0.369	
12	2035	6497		0.373	
13	2036	6498		0.377	
14	2037	6499		0.380	
15	2038	6501		0.384	
16	2039	6502		0.388	
17	2040	6503		0.392	
18	2041	6505		0.396	
19	2042	6506		0.400	
20	2043	6507		0.404	
21	2044	6509		0.408	
22	2045	6510		0.412	
23	2046	6511		0.416	
24	2047	6513		0.420	
25	2048	6514		0.424	

$P_t = P_0 \times \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$

r = 0,02%

Pt = Población en el año que se quiere estimar

P0 = Población en el año inicial o base para el cálculo

n = Número de años entre el año base y el año t

R = 0,006%

VIDA UTIL	AÑO	POBLACIÓN HAB.		PPC	
		1	2	Kg/Hab./Día	
-6	2017	6244			
-5	2018	6671			
-4	2019	6596		0.331	
-3	2020	6503		0.326	
-2	2021	6445		0.323	
-1	2022	6399		0.321	

1.01

PPC₀ = 0.331 kg/hab-día

PPC₁ = PPC₀ + 1 %

PPC₁ = 0.331 kg/hab-día * 1.01 = 0.877 kg/hab-día

RSM (día) = ppc * p. donde:

RSM (ANUAL) = 365

RSM (día) = Producción de residuos sólidos por día (Kg)

ppc = Producción per cápita (Kg/hab-día)

p = Población total (hab)

/T = 1000

AÑO	CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS			Habitantes	GPC
	Diaria (Kg) (3)	Annual T (4)	Annual Acumulada T (5)		
0	2102.181	767.296	767.296	6351.000	0.331
1	2166.997	790.954	1558.250	6482.000	0.334
2	2189.119	799.028	2357.278	6483.337	0.338
3	2211.466	807.185	3164.464	6484.674	0.341
4	2234.041	815.425	3979.889	6486.012	0.344
5	2256.847	823.749	4803.638	6487.350	0.348
6	2279.886	832.158	5635.796	6488.688	0.351
7	2303.160	840.653	6476.450	6490.026	0.355
8	2326.671	849.235	7325.685	6491.365	0.358
9	2350.423	857.904	8183.589	6492.704	0.362
10	2374.416	866.662	9050.251	6494.043	0.366
11	2398.655	875.509	9925.760	6495.383	0.369
12	2423.142	884.447	10810.207	6496.722	0.373
13	2447.878	893.475	11703.682	6498.062	0.377
14	2472.867	902.596	12606.278	6499.403	0.380
15	2498.110	911.810	13518.089	6500.743	0.384
16	2523.612	921.118	14439.207	6502.084	0.388
17	2549.374	930.521	15369.729	6503.425	0.392
18	2575.399	940.020	16309.749	6504.767	0.396
19	2601.689	949.617	17259.366	6506.109	0.400
20	2628.248	959.311	18218.676	6507.451	0.404
21	2655.078	969.103	19187.780	6508.793	0.408
22	2682.182	978.996	20166.776	6510.135	0.412
23	2709.563	988.990	21155.766	6511.478	0.416
24	2737.223	999.086	22154.853	6512.821	0.420
25	2765.165	1009.285	23164.138	6514.165	0.424
	63463.392	23164.138			

VOLUMEN DE RESIDUOS SOLIDOS COMPACTADO			ESTABILIZADO	Diaria (Kg)	Anual (tn)
Diario m3	Anual m3	Anual m3		3	
6	7	8			
4.6715	1705.102	1395.084		2102.181	767.296
4.8155	1757.676	1438.098		2166.997	790.954
4.8647	1775.619	1452.779		2189.119	799.028
4.9144	1793.745	1467.609		2211.466	807.185
4.9645	1812.056	1482.591		2234.041	815.425
5.0152	1830.554	1497.726		2256.847	823.749
5.0664	1849.241	1513.015		2279.886	832.158
5.1181	1868.118	1528.461		2303.160	840.653
5.1704	1887.189	1544.064		2326.671	849.235
5.2232	1906.454	1559.826		2350.423	857.904
5.2765	1925.916	1575.749		2374.416	866.662
5.3303	1945.576	1591.835		2398.655	875.509
5.3848	1965.437	1608.085		2423.142	884.447
5.4397	1985.501	1624.501		2447.878	893.475
5.4953	2005.770	1641.084		2472.867	902.596
5.5514	2026.245	1657.837		2498.110	911.810
5.6080	2046.930	1674.761		2523.612	921.118
5.6653	2067.825	1691.857		2549.374	930.521
5.7231	2088.934	1709.128		2575.399	940.020
5.7815	2110.259	1726.576		2601.689	949.617
5.8406	2131.801	1744.201		2628.248	959.311
5.9002	2153.563	1762.006		2655.078	969.103
5.9604	2175.548	1779.993		2682.182	978.996
6.0213	2197.756	1798.164		2709.563	988.990
6.0827	2220.192	1816.521		2737.223	999.086
6.1448	2242.856	1835.064		2765.165	1009.285

El volumen diario de los residuos sólidos compactados se obtiene dividiendo la producción de residuos diaria entre la densidad de los residuos compactados, que para este caso, se considera 450 Kg/m³, según la fórmula siguiente:

$$\text{Vol. (día)} = \text{RSM (día)} / 450 \text{ Kg/m}^3, \text{ donde:}$$

Vol. (día) = Volumen diario de residuos sólidos compactados (m³)
RSM (día) = Producción de residuos sólidos por día (Kg)

En el caso del valor anual compactado se obtiene multiplicando el valor diario por 365 días, según la fórmula siguiente:

$$\text{Vol. (año)} = \text{Vol. (día)} * 365, \text{ donde:}$$

Vol. (año) = Volumen anual de residuos sólidos compactados (m³)
Vol. (día) = Volumen diario de residuos sólidos compactados (m³)

$$\text{Vol. (estabilizado)} = \text{RSM (año)} / 550 \text{ Kg/m}^3, \text{ donde:}$$

Vol. (estabilizado) = Volumen anual de residuos sólidos estabilizados (m³)
RSM (año) = Producción de residuos sólidos anual (Kg)

Al conformar las celdas de los residuos sólidos esta deben ser cubiertas, para lo cual se puede utilizar el material que se extrajo en el acondicionamiento de la zona, previa a la instalación del relleno; o material de zonas aledañas; corresponde fundamentalmente a tierra que permita una adecuada manipulación; esta cobertura incrementa el volumen de la celda; este incremento puede variar entre 20 a 25 %, pudiendo calcular el nuevo volumen con la siguiente fórmula

$$\text{Vol. (RS+MC)} = \text{Vol. (estabilizado)} * 1.2, \text{ donde:}$$

Vol. (RS+MC) = Volumen anual de residuos + material de cobertura (m³)
Vol. (estabilizado) = Volumen anual de residuos sólidos estabilizados (m³)

$$VRS = V_{\text{anual}} * MC(20\% + 1)$$

AÑO	VOLUMEN DEL RELLENO SANITARIO		ESTABILIZADO
	(RS+MC)	ACOMULADO	
	Anual	m3	
	9	10	8
0	1674.101	1674.101	1395.084
1	1725.718	3399.818	1438.098
2	1743.335	5143.153	1452.779
3	1761.131	6904.284	1467.609
4	1779.109	8683.394	1482.591
5	1797.271	10480.665	1497.726
6	1815.618	12296.283	1513.015
7	1834.153	14130.436	1528.461
8	1852.876	15983.312	1544.064
9	1871.791	17855.103	1559.826
10	1890.899	19746.002	1575.749
11	1910.202	21656.204	1591.835
12	1929.702	23585.906	1608.085
13	1949.401	25535.307	1624.501
14	1969.301	27504.608	1641.084
15	1989.404	29494.012	1657.837
16	2009.713	31503.725	1674.761
17	2030.229	33533.953	1691.857
18	2050.954	35584.907	1709.128
19	2071.891	37656.798	1726.576
20	2093.041	39749.839	1744.201
21	2114.408	41864.246	1762.006
22	2135.992	44000.239	1779.993
23	2157.797	46158.036	1798.164
24	2179.825	48337.860	1816.521
25	2202.077	50539.937	1835.064
	50539.937		

Vol. (RS+MC) = Vol. (estabilizado) * 1.2, donde:

Vol. (RS+MC) = Volumen anual de residuos + material de cobertura (m³)
Vol. (estabilizado) = Volumen anual de residuos sólidos estabilizados (m³)

Posteriormente se procede a hallar el valor de volumen de los residuos acumulados sumando los valores antes obtenidos año a año.

$$MC = V_{\text{anual compactado}} * (0,20 \text{ ó } 0,25), \text{ donde:}$$

MC = material de cobertura equivale al 20 a 25% del volumen de los desechos recién compactados.

AÑO	AREA TOTAL				$A_{RS} = \frac{V_{RS}}{h_{RS}}$	VOL. DE RS
	AR		Total	AT		
	Relleno Sanitario		AT	ACUMULADA		
	m2	ACUMULADO	m2	m2		
11	12	13	14			
0	334.820	334.820	401.784	435.266	V_{RS} = volumen de relleno sanitario (m ³ /año)	1674.101
1	345.144	679.964	414.172	849.438	A_{RS} = área por rellenar sucesivamente (m ²)	1725.718
2	348.667	1028.631	418.400	1267.839	h_{RS} = altura o profundidad media del relleno sanitario (m)	1743.335
3	352.226	1380.857	422.671	1690.510		1761.131
4	355.822	1736.679	426.986	2117.496		1779.109
5	359.454	2096.133	431.345	2548.841	$A_T = F \times A_{RS}$ [5-11]	1797.271
6	363.124	2459.257	435.748	2984.590	donde :	1815.618
7	366.831	2826.087	440.197	3424.786	A_T = Área total requerida (m ²)	1834.153
8	370.575	3196.662	444.690	3869.477	F = Factor de aumento del área adicional requerida para las vías de penetración, áreas de retiro a linderos, caseta para portería e instalaciones sanitarias, patio de maniobras, etc. Este es entre 20-40% del área que se deberá rellenar.	1852.876
9	374.358	3571.021	449.230	4318.707		1871.791
10	378.180	3949.200	453.816	4772.522		1890.899
11	382.040	4331.241	458.448	5230.971		1910.202
12	385.940	4717.181	463.128	5694.099	Hrs= 5m	1929.702
13	389.880	5107.061	467.856	6161.955	F= 20%	1949.401
14	393.860	5500.921	472.632	6634.588		1969.301
15	397.881	5898.802	477.457	7112.045		1989.404
16	401.943	6300.745	482.331	7594.376		2009.713
17	406.046	6706.791	487.255	8081.631		2030.229
18	410.191	7116.981	492.229	8573.860		2050.954
19	414.378	7531.359	497.254	9071.113		2071.891
20	418.608	7949.968	502.330	9573.443		2093.041
21	422.882	8372.849	507.458	10080.901		2114.408
22	427.198	8800.048	512.638	10593.539		2135.992
23	431.559	9231.607	517.871	11111.410		2157.797
24	435.965	9667.572	523.158	11634.568		2179.825
25	440.415	10107.987	528.498	12163.067		2202.077
	10107.987		12129.585			