

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**DISEÑOS DE FILTROS PARA MEJORAR LA PERMEABILIDAD DE  
UN MODELO FÍSICO DEL POZO DE ABSORCIÓN EN UN UBS DE  
SUELOS LIMO ARCILLOSOS DE DISTRITO QUINUA, AYACUCHO**

**TESIS**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR**

**Bach. GÓMEZ FARFAN, ALBERTH GONZALO**

**Bach. VERA NUÑEZ, CLAUDIA ROSSYCELA**

**ASESOR: Mg. Ing. TORRES CHUNG, CÉSAR**

**LIMA - PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

Dedico la presente investigación a mi familia, principalmente a mis padres, que fueron el soporte para completar mis estudios, esta tesis también está dedicada a la población rural del distrito de Quinua en Ayacucho, espero ayudar proporcionando la información de esta investigación.

Alberth Gonzalo Gómez Farfan

A mi familia quienes con su amor y apoyo incondicional han sido la más grande fuente de motivación para poder lograr grandes objetivos y por sus consejos que me ayudaron a tomar las decisiones correctas en momentos difíciles. A mis abuelitos que donde estén, esta investigación sea el motivo de una sonrisa infinita.

Claudia Rossycela Vera Nuñez

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a la Universidad Ricardo Palma, por habernos encaminado en nuestras carreras profesionales, enseñándonos valores y dándonos la capacidad de analizar y seguir adelante con esta investigación.

Alberth Gómez y Claudia Vera

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
ABSTRACT.....	II
INTRODUCCIÓN .....	III
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1. Formulación y delimitación del problema .....	1
1.1.1. Descripción de la problemática .....	1
1.1.2. Problema general.....	2
1.1.3. Problemas específicos .....	2
1.2. Importancia y justificación del estudio .....	2
1.2.1. Importancia del estudio .....	2
1.2.2. Justificación del estudio.....	3
1.3. Limitaciones del estudio .....	3
1.4. Objetivo general y específico.....	3
1.4.1. Objetivo general .....	3
1.4.2. Objetivo específico .....	4
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes de la investigación .....	5
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	5
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	6
2.2. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio .....	8
2.2.1. Propiedades del suelo .....	8
2.2.2. Clasificación de las partículas del suelo .....	8
2.2.3. Distribución granulométrica .....	10
2.2.4. Límites de Atterberg y plasticidad.....	12
2.2.5. Relaciones volumétricas y gravimétricas .....	14
2.2.6. Ley de Darcy.....	18
2.2.7. Permeabilidad .....	19
2.2.8. Test de percolación.....	19
2.2.9. Sistema de filtros por percolación .....	20

2.2.9.1. Criterios básicos por Terzaghi .....	20
2.2.10. Evolución de diseño de filtros granulares.....	21
2.2.10.1. Sherard (1963) .....	22
2.2.10.2. ICOLD (1994).....	22
2.2.10.3 USSCS (1994).....	23
2.2.11. Parámetros de diseño .....	24
2.2.11.1. Dotación .....	25
2.2.11.2. Caudal de agua residuales .....	25
2.2.12 Unidad básica de saneamiento (UBS). .....	25
2.2.12.1. Ladrillo artesanal .....	26
2.2.12.2. Pozo de Absorción o infiltración .....	27
2.3. Hipótesis .....	28
2.3.1. Hipótesis general .....	28
2.3.2. Hipótesis específica .....	28
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.....</b>	<b>29</b>
3.1. Tipo y nivel de investigación .....	29
3.2. Población de estudio .....	29
3.3. Diseño muestral .....	30
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	30
3.5. Procedimiento para la recolección de datos.....	30
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	31
3.7. Variables .....	31
3.7.1. Variables independientes.....	31
3.7.2. Variables dependientes .....	31
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE FILTRACIONES DEL SISTEMA BÁSICO DE SANEAMIENTO EN UN SUELO LIMO ARCILLOSO DEL DISTRITO DE QUINUA .....</b>	<b>32</b>
4.1. Ubicación de la zona de estudio .....	32
4.2. Geología y geotecnia de la zona de desarrollo de la investigación .....	33
4.2.1. Antecedentes Geológicos .....	34
4.2.2. Geología general.....	37
4.2.3. Riesgos naturales .....	37

4.2.4. Gran Paisaje Montañoso .....	38
4.3. Estratigrafía.....	39
4.3.1. Estratigrafía regional .....	39
4.3.2. Condiciones climáticas .....	39
4.4. Geología local .....	40
4.4.1. Geodinámica local .....	40
4.4.2. Sismicidad .....	41
4.5. Desarrollo del modelo físico de la investigación.....	43
4.5.1. Muestreo y registro de excavaciones.....	43
4.5.2. Cálculo de la capacidad admisible de carga .....	44
4.5.3. Perfiles estratigráficos .....	45
4.5.4. Capacidad admisible de carga .....	47
4.5.5. Agresión al mortero en los terrenos.....	47
4.5.6. Clasificación del material de excavación .....	48
4.5.7. Ubicación del pozo de absorción de la investigación.....	49
4.6. Capacidad de percolación de la zona .....	50
4.7. Propiedades de los materiales a utilizar en el pozo de absorción. ....	51
4.7.1. Ladrillo .....	51
4.7.2. Arcilla .....	52
4.7.3. Limo y arcilla.....	53
4.7.4. Mortero .....	54
4.7.5. Piedra de una y media pulgada .....	55
4.8. Dimensionamiento del pozo de absorción .....	55
4.8.1. Caudales de uso .....	55
4.8.2. Profundidad del pozo .....	56
4.8.3. Geometría del pozo de absorción. ....	57
4.9. Dimensionamiento del Sistema de Infiltración.....	58
4.10. Escenarios de Análisis. ....	63
4.10.1. Primer diseño de filtro a analizar en el modelo físico .....	63
4.10.2. Segundo diseño de filtro a analizar en el modelo físico .....	64
4.11. Ejecución del modelo físico.....	65
4.12. Análisis del pozo de absorción .....	68

<b>CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN EL MODELO FÍSICO DEL POZO DE ABSORCIÓN .....</b>	<b>69</b>
5.1. Resultados del análisis de filtraciones .....	69
5.1.1. Resultados de análisis de filtración del pozo sin filtro de grava .....	69
5.1.2. Resultados de análisis de filtración del pozo con filtro de una sola piedra ...	70
5.1.3. Resultados de análisis de filtración del pozo con filtro de dos capas.....	71
5.2. Contrastación de hipótesis .....	73
5.2.1. Contrastación con la hipótesis general .....	73
5.2.2. Contrastación con las Hipótesis específicas .....	73
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>76</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>777</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>79</b>
Anexo 1. Matriz de consistencia.....	79
Anexo 2. Carta de autorización.....	80
Anexo 3. Ensayo estándar de clasificación.....	81
Anexo 4. Record de excavación .....	82
Anexo 5. Límite plástico y límite líquido .....	83
Anexo 6. Pozo con filtro mixto (50cm de piedra de 1 pulgada y 50cm de piedra de media pulgada) .....	84
Anexo 7. Llenado de pozo con piedra mixta .....	85
Anexo 8. Pozo con piedra uniforme (1 pulgada) .....	86
Anexo 9. marcado de ladrillo para registro de filtración .....	87
Anexo 10. Piedra de 1'' y ½'' utilizada.....	88
Anexo 11. Pozo terminado sin grava en los bordes ni en el centro .....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relaciones de vacíos para diferentes tipos de suelos .....	16
Tabla 2. Gravedad específica de sólidos .....	17
Tabla 3. Rangos de permeabilidad de suelos naturales .....	19
Tabla 4. Sistema de infiltración por clase de terreno y tiempo de infiltración.....	20
Tabla 5. Consumo de agua doméstico, dependiendo de su disposición.....	25
Tabla 6. Parámetros de zonificación de la zona de estudio .....	42
Tabla 7. Ubicación y profundidad de las exploraciones en la localidad Sayhuapata.....	44
Tabla 8. Ubicación y profundidad de las exploraciones en la localidad de Patasuyo “B” .	44
Tabla 9. Ubicación y profundidad de las exploraciones en la localidad de Paraccay.....	44
Tabla 10. Clasificación y tipo de suelo, calicatas de la localidad de Sayhuapata.....	45
Tabla 11. Parámetros geotécnicos, calicatas de la localidad de Sayhuapata .....	45
Tabla 12. Clasificación y tipo de suelo, calicatas de la localidad de Patasuyo “B” .....	46
Tabla 13. Parámetros geotécnicos, calicatas de la localidad de Patasuyo “B” .....	46
Tabla 14. Clasificación y tipo de suelo, calicatas de la localidad de Paraccay.....	46
Tabla 15. Parámetros geotécnicos, calicatas de la localidad de Paraccay.....	46
Tabla 16. Resultados de los ensayos químicos.....	48
Tabla 17. Clasificación de material: Localidad de Sayhuapata.....	48
Tabla 18. Clasificación de material: Localidad de Patasuyo “B” .....	49
Tabla 19. Clasificación de material: Localidad de Paraccay .....	49
Tabla 20. Parámetros geotécnicos de la calicata seleccionada.....	50
Tabla 21. Parámetros de infiltración.....	50
Tabla 22. Tabla de dotación por área geográfica.....	55
Tabla 23. Tabla de infiltración para el descenso de 1 cm.....	56
Tabla 24. Clasificación de suelo según USSCS.....	61
Tabla 25. Criterio de retención según USSCS.....	61
Tabla 26. Criterio de permeabilidad según USSCS.....	62
Tabla 27. Datos de campo del primer ensayo.....	69
Tabla 28. Datos de campo del segundo ensayo.....	71
Tabla 29. Datos de campo del segundo ensayo.....	72

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Carta de plasticidad adaptada. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.....	14
Figura 2. Relaciones gravimétricas y volumétricas.....	15
Figura 3. Ley de Darcy.....	19
Figura 4. Rango según Terzaghi para determinar la distribución de un filtro.....	21
Figura 5. Componentes del UBS.....	26
Figura 6. Detalles de pozo de absorción.....	27
Figura 7. Área geográfica donde se encuentra el modelo físico del pozo de absorción....	32
Figura 8. Distribución Geológica en el Departamento de Ayacucho.....	33
Figura 9. Distribución Geológica en el Departamento de Ayacucho.....	34
Figura 10. Zonas sísmicas del Perú.....	41
Figura 11. Parámetros del ladrillo utilizado.....	52
Figura 12. Tipo de suelo de la investigación.....	54
Figura 13. Piedra de una pulgada utilizada.....	55
Figura 14. Curva para determinar la capacidad de absorción del suelo.....	56
Figura 15. Geometría del pozo de absorción.....	58
Figura 16. Curva granulométrica del suelo base de la investigación.....	59
Figura 17. Curva granulométrica del suelo base reajustado.....	60
Figura 18. Curvas granulométricas para el suelo del filtro.....	63
Figura 19. Primer diseño del pozo de absorción a ensayar.....	64
Figura 20. Primer diseño del pozo de absorción a ensayar.....	65
Figura 21. Pozo excavado con el muro de ladrillo construido.....	65
Figura 22. Imagen de la medida de la piedra a la superficie.....	66
Figura 23. Saturado del pozo de absorción.....	67
Figura 24. Prueba de permeabilidad.....	66
Figura 25. Capacidad de absorción del primer ensayo.....	70
Figura 26. Capacidad de absorción del primer ensayo.....	71
Figura 27. Capacidad de absorción del primer ensayo.....	72

## RESUMEN

La presente tesis tuvo por finalidad diseñar y ejecutar dos tipos de filtros granulométricos para la baja permeabilidad de suelos limo arcillosos en unidades básicas de saneamiento (UBS), a base de los estudios de campo realizados de las propiedades del suelo y la cantidad de agua consumida en cada vivienda en el distrito de Quinua, departamento de Ayacucho.

Con los estudios de campo realizados previamente (propiedades geotécnicas) se determinó el estado actual y calidad del suelo (Tipo de suelo, granulometría, LL, LP, IP y porcentaje de humedad natural). Se realizaron dos diseños de filtros para el pozo de absorción según el criterio para la distribución granulométrica de filtros del servicio de conservación de suelo de Estados Unidos (USSCS). Luego se ejecutó el modelo físico de tales diseños en un área con las propiedades físicas requeridas por esta investigación, se determinó un coeficiente de infiltración de 40.

Teniendo en cuenta el tipo y las características del suelo, se diseñó la posible solución de permeabilidad para este caso. Usando los criterios de USSCS y Terzaghi y los lineamientos de la Norma Técnica de Diseño dada por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento se determinó un pozo percolador de 2.10 metros de altura, 1.00 m de diámetro y con una altura de 1.00 metro de filtro granulométrico.

Luego, se realizó el registro de tiempo de infiltración en los tres ensayos elaborados, los que fueron: prueba de infiltración al pozo de absorción en estado natural, filtro de grava de 1 pulgada ( $h=1.00$  m) y filtro de grava de 1 y  $\frac{1}{2}$  pulgada ( $h=1.00$  m).

Por último, se hizo la comparación de los registros realizados y se concluyó que los filtros diseñados mejoraron hasta un 75% la permeabilidad del pozo sin filtro.

**Palabras Claves:** Pozo de absorción, Filtración, Permeabilidad, Granulometría, Unidad Básica de Saneamiento, Suelo Limo Arcilloso.

## ABSTRACT

The purpose of this thesis was to design and execute two types of granulometric filters for the low permeability of silty clay soils in basic sanitation units (UBS), based on the field studies carried out on the properties of the soil and the amount of water consumed. in each house in the district of Quinua, department of Ayacucho.

With the field studies previously carried out (geotechnical properties) it determined the current state and quality of the soil (Type of soil, granulometry, LL, LP, IP and percentage of natural humidity). Two filter designs were made for the absorption well according to the criteria for the filter granulometric distribution of the United States Soil Conservation Service (USSCS). Then the physical model of such designs was executed in an area with the physical properties required by this investigation, an infiltration coefficient of 40 was determined.

Taking into account the type and characteristics of the soil, the possible permeability solution for this case was designed. Using the USSCS and Terzaghi criteria and the guidelines of the Technical Design Standard given by the Ministry of Housing, Construction and Sanitation, a percolator well 2.10 meters high, 1.00 m in diameter and with a filter height of 1.00 meters was determined granulometric.

Then, the infiltration time was recorded in the three elaborated tests, which were: infiltration test to the absorption well in natural state, 1-inch gravel filter ( $h = 1.00\text{m}$ ) and 1-inch gravel filter  $\frac{1}{2}$  inch ( $h = 1.00\text{ m}$ ).

Finally, a comparison of the records was made and it was concluded that the designed filters improved the permeability of the well without a filter by up to 75%.

**Keywords:** Absorption well, Filtration, Permeability, Granulometry, Basic Sanitation Unit, Silt Clay Soil.

## INTRODUCCIÓN

Actualmente, las poblaciones rurales en su mayoría no cuentan con servicios básicos como es el de luz, agua potable y saneamiento, los cuales son necesarios para contar con una mejor calidad de vida. Como solución a la falta de servicios de saneamiento, se realiza la construcción de la unidad básica del mismo, el cual cuenta en su composición con un pozo de absorción, que se encargará de recepcionar los residuos líquidos provenientes del baño y lavadero. La absorción dependerá de la capacidad de infiltración del suelo en el que esté ubicado. En esta tesis se tocará la solución de la baja permeabilidad en el pozo de absorción en suelos limo arcilloso mediante dos diseños de filtros granulométricos desarrollados en el distrito de Quinua, departamento de Ayacucho. Mediante estudios realizados con anterioridad, se identificaron los parámetros y propiedades del suelo con los que se procederá a realizar el diseño y ejecución del pozo de absorción, y así identificar su nueva permeabilidad.

En el capítulo I se describe la problemática de la presente investigación la cual es evaluar la permeabilidad del pozo de absorción en suelos limo arcillo, para realizar dos diseños de filtros granulométricos y posteriormente un control de tiempo y velocidad del líquido frente a los diseños ejecutados.

El capítulo II, presentamos el marco teórico, comprende los antecedentes y las bases teóricas de la investigación, definiciones conceptuales por el análisis de filtraciones en el pozo de absorción, formulación de la hipótesis, definición de variables y la definición de los términos básicos.

El capítulo III, presentamos el diseño metodológico, contiene el tipo y método de investigación, población y la muestra de estudio; donde se describen las técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.

El capítulo IV, presentamos la metodología para el análisis de filtraciones del sistema básico de saneamiento en un suelo limo arcilloso para el distrito de Quinua, comprende la descripción geológica-geotécnica del sitio, los criterios empleados para el análisis de diseño de filtro granulométricos y el desarrollo de la ejecución del modelo físico de la investigación.

El capítulo V, denominada presentación de los resultados, trata de la presentación de los resultados por los escenarios planteados en cada diseño; así como la interpretación de resultados, contrastación de hipótesis y discusión de los resultados.

Con la presente tesis se busca el aumentar la permeabilidad del pozo de absorción en los dos diseños de filtros granulométricos, considerando escenarios en la ejecución del modelo físico que permitan evaluar el tiempo y velocidad del flujo dentro del sistema construido.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

## **1.1. Formulación y delimitación del problema**

### **1.1.1. Descripción de la problemática**

En la actualidad se ve un sustancial aumento de enfermedades en varios países de América Latina por falta de servicios sanitarios, tal como la Organización mundial de la salud indica en su nota descriptiva sobre enfermedades diarreicas del año 2017, en todo el mundo se producen unos 1700 millones de casos de enfermedades diarreicas infantiles cada año y aclara que una proporción significativa de estas enfermedades se puede prevenir mediante el acceso al agua potable y a servicios adecuados de saneamiento e higiene, es por eso que en zonas rurales se hace necesario la implementación de unidades básicas de saneamiento (UBS), ya que elevan la calidad de vida de la población que vive sin sistemas modernos de saneamiento y necesitan de estas para evitar enfermedades diarreicas como se indicó anteriormente.

En el Perú, según el Programa Integral de Agua y Saneamiento Rural (PIASAR, 2020) del PNSR, tiene como objetivo atender a las poblaciones más necesitadas del ámbito rural con servicios de agua y saneamiento integrales, de calidad y sostenibilidad. Brindando Unidades Básicas de Saneamiento (inodoro, ducha, lavatorio, lavadero multiusos), agua de calidad, comunicación y educación sanitaria, fortaleciendo con capacitaciones en operación y mantenimiento. La función de este sistema termina con la absorción o desfogue de los líquidos residuales en el suelo (infiltración), donde el mayor o menor tiempo de este proceso depende de la capacidad permeable del suelo en la zona intervenida.

El departamento de Ayacucho cuenta con cinco tipos de suelos (roca, grava, limo, arena y arcilla) los cuales presentan diferentes propiedades, como es el caso del distrito de Quinua que tiene un suelo limo arcilloso. Según Garibay (2006) este terreno pertenece a la formación acuitardo que son estratos que permiten muy lentamente el paso del agua en su estructura, el cual hace que la no infiltración en dicho suelo sea una problemática para que los sistemas de

filtración cumplan con su objetivo final, esto por no existir estudios suficientes acerca del tema.

Teniendo en cuenta este problema se analizarán los filtros para ayudar en la percolación del agua sin dañar la estructura interna del suelo. El problema es parte también de la selección de filtros sin criterios técnicos adecuados, ya sea por el tipo de suelo o a la obra realizada, resultando un gasto innecesario, debido a que no cumplen con su objetivo final.

#### 1.1.2. Problema general

¿Qué diseños de filtros dentro de un modelo físico del pozo de absorción, mejorarán la permeabilidad en unidades básicas de saneamiento para un suelo limo arcilloso en el distrito de Quinua, Ayacucho?

#### 1.1.3. Problemas específicos

- ¿Qué diseños de filtros dentro de un modelo físico del pozo de absorción, reducirán el tiempo de infiltración en unidades básicas de saneamiento en un suelo limo arcilloso?
- ¿Qué diseños de filtros dentro de un modelo físico del pozo de absorción, mejorarán la velocidad de infiltración en unidades básicas de saneamiento en un suelo limo arcilloso?
- ¿Evaluando el mejoramiento de los diseños del filtro comprobaremos si mejoró la permeabilidad del pozo de absorción en una unidad básica de saneamiento?

### 1.2. Importancia y justificación del estudio

#### 1.2.1. Importancia del estudio

La importancia de esta investigación radica en la necesidad de analizar las partes problemáticas del suelo limo arcilloso de las unidades básicas de saneamiento para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la zona rural del distrito de Quinua, puesto que con buenos servicios de saneamiento se evitan o disminuyen diversas infecciones y contagio de enfermedades.

El analizar el tipo de suelo en estos sistemas es de suma importancia, ya que depende de sus propiedades el correcto funcionamiento de la unidad básica de saneamiento. En este caso el tipo de suelo es limo arcilloso es decir un suelo con muy poca filtración y encontrado en muchas zonas del Perú, he ahí la importancia de analizar la eficacia de dos sistemas de filtros para percolar los

líquidos resultantes de un USB en una zona con suelo limo arcilloso en el distrito de Quinua-Ayacucho.

Cumpliendo con los objetivos de la presente tesis, esta investigación intenta ser legajo de información de apoyo para próximos análisis en otras zonas con propiedades de suelo parecidas.

### 1.2.2. Justificación del estudio

#### a) Justificación teórica

Esta investigación contribuirá conocimientos acerca de la filtración en suelo limo arcilloso los cuales tendrán posibles soluciones para que dicho suelo se vuelva permeable y con ello cumpla su objetivo final para el sistema elaborado como por ejemplo la unidad básica de saneamiento en zonas rurales.

#### b) Justificación social

Garantizar la función adecuada del sistema de saneamiento para el sector rural, ya que con ello la población beneficiaria mejorará su calidad de vida para el cuidado de su salud.

#### c) Justificación económica

Esta investigación contribuirá en la realización de presupuestos destinados a la elaboración de proyectos referentes a las unidades básicas de saneamiento rural, para que se diseñe con el sistema correspondiente al tipo de suelo según la geografía de cada lugar.

### 1.3. Limitaciones del estudio

Las limitaciones que tendrá el desarrollo del proyecto serán los viajes a realizar al distrito de Quinua de la provincia de Huamanga, esto implica demanda de tiempo y de recursos en traslados, todo con el fin de recolectar la información de estratos de suelo, y realizar los sistemas de percolación in situ y en laboratorio necesario para cumplir con el objetivo.

### 1.4. Objetivo general y específico

#### 1.4.1. Objetivo general

Diseñar dos filtros dentro de un modelo físico del pozo de absorción en unidades básicas de saneamiento para la permeabilidad en un suelo limo arcilloso del distrito de Quinua, Ayacucho.

#### 1.4.2. Objetivo específico

- Diseñar dos filtros dentro de un modelo físico del pozo de absorción para medir el tiempo de infiltración en unidades básicas de saneamiento en un suelo limo arcilloso.
- Diseñar dos filtros dentro de un modelo físico del pozo de absorción para calcular la velocidad de infiltración en unidades básicas de saneamiento en un suelo limo arcilloso.
- Evaluar si los dos diseños del filtro mejorarán la permeabilidad del pozo de absorción de unidades básicas de saneamiento.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Nieto y Zambrano (2018) en su tesis “Análisis en laboratorio de la eficiencia de diferentes tipos de filtros para un suelo limo arcilloso de la ciudad de Cuenca”. Universidad de Cuenca. Tesis para obtener el título académico de Ingenieros Civiles tuvo como objetivo general examinar la reacción final de un tipo de suelo como el fino proveniente de la ciudad de Cuenca, juntando tres tipos de filtros (granular, geotextil y una combinación de estos). Determinando la capacidad para cumplir la función de cada tipo de filtro con relación a su capacidad correspondiente a los criterios de Terzaghi, los cuales opinan que para impedir la degradación de la estructura interna del suelo debe contarse con un filtro que cumpla dicha función. Analizando las propiedades físicas como granulometría, plasticidad, relaciones gravimétricas, volumétricas y permeabilidad con esto diseñando un filtro granular, un filtro geotextil y una combinación de ambos. Todo ello aplicándolo en un suelo base del cual se establecerá su permeabilidad y la migración de finos a distintos gradientes hidráulicos. Concluyendo que la aplicación de un geotextil como filtro ya sea combinado o por sí solo, accede al desplazamiento de arcillas y limos, en cambio al aplicar el filtro granular únicamente se da la migración de limos. Analizando la eficiencia de los filtros debe enfatizar dos aspectos, el primero con el filtro combinado el cual aprueba la permeabilidad y presenta una disminución del traslado de finos en un 65.31% con relación a un suelo base que no contenga finos, pero teniendo un mayor costo. Además, si se quiere garantizar la migración de finos de un 87.50%, se puede elegir un filtro granular, pero la permeabilidad se ve perjudicada en un 15% con relación al suelo base. Finalmente, se concluye que, para el tipo de suelo analizado, el filtro óptimo para su ejecución pertenece al tipo de filtro combinado, el cual garantiza la retención de finos cediendo el paso de agua a través de la estructura.

Gómez (2019) en su tesis “Comportamiento geotécnico de suelos arcillosos compactados, respuesta a cargas estáticas y dinámicas”. Universidad Complutense de Madrid. Tesis para el grado académico de Doctor tuvo como

objetivo estudiar las propiedades ingenieriles y procedimientos geotécnicos, acerca de suelos de tipo arcilloso que presentan alta plasticidad con un análisis de las propiedades del suelo, por ejemplo la deformabilidad (compresibilidad y asiento), permeabilidad, relación tensión-deformación, parámetros resistentes, mediante una serie de ensayos de laboratorio, concluyendo que el tipo de suelos arcilloso, no adecuados y rechazados para su uso como material de construcción, mediante el estudio de la micro fábrica de las AAG%. Además de la relación con la humedad de compactación correspondiente a la parte seca, estado de densidad máxima seca y lado húmedo de la humedad óptima, el cual permite crear una concordancia con su comportamiento geotécnico, estudiando también los comportamientos geotécnicos provenientes de las AGG con combinaciones mecánicas junto con material granular (AAG-arena %) el material incrementa sus propiedades ampliamente, no siendo todavía capaz para su aplicación en obras civiles. Pero, con la compactación y estabilización (AAG-arena 10% y AAG-arena 20%) con un 10% de material granular en la mezcla, las propiedades geotécnicas perfeccionan trascendentalmente y con el aumento del 20% de arena, provocan que el material sea apropiado para su uso.

#### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Miranda (2017) en su tesis tuvo como objetivo principal efectuar el diseño del mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable y unidades básicas de saneamiento en el Anexo de Alto Marañón ubicado en el departamento de Huánuco. El diseño se realizó bajo las condiciones de la norma vigente, el cual señala que parámetros se deben respetar para garantizar su funcionamiento y asegurar la vida útil programada, por otro lado, se realizó estudios de mecánica de suelo mediante calicatas para observar los diferentes estratos que presentaba el terreno. Esta investigación concluye que la zona intervenida cuenta en un gran porcentaje con suelo limo arcilloso de acuerdo a las calicatas de cielo abierto mediante la clasificación AASHTO y SUCS realizado en el terreno de Alto Marañón el cual será realizado con el sistema de zanjas de infiltración debido a que presenta una percolación lenta, dicho componente tendrá una longitud de 10 a 15 metros dependiendo de los habitantes que contenga cada vivienda, un ancho de 0.45 m a 0.90 m, además de ello la zanja deberá ser rellenada con grava gruesa de  $\varnothing$  2.5 cm. a 5.00 cm.

Valqui (2018) en su tesis tiene como objetivo principal señalar las características técnicas para el diseño del mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable por bombeo y saneamiento básico del caserío Iscoconga del distrito de Llacanora en el departamento de Cajamarca. Este estudio se realizó bajo los parámetros dado por el Reglamento Nacional de Edificaciones de las normas OS para obras de saneamiento, con el propósito de que este proyecto cumpla con la vida útil de 20 años, también se realizó estudios de mecánica de suelos para saber sus características físico-mecánicas. Esta investigación concluyó con la elaboración de pozos de absorción o infiltración para el sistema de UBS, donde estos fueron diseñados de forma cuadrada de 1.00 m<sup>2</sup> de área con profundidad de 1.20 m y rellena con material de distinta dimensión para que este ayude con la infiltración del agua por las paredes y por el fondo del pozo, tomaron este diseño dado que en el estudio de mecánica de suelos se tuvo la presencia de arcilla ligera arenosa con grava mediante SUCS y AASHTO.

Benito (2020) en su tesis “Influencia de las dimensiones de las zanjas para el diseño de infiltración, en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la localidad de Huayllay Grande – Angaraes - Huancavelica”. Universidad de Huancavelica. Tuvo como objetivo evaluar la capacidad de las zanjas de infiltración para aguas residuales en Huayllay Grande. Para este análisis se realizó estudios de suelo como son calicatas donde se hizo el test de percolación que consistió en hacer una excavación de 30 x 30 cm y controlar el tiempo que demoró en disminuir el agua este se dio en t/cm. Esta investigación tiene como conclusión elaborar zanjas de infiltración de 3 a 46 metros lineales la cual dependerá del tipo de suelo en el que se encuentra la vivienda, como tenemos el caso del suelo limo arcilloso el cual tiene una infiltración lenta ( $T_i = 3.5.00$  min/cm) y un coeficiente de infiltración  $72 R$  (L/m<sup>2</sup>/día), el cual es una información relevante para determinar que ese tipo de suelo es propicio para la ejecución de una zanja de infiltración, donde no existirá problemas con absorción del agua proveniente del biodigestor.

Escalante, Castañeda, Campos, Felices, Burgos (2020) en su tesis “Sistemas de precarga para suelos arcillosos saturados. Pontificia Universidad Católica del Perú. Trabajo de investigación para obtener el grado académico de Bachiller en ciencias con mención en Ingeniería civil. Tuvo como objetivo evaluar la

aplicabilidad, limitaciones, ventajas y desventajas de los distintos sistemas de precarga para acelerar la consolidación en suelos arcillosos. Para esto se recopiló y analizaron los distintos sistemas de precarga, realizando un análisis crítico de la aplicabilidad y limitaciones de cada uno analizar la efectividad del desempeño de los distintos sistemas en diversas obras de ingeniería y poner mediante cuadros comparativos las ventajas y desventajas de estos sistemas. En esa investigación se concluye que la diferencia fundamental entre los dos tipos de sistemas de precarga con vacío es por las limitaciones que existen cuando se tratan grandes áreas de terreno y el proceso constructivo, ambos sistemas han obtenido resultados similares en lo que respecta a asentamientos y grados de consolidación. Cuando se implementa un sistema combinado, el cual consiste en una precarga de material de relleno y el sistema con vacío, se reducen los desplazamientos laterales, ya que ambos sistemas generan desplazamientos laterales en direcciones opuestas. Estas 41 reducciones de desplazamientos reducen los esfuerzos de corte inducidos al suelo, por lo que reduce el riesgo de alguna inestabilidad.

## 2.2. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

### 2.2.1. Propiedades del suelo

La gran diversidad de suelos existentes es resultado que manejan una gran variedad de características, entre las que más se destacan son la forma, las tonalidades, textura, composición química, cantidad de agua que posee y muchas otras que se pueden analizar, propiedades que cuando se engloban dan como resultado una clasificación según modelos de los suelos en conjuntos con características parecidas. Actualmente el ordenamiento de un suelo según su clasificación está pautado por las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM) D 2487 (2000), esta norma prioriza la granulometría de las partículas y la capacidad que tiene el suelo a ser trabajado o moldeado y con esto necesario también partir de tener la información del contenido de agua del mismo.

### 2.2.2. Clasificación de las partículas del suelo

En referencia al tamaño de las partículas del suelo según el tamiz dado, el análisis de tamaños de partículas del estudio de una cantidad de suelos reside

en la separación y agrupación de las partículas de la muestra que son de un tamaño similar. Podemos mencionar dos métodos comúnmente utilizados:

- Análisis de partículas con diámetro mayor a 0.075 mm donde se utilizarán mallas.
- Análisis de partículas con diámetro menor a 0.075 mm donde se utilizará el hidrómetro.

El recojo de suelo como muestras según Torrijo y Cortés (2007) delimitan que las muestras son una parte del global característico de un suelo en donde es posible considerar propiedades similares todas o la mayoría. Estos se sacan para ser estudiados en laboratorios y así revelar todas sus propiedades.

- Muestra inalterada.
- Muestras sacadas del agua.
- Muestras alteradas.

Que tan grande o pequeña sean las partículas de suelo compone una de las primeras medidas a ser relevantes para la categorización de un tipo de suelo. Según González (2004) basándose en la normativa ASTM D 2487 (2000) existen los grupos que se detallan a continuación:

- Grava: Se determina grava cuando la muestra de suelo es zarandeada y es retenida en el tamiz número 4, pero antes dicha muestra si pasó el tamiz número 3. La grava es fácil de observar por no ser de un tamaño tan pequeño siendo esta una propiedad muy frecuente en este tipo de suelos. Las gravas tienen un volumen de vacíos muy grande, por eso, la superficie que posee hace pasar el agua por lo que no la retienen.
- Arena: Se determina arena cuando la muestra de suelo es zarandeada y es retenida en el tamiz número 200, pero antes dicha muestra si pasó el tamiz número 4. El porcentaje de volumen de vacíos es menor, pero igual el agua es difícil de separar de su composición.
- Limos: Se determina limos cuando la muestra de suelo pasa el tamiz número 200 y la trabajabilidad es mínima o nula. Este tipo de suelo también presenta una mínima cohesión natural cuando están expuestas al medio ambiente. Son considerados grano fino o realmente que están al final de la distribución de tamaño de grano fino. La capacidad que tiene este tipo de suelo a ser moldeado (índice de plasticidad) es menor a 4 o de la carta de plasticidad

pues sería de un punto por debajo de la línea A. El porcentaje de volumen de vacíos es mínimo es por eso que retienen el agua mejor que los tipos de suelos descritos anteriormente. Podría llegar a estancarse, pero con simples movimientos el agua sigue fluyendo.

- Arcillas: Se determina arcilla cuando la muestra de suelo pasa el tamiz número 200, pero tienen características adicionales, tales como la fuerza de cohesión que posee expuesta al ambiente, contenido de humedad establecido para un nivel de trabajabilidad. Son considerados granos muy finos que se encuentran por encima o por debajo de la línea A en la carta de plasticidad. Si el tamaño del diámetro es inferior a 0.002 mm recién se podría considerar arcilla (Das, 2004). En su composición normalmente los minerales silicatados aparecen en las arcillas. El contacto con el agua hace posible que el volumen aumente o disminuya dependiendo del porcentaje (saturada - seca). Las arcillas poseen una escasa o nula permeabilidad es por esto que los flujos no discurren fácilmente y genera problemas de consolidación o discurrimento de fluidos (González, 2004).

### 2.2.3. Distribución granulométrica

Se usa esta técnica porque engloba el enfoque numérico de la forma de agrupar las dimensiones de partícula en muestras de suelos. La agrupación en función a las dimensiones de las partículas de las muestras de suelo es retenida en su mayoría en el tamiz 200, el cual se determina mediante un tamizado. Se usará toda la muestra o parte de ella después del lavado, en el cálculo por tamices depende de las propiedades de los suelos finos. Si con solo la vista no se puede saber si necesita el lavado, se pondrá al horno para secar una muestra de suelo y luego medir su resistencia siendo esparcida o manipulada. Si al hacer el procedimiento anterior, la muestra de suelo fino se hace polvo entonces las pruebas en laboratorio son posibles de realizar sin antes lavarlo. Una vez puesta la muestra en los tamices, a esta se le tendrán que hacer movimientos verticales, laterales y circulares para lograr tener las partículas en movimiento y así pasar la muestra correctamente por los tamices. Para comprobar que se hizo bien el ensayo, se debe observar los tamices por separado y agitar una vez más durante un minuto, la muestra no debe pasar la malla. Si por el constante movimiento que se les da a los tamices partículas quedan atascadas entre los agujeros de la malla, se procederá a retirarlas con las cerdas de un cepillo y posteriormente

será agregado al tamiz de retención (Reyes, 2013). Una vez realizado el zarandeo y separado de tamices se deriva a realizar el peso del material retenido en los tamices, para evitar pérdida de material y por ende fallas en los estudios, la diferencia entre el peso inicial y la sumatoria de los pesos retenidos no debe ser mayor al 1%. Toda la información es registrada en formatos para su próximo estudio y gráfico de análisis granulométrico.

Si se enfocan en los parámetros viscosos o de densidad del agua se debe utilizar el ensayo hidrométrico. Para este ensayo se utilizó el hexametáfosfato de sodio que se utilizará como solución disgregadora que actúa separando todas las partículas de la muestra del suelo. Este método actúa de manera que se mide la densidad de la parte sólida en el bulbo del hidrómetro a una determinada altura, y con esto encontrando la cantidad de sedimentos sólidos. Con esta información se calcula en función de porcentajes las partículas finas de la muestra y con esto llenar la información para graficar la curva granulométrica y realizar el estudio adecuado.

Se suma pesos de los suelos donde se retiene y pasa el tamiz número 4, anotados en laboratorio para conseguir el peso total. Todos los datos del material que pasa o no por los tamices se anotan en una hoja de cálculo para calcular los siguientes datos:

El valor del peso que cada tamiz retiene.

1. El valor del peso que el tamiz número 4 deja pasar.

$$\text{Retenido (\%)} = (\text{PT} / \text{MTo}) * 100 \quad (1)$$

Donde:

PT = Porcentaje que queda retenido en cada tamiz en gramos.

MTo = Peso total de la muestra en gramos.

2. Ecuación para la cantidad de muestra de suelo que quedó retenido el tamiz número 4, es decir el tamiz de 4.75 mm:

$$\text{Retenido (\%)} = (\text{PT} / \text{MTo}) * 100 \quad (2)$$

Donde:

PT = Porcentaje que queda retenido en cada tamiz en gramos.

MTo = Peso total de la muestra en gramos.

3. Ecuación para la cantidad de muestra de suelo que pasó en el tamiz número 4, es decir el tamiz de 4.75 mm.

$$\text{Retenido (\%)} = (\text{PF} / \text{FrM}) * K' \quad (3)$$

Donde:

PF = Peso que queda retenido en cada fracción de tamices en gramos.

FrM = Parte de la muestra distintiva en gramos.

K' = Parte del suelo que pasó en el tamiz número 4 en porcentaje.

4. Procesamiento de datos en porcentaje que quedó retenido de forma acumulada: Se halla sumando los porcentajes de manera acumulativa del material retenido de un tamiz con el anterior.
5. Procesamiento de datos en porcentaje que pasó de forma acumulada: Se halla restando el porcentaje que quedó retenido en todos los tamices, es decir el 100%. El ensayo puede no ser confiable y deberá volver a hacerse si los pesos que pasan el tamiz número 4 se diferencian en más de 3% también será poco confiable si los pesos que quedan retenidos en el tamiz número 4 se diferencian en 0.5% al peso total inicial de la muestra estudiada, estos dos puntos vuelven al ensayo insatisfactorio.
6. Con los datos obtenidos en laboratorio con respecto a los porcentajes que pasan, peso inicial o pesos retenidos se grafica la curva granulométrica: Para esto se debe tener claro que el material que pasa en los tamices presentará un porcentaje, los cuales serán ordenadas y el tamaño de los tamices es decir de las partículas, la abscisa en escala logarítmica. Con este gráfico se puede apreciar y calcular los porcentajes del tipo de suelo según su tamaño en gravas, arenas, limos, y arcillas.
7. Fórmula para el coeficiente de uniformidad (Cu) y curvatura (Ce):

$$Cu = D60 / D10 \quad (4)$$

$$Ce = (D30)^2 / (D60 * D10) \quad (5)$$

Donde:

D10 = Dimensión del tamiz que pasa el 10% de la muestra.

D30 = Dimensión del tamiz que pasa el 30% de la muestra.

D60 = Dimensión del tamiz que pasa el 60% de la muestra.

#### 2.2.4. Límites de Atterberg y plasticidad

Los límites de Atterberg y plasticidad dan fórmulas adecuadas que determinan el límite plástico, líquido e índice de plasticidad, características que identifican técnicamente a estratos de suelo para ser usados en diferentes procesos geotécnicos o procesos constructivos como rellenos, anclajes o unidades de

saneamiento, por lo que es necesario encontrar estas características desde el trabajo in situ o desde las canteras seleccionadas y aprobadas por la supervisión para el trabajo.

Fórmulas y gráficos.

- Cálculo del límite líquido (LL): En un esquema semi-logarítmico se traza la “curva de flujo” con las humedades registradas como datos (reguladas en la escala logarítmica) y cantidad de golpes en la parte de las abscisas en escala logarítmica, se trazan los puntos que tienen una tendencia a alinearse sobre una recta permitiendo interpolar para la gráfica de la ordenada LL en el punto de abscisa N=25 golpes.
- Cálculo del límite plástico (LP): Para el cálculo del límite plástico se puede amasar con la mano una superficie lisa una pequeña muestra de suelo, al hacerse palitos de 3.2 mm aproximadamente se busca que se fracture debido a una cantidad de humedad, justamente este contenido de humedad es el límite plástico.
- El papel con filtro capaz de resistir mucha humedad es de mucha ayuda para el proceso de secado.
- Ecuación para hallar el índice de plasticidad (IP): Para hallar el índice de plasticidad se debe restar el límite plástico al límite líquido.

$$IP = LL - LP \quad (6)$$

Donde:

IP = Índice de plasticidad.

LL = Límite Líquido.

LP = Límite Plástico.

Carta de plasticidad

La carta de plasticidad es la relación entre el índice de plasticidad y límite líquido se la muestra de suelo determinada por Casagrande después de años de estudio a esta área, en este estudio la plasticidad del suelo y su capacidad de comprimirse logran clasificarse. Los valores del límite líquido menores de 100 corresponden a muestras de suelo con partículas finas no volcánicas. En la carta de plasticidad existen 2 grupos: los que muy difícilmente se comprimen, que tienen límite líquido menor a 50 y los que se comprimen muy fácilmente con límite líquido mayor al 50% (Badillo y Rodríguez, 2005). La línea A en la carta

de plasticidad separa dos grandes grupos de suelo, por un lado, están las arcillas inorgánicas y por otro los limos inorgánicos.

$$IP = 0.73(LL-20) \quad (7)$$

Sobre la línea A se encuentran las partículas de las muestras de suelo que tienen mayor plasticidad y los tipos de suelo que se encuentran por debajo de la línea A de la carta son las que tienen menor plasticidad y comúnmente poseen materia orgánica en su composición.

En la carta también tenemos la línea U que concierne aproximadamente al límite superior de la relación del índice de plasticidad con el límite líquido para cualquier tipo de muestra de suelo encontrado en estudios analizados (Das, 2004).

$$IP = 0.90(LL-8) \quad (8)$$

Primariamente se encuentran 4 zonas en la carta de plasticidad, estas están divididas por la línea A y el límite líquido de la mitad, donde:

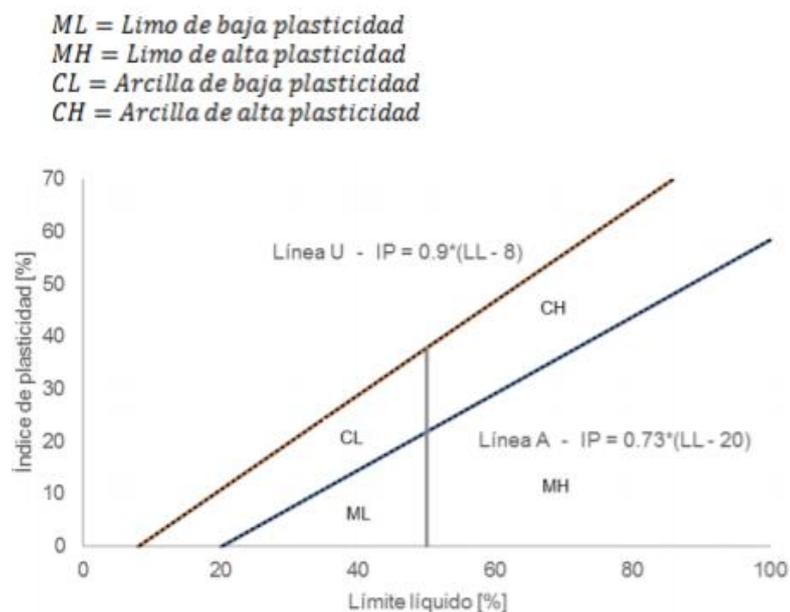


Figura N° 1: Carta de plasticidad adaptada.

Fuente: Das (2004)

#### 2.2.5. Relaciones volumétricas y gravimétricas

El agua, aire y parte sólida son elementos que siempre están presentes en todo tipo de suelos, el aire como espacios vacíos, entre la parte sólida y el agua discurriendo o reposando entre ellas. Es por esto que el volumen total de una muestra de suelo viene a ser la sumatoria del volumen de vacíos y volumen de

sólidos, los cuales están compuestos por un volumen de aire y agua. Cuando hablamos del peso de la muestra del suelo, esta se calcula de solo los pesos sólidos y el peso del agua, ya que como se sabe, al aire se le puede considerar un peso insignificante. Con estos volúmenes y pesos se encuentran relaciones principales como el grado de saturación, porosidad, relación de vacíos, entre otros.

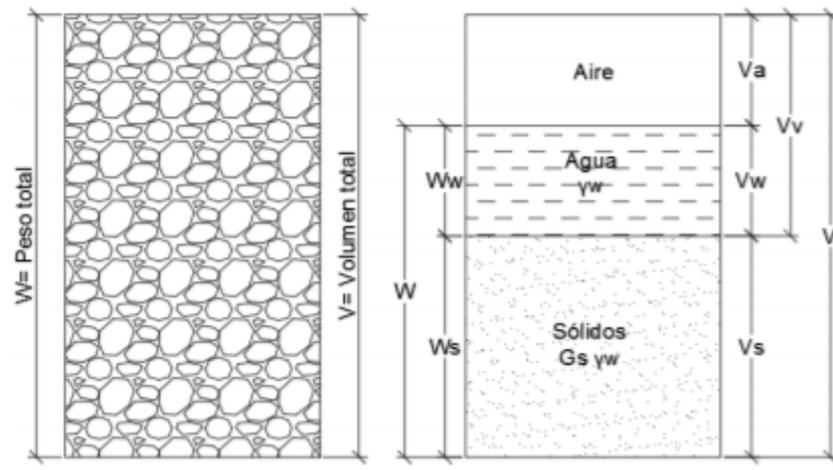


Figura N° 2: Relaciones gravimétricas y volumétricas.

Fuente: Das. (2004)

a) Relación de vacíos (e)

La relación de vacíos relaciona el volumen de la parte sólida ( $V_s$ ) en función al volumen de vacíos del suelo ( $V_v$ ). Cuando un suelo está muy compactado llega a tener un índice de vacíos de 3 o más, esto porque el suelo no tiene mucho espacio para los vacíos, pero lo normal es registrar un índice de vacíos entre 0.3 y 1.3. Cuando la relación entre estos volúmenes es mayor según la ecuación (9) los suelos son más trabajables o blandos.

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (9)$$

Como se aprecia en la tabla 1 los diferentes tipos de suelo se pueden clasificar según sus valores de la relación de vacíos.

Tabla N° 1: Relaciones de vacíos para diferentes tipos de suelo.

Tipo de suelo	Relación de vacíos
Arena suelta uniforme	0.8
Arena densa uniforme	0.45
Arena limosa suelta de grano angular	0.65
Arena limosa densa de grano angular	0.4
Arcilla firme	0.6
Arcilla suave	0.9 - 1.4
Loess	0.9
Arcilla orgánica suave	2.5 - 3.2
Tilita glacial	0.3

Fuente: Das. (2004)

b) Porosidad (n)

La porosidad se asocia a la relación que tiene el volumen de aire agua, es decir vacíos (Vv) con el volumen total de la muestra (V). La porosidad se mide en porcentajes y es común apreciarla entre un 20% y 95% (Juárez y Rico, 2005).

$$e = \frac{Vv}{V} \quad (10)$$

Conociendo la fórmula de la relación de vacíos es posible reemplazar la fórmula 9 en la 10 y así conseguir estas nuevas fórmulas.

$$e = n/(1-n) \quad (11)$$

$$n = e / (1+e) \quad (12)$$

c) Grado de saturación (S)

El grado de saturación se asocia a la cantidad de agua (Vw) con respecto a los vacíos del suelo es decir volumen de agua y volumen de vacíos (Vv). Si un suelo tiene completamente todos los poros saturados de agua se dirá que el suelo está 100% saturado y suelos completamente secos o llevados al horno un 0% de saturación. (Das, 2004).

$$S = Vw/Vv \quad (13)$$

d) Contenido de humedad (W)

Representado en porcentaje, el cual es determinado por la relación entre la masa de agua (Ww) contenida en una muestra de suelo y la masa seca (Ws)

de la muestra de suelo. Saber el porcentaje de agua que contiene un suelo es de importancia, ya que por ello cambiaría su comportamiento sea volumétrico, cohesión y estabilidad mecánica (Miranda, 2017).

$$W = W_w / W_s \quad (14)$$

e) Gravedad específica de los sólidos ( $G_s$ )

Representa a la relación entre el peso específico del sólido ( $\gamma$ ) y el peso específico de agua ( $\gamma_w$ ) o de la densidad del suelo ( $\rho$ ) con densidad del agua ( $\rho_w$ ). Con respecto a análisis de laboratorio, se tiene un rango de valores donde se encuentran algunos suelos (Tabla 2). En el caso de una turba y otros suelos con material orgánico alto, la gravedad específica de estos puede resultar más baja de los valores dados (Das, 2004).

Tabla N° 2: Gravedad específica de sólidos

<b>Tipo de suelo</b>	<b><math>G_s</math></b>
Arena de cuarzo	2.64 - 2.66
Limo	2.67 - 2.73
Arcilla	2.70 - 2.90
Tiza	2.60 - 2.75
Loess	2.65 - 2.73
Turba	1.30 - 1.90

Fuente: Das. (2004)

f) Flujo de agua en el suelo

González (2004). El agua fluye a través de poros interconectados o vacíos que existen en las partículas de suelo. El flujo será mayor o menor dependiendo de la granulometría que se presenta. En suelo granular, se encuentran partículas de tamaño considerable, por ello el flujo será mayor y presentará una pérdida de carga mínima. Por el contrario, en un suelo fino tiene partículas pequeñas el cual hará que el flujo sea mejor y tendrá una pérdida de carga mayor.

Para definir el coeficiente de permeabilidad, parámetro que mide la circulación del agua en los poros, dependerá del tamaño de la granulometría y la densidad que se encontrará en el suelo estudiado. Si es que se tiene una cantidad considerable de partículas pequeñas, este coeficiente será menor,

el cual será medido en unidades de velocidad (m/s, m/día o cm/s). El flujo tiene dos tipos, el primero el laminar donde las líneas de corriente se desplazan una encima de manera que no se interfieran, en caso contrario nos estaríamos enfrentando a un flujo turbulento.

### 2.2.6. Ley de Darcy

El ingeniero Henry Darcy, en 1856 hizo la presentación de la ley a razón de que anteriormente tuvo un interés acerca del flujo de agua a través de los medios porosos porque se utilizaban filtros de arena para depurar el agua y por la observación de pozos que contribuyen al abastecimiento de la ciudad. Planteó una ecuación, donde consideró la existencia de un régimen laminar, la cual muestra una proporcionalidad de la velocidad del flujo y el gradiente hidráulico.

$$v = k * \frac{\Delta h}{L} = k * i \quad (15)$$

Donde:

$v$  = velocidad del flujo.

$k$  = coeficiente de permeabilidad.

$i$  = gradiente hidráulico.

La ley de Darcy, también puede ser explicada con la siguiente figura, donde se hará pasar el caudal  $Q$  constante a través de un medio poroso como es el suelo. La constante de proporcionalidad “ $k$ ” pertenece al coeficiente de permeabilidad, el cual es distinto dependiendo del tipo de terreno que presenta, según sus relaciones de vacíos y características granulométricas.

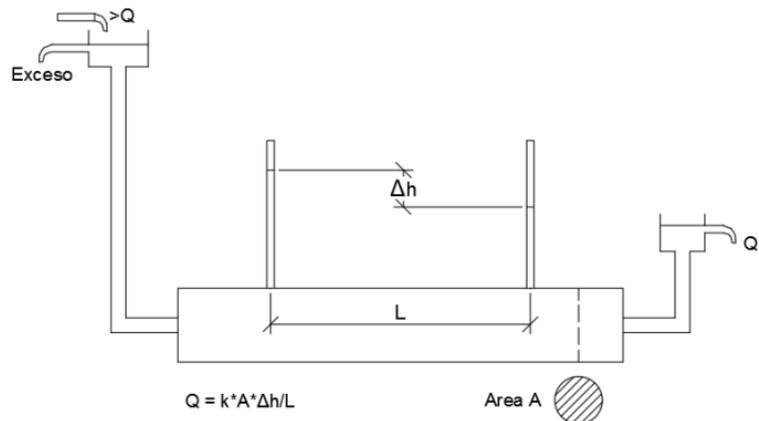


Figura N° 3: Ley de Darcy

Fuente: González (2004)

### 2.2.7. Permeabilidad

La permeabilidad de un material se presenta cuando contiene vacíos continuos, los cuales se presentan en todo tipo de suelos, incluso en las arcillas y la pasta de cemento. Este proceso se da con la circulación del agua entre los poros. Relacionando el área de vacíos y sólidos de una sección transversal, se obtiene una forma de calcular la velocidad aproximada de infiltración del flujo en función de la porosidad o relación de vacíos del suelo. Se tiene algunos valores característicos de ciertos tipos de suelos (Garibay, 2006).

Tabla N° 3: Rangos de permeabilidad de suelos naturales.

Tipo de suelo	Rango de permeabilidades (cm/s)	Descripción
Grava dispersa (GP)	1.0 ó mayor	Muy alta
Grava uniforme (GP)	$2 \times 10^{-1}$ a 1.0	Alta
Grava bien graduada (GW)	$5 \times 10^{-2}$ a $3 \times 10^{-1}$	Moderadamente alta
Arena uniforme (SP)	$5 \times 10^{-3}$ a $2 \times 10^{-1}$	Moderadamente alta
Arena bien graduada (SW)	$1 \times 10^{-3}$ a $1 \times 10^{-1}$	Baja a moderada
Arena limosa (SM)	$1 \times 10^{-3}$ a $5 \times 10^{-3}$	Baja
Arena arcillosa (SC)	$1 \times 10^{-4}$ a $1 \times 10^{-3}$	Baja a muy baja
Limo (ML)	$5 \times 10^{-5}$ a $1 \times 10^{-4}$	Muy baja
Arcilla (CL)	$1 \times 10^{-8}$ a $1 \times 10^{-5}$	Muy baja a casi impermeable

Fuente: Power y Corwin (2007)

### 2.2.8. Test de percolación

Los procesos de escorrentía poseen un rol fundamental en la filtración de agua, los cuales pueden producir caudales diferentes, como el estudio de la recarga de acuíferos. La infiltración depende de muchos factores, por lo que su estimación de confiabilidad es difícil de obtener. Por lo cual, el estudio de este proceso ha sido estudiado con mayor importancia en el manejo de la agricultura, conservación de recursos del suelo, tratamiento de aguas residuales y entre otras actividades relacionadas.

El test de percolación tiene como finalidad determinar la velocidad de infiltración de agua en el suelo, para obtener datos específicos dentro del diseño hidrológico de los proyectos. Se realiza el ensayo de percolación, para obtener datos referentes al tipo de suelo en el que se encuentra el proyecto y saber si es apto para realizar el pozo de absorción.

Tabla N° 4: Sistema de infiltración por clase de terreno y tiempo de infiltración.

<b>Clase de terreno</b>	<b>Tiempo de infiltración para el descenso de 1cm.</b>
Rápidos	de 0 a 4 minutos
Medios	de 4 a 8 minutos
Lentos	de 8 a 12 minutos

Fuente: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (2018)

### 2.2.9. Sistema de filtros por percolación

El comportamiento que tiene el movimiento del agua frente al suelo en tema de construcción civil tiene un papel importante. Las soluciones que han propuesto para tratar el flujo del agua son la implementación de vertederos en exceso, obras de toma, pozos de alivio, implementación de drenes y la utilización de filtros (Juárez y Rico, 2005).

Terzaghi, fue el primero en proponer el uso de filtros, quien desarrolló reglas empíricas para la distribución del tamaño de las partículas de un filtro. Luego, fue reconocido como el inventor de un filtro de tal característica, que permitirá la salida libre del agua subterránea, pero evitará el paso de partes del suelo, y por lo que el filtro será cargado de tal manera que el agua fluya por las capas ubicadas debajo el filtro y a través del mismo, sin ser conducido hacia arriba. (Fannin, 2008). Entonces, llegó a proponer dos criterios básicos para el diseño de filtros constituidos por arena, grava o piedras trituradas.

Emplea tres tipos de filtros, siendo el primero un filtro granular el cual vendría hacer el material natural de diferentes tamaños, el segundo un geotextil compuesto por fibras y el tercero una combinación del primer filtro y el segundo.

#### 2.2.9.1. Criterios básicos por Terzaghi

##### a) Criterio de permeabilidad

El material fino que se colocará en el suelo natural debe tener un tamaño considerablemente grande para que con ello permita su permeabilidad y así se produzca una rápida evacuación del flujo, y así hacer desaparecer el exceso de presión de poros. (Auvinet, 2014).

$$D_{15F} \geq 4d_{15S} \quad (16)$$

Donde:

$D_{15F}$  = diámetro por el que pasa el 15% del material del filtro.

$d_{15S}$  = diámetro por el que pasa el 15% del material del suelo base.

b) Criterio de retención

El material filtro que se colocará en el suelo, debe contar con un tamaño pequeño para que pueda cumplir con la retención del suelo base que se pretende proteger. (Auvinet, 2014).

$$D_{15F} \leq 4d_{85S} \quad (17)$$

Donde:

$D_{15F}$  = diámetro por el que pasa el 15% del material del filtro.

$d_{85S}$  = diámetro por el que pasa el 85% del material del suelo base.

Las curvas que definen este rango deben trazarse geoméricamente similares a la curva del material base, además, el rango queda limitado por el diámetro por el que pasa el 15% del material del filtro, donde el valor máximo queda definido por el criterio de retención, y el valor mínimo se define por el criterio de permeabilidad.

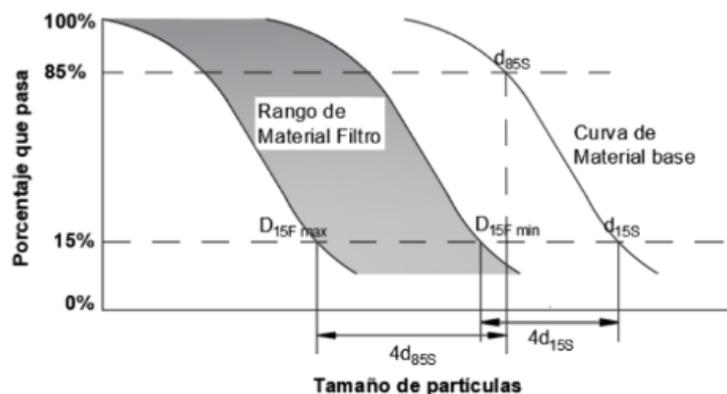


Figura N° 4: Rango según Terzaghi para determinar la distribución de un filtro.

Fuente: Fannin (2008).

#### 2.2.10. Evolución de diseño de filtros granulares

Los límites obtenidos tienen que corresponder a resultados de laboratorio para suelos naturales que contengan grava, arena o tiene que ser un suelo

que contenga una buena estabilidad interna. Por estas razones, diferentes autores realizaron ensayos de laboratorio para saber la composición de otros suelos tal que se puede desarrollar con mayor facilidad los rangos para tomar el mejor criterio y así escoger un buen diseño. (Giroud, 2010).

#### 2.2.10.1. Sherard (1963)

Determinó que la constante de retención sea igual a 5, para los criterios de permeabilidad y para el factor de seguridad. En otra investigación según Terzaghi se determinó que este valor debería ser 4, el cual al analizarlo resultó ser muy conservador, a pesar de que en ese caso los límites presentan un rango más amplio, este sigue siendo un diseño moderado y bajo para suelos arcillosos y suelos limo arcillosos, los cuales tienen una mayor cohesión. (Auvinet, 2014).

#### 2.2.10.2. ICOLD (1994)

Presenta una metodología para analizar la protección del suelo y recomendaciones que complacen los criterios de permeabilidad y retención nombradas por Terzaghi. Las recomendaciones que muestran hacen relación a la evaluación de la capacidad de descarga de filtros, la que tiene que encargarse de filtrar el líquido en una zona permeable sea lateral u horizontalmente dependiendo de los estratos que presente el suelo, todo ello sin generar exceso de presión. La ley de Darcy, es uno de los métodos más usados para el análisis de flujo, donde ICOLD sugiere utilizar cualquier combinación práctica entre  $K_f$  y  $A$ , con tal que cumpla con el factor de seguridad y descarga. Se recomienda usar las capas más delgadas de materiales permeables, dado que son más económicas a comparación con los materiales menos permeables y de capa gruesa. (Auvinet, 2014).

$$Q/i = k_F \cdot A \quad (18)$$

Donde:

$Q$  = tasa de flujo en el filtro.

$i$  = gradiente hidráulico admisible en el filtro.

$k_F$  = conductividad hidráulica del filtro.

$A$  = área transversal a la dirección de flujo en el filtro.

Los filtros deben tener una calidad buena, de gran dureza y durabilidad, para así evitar un aumento de cohesión o un cambio de distribución granulométrica. La ICOLD propone recomendaciones que ayudan en la construcción de filtros en campo, entre ellas el ancho que permita la compactación requerida y control de calidad.

#### 2.2.5.3 USSCS (1994)

El Servicio de Conservación de Suelo de Estados Unidos (USSCS), presenta criterios para la distribución granulométrica de filtros de arena y grava necesarios para prevenir la erosión interna o tubificación del suelo en terraplenes o cimentaciones de estructuras hidráulicas. Este criterio permite el diseño de filtros para realizar el sello de grietas, en relación con los dos criterios ya obtenidos como son los de retención y permeabilidad. A través de grietas o poros que se encuentren en el suelo base, el flujo debe de infiltrarse, y así evitar que las grietas tengan un tamaño considerable que perjudique a la estructura. En caso de que el filtro se diseñe para el sellado de grietas, los poros del suelo deben de actuar en la filtración del flujo con su permeabilidad requerida.

Por otra parte, cuando el suelo base se encuentra sin filtro está expuesto a sufrir el fenómeno de tubificación, el cual se da cuando los gradientes del flujo de infiltración son altos y con ellos tener velocidad de descarga erosiva en el suelo. La metodología planteada por la USSCS consiste en 12 pasos que permiten determinar los límites granulométricos para el filtro, el objetivo de cada paso se resume a continuación:

- 1) Determinar el parámetro  $d_{15s}$ , a partir de la distribución granulométrica del suelo base.

- 2) Definir si existe grava en el suelo base (material más grande que el tamiz N°04).
- 3) Si el material se queda retenido en el tamiz N°04, se debe ajustar la curva granulométrica.
- 4) En función del material que pasa el tamiz N°200, definir a qué categoría pertenece el suelo base.
- 5) En función de la categoría obtenida, definir el diámetro por el que pasa el 15% del material del filtro máximo, cumpliendo el criterio de retención.
- 6) En función de la categoría obtenida, definir el diámetro por el que pasa el 15% del material del filtro máximo, cumpliendo el criterio de permeabilidad.
- 7) Identificación de graduación discontinua en el material base, mediante un análisis de la curva granulométrica.
- 8) Ajustes de los límites, donde el coeficiente de uniformidad sea 6 o menos.
- 9) Limita el diámetro máximo por el que debe pasar el 100% y el diámetro mínimo por el que debe pasar el 5% del material del filtro.
- 10) Relación entre el diámetro máximo del 90% y el mínimo de 10% pasante, para minimizar la segregación durante la construcción.
- 11) Graficar los diámetros obtenidos, con líneas rectas y extrapolar los valores restantes.
- 12) Definir el diámetro por el que pasa el 85% del material filtrante, en caso de existir tubería perforada.

#### 2.2.11. Parámetros de diseño

Analizar las variables donde se desarrollará proyecto, como es el área de influencia y de estudio, recurriendo a información brindada por el estado

como son los censos que se realizan en determinados tiempos. Para empezar con un diseño de saneamiento o agua, se debe tener conocimiento de la cantidad de población beneficiaria, el cual deberá ser obtenido por un pequeño estudio de la población para sacar la muestra de cuantos habitantes por vivienda cuenta cada centro poblado o localidad.

#### 2.2.11.1. Dotación

Establece el consumo de agua doméstica, en la zona urbana y rural. De acuerdo con el Ministerio de Economía y Finanzas, se considera una dotación para el Ámbito Rural en la Sierra de 80 Lt/hab/día.

Tabla N° 5: Consumo de agua doméstico, dependiendo de su disposición.

Región geográfica	Consumo de agua doméstico, dependiendo del Sistema de disposición de excretas utilizados	
	Letrinas sin arrastre hidráulico	Letrinas con arrastre hidráulico
Costa	50 a 60 l/h/d	90 l/h/d
Sierra	40 a 50 l/h/d	80 l/h/d
Selva	60 a 70 l/h/d	100 l/h/d

Fuente: MEF (2004).

#### 2.2.11.2. Caudal de agua residuales

Para determinar los caudales de agua residual se debe utilizar la información obtenida en campo, y este se presenta en m<sup>3</sup>/día.

$$Q = 0.80 \times P_{ob} \times \frac{Dot}{1000} \quad (19)$$

Donde:

$P_{ob}$  = población beneficiaria por vivienda.

$Dot$  = dotación requerida dependiendo de su disposición.

#### 2.2.12. Unidad básica de saneamiento (UBS)

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento – MVCS (2018). El UBS es un tipo de sistema de saneamiento en zonas rurales que permite el acceso a agua potable y disposición sanitaria de excretas a familias que no puedan contar con el sistema de alcantarillado. Este ambiente está compuesto

por inodoro, aparatos sanitarios, ducha, lavamanos y un lavadero en el exterior de la caseta.

Las aguas grises provenientes del lavadero y ducha son dirigidas a la zona de filtración, el que puede ser una zanja de infiltración o un pozo de absorción, esta opción se toma de acuerdo a los resultados del test de percolación. Mientras que las excretas después de pasar por el biodigestor se conducen a una caja de lodos que termina con la filtración en el suelo.

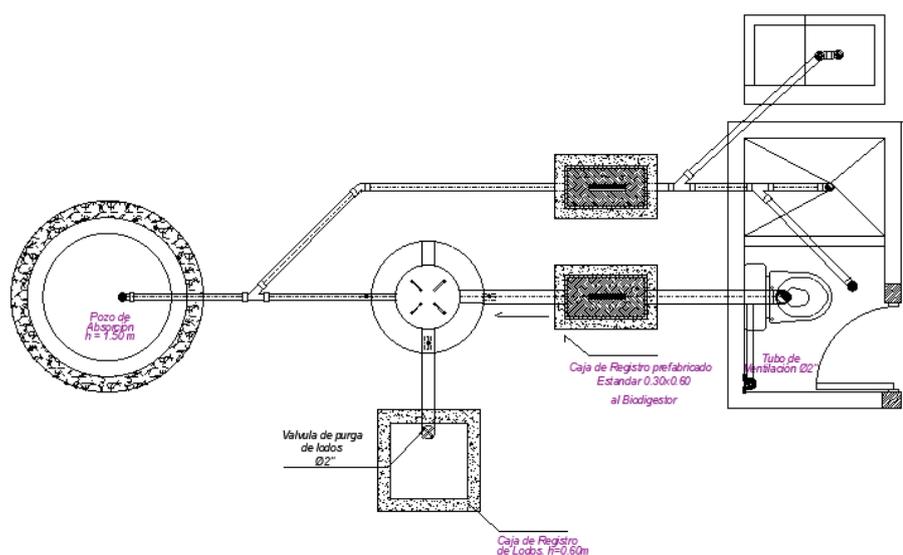


Figura N° 5: Componentes del UBS

Fuente: Expediente técnico. (2019)

### 2.2.12.1. Ladrillo artesanal

El ladrillo artesanal pasa por un proceso de fabricación, primero se realiza la extracción de arcilla y arena, obtenidas de una cantera con denuncia minero, segundo se hace el mezclado de los materiales hasta que este se encuentre homogéneo y así se pasa al moldeado del ladrillo, después de ello el ladrillo tiene que pasar por un secado a cielo abierto, hasta que pierda un 13% de humedad. Por último, se pasa a una cocción donde el ladrillo ya está puesto en horno, este proceso demora dentro de ocho a quince días dependiendo del ladrillo que se está elaborando.

### 2.2.12.2. Pozo de Absorción o infiltración

El pozo de absorción consiste en un pozo cubierto de forma circular cuyas paredes se revisten en ladrillo dejando aberturas entre ellos y pegando en seco, permitiendo a través de sus paredes la infiltración de agua proveniente del humedal.

#### a) Ventajas

- Evita que un terreno se sature de agua en la superficie.
- Fácil construcción y mantenimiento.
- Ocupa poco espacio.
- Filtra por última vez el líquido proveniente del humedal para garantizar un mejor tratamiento.
- Infiltra el agua uniformemente en el terreno evitando estancamiento.

#### b) Desventajas

- Necesita grandes excavaciones de terreno.
- Si el agua proveniente está muy contaminada es posible que se contaminen los suelos, ya que el pozo solo hace una filtración muy sencilla con materiales como ladrillo y piedra.



Figura N° 6: Detalles de pozo de absorción

Fuente: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. (2018)

## 2.3. Hipótesis

### 2.3.1. Hipótesis general

Los diseños de dos filtros mejoran la permeabilidad del pozo de absorción en unidades básicas de saneamiento en un suelo limo arcilloso del distrito Quinua, Ayacucho.

### 2.3.2. Hipótesis específica

- Los dos filtros reducen el tiempo de infiltración en unidades básicas de saneamiento en un suelo limo arcilloso del distrito Quinua, Ayacucho.
- Los dos filtros aumentan la velocidad de infiltración en unidades básicas de saneamiento en un suelo limo arcilloso del distrito Quinua, Ayacucho.
- Al evaluar los dos diseños de filtros, el primer diseño tiene una mayor permeabilidad en el pozo de absorción en un suelo limo arcilloso a comparación con el segundo diseño.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO**

### **3.1. Tipo y nivel de investigación**

La presente investigación es de tipo aplicada, según Borja (2016), puesto que menciona la aplicación inmediata sobre una problemática donde se busca conocer, actuar y construir una posible solución. Esta investigación realizó la construcción de un modelo físico de pozo de absorción, donde se comprobó una hipótesis que dará una solución a la problemática, es por eso que esta investigación es aplicada.

La presente investigación consideró un enfoque cuantitativo, según Hernández, Fernández y Baptista (2014) presentan dos enfoques que son cualitativos y cuantitativos, donde señala que este último debe seguir una secuencia de pasos con el fin de demostrar teorías. Esta investigación se desarrollará paso a paso, donde se recolectarán datos y ejecutará el sistema de infiltración en suelos del Distrito de Quinua, Ayacucho, es por eso que esta investigación es cuantitativa.

El alcance de la investigación es descriptivo, según Hernández et al. (2014) señala que este estudio consiste en describir características, propiedades de procesos o fenómeno que esté sometido a un análisis. Esta investigación busca mostrar el comportamiento de dos diseños de filtro en campo del suelo frente a las descargas de líquidos de las unidades básicas de saneamiento, analizando, tiempos, movimiento de tierras, infiltración, dimensiones y más características del pozo y zanja de infiltración en el suelo limo-arcilloso del suelo estudiado, es por esto que el nivel de investigación será descriptivo.

La investigación es experimental, según Hernández et al. (2014) en el enfoque cuantitativo, presenta dos tipos de diseño, como es el experimental, donde menciona que se debe realizar una acción para luego observar sus consecuencias, como es el análisis de infiltración del suelo frente al diseño que se realizará en esta investigación.

### **3.2. Población de estudio**

La población es todos los Sistemas Básicos de Saneamiento, Según Balestrini (1997) una población se encuentra delimitada por un conjunto establecido de características que la diferencia del resto. Es decir, a los elementos que tengan un número establecido de cualidades o características similares se denomina universo o población. Es por eso que la población son los Sistemas Básicos de Saneamiento construidos en suelos limos arcillosos del distrito de Quinua - Ayacucho con

características parecidas en el pozo de absorción referido a medidas de diseño, construcción y composición del suelo.

### 3.3. Diseño muestral

La muestra es un "subconjunto representativo de un universo o población." (Morales, 1994, p. 54). Esta investigación tendrá por muestra el pozo de absorción con una altura de mínima de 2 m y un diámetro no menor a 1 m, el cual se construirá con ladrillos artesanales y filtros de grava, en el suelo limo-arcilloso del distrito de Quinua– Ayacucho, además de utilizar la información de otros pozos identificados en la zona, debido a que se tendrá acceso a la información del expediente de construcción de unidades básicas de saneamiento en el distrito de Quinua. Con esta información se analizará la infiltración inicial, es por eso que también se construyó una muestra.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En este ítem se debe mencionar las diferentes técnicas e instrumentos que se usarán para obtener información de campo, se debe adjuntar los formatos usados en esta investigación. Los parámetros geotécnicos e infiltración de los fluidos se recolectarán de ensayos y pruebas de laboratorio tales como:

Modelamiento físico del pozo de absorción.

Análisis de coeficiente de permeabilidad

Test de percolación.

Ensayo de corte directo.

Ensayo de permeabilidad

Exploración de calicatas.

Análisis granulométrico.

Manual de Evaluación de Riesgo para eventos hidrológicos.

Como instrumentos también serán empleados las normativas y manuales de diseños nacionales e internacionales como: NTP 339.166, ASTM 4767, NTP 339.171 ASTM D3080, NTP 339.128:1998, ASTM D5084, IS 0.20.

### 3.5. Procedimiento para la recolección de datos

Para la recolección de datos se realizará la elaboración del test de percolación en las calicatas excavadas, con ello proceder a la observación y análisis del grado de infiltración que presenta el suelo limo arcilloso en cada suelo.

### 3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Borja, M (2012) Para procesar los datos estadísticos se utilizarán gráficos, diagramas, tablas y la estadística de la población que se les denominan parámetros, los cuales no son calculados, sino que son inferidos desde los estadígrafos. Permitiendo generalizar los resultados del ensayo hacia la población.

La técnica empleada se dio por la recolección, clasificados, tabulación y codificación de datos de la investigación in situ, para posteriormente realizar el análisis cuantitativo a través de los diseños de filtro mediante el teorema de Terzaghi y modelos granulométricos a través de hojas de cálculo; toda esta investigación se respaldó según normas nacionales e internacionales vigentes.

### 3.7. Variables

En el Anexo del presente documento se puede visualizar la Matriz operacionalización de variables de investigación.

#### 3.7.1. Variables independientes

- a) Permeabilidad.
- b) Parámetros geotécnicos

#### 3.7.2. Variables dependientes

- a) Diseños de filtros del pozo de absorción

# CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE FILTRACIONES DEL SISTEMA BÁSICO DE SANEAMIENTO EN UN SUELO LIMO ARCILLOSO DEL DISTRITO DE QUINUA

## 4.1. Ubicación de la zona de estudio

La ubicación del proyecto se encuentra en el departamento de Ayacucho, en la provincia Huamanga, en el distrito de Quinua. Está al límite con la provincia de Huanta a 546 km desde la ciudad de Lima (aproximadamente 12 horas en transportes terrestres desde la ciudad de Lima). El tipo de suelo limo arcilloso necesario para la investigación se encuentran en diversas zonas del distrito de Quinua, entre sus caseríos, anexos, localidades, es por esta abundancia de suelo que el distrito es conocido y reconocido por sus artesanías de arcilla. El acceso a la zona es desde el distrito de Ayacucho a través de la carretera Ayacucho – Huanta seguida de la carretera Ayacucho - Quinua (vía asfaltada) que conduce al distrito de Quinua. Se llega a través de un desvío que se encuentra aproximadamente en el kilómetro 140 de la carretera Ayacucho- Quinua, se debe seguir la carretera hacia Acos Vinchos por unos 15 min, es ahí donde encontramos la localidad de Sayhuapata y específicamente la zona donde se ejecutó el modelo físico de la investigación.

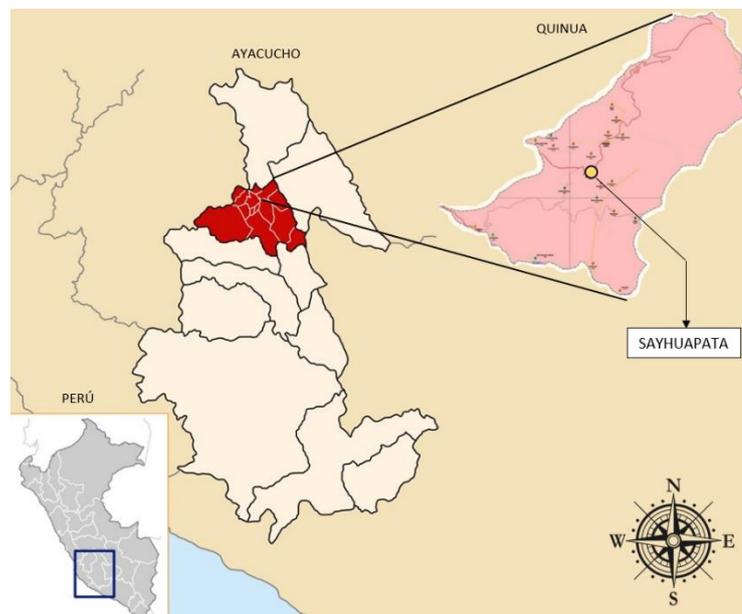


Figura N° 7: Área geográfica donde se encuentra el modelo físico del pozo de absorción

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. Geología y geotecnia de la zona de desarrollo de la investigación

El Gobierno Regional de Ayacucho (2012) en su estudio de zonificación menciona que a partir del relieve y litología de la zona de estudio se describe la forma de la tierra del departamento de Ayacucho, que se caracteriza por la presencia de la cordillera occidental en el sur, cordillera oriental en la zona norte y la presencia de grandes planicies volcánicas en la cordillera central, estas son grandes cadenas montañosas que muestran tres grupos fisiográficos a nivel de la región. Los grandes grupos de esta región tienen la característica de tener diferentes tipos de roca como se muestra en la figura N°8 cuya división incluye la litología. En la presente investigación es necesario una visión general con respecto a la litología de la región para ir comprendiendo poco a poco hasta llegar a la geología de la zona a tratar en la investigación. Con la moderna técnica de imágenes de satélite, mediante una interpretación se obtiene un análisis fisiográfico que muestra tres grandes categorías fisiográficas considerados como paisajes mayores: Montañas, Colinas y Planicies; las formaciones geológicas presentes en cada uno de estos grupos forman paisajes fisiográficos de diferente litología.

Como se puede apreciar en la figura N°08, litológicamente tiene en su mayoría compuestos de lavas andesitas, flujos piroclásticos, lutitas negras, calizas y areniscas calcáreas, es decir material volcánico y también material sedimentario; es por eso que la región presenta en un gran porcentaje arenas, gravas y arcillas en toda la zona.

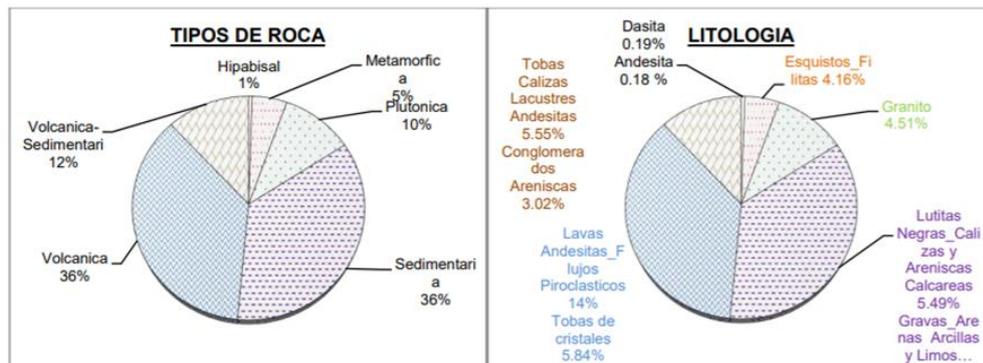


Figura N° 8: Distribución Geológica en el Departamento de Ayacucho

Fuente: Proyecto ZEE-OT (2012)

La región de Ayacucho presenta principalmente grandes cordilleras y planicies a diferentes alturas, Las grandes cadenas de montañas son conformadas por diferentes tipos de rocas volcánicas y afloramiento de rocas ígneas intrusivas además de rocas sedimentarias, al tener una variedad de alturas en un área relativamente pequeña esta genera grandes quebradas y la presencia de agua genera valles presentando la imagen de una v en cortes transversales o de perfil, la intensa acción erosiva en estas grandes cadenas de montaña ha permitido formar grandes áreas de cerros colinosos y plataformas estructurales de terrazas altas y bajas. Si se enfoca en las planicies encontramos grandes extensiones en la zona central de la cordillera y compone un panorama morfo estructural, originado por las diversas montañas que fueron restos de una peniplanicie que tuvo lugar en las épocas del terciario hasta los principios del cuaternario que, compuesto por una serie de llanuras, y cerros aislados con un rango de altitudes de 3100 hasta los 5100 msnm.

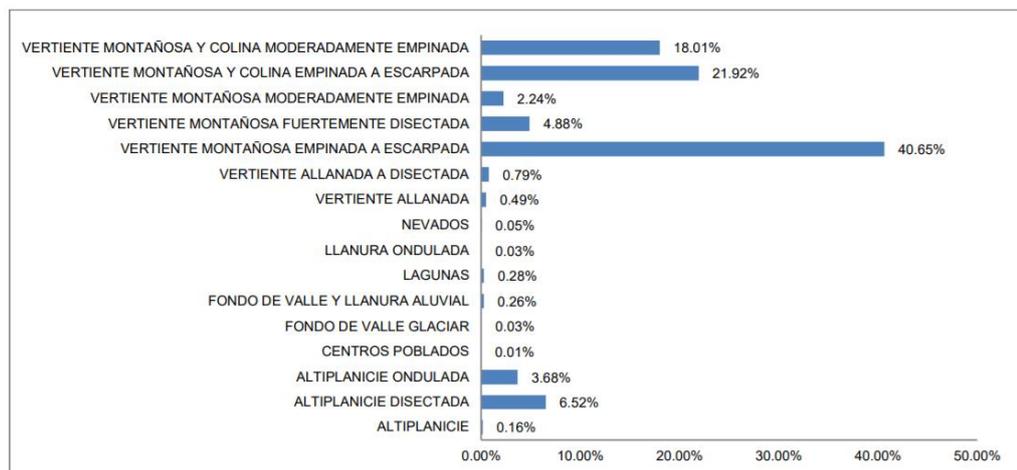


Figura N° 9: Distribución Geológica en el Departamento de Ayacucho.

Fuente: Proyecto ZEE-OT (2012)

#### 4.2.1. Antecedentes Geológicos

La provincia de Huamanga, capital del departamento de Ayacucho, cuenta con una mayor extensión del arquetipo de cerros bajos de la época terciaria de litología pizarras e intrusiva que comprenden una superficie aproximada de 25720 ha; éste tipo se encuentra también en las provincias de Parinacochas, Lucanas, y Sucre, incluyendo el piso altitudinal Premontano, estos cerros van encima de una geología que conciernen a los períodos Terciario y Cretáceo, primariamente, cuyo antecedente litológico es de tipo metamórfico compuesto por especímenes como cuarcitas, pizarras y lutitas; y de tipo sedimentario compuesto por conglomerados, limolitas, lodolitas y areniscas. Otra provincia

de Ayacucho, Lucanas exhibe un panorama fisiográfico del tipo de cerros bajos del periodo Terciario, disectadas cuya superficie es de aproximadamente 25390 ha y alturas de tipo de piedra intrusiva y volcánica con una extensión aproximada de 14925 ha, esta componente fisiográfico se localiza en los distritos de Sanco, Aucara, San Pedro, Cabana, Lucanas y Carmen salcedo, se halla en el suelo altitudinal Premontano, estos cerros se asientan, primariamente, encima de una geología del Periodo Devónico y Silúrico cuyo origen litológico es de arquetipo metamórfico conformado por cuarcitas, pizarras y lutitas. De modo general está módulo fisiográfico se encuentra de forma diseminada en las franjas norte, centro y sur de la región, lo localizamos en los suelos altitudinales que va comenzando en la época del Premontano hasta la época Subalpina, se afirma sobre una geografía que pertenece a los períodos Cretáceo, Silúrico y Terciario primariamente, los tipos de formas litológicas que prevalecen son de arquetipo metamórfico que contiene cuarcitas, pizarras y lutitas; de arquetipo sedimentario desarrollado por conglomerados, calizas, lodolitas, limolitas, areniscas, andesitas y lutitas; de tipo volcánico formado por lavas e ignimbritas; y de tipo volcánico sedimentario formado por andesitas, tobas, lacustres y calizas; entre los componentes del paisaje que prevalecen en esta clase poseemos cerros bajos del Terciario muy forzadamente disectados, cerros bajos del Terciario sutilmente disectados y cerros bajos levemente disectados.

En el sector de investigación se han examinado 02 módulos geomorfológicos, en función primariamente a su elevación, que les otorga tipologías singulares, las que se muestran a continuación.

#### Grupo Metamórfico

En este grupo metamórfico se encuentra la mayor parte del área que se encuentra constituido primordialmente por las gravas limo, areniscas, arcillas y pizarras.

#### Serie sedimentaria

Se presenta mucha de esta serie en la región, pero no en la zona de esta investigación, está compuesta por limos y areniscas que muy posiblemente pertenecen a las siguientes formaciones:

#### Formación Tarma

#### Formación Mitu continental

## Depósitos cuaternarios

Se ha definido establecimientos que pertenecen a esta etapa relativamente nueva, los cuales obtienen ser precisados como:

### a) Depósitos Fluviales

Son depósitos producidos por la acumulación del movimiento de piedras de los ríos, cuando estos ríos pierden la característica de transportar los materiales directos originan acaparamientos perennes, con una amplificación restringida y con suelos con características similares, en rumbo de la vía se muestra ocasionalmente el volumen mínimo, muestra volúmenes aprovechables los cuales estarán definidos pertinentemente. Sus taludes son estables.

### b) Depósitos aluviales

Son componentes producidas por el propósito de los materiales trasladados por los fenómenos terrestres (huaycos, deslizamientos y aluviones), los cuales están localizados generalmente en los muros bajas de las alturas escabrosas y en el que se han situado varias ciudades y poblados que se desarrollan en la zona, los taludes son estables.

### c) Depósitos coluviales

Son componentes causados por la acción de la gravedad y que se sitúan al pie de los declives de las colinas escabrosas.

Se hallan en grosores que van desde los 4 metros y pudiendo llegar hasta los 10 metros. Cubriendo la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos. El comportamiento de los taludes en estos depósitos es estable.

La zona muestra como particularidades una altura de 0 a 1,000 metros de elevación y pendiente elevada mayor a 50%, con área fundamentalmente rocosa y revestimiento interrumpido de componentes de tipo glaciar y tipo periglaciar. Con una altura aproximada de 300 a 1000 metros de elevación y pendiente elevada de 50% con cuantiosos entalles. Desnivel muy rústico, que cambia área rocosa y cubierta entrecortada de compuestos coluviales.

## Depósitos cuaternarios pleistocenos

### a) Glaciares y fluvioglaciares

Estos cúmulos de compuestos están representados por depósitos de suelos morrénico añejo y reciente repartido en las cumbres de las formaciones geológicas de gran altura como glaciares. Muchos de los suelos originados

a gran altura llegan a descender, recubriendo la base de los valles glaciares, sobre una elevación de aproximadamente 4,200 m.s.n.m. Estos suelos son acumulaciones de gravas subredondeadas con un radio de 1 a 3 cm, comprendidas sobre suelos base arenosos y limos arcillosos de compuestos almacenados semi afirmados, que contienen habituales componentes rocosos de diferentes centímetros a unos decímetros de grosor.

b) Depósitos morrénicos

Compuestos por una mezcolanza de limos, gravas y arenas, que comprenden cascajos rocosos de dimensiones y proporciones variables. Los compuestos de tipo morrénico acumulados quedan asociados a los antiguos glaciares y se propagan fundamentalmente en las zonas de las lagunas.

Los componentes almacenados de tipo morrénico se derivan de características permeables y muy permeables; la estimación de estos compuestos almacenados cuaternarios no tiene más de 1.50 metros de grosor en el área.

#### 4.2.2. Geología general

Esta investigación se desenvuelve sobre formaciones geológicas de petrográfico uniforme, cuyo punto de vista estratigráfico va desde el paleozoico inferior – medio – mesozoico, hasta el cenozoico (cuaternario reciente).

Conformado por suelos relativamente recientes en proceso de dar firmeza o solidez. Los aspectos geomorfológicos están definidos por dos grupos de montañas o colinas, entre las que se localizan la cuenca hidrográfica, que al circular a lo largo del tiempo, es decir eras geológicas han desgastado la zona y generado quebrada bastantes profundas de gran pendiente y relieve escabroso, el área que atraviesa la zona se encuentra una base de pizarras y la caliza, las mismas que se hallan revestidas por compuestos coluviales originados por procesos mecánicos de las rocas cuaternarias de forma continua es por eso que se observan también las pizarras areniscas, limo, arcillas, gravas y limo.

#### 4.2.3. Riesgos naturales

La extensión del distrito de Quinoa muestra peligros naturales concernientes a los deslizamientos y caída de rocas.

- La provincia de Huamanga. Se halla ubicado en la provincia fisiográfica de sierra; que tiene regiones naturales con alturas entre los 2200 a 4800

m.s.n.m.; características que lo diferencia de otras provincias del departamento; puesto que contiene en su fisiografía las siguientes regiones naturales:

- Región Quechua. – Con una altura de 2200 a 3500 m.s.n.m., clima sereno y área semiárida; la temperatura media al año se encuentra entre 10 °C a 18 °C.
- Región Suni. – Posee un clima muy frío y seco; y temperatura media al año se encuentra entre 10 °C y 7 °C; Se encuentra entre 3500 – 4000 m.s.n.m.
- Región Puna. – Posee un clima muy frío y seco; y la temperatura media al año se encuentra entre 7 °C y menos de cero grados. Se encuentra entre 4000 – 4800 m.s.n.m.

#### 4.2.4. Gran Paisaje Montañoso

Esta condición fisiográfica es la que prevalece en el área del espacio regional, se presenta en un área aproximada de 3 '174,710 ha que se puede decir que es en aproximado un 73 % del territorio de la región de Ayacucho, se describe por mostrar una superficie muy accidentada por consecuencia del desgaste y grandes pendientes. Esta componente fisiográfica está presente en todas las provincias del departamento de Ayacucho, poseyendo una mayor superficie en la provincia de Lucanas con un aproximado de 1 '028,079 ha y Parinacochas con un aproximado de 594,036 ha.

Como se precisó en el párrafo anterior esta componente fisiográfica abarca todas las provincias de la región encontrándose en las zonas altitudinales que parte desde Premontano a Alpino, se compone sobre una geología que pertenece al periodo cuaternario, cretácico y terciario, las formaciones litológicas que prevalecen son suelos plutónicos compuestos por granito, granodiorita, tonalita; de suelo sedimentario compuesto por tobas, areniscas, arcillas, andesitas, lutitas, calizas, aglomerados, microconglomerados y conglomerados; de tipo volcánico formado por lavas andesitas, flujos piroplásticos, tobas brechoides y riolíticas; y de tipo volcánico sedimentario formado por tobas, calizas lacustres, andesitas, tobas, ignimbritas y conglomerados; entre los elementos del paisaje que predominan en esta categoría tenemos laderas de montañas extremadamente empinadas, muy empinadas y empinadas, cima de montaña ondulada moderadamente empinada.

#### 4.3. Estratigrafía

En el área de esta investigación la serie estratigráfica está compuesta principalmente por suelos sedimentarios y rocas fragmentadas. Con respecto a los depósitos aluviales que terminan en la parte de desembocadura del río, están recubiertas en parte por suelos cuaternarios de origen coluvial. Aunque también es posible ver en poca magnitud las lutitas, arcillas, limos y areniscas en la composición del recubrimiento. Las unidades geológicas que afloran en la zona de investigación van desde el periodo paleozoico y cuaternario reciente.

##### 4.3.1. Estratigrafía regional

En la zona de investigación se puede ver el florecimiento de rocas sedimentarias, volcánicas y volcano-sedimentarias con antigüedades que corresponden al neógeno y cuaternario. Entre estos compuestos existen contrariedades enormes que muestran fases de erosión aguda o simplemente la escasa deposición.

##### 4.3.2. Condiciones climáticas

El clima de la zona de investigación, como en el mayor porcentaje de los departamentos que pertenecen a la sierra del Perú, están diferenciados por su variación de una estación seca de abril a noviembre y otra lluviosa de diciembre a marzo; la cantidad de las precipitaciones varía según el poblado o zona donde uno se encuentre, esto por la posición geográfica y altimetría, formando una evidente diferenciación en el clima y la vegetación en diversos sectores del distrito. En las zonas planas del distrito, con una elevación por encima de los 3,000 m.s.n.m. La temperatura llega a descender hasta los 0 °C con precipitaciones de lluvia de 100 a 500 mm anualmente, son zonas muy frías. Ya en las zonas más elevadas como en la cadena de cordilleras se ve presencia de nieve y precipitación de granizos.

Es particularidad del distrito de Quinua y contiguos una temperatura media al año de 16 °C, reconociendo diversificaciones grandes en la temperatura entre el día y la noche. Se tiene dos períodos muy marcados en el año: desde mediados de septiembre hasta finales de marzo, es muy común apreciar grandes caídas de agua y granizo con los días mayormente nublados y una variación de la temperatura de 5.7 °C hasta un máximo de 12.1 °C es decir los meses de lluvia, por otra parte los meses secos empiezan en abril y terminan a mediados de septiembre, la temperatura puede variar entre 2 °C a 7 °C, son

meses que no llueve, pero se presentan fuertes heladas en las noches y madrugadas.

#### 4.4. Geología local

El distrito de Quinua y específicamente los poblados que se tocaron en esta investigación, Sayhuapata, Patasuyo B y Paraccay, muestran una diversidad de cerros y montañas de diferentes formas además de zonas rocosas que conforman miradores naturales con las mejores vistas del relieve ayacuchano, Estos poblados están compuestos geológicamente por materiales sedimentarios almacenados durante el paleozoico inferior que fueron oprimiendo a lo largo de las siguientes eras geológicas al mismo tiempo que se rompía y desgastaba hasta formar pequeños terrenos moderados de nivel inferior que el que lo rodea que traspasan gargantas con pendientes escabrosas que solo terminan en los angostos fondos del Valle de Chaco y Pacaycasa. También se muestra al noreste del distrito la presencia de una concavidad lacustre en la cual se almacenaban los establecimientos de arcilla sedimentaria. Se muestran dos fases, la fase post tectónica formación Huanta; representado por una gran comprensión dando por consecuencia un plegamiento ajustado; y la fase post tectónica formación Ayacucho que concierne a un período de comprensión menos intensa que la primera con rugosidades de laterales amplios.

La zona de la investigación se halla localizada en las proximidades de Quinua. En la parte norte, el anticlinal Tucumayo, con un foco mezclado por rocas volcánicas pertenecientes al Grupo Mitu, luego en los bordes sobre yacen calizas y secuencias rojas de limolitas y areniscas, que en los mapas de INGEMMET se muestran cartografiados como Grupo Pucará y formación Chunumayo (Palacios, 1994; Valencia y Morales, 2004). Por otro lado, estas series pertenecen exclusivamente a la formación Chunumayo y están reiteradas por movimientos físicos de convergencia norte.

##### 4.4.1. Geodinámica local

Los elementos naturales de la transformación endógena y transformación exógena del plano terrestre que compete al área de la investigación, muestran como resultados que los mayores sucesos son las lluvias intensas durante los meses de diciembre a marzo, al existir fuerte presencia de lluvias, estos suelos son lavados, es decir, se quedan sin la presencia de finos provocando erosiones, socavamientos, asentamientos en diversas zonas además de hacer crecer los

ríos y dar potencia a riachuelos perjudicando en ocasiones por la salida de su cauce natural.

Durante los procesos efectuados de esta investigación no se han manifestado fenómenos recientes de geodinámicas externas, como elevaciones y/o depresiones, ni deslizamientos de la formación existente del área y se consideran zonas estables, válidas para esta investigación.

#### 4.4.2. Sismicidad

Desde el punto de vista sísmico, el territorio peruano pertenece al Círculo de fuego Circumpacífico, que vislumbra las zonas de mayor movimiento sísmico del planeta y por lo tanto se halla sometido con repetición a movimientos telúricos. Pero, internamente del territorio nacional, se encuentran algunas zonas que se contrastan por la mayor o menor frecuencia de estos movimientos, es por eso que la norma técnica que nos da el estado para diseño sismo resistente, Norma E.030, 2016 fracciona al país en cuatro zonas que se especifican en la figura N°10.



Figura N° 10: Zonas sísmicas del Perú

Fuente: Norma Técnica E 030 diseño sismo resistente (2018)

Zona 1.- Son regiones y zonas con muy baja sismicidad, es decir con muy pocos movimientos telúricos, considerando un factor de aceleración de la gravedad de 0.1. (Z=0.1)

Zona 2.- Son regiones y zonas con sismicidad media, con factor de aceleración de la gravedad en la zona de 0.25. Comprende la región Ayacucho en las provincias de Huanta, La Mar, Huamanga (Quinua), región de Loreto, región de Madre de Dios, región Puno, región Amazonas, región San Martín, región Huánuco, región Pasco, Región Junín, región Cusco y otras más. (Z=0.25)

Zona 3.- Son regiones y zonas con sismicidad alta, con factor de aceleración de la gravedad en la zona de 0.35. (Z=0.35)

Zona 4.- Son regiones y zonas con sismicidad muy alta, con factor de aceleración de la gravedad en la zona de 0.45. (Z=0.45)

Tabla N°6: Parámetros de zonificación de la zona de estudio

Material	Zona	Z	Tipo de suelo	Periodo de espectro Tp (seg.)
Suelo de cimentación	2	0.25	S2	0.6

Fuente: Elaboración propia

- El departamento de Ayacucho posee un 74% de su superficie un relieve montañoso, un 2.16% un relieve colinoso, y un 23.49% planicies, dejando en áreas un 3 '226,829.90 ha de relieve montañoso; 94,167.19 ha de colinas y 1 '023,373.58 ha de planicies.
- El panorama fisiográfico que tiene mayor extensión, dentro del gran horizonte de Planicies es el que está compuesto sobre rocas sedimentarias conformadas por una secuencia de arenas, gravas, arcillas, aglomerados y tobas micro conglomerados, con un área aproximada de 467,188 ha que representa aproximadamente al 11 % de la superficie departamental.
- El panorama fisiográfico que tiene más extensión, dentro del gran horizonte de colinas, es el que está compuesto sobre rocas volcánicas y volcánicas sedimentarias, un combinado de ignimbritas, lavas, tobas, calizas lacustres y andesitas, cuya área aproximada es de 43,775 ha, que representa al 1 % del departamento aproximadamente.

- El panorama fisiográfico que tiene más extensión dentro del gran horizonte de montañas es el que está compuesto sobre rocas sedimentarias y volcánicas sedimentarias, con un área aproximada de 2 '506,591 ha que representa al 57.50% del total del área departamental aproximadamente.
- Las grandes fuentes de arcillas y limos en Ayacucho se encuentran en el distrito de Quinua.

El estudio geotécnico comprende la visita a campo de las zonas probables a realizar el modelo físico de la investigación, a fin de identificar las mejores condiciones geotécnicas y geológicas a favor de la investigación.

Las investigaciones se han realizado de acuerdo con la norma E-050 de suelos y cimentaciones, del reglamento nacional de edificaciones. Los trabajos efectuados sirven para determinar las características físicas, mecánicas y químicas del suelo, así como su estructura actual y comportamiento ante cargas externas.

Se realizó la excavación de calicatas de exploración a cielo abierto, por lo cual se pudo apreciar directamente el perfil estratigráfico de la zona, cubriendo la posible área de influencia del emplazamiento de la investigación, se extrajeron muestras en la cantidad suficiente que nos permitirá inferir características del suelo de fundación. Las muestras alteradas posteriormente fueron sometidas a ensayos de laboratorio a fin de conocer sus propiedades físicas y geomecánicas.

#### 4.5. Desarrollo del modelo físico de la investigación

Para la distribución de las calicatas, se hizo de acuerdo al criterio siguiente: Se escogieron 3 poblaciones con necesidad de UBS y con un tipo de suelo probable para la investigación, se realizó la excavación de 2 calicatas.

La parte de exploración de campo se realiza mediante la excavación de 6 calicatas en la modalidad de cielo abierto, las mismas que fueron ubicadas convenientemente y con profundidades suficientes de acuerdo con la presencia de terreno de fundación similar.

##### 4.5.1. Muestreo y registro de excavaciones

De las excavaciones se extrajo muestras de los estratos en donde se considera se van a realizar el emplazamiento y donde sean preponderadamente las condiciones más desfavorables, de acuerdo a la inspección visual realizada en campo, se obtuvo muestras alteradas de las calicatas a fin de realizar los ensayos estándar y especiales, los cuales fueron remoldeadas en laboratorio

para simular las condiciones de campo, así como muestras para el contenido de humedad en recipientes herméticos adecuadamente cerrados.

#### 4.5.2. Cálculo de la capacidad admisible de carga

Se realizó cinco excavaciones a cielo abierto es decir calicatas a fin de identificar las condiciones geotécnicas – geo mecánica del suelo de fundación, los cuales se distribuyen por la zona como sigue:

Tabla N°7: Ubicación y profundidad de las exploraciones en la localidad Sayhuapata

Localidad de Sayhuapata		
N° Calicatas	Ubicación	Profundidad
CC - 01	Sayhuapata	1.50 m
CC - 02	Sayhuapata	1.50 m

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°8: Ubicación y profundidad de las exploraciones en la localidad de Patasuyo "B"

Localidad de Patasuyo "B"		
N° Calicatas	Ubicación	Profundidad
CC - 01	Patasuyo "B"	1.30 m
CC - 02	Patasuyo "B"	1.20 m

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°9: Ubicación y profundidad de las exploraciones en la localidad de Paraccay

Localidad de Paraccay		
N° Calicatas	Ubicación	Profundidad
CC - 01	Paraccay	1.50 m
CC - 02	Paraccay	1.50 m

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente una vez identificado los estratos del suelo, se procedió a realizar el muestreo respectivo y se procedió a ejecutar los ensayos siguientes:

Descripción visual – manual, según la norma ASTM D 2488

Contenido de humedad natural, según la norma ASTM D 2216

Análisis granulométrico por tamizado, según la norma ASTM D 422

Límite líquido y límite plástico, según la norma ASTM D 4318  
 Clasificación unificada de suelos, según la norma ASTM D 2487  
 Proctor Modificado – manual, según la norma ASTM D 1557  
 Densidad seca mínima – manual, según la norma ASTM D 4252  
 Peso específico de los sólidos – manual, según la norma ASTM D 854  
 Peso volumétrico – manual, según la norma ASTM D 2937  
 Densidad Natural – manual, según la norma ASTM D 1556  
 Corte directo en suelos, según la norma ASTM D 3080  
 Finalmente se realizaron los cálculos respectivos a fin de calcular la capacidad portante del suelo y realizar las recomendaciones con fines de construcción.

#### 4.5.3. Perfiles estratigráficos

De acuerdo con la exploración realizada mediante las calicatas, tal como se observa en el récord de estudio de exploración y en los resultados de laboratorio se obtuvieron los datos registrados en las tablas N°10,11,12,13,14 y 15, de las calicatas excavadas.

Tabla N°10: Clasificación y tipo de suelo, calicatas de la localidad de Sayhuapata

	Sector	Calicata	Profundidad (mts)	SUCS	ASSHTO
Distrito de Quinoa - provincia de Huamanga	Localidad de Sayhuapata	CC - 01	1.5	CL	A-7-6
	Localidad de Sayhuapata	CC - 02	1.5	CL	A-6

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°11: Parámetros geotécnicos, calicatas de la localidad de Sayhuapata

	Calicata	HUMEDAD NATURAL %	LL	LP	IP
Localidad de Sayhuapata	CC - 01	12.02	42.1	25.8	16.3
	CC - 02	15.63	31.99	17.5	14.5

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°12: Clasificación y tipo de suelo, calicatas de la localidad de Patasuyo “B”

	Sector	Calicata	Profundidad (mts)	SUCS	ASSHTO
Distrito de Quinoa - provincia de Huamanga	Localidad de Patasuyo "B"	CC - 01	1.3	SC	A-2-6(0)
	Localidad de Patasuyo "B"	CC - 02	1.2	CL	A-6(7)

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°13: Parámetros geotécnicos, calicatas de la localidad de Patasuyo “B”

	Calicata	HUMEDAD NATURAL %	LL	LP	IP
Localidad de Patasuyo "B"	CC - 01	11.45	33.12	21.9	11.3
	CC - 02	15.63	31.64	14.4	17.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°14: Clasificación y tipo de suelo, calicatas de la localidad de Paraccay

	Sector	Calicata	Profundidad (mts)	SUCS	ASSHTO
Distrito de Quinoa - provincia de Huamanga	Localidad de Paraccay	CC - 01	1.5	SC	A-2-4(0)
	Localidad de Paraccay	CC - 02	1.5	SM	A-1-b(0)

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°15: Parámetros geotécnicos, calicatas de la localidad de Paraccay

	Calicata	HUMEDAD NATURAL %	LL	LP	IP
Localidad de Paraccay	CC - 01	13.25	27.28	18.3	9.02
	CC - 02	10.26	26.84	18.6	8.22

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.4. Capacidad admisible de carga

Las cimentaciones de estructura o equipo que soportan usualmente se diseñan para satisfacer ciertos requerimientos de servicios y resistencia. Las condiciones de servicio establecen que la cimentación debe comportarse satisfactoriamente, bajo las condiciones normales de cargas de operación que imponen la estructura o equipo que soportan, de tal forma que se satisfagan los propósitos de su diseño. Las limitaciones de servicio se describen típicamente por el asentamiento u otras limitaciones de movimiento y el criterio de resistencia tiene el propósito de asegurar que la cimentación tenga la suficiente resistencia para soportar grandes cargas que ocasionalmente pueden producir debido a fuerzas ambientales extremas o de otras fuentes.

Se determina la capacidad portante admisible del terreno con base en las características del subsuelo y se proponen dimensiones recomendables para la cimentación.

La capacidad de carga se ha determinado en base a la fórmula de Terzaghi y Peck (1967), con los parámetros de Vesic (1971). Bajo la fórmula siguiente:

$$q_{ult} = C_o * N_c + \frac{1}{2}y * B * N_y + y * D * N_q \quad (20)$$

Donde:

qu: Capacidad última de carga en kg/cm<sup>2</sup>.

C: Cohesión en kg/cm<sup>2</sup>

Y: Peso volumétrico del suelo

D: Profundidad desplazante

B: Ancho de la cimentación en m.

Nc, Nq, Ny: Factores de capacidad de carga

q adtrab = 1.33kg/cm<sup>2</sup> Para la PTAR Sayhuapata

q adtrab = 1.29kg/cm<sup>2</sup> Para la PTAR Paraccay

#### 4.5.5. Agresión al mortero en los terrenos

Los componentes químicos existentes en la naturaleza pueden ser agresivos con el concreto dañando así la estructura del pozo, a fin de verificar el potencial

agresivo se hicieron análisis de laboratorio al terreno de las calicatas, en donde se tiene los valores que se detallan en el siguiente cuadro.

Tabla N°16: Resultados de los ensayos químicos

N°	UBICACIÓN	CONTENIDO DE	CONTENIDO DE	PH
		CLORUROS (PPM)	SULFATOS (PPM)	
1	SAYHUAPATA	318.4	123.6	7.19
2	PATASUYO B	462.8	206.3	5.97
3	PARACCAY	329.6	59.6	6.51

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados de los ensayos químicos, se puede concluir que las muestras provenientes del suelo de cimentación, presentan un contenido de cloruros, sulfatos y sales solubles por debajo del límite sin generar daño a las estructuras, por lo que se podrá utilizar cemento convencional del tipo Portland I para la construcción del solado y muros del pozo de absorción.

#### 4.5.6. Clasificación del material de excavación

De acuerdo con lo observado en campo y en concordancia con el perfil estratigráfico, y de acuerdo a las vistas fotográficas, se recomienda la siguiente clasificación al material de excavación de acuerdo al siguiente criterio:

- Material Suelto (MS)
- Roca Suelta (RS)
- Roca Fija (RF)

De acuerdo con esta clasificación es que se ha efectuado el trabajo de prospección en cada calicata y estación geomecánica y a lo largo del corte, con la finalidad de definir el tipo de material de excavación.

Tabla N°17: Clasificación de material: Localidad de Sayhuapata

CLASIFICACIÓN DE MATERIAL: LOCALIDAD DE SAYHUAPATA				
UBICACIÓN	CLASIFICACIÓN DE MATERIAL			DESCRIPCIÓN
	MS	RS	RF	
CC - 01	80	20	0	Fm. Ayacucho, miembro superior, secuencia sedimentaria; formado por arcillas inorgánicas por conglomerados de cantos rodados
CC - 02	70	30	0	Fm. Ayacucho, miembro superior, secuencia sedimentaria; formado por

arcillas inorgánicas por conglomerados de cantos rodados

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°18: Clasificación de material: Localidad de Patasuyo “B”

UBICACIÓN	CLASIFICACIÓN DE MATERIAL: LOCALIDAD DE PATASUYO B			DESCRIPCIÓN
	CLASIFICACIÓN DE MATERIAL			
	MS	RS	RF	
CC - 01	85	15	0	Fm. Ayacucho, miembro superior, secuencia sedimentaria; formado por arenas limosas con presencia de cantos rodados y material de compacidad semi compacto a compacto.
CC - 02	90	10	0	Fm. Ayacucho, miembro superior, secuencia sedimentaria; formado por suelo areno - arcilloso, engloba gravillas sub angulares menores a 1”

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°19: Clasificación de material: Localidad de Paraccay

UBICACIÓN	CLASIFICACIÓN DE MATERIAL: LOCALIDAD DE PARACCAY			DESCRIPCIÓN
	CLASIFICACIÓN DE MATERIAL			
	MS	RS	RF	
CC - 01	75	25	0	Fm. Ayacucho, miembro superior, secuencia sedimentaria; formado por arenas limosas con presencia de cantos rodados y material de compacidad semi compacto a compacto.
CC - 02	70	30	0	Fm. Ayacucho, miembro superior, secuencia sedimentaria; formado por arenas limosas con presencia de cantos rodados y material de compacidad semi compacto a compacto.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5.7. Ubicación del pozo de absorción de la investigación

Según los datos obtenidos por pruebas de laboratorio, es decir su contenido de humedad, límite líquido, límite plástico, perfil estratigráfico, clasificación de material y granulometría, las zonas donde se podría realizar el modelo físico de la investigación son en la localidad de Sayhuapata y Patasuyo “B”, puesto que las pruebas en las calicatas N°2 de ambas zonas tienen un suelo arcilloso con buena presencia de limos, que es el tipo de suelo ideal para esta investigación.

Finalmente siendo escogida para esta investigación la calicata CC-02 de la localidad de Sayhuapata, cuyos parámetros se describen en la siguiente tabla.

Tabla N°20: Parámetros geotécnicos de la calicata seleccionada

Parámetros Localidad de Sayhuapata - Calicata CC-02	
Profundidad (mts)	1.5
Clasificación del material según SUCS	CL
Clasificación del material según ASSHTO	A-6
HUMEDAD NATURAL %	15.63
Límite Líquido	31.99
Límite Plástico	17.5
Índice de plasticidad	14.49
CONTENIDO DE CLORUROS (PPM)	318.4
CONTENIDO DE SULFATOS (PPM)	123.6
PH	7.19

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6. Capacidad de percolación de la zona

El objetivo de este ensayo es definir los valores de percolación del suelo donde se realizó el modelo físico de esta investigación.

Se efectuó el test de percolación, a fin de obtener un estimado del tipo cualitativo de la capacidad de absorción de los suelos, en donde se propone la utilización de un pozo percolador para los residuos líquidos de lecho de secado.

##### Investigaciones realizadas

El programa de trabajo realizado con este propósito ha consistido en:

- Se excavaron agujeros cuadrados de 0.3 x 0.3 m cuyo fondo queda a la profundidad a la que se construirá el pozo de absorción.
- Se vertió cuidadosamente con agua limpia el agujero, saturando la zona y llenando los 0.30 m.
- Una vez al nivel, se debe controlar el tiempo de descenso de 1 cm de agua dentro del agujero.

Estos datos se registrarán bajo los parámetros de la siguiente tabla.

Tabla N°21: Parámetros de infiltración

Clase de terreno	R(L/m2xdía)	R(L/m2xdía)
------------------	-------------	-------------

	Tiempo de infiltración para el descenso de 1 cm		máx.	min
Rápidos	De 1 a 4 minutos	>70	130	70
Medios	De 4 a 8 minutos	50-70	70	50
Lentos	De 8 a 12 minutos	30-50	50	30
Muy lentos	De 12 a 24 minutos	25-30	30	25
	Más de 24 minutos	<30		

Fuente: Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural (2018)

#### 4.7. Propiedades de los materiales a utilizar en el pozo de absorción.

##### 4.7.1. Ladrillo

La arcilla con la que se fabrica el ladrillo es un componente sedimentario de partículas muy finas de silicatos hidratados, acompañado de otros minerales como la illita, el caolín y la montmorillonita. Anteriormente se utilizaba el adobe como en la función del ladrillo, puesto que se fundamenta en la noción de uso de barro arcilloso para la construcción de paredes, aunque el adobe no sufre los cambios físico-químicos como los sufre el ladrillo al cocinarlo. El ladrillo es la adaptación invariable del adobe, fruto de las altas temperaturas (más de 350 °C) que se utilizan para cocinarlo. Los ladrillos son utilizados en edificación como muros, cercos y particiones. Construyendo principalmente tabiques. Aunque se pueden colocar sin un componente como pegamento, lo tradicional es que se armen con mortero. La posición de los ladrillos en el tabique se conoce como aparejo, y existe una gran variedad de ellos.

##### Geometría

Tiene forma de un paralelepípedo rectángulo, en el que sus otras dimensiones toman la denominación de soga, canto y cabeza, siendo la soga la más común. Asimismo, las diferentes caras del ladrillo reciben el nombre de tabla, canto y testa (la tabla es la mayor). Por lo general, la soga es del doble de longitud que el muro de cabeza o, más exactamente, dos cabezas más una junta, lo que permite la manipulación de este elemento. El muro de cabeza, por el contrario, es posible que no esté modulado.

Hay diferentes dimensiones de ladrillo, con frecuencia son de un tamaño que se pueda manipular con una mano. El formato métrico, en el que las dimensiones son dos veces la inmediatamente menor, más 1 cm de junta y el

formato catalán de dimensiones  $29 \times 14 \times 5,2 / 7,5 / 6$  cm, y los más normalizados que miden  $25 \times 12 \times 5$  cm.

Siguen siendo muy utilizados por su gran demanda, esto por su economicidad en obra, el ladrillo con medidas de  $50 \times 24 \times 5$  cm, especialmente en formatos de ladrillo hueco.



Figura N° 11: Parámetros del ladrillo utilizado

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.2. Arcilla

La arcilla es un tipo de suelo sedimentario descompuesto conformado por agregados de silicatos de aluminio hidratados naturales de la desintegración de rocas que contienen feldespato, como el granito. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, desde el rojo, amarillo, anaranjado blanco.

Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,0039 mm. En la fracción textural arcilla puede haber partículas no minerales, los fitolitos. Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es:  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ .

Se caracteriza por adquirir plasticidad al ser mezclada con agua, y también sonoridad y dureza al calentarla por encima de  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ . La arcilla endurecida mediante la acción del fuego fue la primera cerámica elaborada por los seres humanos, y aún es uno de los materiales más baratos y de uso más

amplio. Ladrillos, utensilios de cocina, objetos de arte e incluso instrumentos musicales como la ocarina son elaborados con arcilla. También se la utiliza en muchos procesos industriales, tales como en la elaboración de papel, revestimientos cerámicos, producción de cemento y procesos químicos.

#### 4.7.3. Limo y arcilla

El suelo limoso es aquel que está compuesto en mayor medida por el limo, un sedimento cuyo tamaño no supera los 0,05 milímetros. Dado su tamaño tan pequeño y liviano, es transportado a través de las corrientes de aire y de los ríos y es depositado en distintas zonas, especialmente en aquellas cercanas a los cauces de los ríos.

El suelo limoso corresponde a una de las tres clasificaciones de los suelos según su textura, siendo los otros dos suelos arenosos y arcillosos. El suelo arenoso se caracteriza por tener una textura más gruesa, son ásperos y poco adhesivos. Por otro lado, el suelo arcilloso resulta jabonoso al humedecerse y es bastante impermeable; están compuestos también por partículas de grava, arcilla y arena; probablemente, es esta particularidad la que los hace tan fértiles y fáciles de trabajar. Sin embargo, para que un suelo limoso sea considerado como tal, debe contener al menos un 80% de limo. La característica frágil y suave del limo le permite viajar con el viento y el agua. Durante este recorrido, las partículas se hacen más y más pequeñas, debido al impacto que sufren con distintas superficies en el camino y a otros procesos químicos que ocurren en este traslado.

El limo es capaz de cambiar por completo la apariencia de los paisajes, dado que después de su recorrido puede depositarse en espacios como lagunas o humedales. Al aumentar el tamaño de este depósito, el agua que allí se encuentra termina trasladándose a otra masa de agua. De hecho, muchos deltas se han originado como consecuencia del traslado y depósito de limo.



Figura N° 12: Tipo de suelo de la investigación

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7.4. Mortero

El mortero es una mezcla de aglutinantes inorgánicos, agregados finos y agua, y posibles aditivos que sirven para aparejar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras, bloques de hormigón, etc. Además, se usa para rellenar las áreas que quedan entre los bloques y para el revestimiento de paredes. Los conglomerantes más comunes en la actualidad son los de cemento aunque históricamente han sido la cal, la tierra y el yeso los más utilizados.

Generalmente, se manejan para obras de albañilería, como material de agarre, revestimiento de paredes, etc. En esta investigación se utilizará como solado y junta para levantar el muro de ladrillos, cumplió la función de sostener y mantener firme el muro circular dentro del pozo de absorción.

#### 4.7.5. Piedra de una y media pulgada

Se forma por el enfriamiento y consolidado de magma como materia rocosa derretida, es andesita (roca ígnea), compuesta casi en su totalidad por silicatos. Se obtiene por trituración artificial de rocas o gravas y en tamaño, que en nuestro caso es de ½” y 1” obtenido del río Chacco. En este caso la utilizaremos como filtro y dispersor del fluido.



Figura N° 13: Piedra de una pulgada utilizada

Fuente: Elaboración propia

#### 4.8. Dimensionamiento del pozo de absorción

##### 4.8.1. Caudales de uso

La presente investigación se desarrolló en función a la necesidad de mejorar el servicio de saneamiento en comunidades del distrito de Quinua que se encuentren frente al problema de la poca permeabilidad de los suelos limo arcillosas existentes en la zona. De acuerdo con la Guía de saneamiento básico de la SNIP podemos utilizar los datos de la tabla N°22.

Tabla N°22: Tabla de dotación por área geográfica

Región geográfica	Consumo de agua doméstico, dependiendo del sistema de disposición de excretas utilizado	
	Letrinas sin arrastre hidráulico	Letrinas con arrastre hidráulico
Costa	50 a 60 l/h/d	90 l/h/d
Sierra	40 a 50 l/h/d	80 l/h/d
Selva	60 a 70 l/h/d	100 l/h/d

Fuente: Guía de saneamiento básico de la SNIP (2011)

Habitantes por vivienda: 4

Dotación según tabla N° 21

Dotación: 80

$$Q = 0.80 \times P_{ob} \times \frac{Dot}{1000} \quad (21)$$

Caudal a utilizar en la investigación.

Q: 0.256

#### 4.8.2. Profundidad del pozo



Figura N° 14: Curva para determinar la capacidad de absorción del suelo

Fuente: Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural (2018)

Tabla N°23: Tabla de infiltración para el descenso de 1 cm

Clase de terreno	Tiempo de infiltración para el descenso de 1cm
Rápidos	De 1 a 4 minutos
Medios	De 4 a 8 minutos
Lentos	De 8 a 12 minutos

Fuente: Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural (2018)

De acuerdo con la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural de la RM-192-2018-VIVIENDA El diámetro mínimo del pozo debe ser de 1,00 metro y una profundidad como mínimo de 2,00 metros.

Caudal: 256 l/día  
R: 39 l/(m<sup>2</sup>\*día)

$$A = Q/R \quad (22)$$

Área requerida (m<sup>2</sup>): 6.56 m<sup>2</sup>  
D del pozo de perc.: 1  
Número de pozos: 1

$$H = \frac{\text{Área Requerida}}{\pi \times \text{Diámetro}} \quad (23)$$

Altura: 2.09

Profundidad Adoptada para el pozo de absorción: 2.10 m

El diámetro utilizado de acuerdo a la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural, el diámetro mínimo del pozo de absorción es de un metro. Ese es el valor determinado para este pozo de absorción.

#### 4.8.3. Geometría del pozo de absorción.

Una vez obtenido los datos de altura y diámetro del pozo circular, se procedió a graficar.

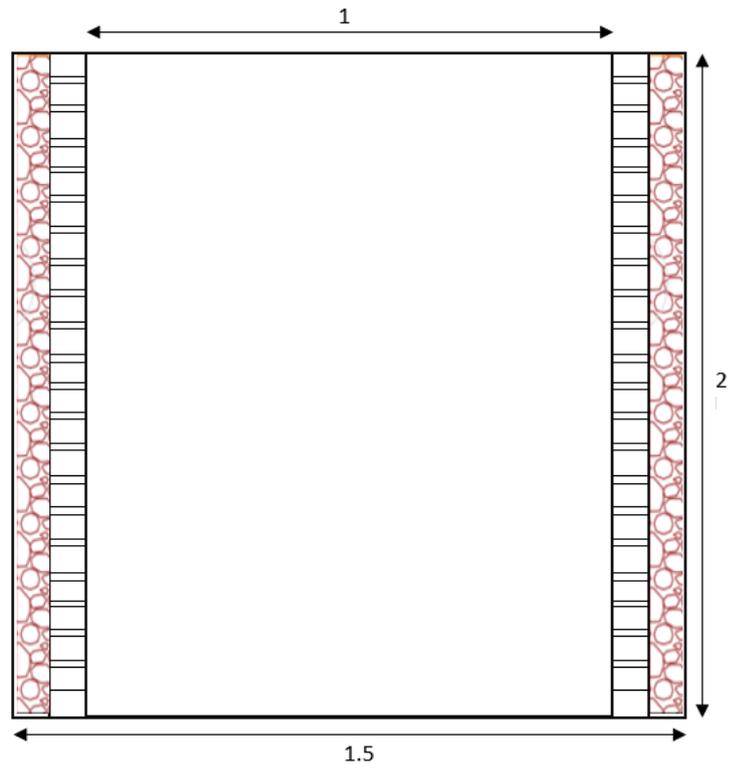


Figura N° 15: Geometría del pozo de absorción

Fuente: Elaboración propia

#### 4.9. Dimensionamiento del Sistema de Infiltración

El sistema de infiltración se diseñó tomando en cuenta el criterio del Servicio de United States Soil Conservation Service (USSCS) bajo el primer y segundo lineamiento del criterio de Terzaghi, para el diámetro de la piedra o en este caso piedras del filtro y diferentes alturas para los dos ensayos, propuestos por esta investigación en función a la altura del pozo calculado. El modelo físico fue construido de tal manera que se ensayó los dos diseños de filtro dentro del pozo de absorción.

A continuación, se detalla el procedimiento para el diseño del sistema de infiltración:

- a) El primer paso realizado fue obtener la curva granulométrica del suelo base, en este caso como se explicó anteriormente se analizaron mediante pruebas de laboratorio las muestras de la calicata CC-02 de la localidad de Sayhuapata, consiguiendo la curva que se aprecia en la figura N°17.

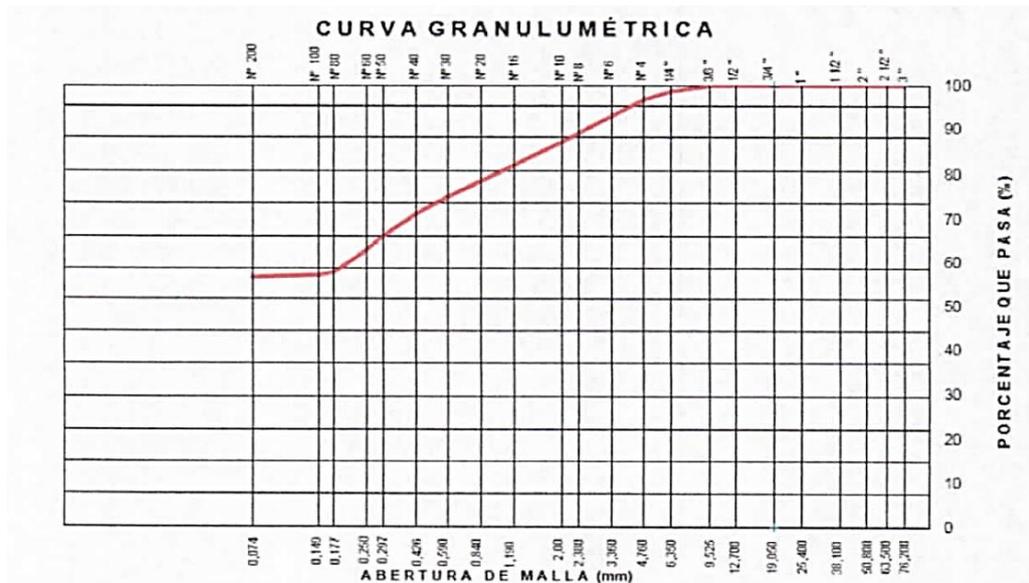


Figura N° 16: Curva granulométrica del suelo base de la investigación

Fuente: Pruebas de Laboratorio

- b) Con el gráfico de la curva se determinó los diámetros del 15% y 85% que pasa la muestra de suelo.

Diámetro del 15% que pasa el suelo base de la investigación

D15b: 0 mm

Diámetro del 85% que pasa el suelo base de la investigación

D85b: 1.595 mm

- c) Al determinar que el 2.4% del material es retenido en la malla número 4, se realizó un ajuste al porcentaje que pasa del análisis granulométrico del suelo base mediante un factor que resulta de la siguiente fórmula N°24.

$$Factor = \frac{100}{\%pasa\ tamiz\ N^{\circ}4} \quad (24)$$

Porcentaje que pasa el tamiz N°4

% pasa tamiz N°4 = 95.7%

Factor = 100/95.7

Factor = 1.04493208

- d) Una vez que se determinó el factor de ajuste, se multiplicó a cada uno de los valores de porcentaje que pasa menores al del tamiz número 4 con este factor, después se graficó la curva con los nuevos valores.

%reajustado tamiz N°6 =	100
%reajustado tamiz N°8 =	100
%reajustado tamiz N°10 =	88.71
%reajustado tamiz N°16 =	88.71
%reajustado tamiz N°20 =	88.71
%reajustado tamiz N°30 =	84.84
%reajustado tamiz N°40 =	77.84
%reajustado tamiz N°50 =	73.04
%reajustado tamiz N°60 =	69.07
%reajustado tamiz N°80 =	63.21
%reajustado tamiz N°100 =	62.48
%reajustado tamiz N°200 =	61.96

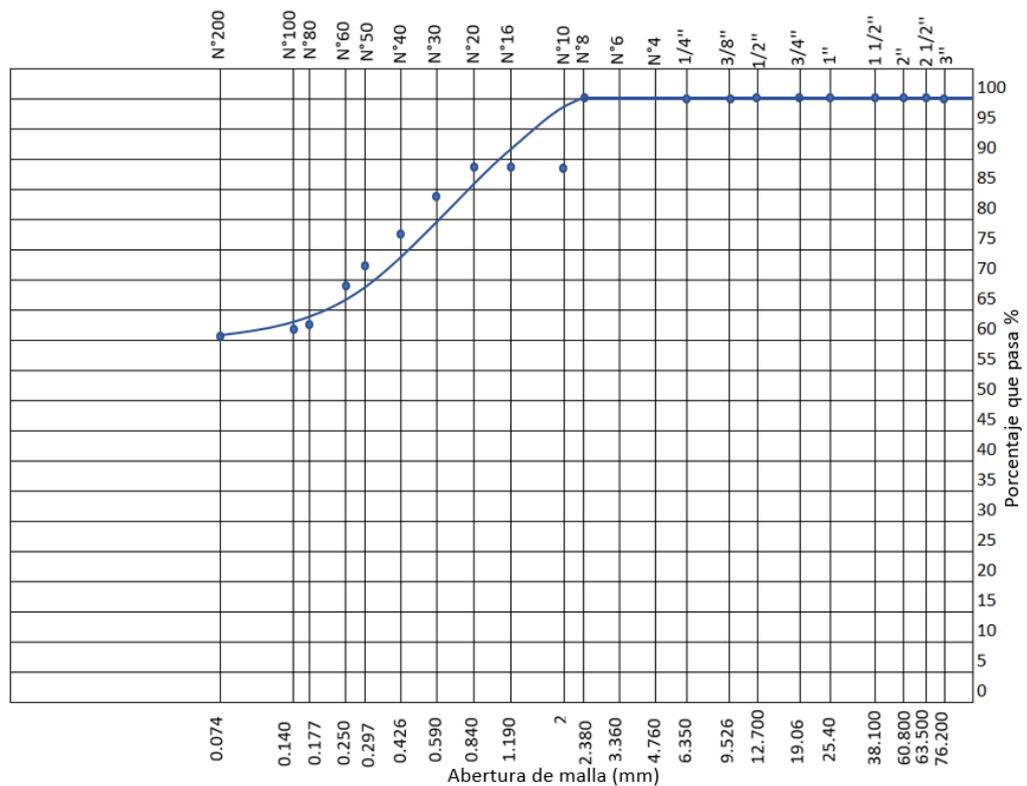


Figura N° 17: Curva granulométrica del suelo base reajustado

Fuente: Elaboración propia

- e) Se determinó el porcentaje que pasa del tamiz N°200 de la curva granulométrica reajustada del suelo base.

Porcentaje que pasa el tamiz N°200

$$\% \text{Pasa N}^\circ 200 = 61.96\%$$

- f) Se clasificó el tipo de suelo según el criterio de la USSCS, que toma el valor de lo que pasa el tamiz N°200 como factor determinante como se ve en la tabla N°24.

Tabla N°24: Clasificación de suelo según USSCS

Clasificación del suelo		
Categoría 1:	$A > 85$	Arcillas y limos finos
Categoría 2:	$40 \leq A \leq 85$	Arenas, limos, arcillas y arenas arcillosas y limosas
Categoría 3:	$15 \leq A \leq 40$	Arenas y gravas, arcillosas y limosas
Categoría 4:	$A < 15$	Arenas y gravas

Fuente: Nieto, Zambrano (2018)

%PasaN°200= 61.96% (A)

Se encuentra dentro de la categoría 2, es decir se clasifica como arena, limo arcillas y arenas arcillosas y limosas, tipo de suelo ideal para esta investigación.

- g) Desde este punto se empezó a analizar la granulometría ideal para el filtro, según el criterio de retención que maneja la USSCS apreciable en la tabla N°25, se determinó el diámetro máximo por el que pasa el 15% del material del filtro.

Tabla N°25: Criterio de retención según USSCS

Criterio de retención		
Categoría 1:	Límites	$\leq 9 d_{85b}$ , pero no menor que 0.2mm
Categoría 2:	Límites	$\leq 0.7\text{mm}$
Categoría 3:	Límites	$((40-A)/(40-15))[4d_{85b}-0.7]+0.7$ si $4d_{85b} < 0.7$ usar 0.7mm
	Aplicación	Terraplenes y cimentaciones de obras hidráulicas (USSCS), Presas de tierra, enrocados y obras hidráulicas pequeñas (USBR)
Categoría 4:	Límites	$\leq 4d_{85b}$
	Aplicación	Obras hidráulicas pequeñas (USBR)

Fuente: Nieto, Zambrano (2018)

Al estar el suelo en la clasificación 2, el diámetro máximo por el que pasa el 15 % del material del filtro puede ser igual o menor a 0.7 mm, la investigación tomó el máximo valor, es decir.

D15f máx. = 0.7 mm

- h) Esta investigación se basó en la construcción del pozo de absorción para una unidad básica de saneamiento es decir un sistema de drenaje para poblaciones

rurales, por ende, dentro de los criterios de USSCS para su aplicación, esta es una obra hidráulica pequeña.

- i) Según el criterio de permeabilidad, el diámetro mínimo por el que pasa el 15% del material del filtro depende del material que pasa el 15% del material del suelo base según la aplicación como muestra la tabla N°26.

Tabla N°26: Criterio de permeabilidad según USSCS

Criterio de permeabilidad			
Todas las categorías	$\geq 3d_{15b}$	$\geq 4d_{15b}$	$\geq 5d_{15b}$
Aplicación	Terraplenes	Terraplenes y cimentaciones de obras hidráulicas (USSCS)	Presas de tierra, enrocados y obras hidráulicas pequeñas (USBR)
En ningún caso debe ser menor que 0.1 mm			

Fuente: Nieto, Zambrano (2018)

El diámetro que pasa el 15 % del material en la muestra del suelo base no existe, puesto que, en el análisis granulométrico, el porcentaje que pasó la malla número 200 es del 61.96%. El diámetro por el que pasa el 15% del suelo del filtro es 0.1 mm, puesto que en ningún caso debe ser menor que ese diámetro.

$$D_{15fmin} = 0.1 \text{ mm}$$

- j) Como siguiente paso se limitó el diámetro máximo por donde pasa el 100% y el diámetro mínimo por donde pasa el 5% del material del filtro.

En este caso según el criterio de USSCS el máximo debe ser 3 pulgadas para el diámetro máximo que pasa el 100% y para el diámetro mínimo por el que pasa el 5% del material del filtro debe ser 0.075 mm es decir debe pasar por el tamiz N°200

$$D_{100fmax} = 3''$$

$$D_{5fmin} = 0.075 \text{ mm}$$

- k) Una vez encontrados los 3 puntos, se graficó las curvas granulométricas, con una forma similar a la curva del suelo base, para así encontrar el rango del diámetro que pasa el 100 % del material

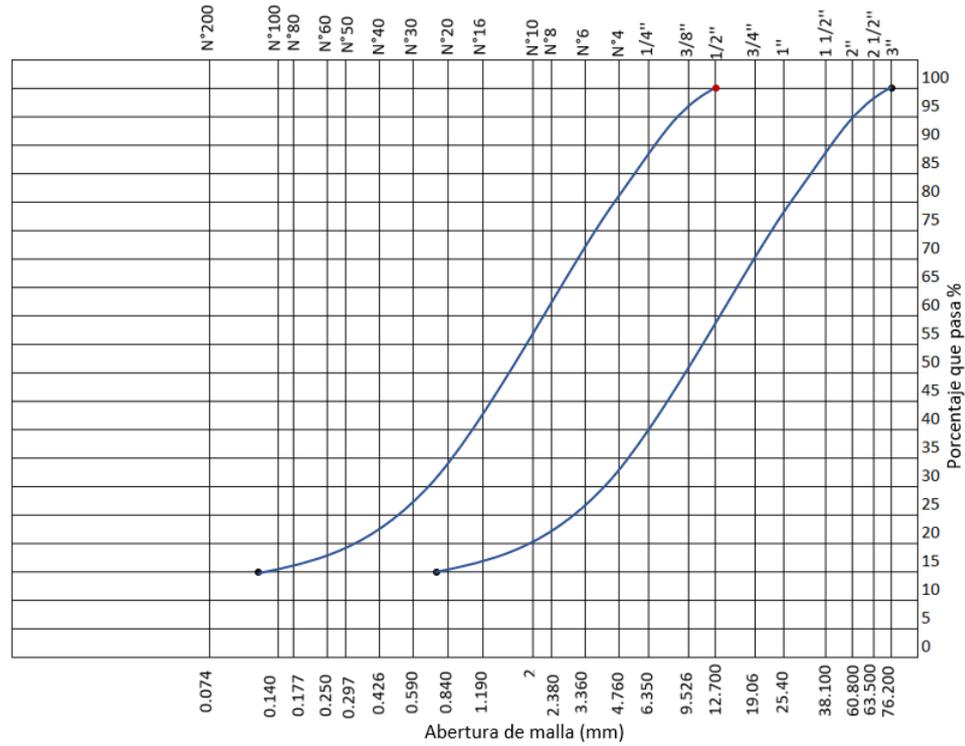


Figura N° 18: Curvas granulométrica para el suelo del filtro

Fuente: Elaboración propia

El rango de diámetros por los que pasa el 100% del material es desde la piedra de ½ pulgada hasta la piedra de 3 pulgadas.

#### 4.10. Escenarios de Análisis.

Una vez obtenido el rango de diámetros a usar para los filtros del pozo, se propuso la altura de 1 metro para la construcción del modelo físico

##### 4.10.1. Primer diseño de filtro a analizar en el modelo físico

Para el primer diseño se escogió el tamaño comercial de piedra que se encontraba en el medio del rango de posibilidades, que en este caso fue la piedra de 1 pulgada. Por ende, el filtro para el primer diseño a ensayar consta en piedra de una pulgada con un metro de altura, tal como muestra la figura N°19.

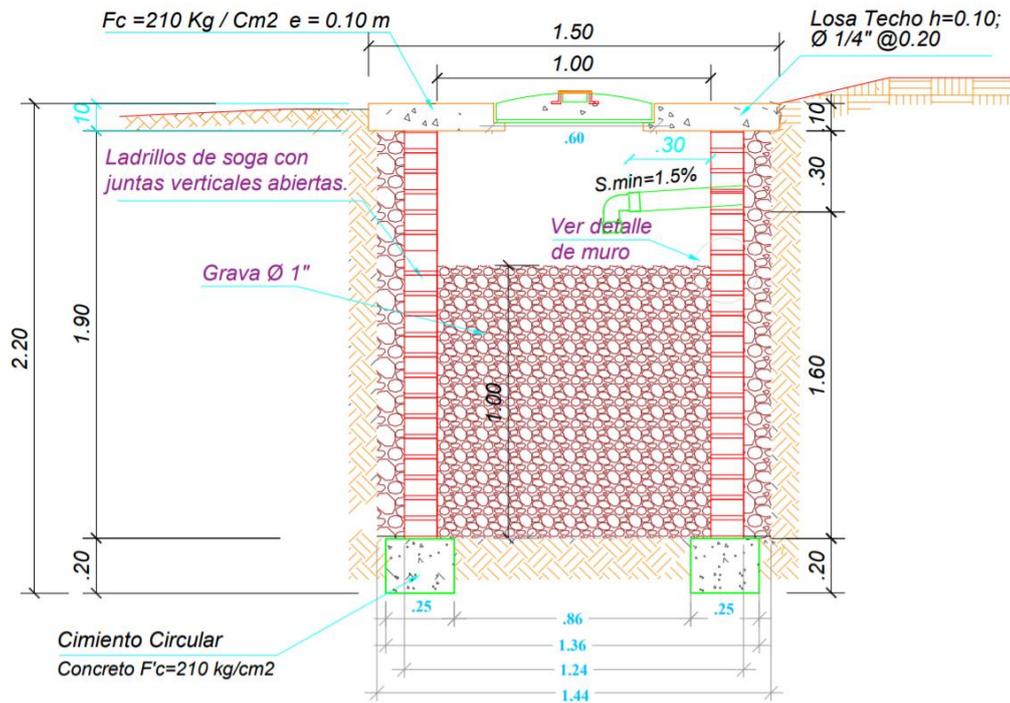


Figura N° 19: Primer diseño del pozo de absorción a ensayar.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.10.2. Segundo diseño de filtro a analizar en el modelo físico

Para el segundo diseño se propuso seleccionar dos tamaños de piedra dentro del rango, para esto se analizó la diferencia de tamaño y lo comercial que son. Se escogió piedra de una pulgada para la capa de la base y piedra de media pulgada como capa superior, las dos capas con una altura de 50 cm, para así llegar a la altura de un metro, tal como indica la figura N°20.

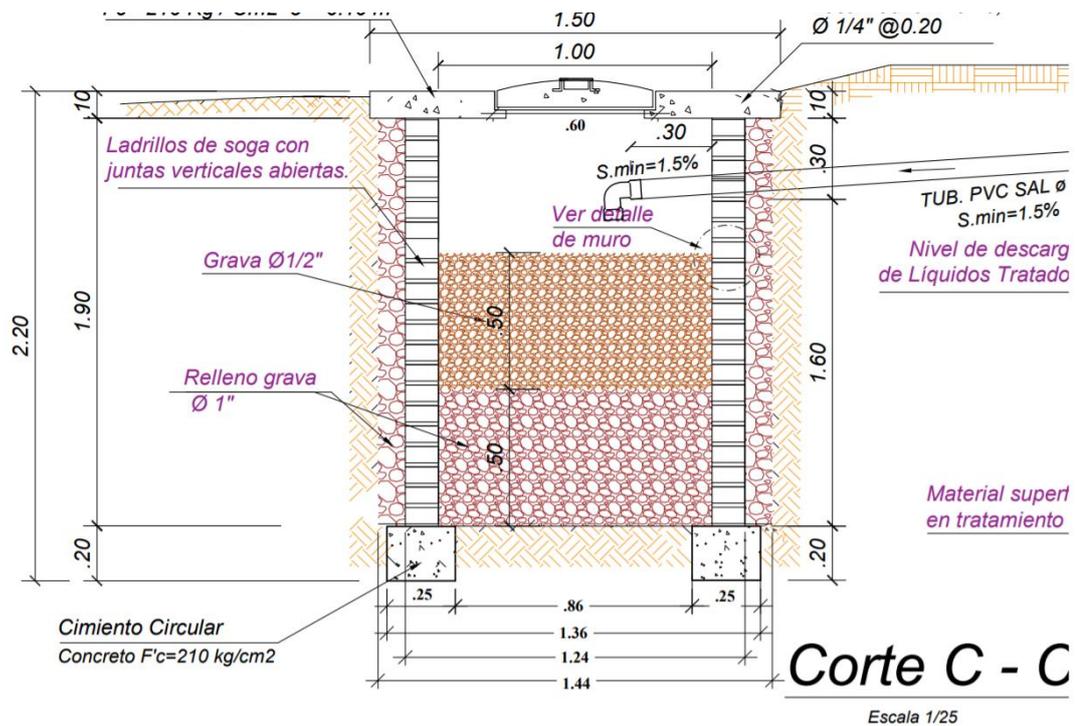


Figura N° 20: Primer diseño del pozo de absorción a ensayar.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.11. Ejecución del modelo físico

Se excavó las dimensiones requeridas por la investigación para el modelo físico



Figura N° 21: Pozo excavado con el muro de ladrillo construido

Fuente: Elaboración propia

Se llenó de piedra de una pulgada a los bordes y en el centro a una altura de un metro para el primer ensayo. De la misma manera para el segundo ensayo del filtro mixto, piedra de una y media pulgada a una altura de un metro.



Figura N° 22: Imagen de la medida de la piedra a la superficie.

Fuente: Elaboración propia

Una vez con las medidas exactas se procedió a saturar la zona para luego llenar el pozo a 30 cm de la parte superior de la piedra, en ambos ensayos.

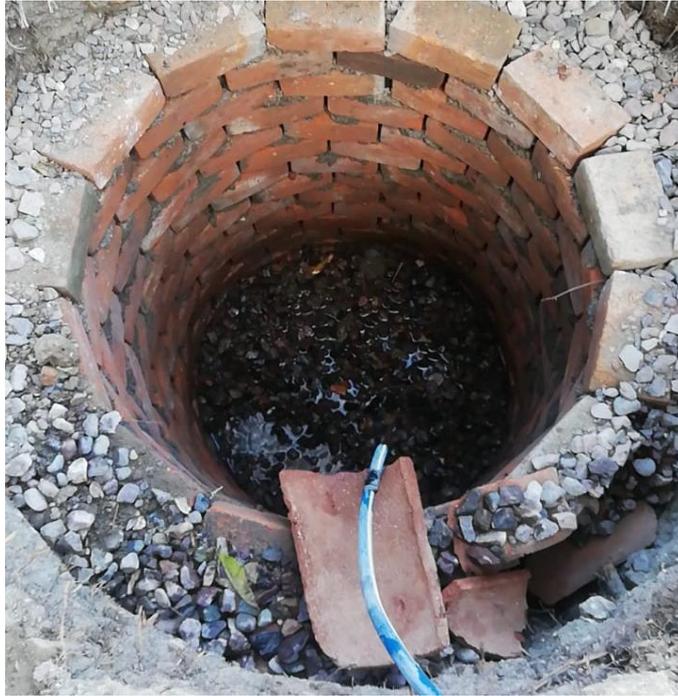


Figura N° 23: Saturado del pozo de absorción.

Fuente: Elaboración propia

Con el pozo lleno de agua a la altura determinada, se registró los tiempos en el que el fluido iba filtrando 1 cm de altura.



Figura N° 24: Prueba de permeabilidad.

Fuente: Elaboración propia

#### 4.12. Análisis del pozo de absorción

El pozo de absorción para unidades básicas de saneamiento, tiene como función recibir todos los líquidos resultantes del mismo para finalmente filtrarlos al terreno natural a esa profundidad, según la prueba de percolación realizada, el suelo limo arcilloso presente en la zona de la investigación en el distrito de quinoa impiden esa filtración por la baja permeabilidad que tiene, el criterio USSCS utilizado en esta investigación enfoca su proceso en la filtración de partículas que el flujo acarrea en grandes sistemas que manejan agua u otros líquidos, este criterio indica que siguiendo el procedimiento se obtuvo un filtro capaz de prevenir la erosión en estos sistemas, dando dos curvas granulométricas con dos diámetros de material que pasa el 15% y dos diámetros de material que pasan el 100% uno máximo y otro mínimo, se utilizó este último rango para escoger la piedra del filtro, que no solo funcionó como frente a la obstrucción de poros del material base sino también por la altura que se le incorporó, el pozo funcionó como un dispersor de agua en dirección a las paredes laterales haciendo que la absorción del líquido no solo dependa de la base. En el siguiente capítulo se detallan los resultados de la prueba física del pozo de absorción.

## CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN EL MODELO FÍSICO DEL POZO DE ABSORCIÓN

### 5.1. Resultados del análisis de filtraciones

Los análisis de filtraciones realizados en el pozo de absorción, consideró dos filtros, estos se dieron debido a la necesidad de aprovechar el pozo de absorción construido y buscar un mayor aumento de la permeabilidad, Los ensayos se desarrollaron con un filtro de piedra uniforme y un filtro de piedra mixta es decir dos capas de piedra con diferente tamaño. Inicialmente se ensayó el pozo sin filtro para tener una muestra de cuál sería la diferencia utilizando los filtros, llenando el pozo a una cierta altura y simulando el comportamiento del sistema básico de saneamiento que es el sistema base de esta investigación. Una vez obtenido los datos de infiltración del primer ensayo se procede a llenar un metro del pozo con la piedra de una pulgada y a llenarlo hasta la altura de un metro treinta, con el fin de observar y analizar la filtración que esta presentará. Finalmente se sacó 50 cm de piedra de una pulgada y se agregó piedra de media pulgada hasta llenar 50 cm de altura, una vez listo el filtro se procede a llenar el pozo a una altura de un metro treinta posteriormente se anota los datos requeridos para medir la filtración.

#### 5.1.1. Resultados de análisis de filtración del pozo sin filtro de grava

Este primer análisis se desarrolló con el pozo de absorción construido, en su totalidad sin la presencia de algún filtro en su interior, es decir el pozo se ensayó con grava en los bordes más no en el centro. Se llenó con agua a un metro treinta centímetros del fondo del pozo y se fue registrando el tiempo en el que filtraba un centímetro de agua, los resultados se muestran en la tabla N°27

Tabla N°27: Datos de campo del primer ensayo

DATOS DE CAMPO					
N°	Hora Inicial	Hora Final	Lectura inicial (cm)	Lectura final (cm)	Diferencia (cm)
1	5:50 p. m.	6:00 p. m.	130	127.5	2.5
2	6:00 p. m.	6:10 p. m.	127.5	125.7	1.8
3	6:10 p. m.	6:20 p. m.	125.7	124.5	1.2
4	6:20 p. m.	6:30 p. m.	124.5	123.5	1
5	6:30 p. m.	6:40 p. m.	123.5	122.5	1
6	6:40 p. m.	6:50 p. m.	122.5	121.5	1

Fuente: Elaboración propia

Los datos registrados se uniformizan a partir del ítem número 4, quedando los datos de los ítems 4, 5 y 6 para analizar, estos concluyen que en un tiempo de 10 minutos se infiltra 1 cm de altura de agua, es decir la tasa de percolación es de 10 min/cm, según la figura N°25 el coeficiente de infiltración (R) es 40 lt/m<sup>2</sup>\*día.



Figura N° 25: Capacidad de absorción del primer ensayo

Fuente: Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural (2018)

La velocidad de infiltración de este ensayo se determinó dividiendo la altura sobre el tiempo de los datos uniformes del registro.

$$V_{\text{ensayo1}} = 3/30, \text{ que da como resultado es } 0,1 \text{ m/s}$$

#### 5.1.2. Resultados de análisis de filtración del pozo con filtro de una sola piedra

Este segundo análisis se desarrolló con el primer filtro en el interior del pozo de absorción, es decir se llenó el pozo de grava de una pulgada a una altura de un metro y se procedió a llenarlo de agua a una altura de 1.30 m de altura y se empezó a anotar cada cuanto tiempo filtraba un centímetro de agua, los resultados fueron los siguientes.

Tabla N°28: Datos de campo del segundo ensayo

DATOS DE CAMPO					
N°	Hora Inicial	Hora Final	Lectura inicial (cm)	Lectura final (cm)	Diferencia (cm)
1	1:00 p. m.	1:10 p. m.	30.00	37.00	7.00
2	1:10 p. m.	1:20 p. m.	37.00	42.50	5.50
3	1:20 p. m.	1:30 p. m.	42.50	47.00	4.50
4	1:30 p. m.	1:40 p. m.	47.00	50.50	3.50
5	1:40 p. m.	1:50 p. m.	50.50	53.50	3.00
6	1:50 p. m.	2:00 p. m.	53.50	56.50	3.00

Fuente: Elaboración propia

Los datos registrados concluyen que en un tiempo de 10 minutos se infiltra 3 cm de altura de agua, es decir la tasa de percolación es de 3.33 min/cm, según la figura N°26 el coeficiente de infiltración (R) es 76 lt/m<sup>2</sup>\*día.

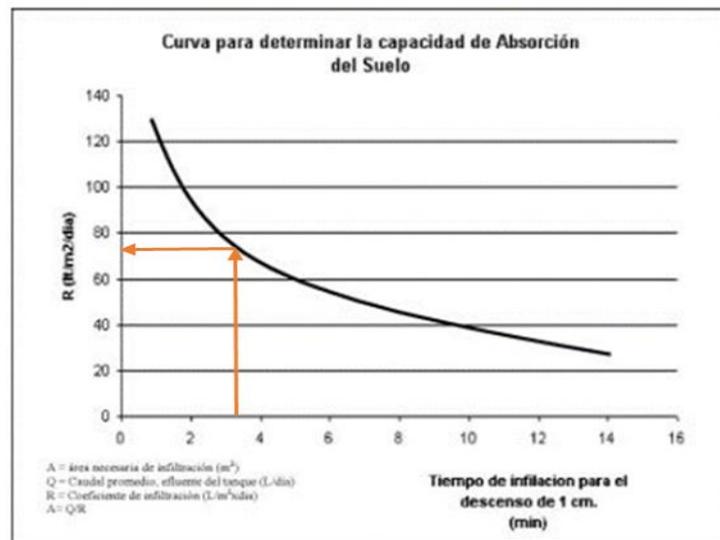


Figura N° 26: Capacidad de absorción del primer ensayo

Fuente: Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural (2018)

La velocidad de infiltración de este ensayo se determinó dividiendo la altura sobre el tiempo de los datos uniformes del registro.

$$V_{\text{ensayo1}} = 3/10, \text{ que da como resultado es } 0,3 \text{ m/s}$$

### 5.1.3. Resultados de análisis de filtración del pozo con filtro de dos capas

Este tercer análisis se desarrolló con el segundo filtro en el interior del pozo de absorción, es decir se retiró 50 cm de altura de grava de una pulgada y se

procedió a llenar 50 cm de grava de media pulgada logrando una altura de un metro y se procedió a llenarlo de agua a una altura de 1.30 m de altura y se empezó a anotar cada cuanto tiempo filtraba un centímetro de agua, los resultados fueron los siguientes.

Tabla N°29: Datos de campo del segundo ensayo

DATOS DE CAMPO					
N°	Hora Inicial	Hora Final	Lectura inicial (cm)	Lectura final (cm)	Diferencia (cm)
1	2:40 p. m.	2:50 p. m.	29.70	41.20	11.50
2	2:50 p. m.	3:00 p. m.	41.20	51.40	10.20
3	3:00 p. m.	3:10 p. m.	51.40	59.50	8.10
4	3:10 p. m.	3:20 p. m.	59.50	65.50	6.00
5	3:20 p. m.	3:30 p. m.	65.50	71.50	6.00
6	3:30 p. m.	3:40 p. m.	71.50	77.50	6.00

Fuente: Elaboración propia

Los datos registrados concluyen que en un tiempo de 10 minutos se infiltra 6 cm de altura de agua, es decir la tasa de percolación es de 1.67 min/cm, según la figura N°27 el coeficiente de infiltración (R) es 110 lt/m<sup>2</sup>\*día.

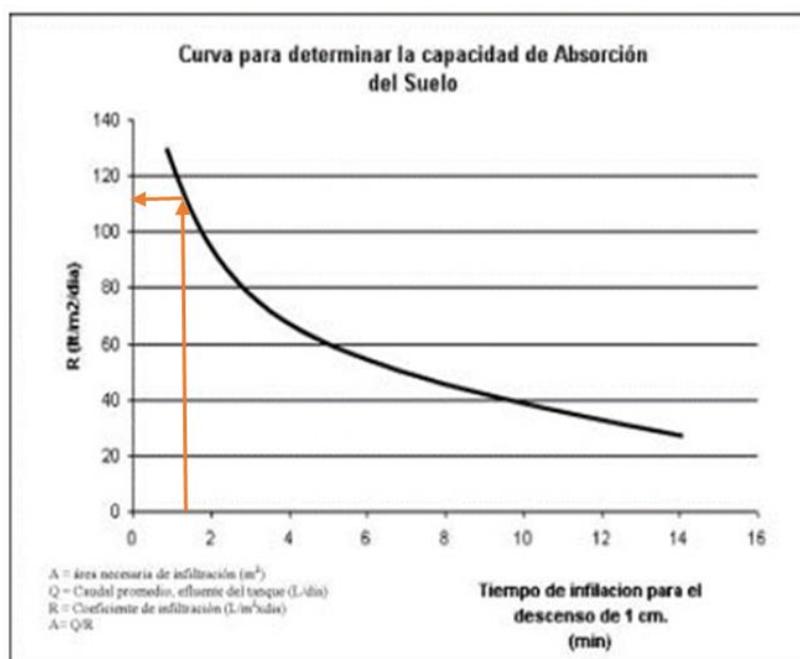


Figura N° 27: Capacidad de absorción del primer ensayo

Fuente: Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural (2018)

La velocidad de infiltración de este ensayo se determinó dividiendo la altura sobre el tiempo de los datos uniformes del registro.

$$V_{\text{ensayo1}} = 6/10, \text{ que da como resultado es } 0,6 \text{ m/s}$$

## 5.2. Contratación de hipótesis

El desarrollo de esta investigación se basó en una hipótesis general y tres hipótesis específicas, hipótesis que a medida del desarrollo de esta investigación se fueron resolviendo.

### 5.2.1. Contratación con la hipótesis general

La hipótesis general cuestiona si el diseño de dos filtros mejora la permeabilidad del pozo de absorción en unidades básicas de saneamiento en un suelo limo arcilloso del distrito Quinoa, Ayacucho. Según los resultados obtenidos se aprecia que el coeficiente de infiltración del segundo ensayo aumentó en 36 a comparación del primer ensayo y el coeficiente de infiltración del tercer ensayo aumentó en 70 a comparación del primer ensayo que es el de la prueba sin filtro del pozo de absorción. Demostrando así que la permeabilidad mejoró en ambos casos, demostrando como verídica la hipótesis general de esta investigación.

### 5.2.2. Contratación con las Hipótesis específicas

- a) La primera hipótesis secundaria señala que los dos filtros reducen el tiempo de infiltración en unidades básicas de saneamiento en un suelo limo arcilloso del distrito Quinoa, Ayacucho. Según el análisis el ensayo número 2 disminuyó el tiempo de infiltración en 6.67 minutos segundos en comparación del ensayo número 1 y el ensayo número 3 disminuyó el tiempo de infiltración en 8.33 segundos en comparación del ensayo número 1, los dos en función a un centímetro. Es decir, se comprueba la primera hipótesis específica, puesto que ambos diseños redujeron el tiempo de infiltración.
- b) La segunda hipótesis secundaria señala que los dos filtros aumentan la velocidad de infiltración en unidades básicas de saneamiento en un suelo limo arcilloso del distrito Quinoa, Ayacucho. Según el análisis el ensayo número 2 aumentó la velocidad en 0.2 metros por segundos en comparación del ensayo número 1 y el ensayo número 3 aumentó la velocidad de infiltración en 0.5 metros por segundo en comparación del ensayo número

1. Es decir, se comprueba la segunda hipótesis específica, puesto que ambos diseños aumentaron la velocidad de infiltración.
- c) La tercera hipótesis secundaria señala que, al evaluar los dos diseños de filtros, el diseño con dos capas de diferente tamaño de piedra tiene una mayor permeabilidad en el pozo de absorción en un suelo limo arcilloso a comparación con el diseño de piedra uniforme. Según el análisis el ensayo donde se utilizó dos tipos de piedra para el filtro aumentó el coeficiente de infiltración en 34 a comparación del ensayo del filtro con piedra uniforme. Es decir, se comprueba la tercera hipótesis específica, puesto que el diseño de piedra mixta presenta una mayor permeabilidad en comparación con el diseño de piedra uniforme.

## CONCLUSIONES

1. El primer diseño logra disminuir en 6.67 min/cm la tasa de infiltración con respecto al ensayo del pozo sin filtro en su interior, demostrando que el filtro mejora la permeabilidad del pozo de absorción, habiendo mejorado un 66.7% la tasa de infiltración.
2. El segundo diseño, logra disminuir en 8.33 min/cm la tasa de infiltración con respecto al ensayo del pozo sin filtro en su interior, demostrando que este filtro mejora ampliamente la permeabilidad del pozo de absorción, habiendo mejorado un 83.3% la tasa de infiltración.
3. El segundo diseño de filtro mejoró la velocidad de infiltración con respecto a la primera, siendo 1.66 min/cm menor en tasa de infiltración, demostrando que el pozo con filtro de piedra mixta mejora la permeabilidad del pozo con filtro de piedra uniforme de una pulgada en un 16.6%.
4. El análisis de filtraciones del pozo de absorción denota la capacidad de cubrir necesidad de implementar un sistema de saneamiento básico para poblaciones que carecen de esta y viven en zonas con un suelo limo arcilloso, por no necesitar de una compleja red de drenaje y ser relativamente económica.
5. Los parámetros geotécnicos empleados para el análisis de filtraciones, fueron basados tanto de la data obtenida en reglamentos y manuales del tema, como los obtenidos en el modelo físico durante la construcción del pozo.
6. El pozo de absorción en suelos limo arcillosos demuestran una muy baja permeabilidad, aspecto que perjudica en la construcción del pozo, puesto que terminaría estancándose y en un posible colapso.
7. Los diseños planteados para el análisis de filtraciones reflejaron el comportamiento del flujo en el pozo de absorción, lo cual permite una evaluación correcta de las medidas a registrar para el análisis de infiltración, siendo necesario el uso de filtros para disminuir el tiempo de infiltración en pozos de absorción.
8. El uso del modelo físico permitió tener una mejor concepción del comportamiento del suelo frente al flujo en el interior del pozo de absorción.

## RECOMENDACIONES

1. Usar la norma técnica de diseños en el ámbito rural del Ministerio de Vivienda, donde indica las dimensiones mínimas con el que se tiene que diseñar el pozo de absorción.
2. Tener un control cuidadoso de las dimensiones y parámetros en la ejecución del pozo de absorción, ya que al variar uno de ellos, puede provocar que los resultados del diseño tengan una variación.
3. Realizar el estudio de suelos en el fondo del pozo de absorción, para saber con qué tipo de material se trabajará realmente y tener una granulometría exacta, para así garantizar un buen diseño.
4. Tener cuidado y paciencia, en el momento de realizar el test de percolación, dado que se tomará anotaciones de la filtración cada 10 minutos, para saber cuántos centímetros baja el nivel del agua en un minuto.
5. Realizar un estudio de suelos a una altura de excavación de 1.00 metro, para detectar si estamos frente a suelos de poca permeabilidad que no permitirá que el Sistema básico de saneamiento, se desarrolle con total normalidad.
6. Continuar con este tipo de sistemas básicos de saneamiento, ya que ayuda a mejorar la salud y calidad de vida de los ciudadanos que se encuentran viviendo en zonas rurales, quienes no pueden contar con alcantarillado por diversas circunstancias.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Auvinet, G. (2014). *Clásica y métodos actuales en el diseño de filtros para presas de materiales graduados*. Sociedad mexicana de ingeniería geotécnica, México, México.
- Benito, E. (2020). *Influencia de las dimensiones de las zanjas para el diseño de infiltración, en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la localidad de Huayllay Grande – Angaraes - Huancavelica* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, Perú.
- Borja, M. (2016). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo, Perú.
- Das, M. (2004). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, 4th Edición*. México: Editorial Cengage Learning.
- Escalante, Castañeda, Campos, Felices, Burgos (2020). *Sistemas de precarga para suelos arcillosos saturados* (trabajo de investigación para la obtención de grado de bachiller). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Fannin, J. (2008). *Karl Terzaghi: Teoría a la práctica en el diseño de filtros geotécnicos*. University British Columbia, Canadá.
- Garibay, M. (2006). *Permeabilidad de suelos*. Universidad Nacional de Rosario, Argentina.
- Gobierno Regional de Ayacucho (2012). *Estudio: Zonificación Ecológica Económica – Ayacucho*.
- Gómez, C. (2019). *Comportamiento geotécnico de suelos arcillosos compactados, respuesta a cargas estáticas y dinámicas* (tesis de doctorado). Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España.
- González, L. (2004). *Ingeniería geológica*. Madrid: Editorial Pearson Educación
- Hernández, Fernández, Baptista (2014). *Metodología de la investigación, 6ta edición*. México: Editorial McGraw – Hill.
- Juárez, E., Rico, A. (2005). *Fundamentos de la mecánica de suelos*. México: Editorial Limusa

- Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2018). *Norma técnica de diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural.*
- Miranda, C. (2017). *Diseño del mejoramiento y ampliación del servicio de agua potable y unidades básicas de saneamiento en el anexo de Alto Marañón, Distrito de Huacrachuco, Provincia de Marañón, Departamento de Huánuco* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.
- Nieto, K., Zambrano, J. (2018). *Análisis en laboratorio de la eficiencia de diferentes tipos de filtros para un suelo limo arcilloso de la ciudad de Cuenca* (tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Normas ASTM. (2000). *Clasificación estándar de suelos para fines de ingeniería (Sistema unificado de clasificación de suelos).*
- Powers, J., y Corwin, A. (2007). *Deshidratación de la construcción y control de aguas subterráneas – nuevos métodos y aplicaciones, 3ra edición.* New Jersey: John Wiley y Sons, inc.
- Reyes, S. (2013). *Valorización de residuos de las industrias de acetileno y de centrales térmicas en materiales para su uso en ingeniería civil y arquitectura* (investigación de máster). Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Streeter V. (2000). *Mecánica de los fluidos* México: Editorial LIBROS McGRAW-HILL.
- Torrijo, F. y Cortés R. (2007). *Los suelos y las rocas en ingeniería geológica* Valencia: Editorial Universidad Politécnica de Valencia.
- Valencia, M. & Morales, M. (2004). Presencia del Bajociano en el río Pampas entre Paras y Tolos al Suroeste de Ayacucho. XII Congreso Peruano de Geología. Lima, Perú
- Valqui, M. (2018). *Diseño para el mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable por bombeo y saneamiento básico del caserío Iscocongá del distrito de Llacanora, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca* (tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.

## ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>
¿Mejorando el diseño del filtro del pozo de absorción se reduce el tiempo de infiltración de volumen de agua (permeabilidad) en la unidad básica de saneamiento para un suelo limo arcilloso en el distrito Quinua – Ayacucho?	Diseñar el filtro que reduzca el tiempo de infiltración de volumen de agua (permeabilidad) del pozo de absorción en unidades básicas de saneamiento para un suelo limo arcilloso del distrito de Quinua – Ayacucho	El mejoramiento del diseño del filtro del pozo de absorción en unidades básicas de saneamiento en un suelo limo arcilloso del distrito Quinua - Ayacucho, ayudará a disminuir el tiempo del volumen de agua infiltrado para este tipo de suelo.
<b>ESPECÍFICO</b>	<b>ESPECÍFICO</b>	<b>ESPECÍFICO</b>
¿Se podrá delimitar la zona de intervención con estudios de los parámetros geotécnicos?	Delimitar la zona de intervención y los parámetros geotécnicos que serán usados en los diseños de filtro para el pozo de absorción	Los parámetros geotécnicos de la zona intervenida, tienen parámetros aceptables para la construcción del pozo de absorción, durante las investigaciones.
¿Cuáles serán los diseños según los análisis de permeabilidad en el pozo de absorción en la unidad básica de saneamiento?	Determinar los diseños de filtro para los análisis de permeabilidad en el pozo de absorción.	Los diseños de análisis de permeabilidad en el pozo de absorción, permiten identificar la capacidad de filtración y así evitar el mal funcionamiento de la unidad básica de saneamiento.
¿Evaluando el mejoramiento de los diseños del filtro comprobaremos si mejoró la permeabilidad del pozo de absorción en una unidad básica de saneamiento?	Evaluar si los dos diseños del filtro mejoran la permeabilidad del pozo de absorción de unidades básicas de saneamiento.	Al evaluar los dos diseños de filtros, se mejoró la permeabilidad del pozo de absorción en un suelo limo arcilloso

Fuente: Elaboración propia (2021)

## Anexo 2. Carta de autorización



LABORATORIO DE MECÁNICA  
DE SUELOS, CONCRETO Y  
ASFALTO

Ayacucho, 11 de noviembre del 2021

**CARTA N° 034-2021-A&DINGENIEROS/JL/**

SEÑOR:

**ALBERTH GONZALO GÓMEZ FARFAN**

ASUNTO: Carta de consentimiento de uso de datos

Es muy grato dirigirme a usted Con la finalidad de saludarlo y hacer de su conocimiento por medio del presente y en base a la solicitud enviada, se procede a brindar consentimiento y aprobación de uso de datos, debido a que los resultados son de propiedad suya como cliente y usted puede darle el uso que crea conveniente.

Sin otro particular me despido.

Atentamente,

---

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS, ANALISIS DE AGUAS, SUELOS Y MINERALES - AYADEL INGENIEROS  
CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES E.I.R.L. OFICINA CENTAL. Plo Max Medina B1-101-Ayacucho Cel: 999401669 RPM:  
999401669 Email: ayadel\_ingenieros@hotmail.com

Fuente: A&D Ingenieros (2021)

Anexo 3. Ensayo estándar de clasificación

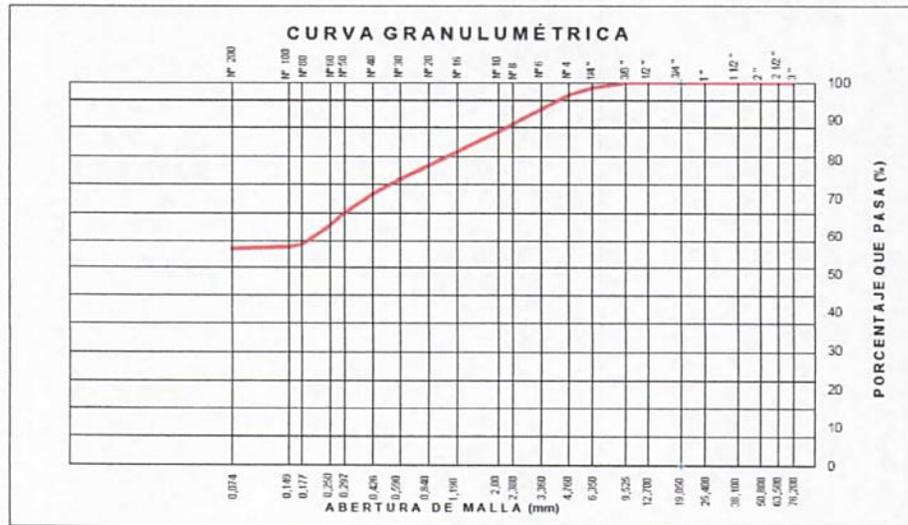


LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

**ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN**  
(ASTM D 422, D 4318, D 2487, D 2216, D 4254, D 854, D 1557)

Calicata : CC - 02  
Estrato : E - 02  
Dep. : AYACUCHO  
Provincia : HUAMANGA  
Distrito : QUINUA  
Lugar : SAYHUAPATA

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
						PESOS (gr)	
3"	75.200		-	-	100.0	Peso seco inicial	1031.2
2 1/2"	63.500		-	-	100.0	Peso seco lavado	444.3
2"	50.800		-	-	100.0	Pérdida por lavado	587.0
1 1/2"	38.100		-	-	100.0	ENSAYOS ESTANDAR	
1"	25.400	0.00	-	-	100.0	% Grava	4.34
3/4"	19.050	0.00	-	-	100.0	% Arena	36.32
1/2"	12.700	0.00	-	-	100.0	% de Finos	59.34
3/8"	9.525	2.58	0.3	0.3	99.7	Limite Liquido (LL)	31.99
1/4"	6.350	1.6-25	1.7	1.9	98.1	Limite Plastico (LP)	17.50
N° 4	4.750	23.45	2.4	4.3	95.7	Indice de Plasticidad (IP)	14.49
N° 6	3.350	0.00	-	4.3	95.7	Contenido de humedad	15.63
N° 8	2.380	0.00	-	4.3	95.7	$U_{10} = U_{0.075mm}$	0.0125
N° 10	2.000	105.24	10.8	15.1	84.9	$U_{300mm}$	0.0374
N° 16	1.190	0.00	-	15.1	84.9	$U_{600mm}$	0.0182
N° 20	0.840	0.00	-	15.1	84.9	Indice de Grupo	(7)
N° 30	0.590	34.25	3.7	18.9	81.1	$U_{150mm}$	0.0187
N° 40	0.425	65.20	6.7	25.5	74.5	$U_{75mm}$	0.0623
N° 50	0.297	44.59	4.0	30.1	69.9	$U_{425mm}$	6.3500
N° 60	0.250	36.57	3.8	33.9	66.1	AASTHO	CL
N° 80	0.177	54.26	5.6	39.4	60.6	Clasificación SUCS	
N° 100	0.149	7.25	0.7	40.2	59.8		
N° 200	0.074	4.68	0.5	40.7	59.3		
Fondo		0.00	-	40.7			
Lavado		578.5	59.3	100.0			
TOTAL		974.8	100.0				



LIMO Y ARCILLA	ARENA			GRAVA		CANTO RODADO
	FINA	MEDIA	GRUESA	FINA	GRUESA	

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO  
RICARDO ALVARADO POLO  
INGENIERO QUÍMICO Y GEÓLOGO  
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA  
JEFE DE LABORATORIO

A&D INGENIEROS  
CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES E.I.R.L.  
RUSSELL E. AVILA BELGADO  
S.M.N. EN INGENIERÍA DE OBRAS  
ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS  
TÉCNICO LABORATORISTA

Fuente: A&D Ingenieros (2021)

Anexo 4. Record de excavación



LABORATORIO DE MECÁNICA  
DE SUELOS, CONCRETO Y  
ASFALTO

**RECORD DE EXCAVACIÓN**

Desig. de Area	: CALICATA	Calicata N°	: CC - 02
Método de excavación	: Manual	Ubicación	: SAYHUAPATA
Profund. De excavación	: 1.50 m	Elevación	: m.s.n.m.
Elaborado por	: A.D.B.	Nivel freático	: No se encontró

CLASIFICACION SUCS		PROFUNDIDAD				DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL
SIMBOLO	GRAFICO	METROS	ESTRATO	DENSIDAD HUMEDA (g/cm <sup>3</sup> )	HUMEDAD (%)	
OH		0.30	A			<p><b>Estrato "A":</b></p> <p>- Profundidad de 0.00 a 0.30m. Material de cobertura. Suelo limoso con materia orgánica, de color marrón oscuro, con presencia de raicillas de pastos y arbustos</p>
CL		1.50	B		15.63	<p><b>Estrato "B":</b></p> <p>- Profundidad de 0.30 a 1.50m.</p> <p>- Compuesto por material: Arcilla inorgánica, de color marron rojizo y mediana plasticidad. La matriz arcillosa es plástica, tiene una baja compresibilidad y se encuentra en estado de Consistencia : Blanda a Firme.</p> <p style="text-align: right;">% Finos= 59.34 LL= 31.99 IP= 14.49</p>

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS,  
CONCRETO Y ASFALTO  
*Ricardo*  
**RICARDO SILVANO POIRA**  
INGENIERO CIVIL EN GEOTECNIA, C.A.  
REG. del Colegio de Ingenieros del Perú N° 12711  
ESPECIALISTA EN INGENIERIA GEOTECNICA  
JEFE DE LABORATORIO

AVAREL INGENIEROS  
S.A.S. CONSULTORIA Y CONSTRUCCION CIVIL DEL  
PERU  
*Russell*  
**RUSSELL E. AYALA BELGADO**  
INGENIERO CIVIL EN GEOTECNIA  
AREA DE GEOTECNIA - GEOTECNIA  
TECNICO LABORATORISTA

Anexo 5. Límite plástico y límite líquido



LABORATORIO DE MECÁNICA  
DE SUELOS, CONCRETO Y  
ASFALTO

Calicata	: CC-02	Region	: AYACUCHO
Estrato	: E - 2	Provincia	: HUAMANGA
		Distrito	: QUINUA
		Lugar	: SAYHUAPATA

**DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318, MTC E 111-2000)**

DEFINICIONES : El Límite Plástico de un suelo es el contenido de humedad expresado en % del suelo secado en horno, cuando esta se haya entre límite del estado semi-sólido y el estado plástico.

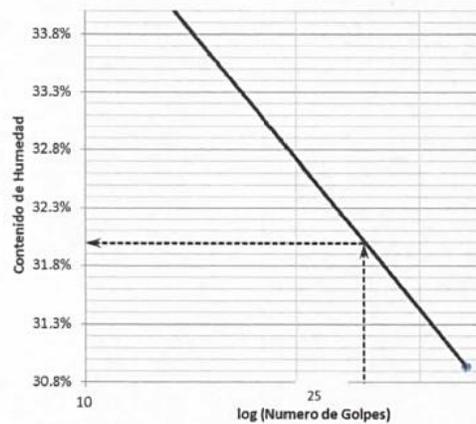
	RECIPIENTE	Nº	21.0	33.0
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	42.12	44.02
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	41.32	42.24
3	PESO RECIPIENTE	gr	34.18	34.76
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	0.80	1.78
5	PESO SECO (2)-(4)	gr	7.14	7.48
6	HUMEDAD	%	11.2%	23.8%
	<b>LIMITE PLASTICO</b>	%		<b>17.50%</b>

**DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318, MTC E 110-2000)**

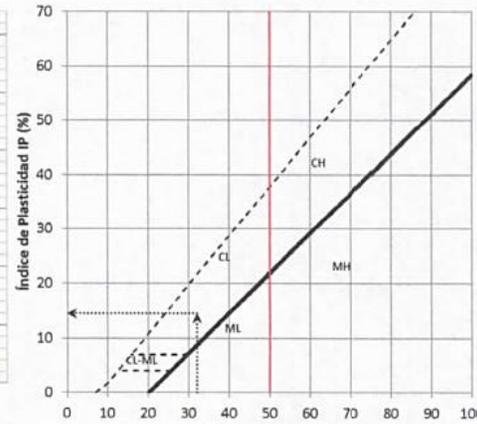
DEFINICIONES : El límite líquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en % del suelo secado en horno, cuando esta se haya entre límite del estado plástico y el estado líquido

	RECIPIENTE	Nº	26.0	24.0
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	58.41	64.41
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	51.85	57.22
3	PESO RECIPIENTE	gr	32.91	33.98
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	6.50	7.19
5	PESO SECO (2)-(4)	gr	18.94	23.24
6	HUMEDAD	%	34.6%	30.9%
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	11.00	35.00
	<b>LIMITE LIQUIDO</b>	%		<b>31.99%</b>

**INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 14.5%**



**CURVA DE FLUIDEZ**



**CARTA DE PLASTICIDAD**

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS,  
CONCRETO Y ASFALTOS  
*Ricardo Alvarado*  
RICARDO ALVARADO BOMA  
INGENIERO QUÍMICO - INGENIERO CIVIL  
Esp. del Colegio de Ingenieros de Peru N° 2814  
ESPECIALISTA EN INGENIERIA TECNICA  
I.E.E. Nº LABORATORIO

A&D INGENIEROS  
CONSULTORIOS Y CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.  
*Ricardo Alvarado*  
LABORATORIO DE AYACUCHO DELEGADO  
INGENIERO EN INGENIERIA DE BARRAS  
ARCA DE GEOLOGIA - DE TECNICIA  
TECNICO LABORATORISTA

Fuente: A&D Ingenieros (2021)

Anexo 6. Pozo con filtro mixto (50cm de piedra de 1 pulgada y 50 cm de piedra de media pulgada)



Fuente: Elaboración propia (2021)

Anexo 7. Llenado de pozo con piedra mixta



Fuente: Elaboración propia (2021)

Anexo 8. Pozo con piedra uniforme (1 pulgada)



Fuente: Elaboración propia (2021)

## Anexo 9. Marcado de ladrillo para registro de filtración



Fuente: Elaboración propia (2021)

Anexo 10. Piedra de 1'' y ½'' utilizada



Fuente: Elaboración propia (2021)

Anexo 11. Pozo terminado sin grava en los bordes ni en el centro



Fuente: Elaboración propia (2021)