



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso como fuente de  
captación natural para acuíferos de abastecimiento de agua  
potable, Huancayo 2022

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Risalve Huaraca, Luis Donato (ORCID: 0000-0001-5107-8308)

**ASESOR:**

MSc. Clemente Condori, Luis Jimmy (ORCID: 0000-0002-0250-4363)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

LIMA – PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

A Dios y la Virgen de Cocharcas, porque sin su protección no hubiera sido posible ninguno de mis logros, al darme fortaleza en los momentos más complicados de mi vida y protegerme para seguir adelante.

A mi padre Donato Marcos por sus maravillosos consejos que ha sabido guiarme para culminar mi profesión.

A mi madre Margarita por ser la persona que me ha dado apoyo moral y su amor infinitamente.

A mi esposa Amelia por ser la persona quien, a pesar de las dificultades, necesidades que se priva uno al estudiar, supo comprender y alentarme para culminar mis estudios.

A mis hijas Jhadira, Jerely y Grecia que supieron comprender las carencias ocurridos durante mis estudios.

A mis hermanos Alicia, Marlene, Lucas y Marco Antonio y sobrinos porque cuando hay ganas de superación y uno se propone, lo logra.

*Luis Risalve*

## **Agradecimiento**

Mi agradecimiento a Dios y Virgencita de Cocharcas, por darme sabiduría, fortaleza y decisión para culminar la carrera.

A la Universidad César Vallejo, por admitirme y darme la oportunidad de titularme.

A mi alma mater UPeCEN, por transmitirme los conocimientos relacionados en la formación de un profesional competitivo en el mundo laboral.

A mi asesor Luis Clemente, por impartir sus conocimientos en la elaboración de la tesis.

A mis padres Donato Marcos y Margarita por darme fuerzas para seguir adelante, cuando existían grandes obstáculos.

A mi esposa Amelia e hijas quienes me apoyaron y comprendieron, al trabajar, estudiar y cumplir con las actividades de los cursos, los he descuidado temporalmente. A mis hermanos y sobrinos por darme aliento y ayuda durante mi trayectoria estudiantil

*Luis Risalve*

*“Los grandes logros nacen de grandes sacrificios, y de la capacidad de convertir tus sueños en realidad”*

## Índice de contenidos

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Carátula</b> .....  | <b>i</b>    |
| <b>Dedicatoria</b> .....   | <b>ii</b>   |
| <b>Agradecimiento</b> .....  | <b>iii</b>  |
| <b>Declaratoria de autenticidad</b> .....                            | <b>iv</b>   |
| <b>Índice de contenidos</b> .....                                    | <b>v</b>    |
| <b>Índice de tablas</b> .....  | <b>vii</b>  |
| <b>Índice de figuras</b> .....                                       | <b>viii</b> |
| <b>Índice de abreviaturas</b> .....                                  | <b>x</b>    |
| <b>Resumen</b> .....   | <b>xi</b>   |
| <b>Abstract</b> .....  | <b>xii</b>  |
| <b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....   | <b>1</b>    |
| 1.1. Formulación del problema .....                                  | 3           |
| 1.2. Justificación .....   | 4           |
| 1.3. Objetivos.....  | 6           |
| 1.4. Hipótesis.....  | 6           |
| 1.5. Delimitación .....  | 7           |
| <b>II.MARCO TEÓRICO</b> .....  | <b>8</b>    |
| 2.1. Antecedentes de la Investigación .....                          | 8           |
| 2.2. Bases teóricas .....  | 15          |
| <b>III.METODOLOGÍA</b> .....   | <b>30</b>   |
| 3.1. Tipo y Diseño de Investigación .....                            | 30          |
| 3.2. Variables y Operacionalización.....                             | 31          |
| 3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....           | 36          |
| 3.5. Validez y confiabilidad del instrumento.....                    | 37          |
| 3.6. Procedimientos .....  | 39          |
| <b>IV. RESULTADOS</b> .....  | <b>52</b>   |
| 4.1. Características topográficas del Centro Poblado de Hualahoyo... | 52          |
| 4.2. Características geotécnicas del suelo .....                     | 54          |
| 4.3. Resultados de Zona 1.....                                       | 57          |
| 4.4. Resultados de Zona 2.....                                       | 59          |
| 4.5. Resultados del Módulo de permeabilidad.....                     | 61          |
| 4.6. Resultados de validez y confiabilidad .....                     | 63          |
| 4.7. Contrastación de hipótesis.....                                 | 63          |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.7. Método de análisis de datos: ..... | 50        |
| 4.8. Aspectos éticos.....               | 51        |
| <b>V. DISCUSIÓN .....</b>               | <b>68</b> |
| <b>VI. CONCLUSIONES .....</b>           | <b>69</b> |
| <b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>       | <b>70</b> |
| <b>REFERENCIAS .....</b>                | <b>71</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                     | <b>76</b> |

## Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Coeficiente de permeabilidad del suelo.....                          | 16 |
| <b>Tabla 2.</b> Clases de permeabilidad del suelo.....                               | 16 |
| <b>Tabla 3.</b> Cantidad de volumen de agua.....                                     | 23 |
| <b>Tabla 4.</b> Clasificación del suelo según ASSHTO.....                            | 28 |
| <b>Tabla 5.</b> Matriz de operacionalización de variables.....                       | 33 |
| <b>Tabla 6.</b> Tipos de suelos.....   | 34 |
| <b>Tabla 7.</b> Determinación del caudal.....  | 36 |
| <b>Tabla 8.</b> Medición de permeabilidad.....                                       | 36 |
| <b>Tabla 9.</b> Expertos de validación y confiabilidad.....                          | 37 |
| <b>Tabla 10.</b> Calificación según Likert.....                                      | 37 |
| <b>Tabla 11.</b> Valoración de fiabilidad según el coeficiente alfa de Cronbach..... | 38 |
| <b>Tabla 12.</b> Clasificación del uso de tierras .....                              | 52 |
| <b>Tabla 13.</b> Análisis granulométrico del suelo .....                             | 53 |
| <b>Tabla 14.</b> Medición del volumen del agua, zona 1 .....                         | 56 |
| <b>Tabla 15.</b> Medición del volumen de agua, zona 2 .....                          | 58 |
| <b>Tabla 16.</b> Medición del volumen de agua – permeámetro.....                     | 60 |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Mapa de Huancayo.....  | 7  |
| <b>Figura 2.</b> Análisis de las características del suelo.....                 | 15 |
| <b>Figura 3.</b> Flujo laminar.....   | 17 |
| <b>Figura 4.</b> Flujo turbulento.....  | 18 |
| <b>Figura 5.</b> Ensayo Lefranc de carga constante.....                         | 19 |
| <b>Figura 6.</b> Permeámetro de carga constante.....                            | 20 |
| <b>Figura 7.</b> Importancia del agua subterránea.....                          | 22 |
| <b>Figura 8.</b> Teoría de la formación del suelo.....                          | 24 |
| <b>Figura 9.</b> Teoría de creacionismo.....                                    | 25 |
| <b>Figura 10.</b> Clasificación del suelo.....                                  | 26 |
| <b>Figura 11.</b> Suelo permeable natural.....                                  | 30 |
| <b>Figura 12.</b> Captación de agua superficial.....                            | 31 |
| <b>Figura 13.</b> Gradiente de agua superficial.....                            | 31 |
| <b>Figura 14.</b> Velocidad de agua superficial.....                            | 32 |
| <b>Figura 15.</b> Desfases del suelo.....                                       | 33 |
| <b>Figura 16.</b> Zona 1 de exploración.....                                    | 38 |
| <b>Figura 17.</b> Ubicación zona de calicatas.....                              | 39 |
| <b>Figura 18.</b> Realizando las calicatas.....                                 | 40 |
| <b>Figura 19.</b> Extracción de muestras.....                                   | 40 |
| <b>Figura 20.</b> Llenado del hoyo con agua .....                               | 41 |
| <b>Figura 21.</b> Acumulando del agua .....                                     | 41 |
| <b>Figura 22.</b> Zona de prueba 2.....   | 42 |
| <b>Figura 23</b> Limpieza de zona 2.....  | 42 |
| <b>Figura 24.</b> Excavación del hoyo.....                                      | 43 |
| <b>Figura 25.</b> Colocado del tubo en el hoyo.....                             | 43 |
| <b>Figura 26.</b> Llenado de agua alrededor del tubo en el hoyo.....            | 44 |
| <b>Figura 27.</b> Llenado de agua al tubo.....                                  | 44 |
| <b>Figura 28.</b> Inicio con la prueba a carga constante.....                   | 45 |
| <b>Figura 29.</b> Proceso de medición al llenado de agua a carga constante..... | 45 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 30.</b> Prototipo de permeámetro .....                       | 46 |
| <b>Figura 31.</b> Recipiente de agua .....                             | 46 |
| <b>Figura 32.</b> Carga del permeámetro por muestra de suelo .....     | 47 |
| <b>Figura 33.</b> Escala de medición del permeámetro .....             | 47 |
| <b>Figura 34.</b> Saturación de la muestra .....                       | 48 |
| <b>Figura 35.</b> Medidas de h1 y h2 .....                             | 48 |
| <b>Figura 36.</b> Proceso de medición del volumen de agua .....        | 49 |
| <b>Figura 37.</b> Topografía del centro poblado de Hualahoyo .....     | 51 |
| <b>Figura 38.</b> Uso de tierras del centro poblado de Hualahoyo ..... | 52 |
| <b>Figura 39.</b> Análisis granulométrico .....                        | 54 |
| <b>Figura 40.</b> Curva granulométrico .....                           | 55 |
| <b>Figura 41.</b> Volumen de agua, zona 1 .....                        | 56 |
| <b>Figura 42.</b> Volumen de agua, zona 2 .....                        | 58 |
| <b>Figura 43.</b> Volumen de agua – permeámetro .....                  | 61 |
| <b>Figura 44.</b> Contrastación hipótesis principal .....              | 62 |
| <b>Figura 45.</b> Contrastación hipótesis secundario 1 .....           | 63 |
| <b>Figura 46.</b> Contrastación hipótesis secundario 2 .....           | 64 |
| <b>Figura 47.</b> Contratación hipótesis secundario 3 .....            | 65 |

## Índice de abreviaturas

|                        |  |
|------------------------|--|
| <b>DGA</b>             | : Dirección General de Aguas   |
| <b>BHE</b>             | : Bombas Intercambiadores Cerrados Verticales  |
| <b>GWHP</b>            | : Bombas de Calor de Agua Subterránea  |
| <b>DAA</b>             | : Derechos de Aprovechamiento de Aguas   |
| <b>CA</b>              | : Código de Aguas  |
| <b>K</b>               | : Permeabilidad  |
| <b>T</b>               | : Transmisividad   |
| <b>S</b>               | : Coeficiente de Rozamiento  |
| <b>RUSLE</b>           | : Revised Universal Soil Loss Equation (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada)                               |
| <b>AUAPA</b>           | : Asociación de Usuarios de Agua Potable y Alcantarilla  |
| <b>SIG</b>             | : Sistema de Informática Geográfica  |
| <b>ASTM D5298 – 10</b> | : Standard test method for measurement of soil potential (Método de prueba estándar para medir el potencial del suelo) |
| <b>SDR</b>             | : Coeficiente de Aporte de Sedimentos.   |
| <b>GODS</b>            | : Método de determinación de la vulnerabilidad en acuíferos, desarrollado por Foster (1987)                            |
| <b>CBR</b>             | : Conservadores de Bienes Raíces   |
| <b>NRS-10</b>          | : Reglamento de construcción de suelos resistentes.  |

## Resumen

En este aporte científico, se planificó evaluar el tipo de suelo, para someterlo a pruebas de permeabilidad, donde se analizó las características geotécnicas del suelo y a la vez la capacidad de transporte del agua desde el nivel superior o superficial, que discurren en periodos de precipitaciones pluviales, hasta zonas de almacenamiento subterráneo denominados acuíferos.

Para lograr una información precisa y real se aplicó uno de los métodos más prácticos utilizados en investigaciones de ingeniería, denominado el hipotético deductivo, donde se formularon afirmaciones o proposiciones antes de conocer la realidad de las bondades del suelo referido al nivel de permeabilidad del suelo, la capacidad de captación, gradiente hidráulica, velocidad hidráulica, determinación de fases, las que tuvieron que ser sometidas a pruebas de campo y de laboratorio.

En esta tesis se define la capacidad de captación natural que tienen los acuíferos para la extracción y el abastecimiento de agua potable por medio del nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso, en los ensayos realizados sometidos a carga constante de agua zona 1, zona 2 y el permeámetro casero existe similitud en tanto se identifica el máximo nivel de permeabilidad y se define también mediante la relación directa e indirecta del gradiente hidráulico proporcional, como la velocidad hidráulica, se concluyó que el caudal es satisfactorio, gracias a la velocidad que toma el agua en el permeámetro casero.

**Palabras Clave:** Nivel de permeabilidad, capacidad de captación, acuíferos.

## **Abstract**

In this scientific contribution, it was planned to evaluate the type of soil, to submit it to permeability tests, where the geotechnical characteristics of the soil were analyzed and at the same time the transport capacity of water from the upper or superficial level, which occurs in periods of precipitation. Rainwater to underground storage areas called aquifers.

To achieve accurate and real information, one of the most practical methods used in engineering research was applied, called the hypothetical deductive, where statements or propositions were formulated before knowing the reality of the benefits of the soil referred to the level of permeability of the soil, the catchment capacity, hydraulic gradient, hydraulic speed, determination of phases, which had to be submitted to field and laboratory tests.

In this thesis, the natural catchment capacity of the aquifers for the extraction and supply of drinking water is defined by means of the permeability level of the sandy-clayey soil, in the tests carried out under constant water load zone 1, zone 2 and the homemade permeameter there is similarity in that the maximum level of permeability is identified and it is also defined by the direct and indirect relationship of the proportional hydraulic gradient, such as the hydraulic speed, it was concluded that the flow is satisfactory, thanks to the speed that the water in home permeameter

**Keywords:** Permeability level, collection capacity, aquifers.

## I. INTRODUCCIÓN

En Chile la tesis de implementación de ensayos de succión en suelos saturados (Carrasco Elgueta, 2017), en nuestra región encontramos suelos parcialmente saturados, presentando succión por la fuerza negativa del agua que se encuentran en los poros del suelo, afectando la permeabilidad, la resistencia al esfuerzo cortante y la compresibilidad del suelo, como también la hidráulica de los suelos y coaligarse a la idoneidad del suelo para aspirar el agua.

De otro lado, atreves de las cadenas noticiosas del mundo llegamos a saber el problema mundial, de la escasez del agua, en cuyas poblaciones que debido a su geografía o topografía no poseen lo suficiente para cubrir sus necesidades, por efecto del calentamiento global y no haber precipitación pluvial y desde luego no tener posibilidades de desarrollarse como tal. Entre los países que sufren escases de agua son; Iraq, el Líbano, los Emiratos Árabes Unidos, Bahreín, Omán, Palestina, Arabia Saudí y Kuwait, (Aqeel Al-Adili, 2017) teniendo una alternativa las aguas subterráneas no siendo aprovechadas en su totalidad al no tener una política, de manejo y buen uso en este momento. Y también se podría usar la conversión del agua salada o de mar a agua dulce a potable, por medio de la ósmosis inversa o evaporación relámpago como se realiza actualmente en las islas del caribe (Aruba, Bonaire, Curazao y otros).

Teniendo como otra alternativa de solución a este problema hidráulico es de usar la fuente inagotable de la energía geotérmica, donde se puede extraer o realizar bombeos de fluidos calentados en su interior, con ayuda de la inercia térmica que se produce en el subsuelo teniendo en cuenta el uso de la valoración de los parámetros hidrogeológicos que ayudan a estudiar los diversos sistemas de cambio de las bombas geotérmicas en las sub cuencas del Maipo. Estimando parámetros hidráulicos para poder interpretar, además estudiando la profundidad, la temperatura de la corriente de agua subterránea, y teniendo la evaluación favorable en la factibilidad de los sistemas verticales abiertos, para luego de esta manera realizar la instalación de bombas intercambiadores es decir cerrados verticales (BHE). Para la instalación de este

sistema se consideró las zonas con niveles freáticos, y también a su vez las bombas de calor de agua subterránea (GWHP). (Vega Alvarado, 2020).

Como en toda urbe, el crecimiento de la población y la fuerte demanda del agua, recurso natural muy indispensable para la vida humana, nos llevan a la necesidad de tener más volúmenes de almacenamiento ya sea natural o artificial, para los meses de sequía. El Perú, posee una gran riqueza en recursos hídricos; aun así, existen ciudades desabastecidas de este recurso sin llegar a cubrir todas las necesidades. Los antepasados hicieron que la distribución del agua sea sorprendente por su complejidad, de llevar agua a templos como el santuario del Machu Picchu y otros.

La población costera del Perú y parte de la población de la sierra a falta de lluvias los ríos de las cuencas, quebradas de arroyos bajan su caudal y se secan, entonces esa poca agua ingresa al subsuelo, para luego trasladarse, formando reservas de agua denominado acuíferos y que de estas se puedan extraer agua y llevar a una planta potabilizadora de agua. En Lima encontramos el acuífero más estudiado, en esta ciudad se encuentra el mayor número de pozos del país que posee volúmenes inmensos de agua subterránea, para ser extraídas y potabilizarlas en beneficio de la misma ciudad.

La sierra del Perú, conformado topográficamente por montañas, quebradas y riscos, ubicadas en la franja de la Cordillera de los Andes, en sus entrañas existen fuentes subterráneas y superficiales que se desplazan hacia la costa por las características del relieve, como también por el desnivel existente entre uno y otro punto, en ello encontrando grandes acuíferos y almacenes de agua para aprovecharlos en actividades agrícolas o de consumo humano. Los pueblos ubicados al noreste del distrito del Tambo, provincia Huancayo, región Junín, en épocas de estiaje tienen dificultades en la captación de agua para su población, siendo el río Shullcas fuente de captación para los distritos de Huancayo, el Tambo y Chilca, como también para los agricultores de la zona. Debido a esta gran demanda de usuarios, el caudal del río Shullcas no alcanza, sufriendo desabastecimiento de agua la población mencionada líneas arriba.

Pero nos olvidamos de la permeabilidad del suelo donde encontramos a los acuíferos, los ojos de agua, las corrientes de agua subterráneas existentes en la zona que tranquilamente pueden ayudar en aliviar la falta de agua.

Por ello se realizó la presente investigación basado en la teoría del Ingeniero Henry Darcy (1856), donde se analiza y experimenta la permeabilidad del suelo obteniendo agua de uso potable, empleando materiales de la naturaleza como suelos permeables. En el lugar citado o de estudio encontramos varios tipos de suelo con diversas propiedades, una de ellas es de traspasar el agua y el aire, partiendo de esta premisa podemos decir cuanto más permeable sea el suelo, mayor filtración tendrá y se podrá obtener mayor volumen de agua.

El ciclo hidrológico no es más que la sucesión de etapas que sufre el agua, es decir los mares, ríos, lagos sufren del proceso de condensación para luego precipitarse nuevamente al suelo y seguir con ciclo. Debido a estas precipitaciones en las zonas altas existen acumulación de agua, pero al recorrer por el lecho terrestre va disminuyendo su caudal y por la porosidad que existen en el suelo, se forman aguas subterráneas y acuíferos que desempeñan un papel estratégico, cada vez más importante para el desarrollo sostenible y la seguridad medioambiental (Ordoñez Juan, 2011), En este caso el río Shullcas, río Mantaro y las lagunas tiene este ciclo hidrológico para abastecer al valle del Mantaro, sin embargo no es suficiente, por eso, se realizó al suelo el estudio de impermeabilidad que posee y determinando la capacidad de porosidad para hallar corrientes subterráneas de agua, desprendidas en ojos de agua y acuíferos.

## **1.1. Formulación del problema**

### **Problema principal**

Para la tesis se plantea la formulación del problema general. ¿Cómo el nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso definiría la capacidad de captación natural en acuíferos para abastecimiento de agua potable?,

también se emplearon los objetivos específicos que nos permitieron desmembrar al problema general.

### **Problemas específicos**

- ¿Cómo la variación de la energía potencial se identificaría el máximo Nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso?
- ¿Con un gradiente hidráulico proporcional se definiría la relación directa a o indirecta del nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso?
- ¿Con la velocidad hidráulica en el medio se determinaría el nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso?

### **1.2. Justificación**

Los cambios del clima, factores preponderantes de las lluvias no debe ser problema de unos cuantos, lo contrario es un tema que preocupa hoy a los ambientalistas, agricultores y a toda la humanidad teniendo la responsabilidad de cuidar el medio ambiente, la preocupación desde luego es el descenso del flujo hídrico, los ojos de agua, como el poco caudal de los ríos. De este suceso la posible solución sería de ampliar la capacidad de captación de agua en cuya población lo requiera, es decir la población que no posee agua suficiente en sus sistemas de agua potable.

Para ello existe la necesidad de innovar en investigaciones a favor de la población así como la presente tesis de medición del nivel de permeabilidad del suelo, permeabilidad que permite descubrir en el subsuelo fuentes de agua y la capacidad de captación en acuíferos, al no ser explotados aún todavía, por medio de excavaciones o calicatas podemos encontrar suelos permeables para luego realizar proyectos de captación de agua que ayuden a mitigar ésta escases, por el incremento desmesurado de la población y la

limitación de recursos hídricos en la atención de la demanda de uso de la población, teniendo como referencia la parte noreste de Huancayo.

#### **Justificación Metodológica:**

La investigación estuvo basada en la recopilación de datos, técnicas de manejo y de carácter descriptivo - explicativo. Se da ejemplo de permeabilidad en campo, visitando lugares donde encontramos los dos tipos de suelo en estudio, para luego presentar en maquetas y probar la teoría de permeabilidad de los suelos. Como también la capacidad portante, aplicando los principios de mecánica de suelos y las características propias del suelo para ver la capacidad de acumulación o captación del agua.

#### **Justificación Técnica:**

Para demostrar la permeabilidad del suelo en esta tesis se tomó las pruebas de tipo de suelo; arena y arcilla, los cuales lo usamos como material principal, en el laboratorio sometiéndolos al permeámetro de carga constante, conociendo de esta manera la permeabilidad de cada uno.

#### **Justificación Social:**

Esta investigación se desarrolló debido a que en el suelo podemos encontrar la napa freática o acuíferos relativamente superficial, como también pueden estar a mayor profundidad y aprovechamos esa bondad de la madre naturaleza, beneficiando a poblaciones que poseen escasez de agua en atención a su demanda, como la población de Hualahoyo, Saños Grande y alrededores donde el agua es escasa, siendo olvidados por el estado en proyectos de mejorar su abastecimiento de agua potable; cuyas poblaciones tienen que financiar sus proyectos con recursos propios, es decir por la asociación de usuarios de agua potable y alcantarillado (AUAPA).

### **1.3. Objetivos**

#### **Objetivo principal**

La razón de ser de esta tesis es conocer las bondades de los suelos en estado natural y aprovecharla al máximo, por ello se abordó el objetivo principal: Definir la capacidad de captación natural en acuíferos para abastecimiento de agua potable por medio del nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso. Desglosando al objetivo general en:

#### **Objetivos específicos**

- Identificar el máximo nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso mediante la variación de la energía potencial.
- Definir la relación directa o indirecta del nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso a través del gradiente hidráulico proporcional.
- Determinar el nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso por medio de la velocidad hidráulica en el medio.

### **1.4. Hipótesis**

#### **Hipótesis general**

De las pruebas realizadas en laboratorio y desde luego los datos obtenidos podemos plantear la hipótesis general: El nivel de permeabilidad del suelo areno – arcilloso define la capacidad de captación natural en acuíferos para abastecimiento de agua potable. Respaldados de las hipótesis específicas.

#### **Hipótesis específicas**

- La variación de la energía potencial identifica el máximo nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso.

- El gradiente hidráulico proporcional define la relación directa o indirecta del nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso.
- La velocidad hidráulica en el medio se determina desfasos nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso.

## 1.5. Delimitación

### Delimitación Espacial

La delimitación de la zona, donde se realizaron los estudios de campo considerados como fuente de información de primer orden, estuvo enmarcado dentro de la jurisdicción del distrito de El Tambo, parte noreste de la provincia de Huancayo, específicamente en los centros poblados de Saños Grande y Hualahoyo, mayormente constituidos por áreas agrícolas, según se muestra en la figura 1.

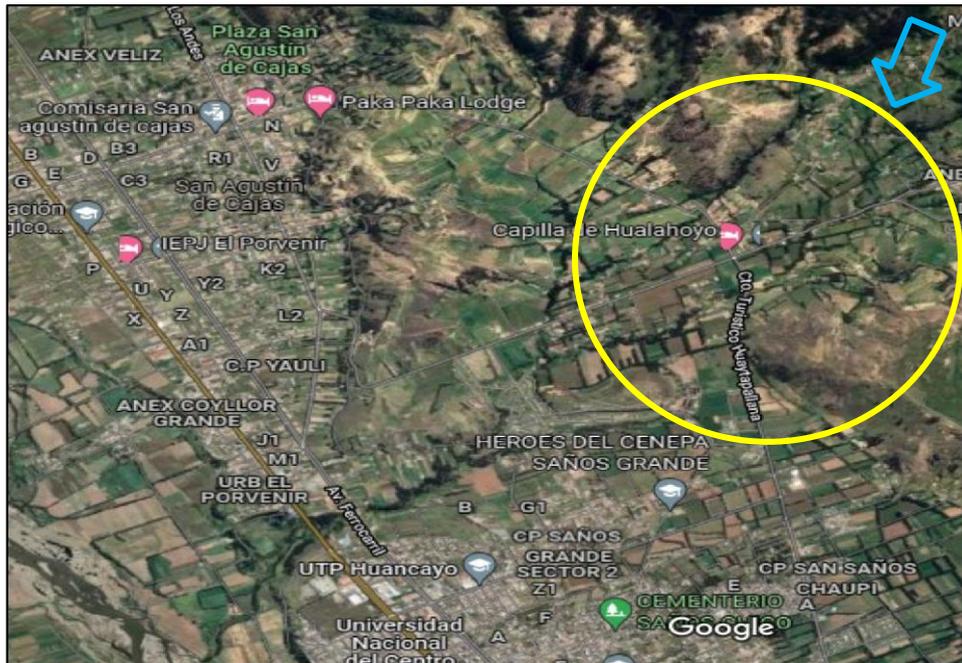


Figura 1: Mapa de Huancayo  
Fuente: <https://bit.ly/3ppwWom>

### Delimitación Temporal

El periodo para la realización de la investigación estuvo comprendido entre febrero y mayo de 2022, para recopilar información de campo y laboratorio.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la Investigación

#### Internacionales

Rodríguez (2021), realizó la investigación “Análisis paramétrico de diferentes configuraciones geométricas de la placa en un sistema placa pilote en un suelo arcilloso”. Podemos referir que, ayudados del método de elementos finitos, se da a conocer una comparativa entre 6 geometrías de cimentaciones profundas dando como resultado valores distintos de cada cimiento ya que este método permite obtener datos no exactos a la investigación. En tanto, esta investigación tiene como objetivo analizar paramétricamente la irregularidad geométrica de la placa en el sistema Placa-Pilote de un suelo arcilloso homogéneo. Hemsley (2000), combina su método con los métodos de Randolph y Poulos & Davis, para luego ser usado en el cálculo de asentamientos inmediatos y finales del sistema para suelos arcillosos. En este trabajo investigativo se tomó 30 cm de asentamiento límite, como lo establece el NSR-10, también evaluaron asentamientos máximos y determinar el momento que la placa fallará. Los resultados adquiridos al término de la modelación permitieron realizar una comparación objetiva entre carga vs deformación. El autor realizó la combinación de métodos para luego realizar los cálculos de asentamiento haciendo uso de ello, determina que el suelo arcilloso tiene la característica de ser permeable y de filtración lenta.

Vega (2020), en su investigación de “Evaluación del potencial geotérmico de baja entalpia en la sub cuenca del Maipo Medio”, nos dio a conocer que en el planeta encontramos la energía geotérmica, fuente inagotable que se extrae al realizar bombeos de fluidos calentados en su interior, teniendo como ayuda a la inercia térmica que se produce en el subsuelo. Para ello se planteó el objetivo principal: Podremos estimar el uso de la geotermia somera considerando los parámetros hidrogeológicos, que nos permitan estudiar la infinidad de sistemas de intercambio de bombas geotérmicas en la subcuenca del Maipo Medio. En la metodología se consideró el estudio

hidrogeológico, usando información de la dirección general de aguas (DGA), estimando parámetros e interpretaciones hidráulicas, sin olvidar el estudio de la profundidad del agua subterránea y la viabilidad de los sistemas verticales abiertos, usando bombas de calor intercambiadores cerrados verticales (BHE) en zonas frías superficiales. Como también las bombas de calor de agua subterránea (GWHP), para las aguas subterráneas acumuladas en acuíferos naturales que pueden ser extraídas, dando una gran ayuda a los centros poblados que tienen el problema de desabastecimiento del agua, encontrando de esa manera cubrir la necesidad de escasas del agua potable en su población y sus descendencias.

Carrasco (2017), en la “Implementación de ensayos de succión en suelos parcialmente saturados y análisis de resultados en suelos residuales”, hace énfasis a que existen suelos saturados en forma parcial presentando succión, esto es ocasionado por la coacción contraria del agua en los poros, afectando la permeabilidad, la resistencia al esfuerzo cortante, la compresibilidad del suelo y como también la hidráulica de los suelos, coaligándose a la idoneidad del suelo para aspirar el agua. El objetivo de su investigación fue de implementar el laboratorio de geotecnia de la casa de estudios, usando la metodología de ensayo donde le permitió determinar la presión de succión en suelos saturados y así de esta manera elaborar la curva característica del agua. Los resultados obtenidos de este suelo en estudio presentan relación con lo expresado con la teoría y la calibración entregada por la ASTM D5298 – 10. Sin embargo, en obras de ingeniería no será la única en presentarse como obstáculo, pues a menudo los suelos alcanzan un estado de saturación, podemos decir que al tener un suelo saturado plegado en una vertiente subterránea o acuífero se puede aprovechar esa condición del suelo en ser permeable y por tanto poder demostrar que si se puede obtener agua para su potabilización.

Aedo Aedo (2015), en la investigación “Estudio de la propiedad del agua subterránea correspondiente al acuífero del río La Ligua, región de

Valparaíso Chile”, nos da a conocer que el Código de Aguas de 1981, norma el uso adecuado del agua, estableciendo la transferencia de los derechos de aprovechamiento de aguas gratuitamente y a eternidad en Chile. La descripción hecha de las propiedades del agua subterránea en el cauce del río La Ligua fue el objetivo principal. Por otro lado, la Dirección General de Aguas (“DGA”), realizó los análisis de las propiedades del agua del acuífero del río La Ligua siendo esta información favorable para su uso, por consiguiente, otorga con sus respectivas resoluciones los derechos de aprovechamiento del agua (DAA) a las personas y entidades que necesiten el agua para el uso correcto y no a la venta informal. Se empleó la metodología análisis estadístico y descriptivo de la información. En tanto en el número de DAA (48,3%) superando el caudal otorgado (38,5%), alcanzando el peak de DAA inscritos en 1988, año en que, además, se comienza a registrar una mayor cantidad de DAA subterráneas en Conservadores de Bienes Raíces (CBR), considerados como derechos de propiedad para ser negociados a través del Mercado del Agua. Los acuíferos del río La Ligua y del río Petorca fue declarado como zona restringida desde el 2004. Los acuíferos, los ríos, las aguas subterráneas encontradas en la madre naturaleza son del pueblo y no de un grupo de personas o industrias, entonces podemos notar que en nuestro hermano país de Chile, el agua es codiciada en el sentido de que existen grupos de poder y mafias que venden el agua desde muchos años atrás en precios exorbitantes con respecto a nosotros.

Del Salto e at. (2018), realizó la investigación siguiente “Caracterización hidrogeológica y análisis de vulnerabilidad del acuífero de Cayambe, nor - este de la provincia Pichincha”. En esta investigación demuestra que el acuífero de Cayambe, tiene un exceso de agua por las fuertes lluvias los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, como también octubre, noviembre y diciembre, pero sin embargo se tiene un déficit de agua en los meses de estiaje de junio, julio, agosto y septiembre. Viendo ello se planteó el objetivo principal que es analizar sus características hidrogeológicas del acuífero de Cayambe, para luego ver la vulnerabilidad de contaminación que

representa, usando el método GODS, teniendo en cuenta el método de polígonos de Thiessen el cual nos permitió saber la permeabilidad, exámenes químicos de ejemplares de aguas, fragmentos lito estratigráficas y se precisó el coeficiente de almacenamiento (S), los parámetros hidrogeológicos de permeabilidad (K), la transmisividad (T), para deslindar la validez de 2 clases de agua subterránea, el acuífero libre (Q1), los tanques aluviales de Cangahua, situado en el lugar de estudio, teniendo la altura freática de 1 m a 25 m y un grosor entre 5 m a 25 m. y el acuífero semiconfinado (Q2) formado con componentes del Cangahua y partes Chiche, donde el nivel piezométrico será de 30 m a 120 m, con un grosor de 28,55 m a 150 m. Los acuíferos suelen tener concentraciones de agua según las estaciones del año, por ello se puede aprovechar tal beneficio, pero no solo en abundancia si no en sequia ya que sirven como depósito natural.

## **Nacionales**

López (2018), Edita la “Evaluación del Coeficiente de permeabilidad efectivo en depósitos cuaternarios e implicancias en los Diseños de presas alto andinos”, realizó la comparación de las condiciones geológicas geotécnicas, y morfológicas de los suelos alto andinas, situadas geográficamente en los valles. Para el desarrollo se planteó el objetivo principal de evaluar los coeficientes de permeabilidad en depósitos cuaternarios Morrénicos, e implicancias en el diseño de la fundación y profundidad del abanico impermeable de las presas altas andinas del sur del Perú. Como en los casos Cusco y Apurímac, estos depósitos son de la era prehistórica y de procedencia glaciar, estos tienen similitud en sus coeficientes de permeabilidad del suelo. Dentro de esta investigación el nivel es descriptivo, explicativo y correlacional, teniendo los coeficientes de  $1.0 \times 10^{-3}$  cm/s a  $1.0 \times 10^{-5}$  cm/s, en ningún caso se ha logrado obtener un resultado de  $1.0 \times 10^{-6}$  cm/s. Las cuencas o quebradas tienen tipos de suelos permeables que permiten tener aguas subterráneas casi purificadas en pureza mas no así en

salubridad, es decir no es apto para el consumo humano y se debe tener el tratamiento respectivo, para ser potabilizada.

Yalí (2018), en su tesis denominado “Modelo de erosión RUSLE y coeficiente de aporte de sedimentos (SDR) para la estimación del volumen muerto de reservorios, gallito ciego”, cuando una población crece desmesuradamente y la falta del recurso hídrico, los llevan a la necesidad de crear almacenes o fuentes que sean de beneficio para los meses donde escasee el agua; se planteó el objetivo general, estimar el volumen de las fuentes de agua por la acumulación de sedimentos partiendo del modelo de desgaste RUSLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo) y el coeficiente de aporte de sedimentos (SDR). El uso de la metodología en esta investigación abraza los procesos de desgaste, sedimentación, y productividad de sedimentos en volumen y peso, a lo largo de su período de vida de una presa. Los resultados obtenidos y comparación de esta controversia, es realizado teniendo en cuenta el entorno geográfico, la calidad de la indagación, la metodología y las restricciones observadas para garantizar la fiabilidad de resultados. La vida útil del depósito Gallito Ciego está proyectado para 50 años de vida. En el 2013 se aglomeró sedimentos en 104.53 MMC de cantidad, lo cual se presume los resultados generados en este trabajo proyectándose al 2015 la cantidad acumulada es de 104.75 MMC y el periodo del colmatado en su totalidad que será de 128 años, desde la inauguración en 1988. El Perú, siendo uno de los países con gran riqueza hídrica, tiene una distribución geográfica limitada en la parte occidental, habiendo ciudades desabastecidas de agua, pero apoyados de esta investigación podemos dar solución a esta necesidad con ayuda de los acuíferos que encontramos como depósito natural en el suelo, sin olvidar que a la exploración siguiente tiene una vida útil, es decir comprender el desgaste o depreciación de los depósitos naturales o acuíferos como alternativas para las necesidades hídricas.

Fuentes (2008), en su “Diseño de una presa de almacenamiento tipo enrocado para el afianzamiento de la sub cuenca del río Shullcas”, presar un

flujo de agua para acumular y emplear en el abastecimiento de las necesidades del ser vivo, sin olvidarse del objetivo principal que el diseño de una presa que acopie grandes volúmenes de agua modelo enrocado para la garantía de la sub cuenca del río Shullcas, con fines de suministrar el agua potable a la ciudad de Huancayo. Por consiguiente, los métodos empleados en esta investigación, es de; Comparativo, racional, analítico, aritmético, parabólico, que nos permitirán a que esta investigación tenga los resultados para la mejora en el abastecimiento de agua, desarrollando en forma progresiva el diseño hidráulico y medida del perfil transversal de la presa, permitiendo alcanzar una obra confiable, económica y funcional, para almacenar 614,861.27 m<sup>3</sup> de agua durante el periodo de lluvias. Teniendo como fin captar agua en la laguna de Yanacocha para de esta manera suministrar el agua potable a la población de la ciudad de Huancayo mediante la planta de tratamiento en Vilca coto, y por ende los agricultores de la cuenca del río Shullcas se beneficiarán en sus cultivos. Por estas razones se concluye que el tipo de presa es recomendado, así como el esquema hidráulico, por la topografía y geología de la zona. Se encontró rocas en cantidad y calidad aptas para la obra del enrocado y por la rapidez de su construcción favorecen a la economía y sostenibilidad del proyecto. Teniendo impacto favorable en la sociedad como la que se realizó.

Dioses y Pérez (2018), en su investigación de “Estimación de la erosión hídrica mediante la aplicación de la metodología RUSLE en la cuenca del río Piura” el objetivo general es de calcular la tasa de desgaste hídrico en la cuenca del río Piura, aplicando la metodología RUSLE, con metodología de estudio de tipo aplicada, cuantitativa y de nivel descriptivo. La erosión del agua no es más que la separación del suelo por efecto de la lluvia y el flujo superficial del agua. En el Perú, la erosión del agua se convierte en dificultad al no obtener información actualizada, ya que el último estudio realizado fue por INRENA en el año 1996. El suelo peruano es heterogéneo, por sus características y propiedades se logra una cuantificación de dicho factor, teniendo tasas de desgaste muy bien diferenciadas. Por ello se calcula la tasa de desgaste de la cuenca del río Piura dentro de una etapa de estudio

entre los años 1981 y 2016. Se aplicó el método de Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) como patrón matemático que nos ayudó a valorar y cuantificar el desgaste hídrico mediante diferentes factores, empleando como herramienta principal los Sistemas de Información Geográfica (SIG), haciendo uso de valores referenciales para desarrollar los ensayos experimentales oscilados entre 0 y 1. La metodología RUSLE, benefició a este estudio integrando los factores usados para luego generar mapas de erosión del suelo de la cuenca hidrográfica del río Piura donde podremos ver la erosión de los acuíferos, lagos y ríos.

Pari (2020), en su investigación “Evaluación geomecánica de la cantera Pumpunya y su influencia en el diseño de enrocados para drenaje de aguas subterráneas en accesos del puente comuneros, Huancayo 2019”, menciona sobre la presencia de suelos cohesivos y el afloramiento de agua residual, existe la necesidad de estabilizar el suelo y drenar el agua en zona de construcción de los accesos para el puente Comuneros. Para ello se planteó el objetivo general; Cómo influye una evaluación geomecánica a la cantera Pumpunya para determinar su utilización como fuente de material en el diseño de enrocados. Se considera aplicada a la investigación cuya metodología nace a partir de la información existente, es decir que se encuentra antecedentes en fuentes primarias como secundarias. Dando solución a este problema se realiza el enrocado de diferentes medidas es decir por capas; se tienen buen resultado en lugares como: zonas bajas, saturadas, zonas inundables, presencia de nivel freático, etc. Este proceso consta de sustituir el material no deseado por capas de enrocado con medida variado, como notamos dan una alternativa de solución al problema. En las obras de construcción encontramos suelos saturados siendo problemas álgidos, a partir de esa problemática se busca una solución y la salida de crear un suelo permeable, haciendo uso de medios de la naturaleza es decir tomar en cuenta las características de un suelo permeable para poder drenarlos, pues la permeabilidad de los suelos es una forma de no tener suelos saturados.

## 2.2. Bases teóricas

### Permeabilidad

La permeabilidad ( $k$ ) del suelo no es más aquella bondad de la madre naturaleza de crear micro filtros naturales es decir que tiene la propiedad de transmitir el agua y el aire (Arequipeño Jesús 2017). Entonces de lo descrito por el autor podemos decir que la permeabilidad del suelo se ha dado desde la creación de la tierra, es permeable cuanto mayor sea la porosidad del suelo, mayor será la filtración. El símbolo más usado para representar a la permeabilidad es  $k$  y la unidad de medida es dada en cm/s y m/s. La figura 2 muestra un ejemplo de esos suelos permeables encontrado en una calicata, realizada en la zona de investigación.

En la tabla 1, presento coeficientes de permeabilidad para distintos tipos de suelo no estables (Baquerizo Condori, 2015).

Se ha Mostrado las clases de permeabilidad del suelo (véase tabla 2)



Figura 2: Análisis de las características del suelo

**Tabla 1:** *Coefficiente de permeabilidad del suelo*

| Tipo de suelo  | Coefficiente m/s    |
|----------------|---------------------|
| Grava          | $10^{-1} - 10^{-2}$ |
| Arena Gruesa   | $10^{-3}$           |
| Arena Mediana  | $10^{-3} - 10^{-4}$ |
| Arena Fina     | $10^{-4} - 10^{-5}$ |
| Arena Limosa   | $10^{-6} - 10^{-7}$ |
| Arcilla Limosa | $10^{-8} - 10^{-9}$ |
| Arcilla        | $< 10^{-9}$         |

Fuente: Baquerizo (2015)

**Tabla 2:** *Clases de permeabilidad del suelo*

| Clases de permeabilidad | Coefficiente m/s     |
|-------------------------|----------------------|
| Rápida                  | $10^{-1} - 10^{-5}$  |
| Moderada                | $10^{-6} - 10^{-7}$  |
| Lenta                   | $10^{-8} - 10^{-11}$ |

Fuente: <https://bit.ly/3pX9rmL>

### **Tipos de Permeabilidad**

Existen tres tipos de permeabilidad del suelo: Absoluta, Efectiva y Relativa.

**Absoluta:** Es cuando encontramos en una roca la capacidad de flujo o transmisión de fluidos, es decir cuando sus poros están interconectados y completamente llenos de fluido.

**Efectiva:** Se define como un medio poroso y de varias fases donde persiste la capacidad o conductividad, a través de un medio poroso. Toda sumatoria de permeabilidad efectiva siempre es menor a una permeabilidad absoluta.

**Relativa:** Se define permeabilidad relativa a la razón existente entre la permeabilidad efectiva y una permeabilidad base, teniendo presente el

propósito a ser usado o utilizado las curvas de permeabilidad relativa, podemos usar dos bases diferentes:

$$K_{rx} = \frac{K_x}{K}$$

$$K_{rx} = \frac{K_x}{K_{Sxmax}}$$

Dónde:

$K_{rx}$  : Permeabilidad relativa de la fase x.

$K_x$  : Permeabilidad efectiva de la fase x.

$K$  : Permeabilidad absoluta.

$(K)_{Sxmax}$  : Permeabilidad efectiva de la fase x medida a la saturación máxima de dicha fase.

### Características del flujo en los suelos

El agua posee dos estados característicos de movimiento, principalmente por su velocidad, presión, temperatura y viscosidad entre otros, denominados flujo laminar y flujo turbulento.

- **Flujo laminar:** Es considerado flujo laminar al orden que mantiene en su marcha, es decir que las partículas del agua se mueven en forma ordenada y paralelas en un mismo sentido, sin que el fluido se mezcle y formando una lámina de agua. Figura 3.

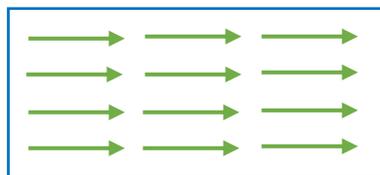


Figura 3: Flujo laminar

- **Flujo turbulento:** Este tipo de flujo ocurre, cuando las partículas del agua no tienen un orden y se mueven en diferentes direcciones, es decir el

vector del agua no es lineal, si no, el fluido se mezcla y representa el movimiento discontinuo. Figura 4.

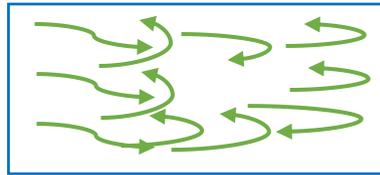


Figura 4: Flujo turbulento

### El ensayo Lefranc

Esta investigación se caracteriza por ser realizado en el lugar de los hechos (ensayo en situ), de esta manera definir el valor de la permeabilidad ( $K$ ), en suelos permeables o semipermeables, en rocas fracturadas y debajo del nivel freático. Es un ensayo geotécnico aplicado en suelos.

### Procedimiento del ensayo

- Se limpia el fondo de la perforación.
- Medimos la altura de la sonda con respecto al suelo.
- Llenamos de agua la sonda hasta el tope logrando que todo aire salga.
- Al expulsar el aire se estabiliza el nivel y la velocidad del descenso del agua.
- Tomamos el tiempo que tarda en bajar el nivel del agua con respecto de la sonda.
- Medimos el espacio que deja el agua sobre la sonda.
- Volvemos a abastecer la sonda con agua hasta el nivel para mantener el flujo constante. Figura 5.

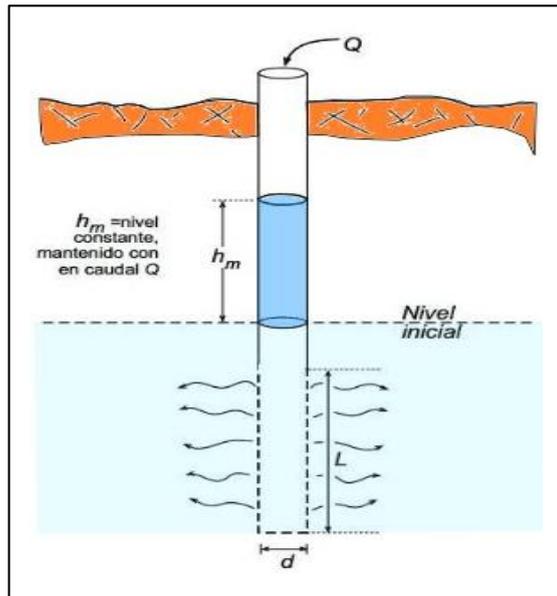


Figura 5: Ensayo Lefranc de carga constante

Fuente: <https://bit.ly/3t5Dcm9>

Se toma los datos o valores cada 5 minutos en un periodo de 45 minutos. Si la permeabilidad del suelo es muy alta, se debe de medir cada 1 minuto en un periodo de 20 minutos, luego seguimos midiendo cada 5 minutos por un lapso de 45 minutos.

Después se realiza el cálculo de la conductividad hidráulica o permeabilidad del suelo de acuerdo a la ecuación con la siguiente formula:

$$K = \frac{Q}{C.H_m}$$

Fórmula de la conductividad hidráulica Dónde:

$K$  = conductividad hidráulica

$Q$  = caudal inyectado

$H_m$  = altura del agua dentro del sondeo, por encima del nivel estático.

$L$  = longitud de la zona filtrante

$d$  = diámetro la zona filtrante

$C$  = coeficiente del factor de forma:

$$C = \frac{2\pi \cdot L}{\ln\left(\frac{2L}{d}\right)}$$

### Ley de Darcy

Tal como lo demuestra el Ingeniero Henry Darcy (1856). Tuvo el interés en demostrar que el flujo de agua se da a través de los medios porosos (arena y arcilla) por ello utilizaba filtros de arena en un permeámetro para limpiar el agua y para la exploración de pozos que contribuían en el abastecimiento de agua a la ciudad. En 1856, presentó un gran informe sobre este tema, que incluía apuntes de sus experimentos, por tanto, la obtención de la ley, tal como lo demuestra la figura 6:

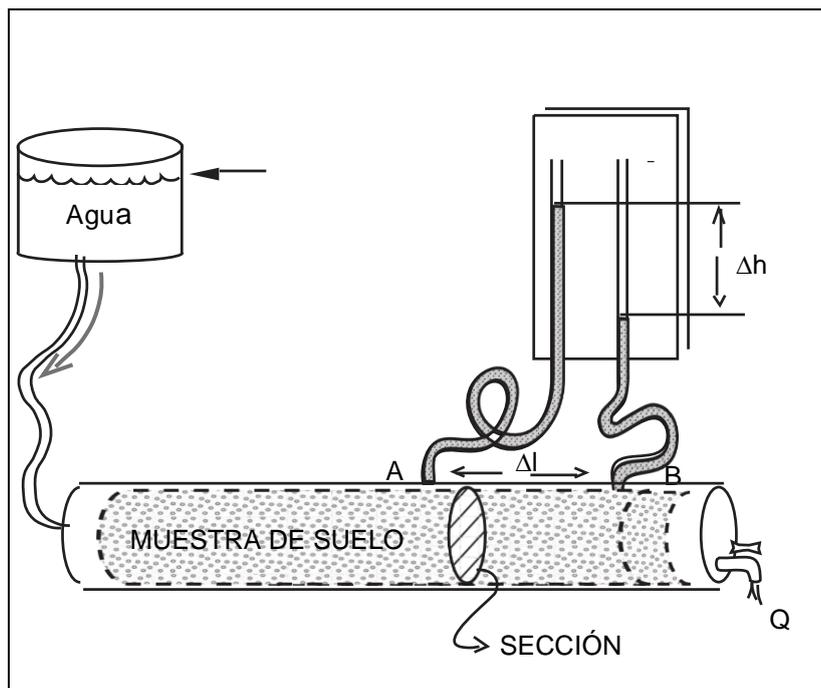


Figura 6: Permeámetro de carga constante

Fuente: <https://bit.ly/3lmGyHL>

$Q$  = Caudal

$\Delta h$  = Diferencia de Potencial entre  $A$  y  $B$

$\Delta l$  = Distancia entre  $A$  y  $B$

$$\text{Gradiente hidráulico} = \Delta h / \Delta l$$

Guiados de este ejemplo:

Diseñamos 01 prototipo de permeámetro para la prueba en el laboratorio; el permeámetro se rellenará de arena, tierra porosa y de cultivo elementos extraídos desde el lugar de donde se realizó las calicatas in situ conservando su naturaleza, para poder medir el nivel de permeabilidad del suelo.

Determinando el caudal o cantidad del agua.

La muestra de suelo puede ser de cualquier material, arena, arcilla o una mezcla de los dos suelos, suelo de la zona de investigación.

Se midió el caudal ( $Q$ ) del líquido, es decir el agua que recorre por la sección y que sale por el grifo.

El gradiente hidráulico ( $\Delta h/\Delta l$ ) se midió en dos puntos diferentes de la sección, la altura de agua en los puntos  $A$  y  $B$  que va a cambiar cuando se varía la altura del líquido (recipiente alimentador) o varía el caudal del grifo.

Al obtener todos los parámetros se procedió a calcular ( $K$ ) o la permeabilidad del suelo que pusimos en el permeámetro, y se realizó el cálculo usando la expresión siguiente:

$$Q = K (\text{seccion}) (\Delta h/\Delta l)$$

Entonces despejamos el valor de ( $K$ ) de la ecuación y permanece constante siempre en cuando se utilice el mismo tipo de suelo.

Al cambiar otro tipo de suelo ya sea grueso o fino, y realizar los cálculos otra vez, se volvió a cumplir la ecuación anterior, pero la permeabilidad del suelo ( $K$ ) fue distinto. Entonces apoyados con Darcy se concluyó que

cada tipo de suelo tiene su propia coeficiente de permeabilidad ( $K$ ) conocida también como conductividad hidráulica.

### Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas están en todas partes del planeta, siendo una forma de almacenamiento del agua, en épocas de sequía. Si se observa fluir agua en el lecho de un río en tiempos de sequía, es aquella agua acumulada bajo tierra en un momento dado al caer la lluvia y para luego desbordar o salir de los acuíferos.

El agua subterránea en nuestro planeta ocupa el segundo lugar superado por los mares, tal como lo muestra la figura 7:

En este cuadro el 70% del total de la tierra es agua. Y de este el 97.5% es agua salada, solo el 2.5% es agua dulce. De este 2.5 %, el 85% son glaciares y esta agua no se puede potabilizar o consumir por ser congelada. El 14 % lo conforma aguas subterráneas y solo 1% es agua para el consumo, como el sector agropecuario, industrial y municipal.

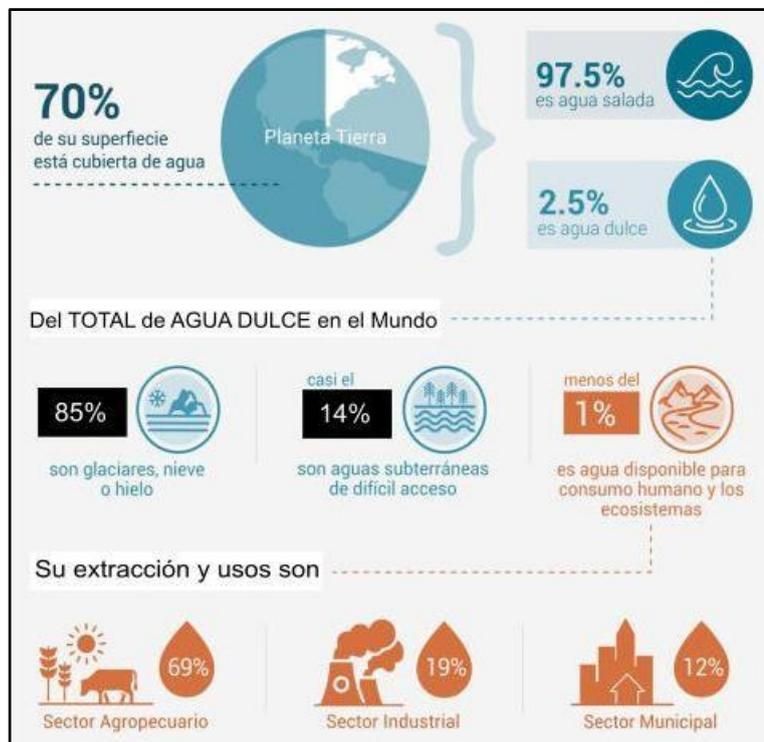


Figura 7. Importancia del agua subterránea  
Fuente: <https://bit.ly/3M9FJEo>

En la tabla 3, observamos que los volúmenes del agua sobre la superficie terrestre, es como sigue:

**Tabla 3:** Cantidad de volumen de agua

| Agua dulce hidrosfera         | Volumen de agua en Km3 | Porcentaje % | Agua dulce descongelada |
|-------------------------------|------------------------|--------------|-------------------------|
| Glaciares                     | 24 000 000             | 84.945       | 0                       |
| Agua subterránea              | 4 000 000              | 14.158       | 94.05                   |
| Lagos y lagunas               | 155 000                | 0.549        | 3.64                    |
| Humedad del suelo             | 8 300                  | 0.294        | 1.95                    |
| Vapor de agua en la atmosfera | 14 000                 | 0.049        | 0.33                    |
| Agua de ríos                  | 1 200                  | 0.004        | 0.03                    |
| Total                         | 28 253 200             | 100          | 100                     |

Fuente: <https://bit.ly/3M9FJEo>

### Teoría de la formación de los suelos

Hugo Mella, Isidora Silva, Sebastián Cabello (2017), Teorías de cómo se formó el suelo cita cuatro teorías:

**Teoría Física:** esta teoría se da por los cambios producidos en el ambiente, así como por los diferentes cambios de temperatura, por las precipitaciones pluviales intensas (lluvias), y los cambios de presión y las fuerzas del viento. La formación del suelo se da principalmente por efecto de la meteorización o desintegración de la roca madre, ayudado por las precipitaciones, por los cambios repentinos de temperatura.

**Teoría Biológica:** las plantas realizan el trabajo esencial en la formación del suelo; las raíces de los árboles quiebran a las rocas al estar en intermedio de las rocas, de igual manera los musgos y líquenes liberan sustancias capaces de disolver las rocas de esta manera los segmenta o parte en

fragmentos pequeños. Los restos de plantas y animales forman el humus y que a su vez se mezclan con los minerales dando origen al suelo.

**Teoría Química:** esta teoría plantea que la formación del suelo se da por medio de las diferentes reacciones en el ambiente. La fragmentación de las rocas se realiza gracias al agua, oxígeno y dióxido de carbono, así como la acidificación causada por las fuertes precipitaciones, la carbonatación, la hidrólisis entre otros, proporcionan a la formación del suelo.

**Teoría Creacionismo:** el suelo, los seres vivos y todo el mundo fue creado por un ser supremo llamado Dios, sustentada por el Vaticano y el Papa, quien muestra en las sagradas escrituras de la Biblia la creación de los suelos, donde dijo Dios: Júntense las aguas de los cielos y aparezca el “suelo seco” y lo llamo tierra. Dijo Dios: produzca la tierra pasto y hierbas que den semillas y árboles frutales que den sobre la tierra fruta con su semilla adentro”, la figura 9 demuestra esta teoría.

El suelo es el elemento primordial del planeta, donde habitan seres vivos y plantas que aportan al ecosistema a generar oxígeno y vida. Como también en el subsuelo llevar en su entraña agua subterránea siendo permeable, tal como se muestra en la figura 8.

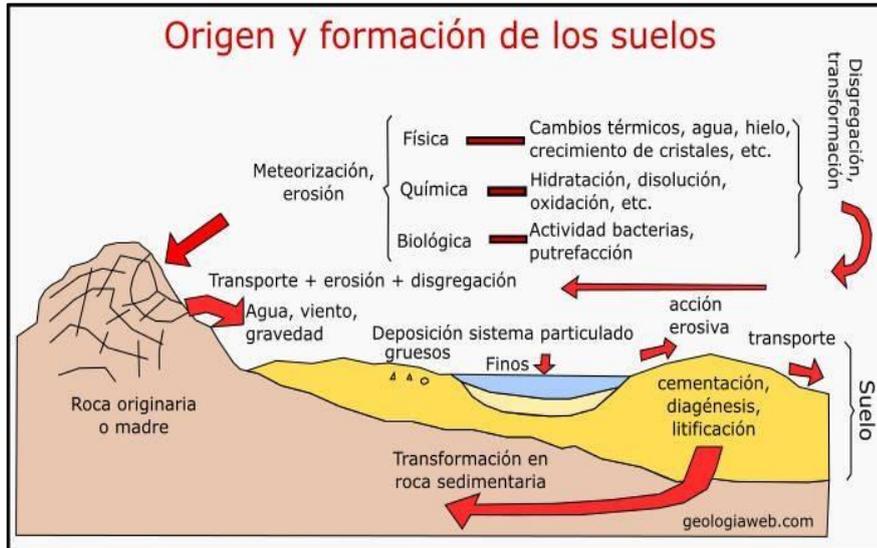


Figura 8: Teoría de la formación del suelo

Fuente: <https://bit.ly/3M9FJEo>



Figura 9: Teoría de creacionismo

Fuente: <https://bit.ly/3tfqQbe>

## Clasificación de los suelos

El conocimiento del tipo de suelo, que existe en el área o lugar donde se va a desarrollar un determinado proyecto de edificación o de carretera, la clasificación se da mediante el proceso de ensayos en situ y el de laboratorio. La rigurosa clasificación permite al ingeniero civil tener una primera idea del comportamiento y lo firme que podría ser el suelo en cimientos, a partir de

las propiedades encontradas en el suelo podemos saber la granulometría y plasticidad del suelo pudiendo pronosticar el comportamiento mecánico. Vallenilla (2015), figura 10.

### **Clasificación SUCS**

Este sistema SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), es usado en ingeniería y geología, donde se determina la textura y el tamaño de las partículas en suelos granulares o finos.

El suelo en su estado natural se nota que es granular, al realizar la prueba observamos que a medida que se distribuye y pasa por el tamiz 200, apreciamos que pasa el 50 % del material, por tanto, es material fino; caso contrario es suelo granular.

Este medio nos permitió ver el tipo de suelo encontramos en las zonas de investigación.



*Figura 10: Clasificación del suelo*  
*Fuente: <https://bit.ly/3Jdvz2T>*

### **Clasificación de AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)**

Este sistema traducido al español es la Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte, fue desarrollado en 1929. Es usado especialmente en el manejo de subrasantes y terraplenes en la construcción de carreteras, dando una clasificación al suelo en 7 grupos y sub divididos hasta 12.

Grueso granulares: Si pasa por el tamiz 200, el 35% o menos es resuelto

A-1, si menos del 20% pasa el tamiz 200 y menos del 50% pasa por el tamiz 40, pero en el P40 el PI.

A-2, si menos del 35% pasa el tamiz 200 (limoso y arcilloso), y el material no cumple con A-1 ni A-3.

A-3, si menos del 10% pasa por tamiz 200 y 51% o más pasa el tamiz 40, pero si el P40 no es plástico.

Suelos finos granulares (limo arcilla); más del 35% pasa el tamiz 200

A-4 si  $IP \leq 10$  (limo) y  $LL \leq 40\%$

A-5 si  $IP \leq 10$  (limo) y  $LL \leq 41\%$

A-6 si  $IP \leq 11$  (arcilla) y  $LL \leq 40\%$

A-7 si  $IP \leq 11$  (arcilla) y  $LL \leq 41\%$

Por tanto:

A-1 → cascajo y arena

A-2 → cascajos y arenas limosas o arcillosas

A-3 → arena fina

A-4 y A-5 → suelos limosos

A-6 y A-7 → suelos arcillosos

De otro lado:

A-1 y A-3 → son suelos excelentes y buenos

A-2 → bueno y moderado

A-6 y A-7 → son suelos de moderados a pobres

En la tabla 4, se encuentra plasmado lo enunciado líneas arriba:

**Tabla 4: Clasificación del suelo según ASSHTO**

| Clasificación General               | Materiales granulares<br>(35% o menos pasa el tamiz #200) |        |                  |                               |        |        |        | Materiales limo arcillosos<br>(más de 35% pasa el tamiz #200) |        |                   |                       |
|-------------------------------------|---|--------|------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|---|--------|-------------------|-----------------------|
|                                     | A-1   |        | A-3 <sup>^</sup> | A-2                           |        |        |        | A-4   | A-5    | A-6               | A-7<br>A-7-5<br>A-7-6 |
| Clasificación de grupo              | A-1-a   | A-1-b  |                  | A-2-4                         | A-2-5  | A-2-6  | A-2-7  |   |        |                   |                       |
| Tamizado %<br>Que pasa              |   |        |                  |                               |        |        |        |   |        |                   |                       |
| Nº 10<br>(2.00 mm)                  | 50 máx  | ...    | ...              | ...                           | ...    | ...    | ...    | ...   | ...    | ...               | ...                   |
| Nº 40<br>(425 µm)                   | 30 máx  | 50 máx | 51 máx           | ...                           | ...    | ...    | ...    | ...   | ...    | ...               | ...                   |
| Nº 200<br>(75 µm)                   | 15 máx  | 25 máx | 10 máx           | 35 máx                        | 35 máx | 35 máx | 35 máx | 35 máx  | 36 mín | 36 mín            | 36 mín                |
| Consistencia                        |   |        |                  |                               |        |        |        |   |        |                   |                       |
| Límite Líquido                      | ...   |        | ...              | B                             |        |        |        | 40 máx  | 41 mín | 40 máx            | 41 máx                |
| Índice de plasticidad               | 6 máx   |        | NP               | B                             |        |        |        | 10 máx  | 10 máx | 11 mín            | 11 mín                |
| Tipos de materiales característicos | Cantos, gravas y arena                                    |        | Arena fina       | Grava y arena limo arcillosas |        |        |        | Suelos limosos  |        | Suelos arcillosos |                       |
| Calificación                        | Excelente a bueno   |        |                  |                               |        |        |        | Regular a malo  |        |                   |                       |

Fuente: <https://bit.ly/3xgL5IS>

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y Diseño de Investigación

##### Tipo

La recolección de datos es tipo prolectivo por la información obtenida de las pruebas simultáneamente y serán para fines específicos de investigación. (Gómez Castro, 2014). El tipo de investigación de la tesis es aplicada, ya que los conocimientos teóricos de una problemática son volcados a la práctica, anotando de forma inmediata los resultados observados. Para luego realizar los cálculos hidráulicos.

##### Nivel

Cabe mencionar que la presente investigación es de enfoque cuantitativo porque en los procesos se emplearan cálculos numéricos orientados a un resultado. (Gómez Castro, 2014), el nivel de la investigación es correlacional - explicativo por ser cuantitativo, dando razón a porqué y para qué es el estudio.

##### Método

La investigación se da con el método hipotético deductivo ya que formulamos hipótesis. (Gómez Castro, 2014), el autor nos da como alcance la definición del método indirectamente, por el planteamiento de hipótesis de nuestra investigación es denominado hipotético deductivo.

##### Diseño

El diseño es experimental, por las variables usadas. (Gómez Castro, 2014). La presente investigación el tipo de diseño es pre experimental, siendo el proceso previo de una configuración mental, para dar solución en cualquier campo de la ingeniería.

$$GE: X \quad \Rightarrow \quad Y1$$

GE: Grupo experimental

X: Variable independiente

Y1: Observación de la variable dependiente

### 3.2. Variables y Operacionalización

#### Variable independiente

##### a) Nivel de permeabilidad del suelo (1):

En nuestro medio ambiente encontramos suelos de capacidad o propiedad de filtrar en forma natural el paso del agua, ésta a su vez realiza una presión encima del material poroso del cual va a circular; teniendo el coeficiente de permeabilidad, “ $k$ ” definiendo como la tasa de flujo del agua, bajo el flujo laminar a través de una zona media porosa de la sección transversal de la unidad bajo gradiente hidráulico de la unidad. Si analizamos el escurrimiento o filtración (véase figura 11), es decir, el movimiento de las partículas fluidas, se produce a lo largo de las curvas llamadas líneas de corriente o líneas de filtración que no varían en el pasar del tiempo.



*Figura 11:* Suelo permeable natural

##### b) Capacidad de captación

La tierra posee esa capacidad de captación en su medio natural, entonces para nuestra tesis se midió la permeabilidad y se pudo determinar la cantidad de agua que se pueda producir (figura 12), es decir de acuerdo a la capacidad del caudal obtenido al final del tubo del permeámetro donde se pudo medir la capacidad.



*Figura 12: Captación de agua superficial*

### **c) Gradiente hidráulico (i)**

Por la caída del agua y tener roce constante con los elementos de la naturaleza, viene a ser la pérdida de energía o velocidad experimentada por el desplazamiento del agua (figura 13); es decir, representa la pérdida o cambio del potencial hidráulico por la unidad de longitud, medida realizada hacia el sentido del flujo de agua superficial o agua subterránea, este último debido a cambios en la profundidad del nivel piezométrico.

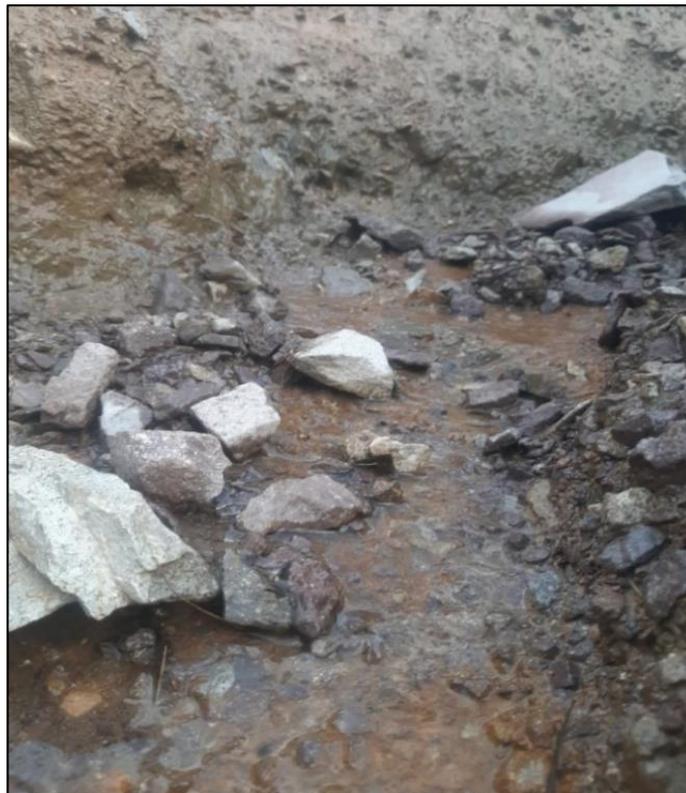


*Figura 13: Gradiente de agua superficial*

#### **d) Velocidad hidráulica**

Es el movimiento de la partícula de un fluido pasando por un punto determinado.

La velocidad, en hidráulica es determinada en razón de flujo y velocidad centímetros por minuto (cm/min) (figura 14), en unidades de S.I. en pulgadas por minuto (pulg/min) en unidades del Sistema Inglés



*Figura 14: Velocidad de agua superficial*

#### **Determinación de desfases**

Es la diferencia ocasionada por la presión del agua. Figura 15.

La variable operacional es la velocidad hidráulica o caudal a obtener del proceso teniendo en cuenta lo dispuesto En el Reglamento Nacional de Edificaciones (D.S. N. ° 011-2006-vivienda), en su Norma OS. 010 – Aguas Subterráneas y Galerías Filtrantes Y El Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (D.S. 001-2010-AG) en el Capítulo IV – Uso Conjunto de Agua Superficial y Subterránea Art. 248, 249,

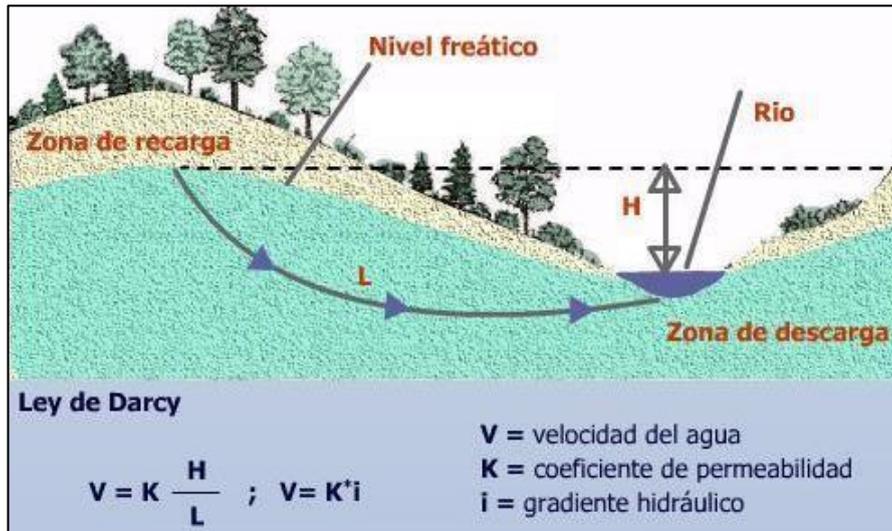


Figura 15: Desfases del suelo  
Fuente: Porto (2017)

**Tabla 5. Matriz de Operacionalización de Variables**

| VARIABLES                                      | DEFINICIÓN CONCEPTUAL  | DEFINICIÓN OPERACIONAL   | DIMENSIONES            | INDICADORES                   | ESCALA MEDICIÓN  |
|--|--|--|------------------------|-------------------------------|------------------|
| <b>VI:</b><br>Nivel de permeabilidad del suelo | El nivel de permeabilidad es capacidad del suelo de transmitir el agua y el aire, es decir mientras más sea el grado de permeabilidad del <b>suelo</b> , la filtración del suelo será mayor, siendo de importancia para la ingeniería Civil. (Gómez Castro Karina, 2014) | La permeabilidad del suelo servirá en un futuro en la acumulación del agua.  | Difusión               | Velocidad (l/s)               | Proporción Razón |
| <b>VD:</b><br>Capacidad de captación           | Los ríos, lagos y embalses son estructuras a nivel del terreno mediante la cual se hace uso y aprovechamiento del agua, ya sea por gravedad (Permeabilidad del suelo), concentrar y garantizar el suministro a una población. (Oscar Fuentes Galván, 2008).              | La captación ayudará en aliviar las necesidades de una población determinada | Almacenaje<br>Cantidad | Volumen (m <sup>3</sup> /día) | Proporción Razón |

### 3.3. Población y Muestra

#### Población

La población considerada en nuestra investigación fueron las muestras de los suelos, (Huiza, e. at, 2017), tal como se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6.- Tipos de Suelos**

| PARTICULA | DIAMETRO<br>mm | DESCRIPCIÓN  |
|-----------|----------------|--|
| Arena     | 2.00 – 0.05    | Las partículas individuales son observables a simple vista. Por su gran tamaño y forma irregular, el contacto entre partículas de arena es limitado, lo que dificulta la formación de agregados estables en el suelo.                              |
| Limo      | 0,05 - 0,002   | El tamaño hace que sean observables al microscopio. Por la combinación de su área superficial y el tamaño de sus poros, esta partícula tiene la más alta capacidad retentiva de agua disponible.   |
| Arcilla   | ≤0.0002        | Son observados solo a través de microscopios electrónicos. Cuando se humedecen, forman agregados que al secarse son bastante duros. El grado de cohesión y adhesión varía según la clase de arcilla; cuando más fina, más duro el terrón se forma. |

Fuente: Huiza e. at (2017)

#### Muestra

La muestra viene a ser una parte de la población. Es decir, es el subconjunto de elementos definido en sus características al que llamamos población (Hernández, 2010).

Para la presente investigación de permeabilidad del suelo, se usó solo dos tipos de suelo (arena y arcilla) extraídos de la zona previamente seleccionada y con cuyos volúmenes necesarios para realizar los ensayos correspondientes.

#### Muestreo

La técnica de este muestreo es el coeficiente la permeabilidad del suelo areno – arcilloso (López, 2018), por consiguiente, el cálculo de la velocidad del agua, se evidencia en el permeámetro. Se utilizó el muestreo guiado por el seguimiento de un patrón geométrico específico, para este estudio se ha

asignado una red de forma geométrica rectangular; donde las muestras son tomadas a intervalos regulares a lo largo de este patrón, iniciando por el número uno. (Huiza, e. at, 2017).

### **3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

#### **Técnicas de Recolección de Datos**

Primordialmente, la observación fue un método principalmente usado para seleccionar la información necesaria; mediante la recolección y análisis de los datos y una percepción más real del sujeto en estudio (Rekalde, Vizcarra y Macazaga, 2014).

Al recabar información se tiene presente la recolección de datos en su contexto natural, siendo indispensable para el análisis y toma de decisiones posteriores y poder solucionar la problemática en estudio tomando notas y apuntes de toda información resultante de los ensayos realizados. En tanto, la técnica utilizada fue de observación directa en los experimentos y procedimientos correspondientes a la evaluación de variables relacionados a las pruebas aplicadas en un permeámetro determinado, determinando el cálculo la velocidad y caudal de desplazamiento del agua en un medio poroso.

#### **Instrumentos de Recolección de Datos**

Se hizo las pruebas de evaluación de ambos materiales; como la arena y la arcilla, haciendo uso de:

- Fichas
- Encuestas
- Videos
- Tablas donde anotamos los tiempos de llenado de un recipiente, para realizar luego los cálculos, como muestra tabla 7, luego obtenemos el

volumen de agua faltante en cada prueba y esto demuestra la permeabilidad del suelo, tabla 8.

**Tabla 7:** *Determinación del caudal*

| Objeto | Tiempo | Volumen litros |
|--------|--------|----------------|
| Balde  |        | 30             |
| Tina   |        | 10             |
| Jarra  |        | 1              |

Fuente: *Elaboración propia*

**Tabla 8:** *Medición de permeabilidad*

| Ítem | Hora inicio | Hora final | Medida mm |
|------|-------------|------------|-----------|
| 1    |             |            | 70        |
| 2    |             |            | 80        |
| 3    |             |            | 75        |
| 4    |             |            | 78        |
| 5    |             |            | 80        |

Fuente: *Elaboración propia*

### 3.5. Validez y confiabilidad del instrumento

#### **Validez**

La validez de un instrumento esta dado en el grado que refleja un dominio específico del contenido de lo que se quiere medir, se trata de determinar hasta dónde los ítems de un instrumento son representativos (Yadira Corral, 2009). Al buscar validar opiniones o valores reales haciendo uso de instrumentos de medición encontramos un grado de aceptación, los ítems de este resultado ayudan a tener confianza.

Expertos en el tema realizan la evaluación en un cuestionario (anexos) los cuales llevaremos a la tabla de Cronbach donde buscaremos el grado de validación y confiabilidad.

**Tabla 9:** Expertos en validación y confiabilidad

| Experto                           | Profesión      | CIP    |
|-----------------------------------|----------------|--------|
| Melquiades Elmer Hinojosa Bartolo | Ing. Civil     | 90853  |
| Sulyana Madhuri Morales Risalve   | Ing. Ambiental | 269886 |
| Oscoco Peceros Richard A.         | Ing. Agrícola  | 115601 |

Fuente: *Elaboración propia*

### Confiabilidad

Responde a la pregunta ¿con cuánta exactitud los ítems, reactivos o tareas representan al universo de donde fueron seleccionados? es decir designa la exactitud con que un conjunto de puntajes de pruebas mide lo que tendrían que medir (Yadira Corral 2009). La exactitud que arroja un instrumento al medir una porción seleccionada dio como resultado un grado aceptable en los expertos, de acuerdo a los valores establecidos en la tabla 11 se pudo determinar o medir.

Para medir el grado de conformidad de confiabilidad se determinó con la escala de Likert, como esta en la tabla 10.

**Tabla 10:** Calificación según Likert

| ítem | Calificación                    |
|------|---------------------------------|
| 1    | Totalmente en desacuerdo        |
| 2    | En desacuerdo                   |
| 3    | Ni de acuerdo, ni en desacuerdo |
| 4    | De acuerdo                      |
| 5    | Totalmente de acuerdo           |

Fuente: *Chaves Barboza, 2018*

**Tabla 11:** Valoración de fiabilidad según el coeficiente alfa de Cronbach

| Intervalo al que pertenece el coeficiente alfa de Cronbach | Valoración de la fiabilidad de ítems analizados |
|--|---|
| 0.0 – 0.5  | Inaceptable                                     |
| 0.5 – 0.6  | Pobre   |
| 0.6 – 0.7  | Débil   |
| 0.7 – 0.8  | Aceptable                                       |
| 0.8 – 0.9  | Bueno   |
| 0.9 – 1.0  | Excelente                                       |

Fuente: *Chaves Barboza, 2018*

### 3.6. Procedimientos

Para el desarrollo de esta investigación y realizar las pruebas de campo o pruebas “in situ” se usaron herramientas y equipo, como sigue: barreno, lampa, flexómetro, baldes, tubo de pvc 4”, cámara, cronometro, agua y EPP.

#### Zona 1

- Exploración de la zona 1 ubicada en las coordenadas -11,974087, -75,209562 alturas del centro poblado de Hualahoyo, anexo de Ancalayo para captar la idea del tipo de suelo, la topografía, zona agrícola e iniciar con las pruebas “in situ”. Figura 16



*Figura 16:* Zona 1 de exploración  
Fuente: <https://bit.ly/3qt7Fd6>

- Ubicación de los lugares para realizar las calicatas y determinar el tipo de suelo, como muestra la figura 17



*Figura 17:* Ubicación zona de calicatas

- Excavación de calicatas para definir las características del suelo. Mostrados en la figura 18.



*Figura 18:* Excavación de calicatas

- Extraer muestras de suelo y determinar los tipos de suelo de la zona, en figura 19.



*Figura 19: Extracción de muestras*

- Se realizó prueba de permeabilidad del suelo en situ:  
Excavamos una fosa de 30cm x 30cm x 10cm quitando la capa de musgo, para luego llenarla de agua al ras del piso hasta saturarlo (figura 20) durante una hora, dejamos un espesor del terreno de uno 40cm y excavamos en una especie de cueva para colocar un recipiente. A los 15 minutos comenzó a gotear sobre la pala y así acumulamos en un vaso (figura 21), concluyendo que si este tipo de suelo es permeable.



*Figura 20: Llenado del hoyo con agua*

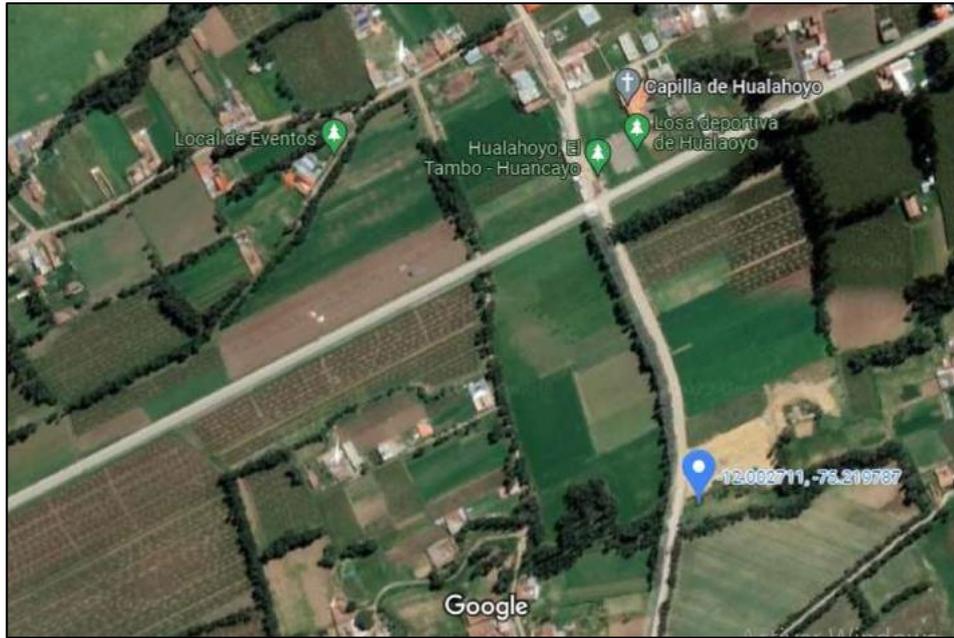


*Figura 21: Acumulación del agua*

- Llevamos ejemplares del suelo al laboratorio para poner en el tubo de prueba o permeámetro y poder determinar la permeabilidad del suelo
- Calcular el parámetro de permeabilidad.
- Realizar los cálculos de velocidad y caudal para determinar el volumen.

## **Zona 2**

- Exploración y ubicación de la zona 2 teniendo las coordenadas - 12002711, -75,219787 en el centro poblado de Hualahoyo, para realizar pruebas “in situ”. Figura 22



*Figura 22: Zona de prueba 2*  
*Fuente: <https://bit.ly/3qt7Fd6>*

- Después de elegir el área de prueba, comenzamos con la limpieza de arbusto y gramas de la zona, como muestra. Figura 23.



*Figura 23: Limpieza de Zona 2*

- Realizamos la excavación haciendo uso de un barreno el hoyo de 30 x 60 cm (Figura 24), encontrando 3 tipos de tierra; arenoso, rocoso y arcilloso.



Figura 24: Excavación del hoyo

- Se corta el tubo de pvc 4" x 60 cm de largo para colocar en el interior del hoyo, rellenando con la misma tierra y quedó ubicado el tubo. Figura 25.



Figura 25: Colocado del tubo en el hoyo

- En la figura 26, ayudados por un balde, se dejó que el agua realice la saturación respectiva del hoyo, dejándolo por el lapso de 30 minutos.



*Figura 26:* Llenado de agua alrededor del tubo en el hoyo

- Después de haber saturado alrededor o parte extrema del tubo, se llenó de agua al tubo para luego dejarlo por un lapso de 1 hora, buscando la saturación como muestra la figura 27.



*Figura 27:* Llenado de agua al tubo

- Pasado el tiempo esperado, comenzamos con las pruebas “in situ” repitiendo el llenado unas 6 veces. Como se muestra en la figura 28.



Figura 28: Inicio con la prueba a carga constante

- Anotamos en nuestro cuadro anotamos los datos de cada prueba realizada, se hizo 5 para esta zona, mostrados en la figura 29.



Figura 29: Proceso de medición al llenado de agua a carga constante

## Módulo de permeabilidad

### Permeámetro casero

El permeámetro casero como se muestra en la figura 30, se ha fabricado especialmente para la realización de esta investigación y se usó los materiales siguientes, como: vidrio de 6mm, aluminios, tubos de plástico de 9mm o 3/8, balde de 8 litros, grifos de plástico, tornillos, silicona con aplicador, mesa de madera, material poroso (esponja), un flexómetro, cortador de vidrio, taladro para vidrio. Destornillador.



Figura 30: Prototipo de Permeámetro

Procedemos a realizar el ensayo en el laboratorio y determinar la permeabilidad del suelo de Hualahoyo, para ello seguiremos los pasos:

En el balde llenamos los 8 litros de agua, mostrado en la figura 31.



Figura 31: Recipiente de agua

Llenamos el permeámetro con material extraído de la zona 2, cada 4 cm apisonándolo 25 veces cada capa de suelo, como muestra figura 32.



Figura 32: Carga del permeámetro por muestra de suelo.

Se instala un instrumento de medición dando la diferencia de  $h_1$  y  $h_2$ , es decir, altura ( $\Delta h$ ), figura 33.



Figura 33: Escala de medición del permeámetro

Se llevó a cabo el proceso de saturación de la muestra del suelo, obtenidos del centro poblado en investigación, colocándolo en el permeámetro por un lapso de una hora. Siendo un requisito indispensable para el proceso de medición de la permeabilidad del suelo. Figura 34.



*Figura 34: Saturación de la muestra*

Se toma las medidas de  $h_1$  y  $h_2$ , figura 35, determinando la diferencia entre ellas dato que requerimos para realizar nuestros cálculos.



*Figura 35: Medidas de  $h_1$  y  $h_2$*

Se inicia el ensayo de medir la permeabilidad del suelo a carga constante en laboratorio, figura 36; Se realizó 5 tentativas en un intervalo de 5 minutos, obteniendo el volumen de agua en un recipiente de litro. Para luego realizar el ponderado respectivo.



*Figura 36: Proceso de medición del volumen de agua*

### **3.7. Método de análisis de datos:**

Para la evaluación e interpretación de los datos obtenidos después de haber realizado las pruebas de llenado de los recipientes y medir los tiempos y

cantidad de agua, es decir medición del caudal con la fórmula de caudales y nivel de permeabilidad.

### **3.8. Aspectos éticos**

En el proceso de la investigación se tuvo presente el respeto a las personas, buscando el bien común, para lograr el máximo beneficio y a la vez reducir el daño a la equivocación al mínimo, cumpliendo los aspectos éticos siguientes:

- Frente a las interrogantes a desarrollar en la investigación y recoger los resultados, respetar la legitimidad.
- Se llevó a cabo la investigación en conformidad a lo dispuesto en el Artículo 6 (honestidad), en el Artículo 7 (rigor científico), en el Artículo 9 (responsabilidad), en el artículo 19 (de las faltas a la ética) y en el artículo 22 (de las sanciones) aprobados por el Código de Ética de la Universidad César Vallejo resolución No. 0126-2017 / UCV.

Se da cumplimiento en citar y realizar el registro de los autores que cuyas investigaciones fueron tomadas como apoyo, analizadas en la elaboración de la tesis, teniendo presente el uso correcto de las normas (ISO), y el Código de Ética de la Universidad César Vallejo resolución No. 0126-2017 / UCV, para la transcripción de trabajos de investigación.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Características topográficas del Centro Poblado de Hualahoyo

El centro poblado de Hualahoyo se ubica al noreste del distrito de El Tambo, provincia Huancayo, región Junín, teniendo las coordenadas de:

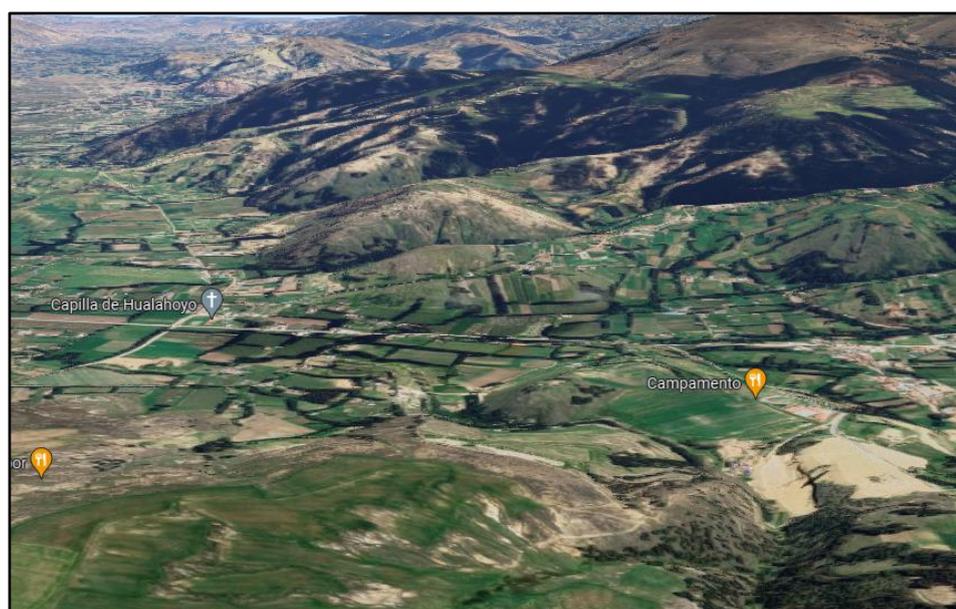
Ubicación geográfica 120114.

Latitud Sur: 11° 59' 59.2" S (-11.99977816000).

Longitud Oeste: 75° 13' 13.2" W (-75.22034014000).

Altitud: 3086 m s. n. m.

La figura 37, muestra la topografía donde existen tipos de suelos propios para la investigación. Las tierras agrícolas producen productos como: papa, maíz, oca, mashua, trigo, cebada, para el consumo local y de expendio en los mercados de la provincia.



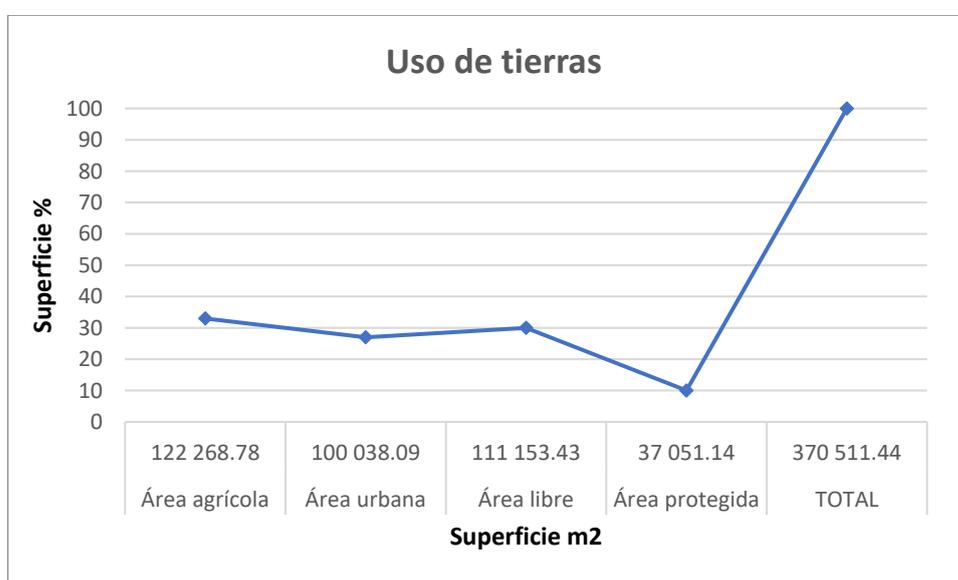
*Figura 37: Topografía del Centro Poblado de Hualahoyo*

*Fuente: <https://bit.ly/3JBG2We>*

En la tabla 9, se clasificó el uso de tierras o de su espacio territorial del centro poblado de Hualahoyo, realizando un censo en situ, y teniendo el cuadro de la siguiente manera. También se da el gráfico (figura 38)

**Tabla 12:** Clasificación del uso de tierras

| Uso de tierras |                |     |
|----------------|----------------|-----|
| Descripción    | Superficie     |     |
|                | m <sup>2</sup> | %   |
| Área agrícola  | 122 268.78     | 33  |
| Área urbana    | 100 038.09     | 27  |
| Área libre     | 111 153.43     | 30  |
| Área protegida | 37 051.14      | 10  |
| TOTAL          | 370 511.44     | 100 |



*Figura 38:* Uso de tierras del Centro Poblado de Hualahoyo

*Fuente:* Elaboración propia.

El uso de tierras en todo el valle del Mantaro esta dado a necesidades propias de la población, del 100% de tierras en el centro poblado de Hualahoyo:

El 10% es considerado de área protegida donde se encuentra “El bosque dorado”.

El 27% es área urbana, notándose que el crecimiento de la población es desmesurado.

El 30% es área libre, lugares que no son explotados o no son usados, al no ser suelos cultivables y encontrarse en lejanía de la población.

Mientras que el 33% es todavía área agrícola, dando como resultado la poca producción al tener menos área de terreno.

## 4.2. Características geotécnicas del suelo

Las características del suelo encontrados en las zonas de investigación, realizando las calicatas y poder determinar la distribución granulométrica se realizó la tabulación siguiente. Tabla 10. Como también quedó plasmado en figura 39.

**Tabla 13.** Análisis granulométrico del suelo.

| Malla Tamiz | Ranura (mm) | Mat. Ret. (g) | Mat. Ret. (%) | Mat. Ret. Acumulado (%) | Mat. Pasado (%) |
|-------------|-------------|---------------|---------------|-------------------------|-----------------|
| 4           | 4.76        | 0.00          | 0.00          | 0.00                    | 100             |
| 10          | 2.00        | 250.0         | 25            | 25                      | 75              |
| 20          | 0.841       | 285.1         | 28.51         | 53.51                   | 46.49           |
| 40          | 0.420       | 94.2          | 9.42          | 62.93                   | 37.07           |
| 60          | 0.250       | 93.4          | 9.34          | 72.27                   | 27.73           |
| 100         | 0.149       | 82.3          | 8.23          | 80.5                    | 19.5            |
| 200         | 0.074       | 75.0          | 7.5           | 88                      | 12              |
| > 200       | -----       | 120           | 12            | 100                     |                 |
| TOTAL       |             | 1000          | 100           |                         |                 |

Mat = (1000 g)

Se halló el material retenido en %:

$$Mat. Ret(\%) = \frac{Mat. Ret(g)}{\sum Mat. Ret(g)}$$

$$Mat. Ret(\%) = \frac{250}{1000} \times 100 = 25$$

$$Mat. Ret(\%) = \frac{285.1}{1000} \times 100 = 28.51$$

$$Mat. Ret(\%) = \frac{94.2}{1000} \times 100 = 9.42$$

$$Mat. Ret(\%) = \frac{93.4}{1000} \times 100 = 9.34$$

$$Mat. Ret(\%) = \frac{82.3}{1000} \times 100 = 8.23$$

$$Mat. Ret(\%) = \frac{75}{1000} \times 100 = 7.5$$

$$\text{Mat. Ret}(\%) = \frac{120}{1000} \times 100 = 12$$

Se determinó el material acumulado en %:

$$\text{Mat. Acumulado}(\%)_n = \text{Mat. Ret}(\%) + \text{Mat. Acuml}(\%)$$

$$\text{Mat. Acumulado}(\%)_n = 0.00 + 25 = 25$$

$$\text{Mat. Acumulado}(\%)_n = 25 + 28.51 = 53.51$$

$$\text{Mat. Acumulado}(\%)_n = 53.51 + 9.42 = 62.93$$

$$\text{Mat. Acumulado}(\%)_n = 62.93 + 9.34 = 72.27$$

$$\text{Mat. Acumulado}(\%)_n = 72.27 + 8.23 = 80.5$$

$$\text{Mat. Acumulado}(\%)_n = 80.5 + 7.5 = 88$$

$$\text{Mat. Acumulado}(\%)_n = 88 + 12 = 100$$

Se halló el material que pasa en %:

$$\text{Mat. Pasado}(\%) = 100 - \text{Mat. Acuml}(\%)$$

$$\text{Mat. Pasado}(\%) = 100 - 25 = 75$$

$$\text{Mat. Pasado}(\%) = 100 - 53.51 = 46.49$$

$$\text{Mat. Pasado}(\%) = 100 - 62.93 = 37.07$$

$$\text{Mat. Pasado}(\%) = 100 - 72.27 = 27.73$$

$$\text{Mat. Pasado}(\%) = 100 - 80.5 = 19.5$$

$$\text{Mat. Pasado}(\%) = 100 - 88 = 12$$

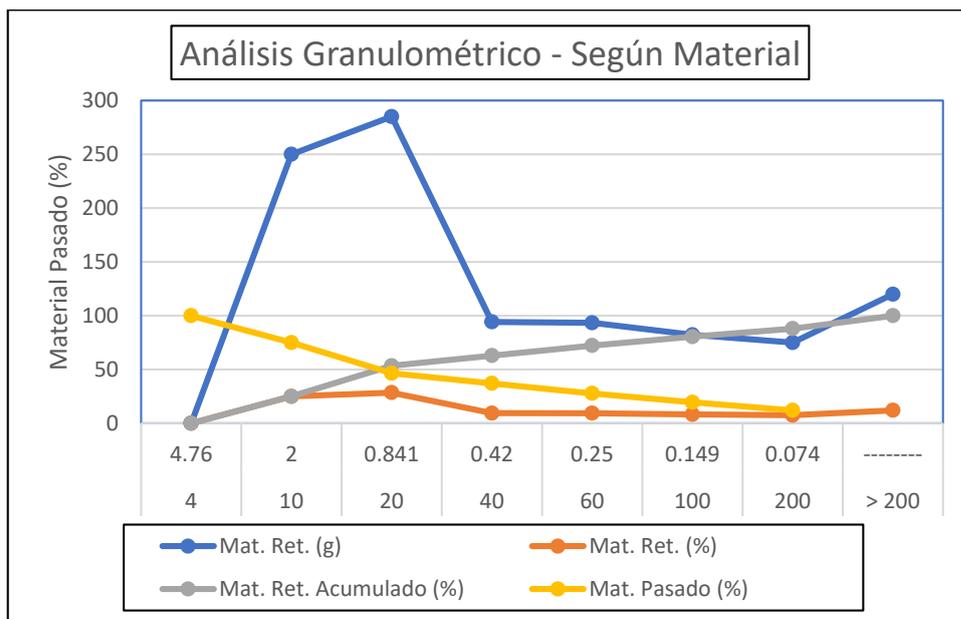


Figura 39: Análisis granulométrico

Fuente: Elaboración propia

El tipo de suelo en el valle del Mantaro que tiene mayor preponderancia es aquel que ha quedado en el tamiz N°10 y que representa el 75% del material pasado. Seguido del tamiz N°20 que representa el 46.49% de material pasado. Y el 12 % de material pasado fue del tamiz N°200.

Apoyándonos en el sistema SUCS, donde:

$$C_u > 6$$

$$1 < C_u < 3$$

Se halló los coeficientes de uniformidad y coeficiente curvatura para determinar la calificación del suelo que posee la muestra.

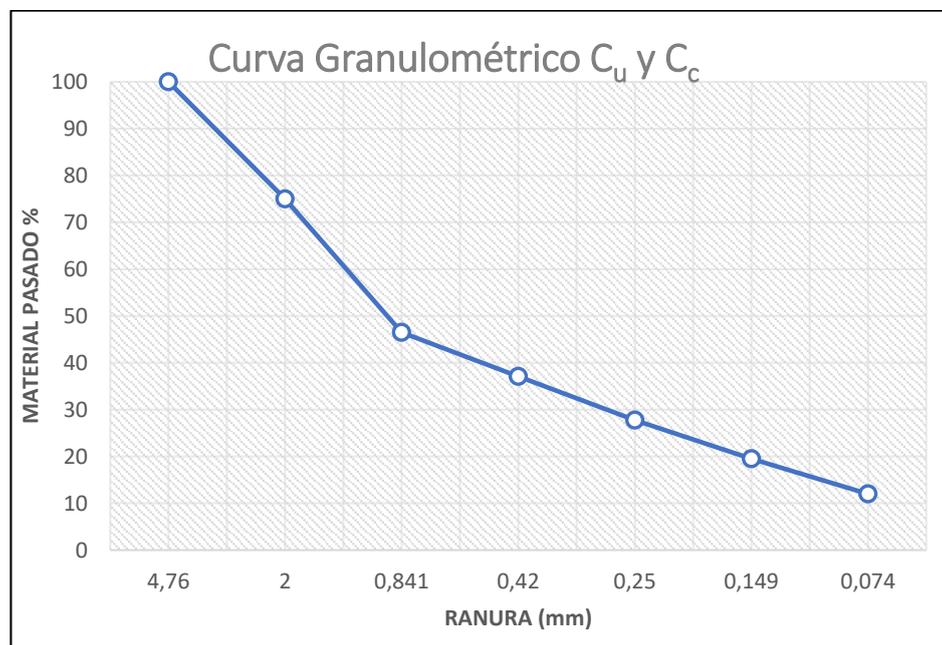


Figura 40: Curva granulométrico –  $C_u$  y  $C_c$   
Fuente: Elaboración propia

$$D_{10} = 0,074$$

$$D_{30} = 0,335$$

$$D_{60} = 1$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10}D_{60}}$$

$$C_u = \frac{1}{0,074}$$

$$C_c = \frac{(0,335)^2}{0,074 \times 1}$$

$$C_u = 13,514$$

$$C_c = 1,517$$

La curvatura granulométrica donde permite conocer el valor que tienen  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  y  $D_{60}$  por aproximación según los puntos de cruce o intersección de la línea del gráfico. Se determinó los coeficientes de uniformidad y el coeficiente de curvatura. Resultado que nos da la clasificación de S (sand o arena) y P. Teniendo el suelo una porosidad de 0.5.

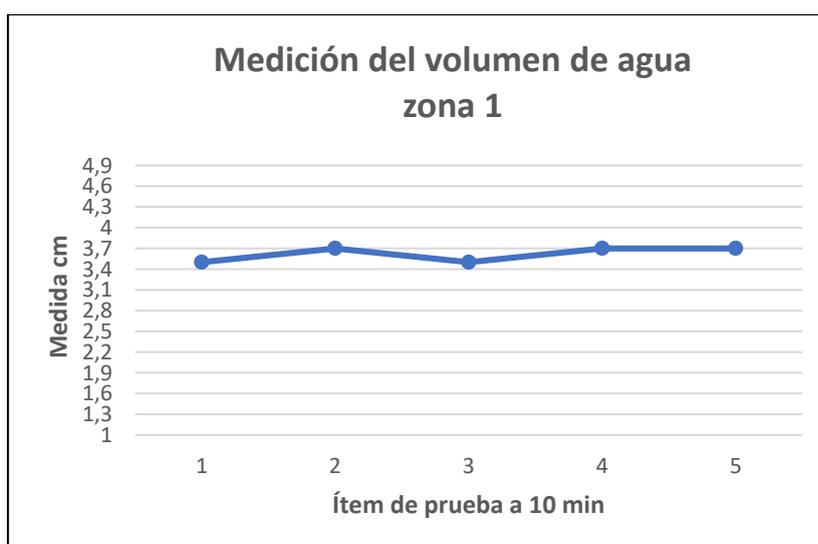
### 4.3. Resultados de Zona 1

Para el desarrollo de los cálculos en zona 1, tomamos una porción de suelo como referencia la figura paralelepípedo con sus medidas y elaboramos la tabla 11, donde se mide el volumen del agua basado en el tiempo un tiempo determinado y se obtuvo lo siguiente:

**Tabla 14:** Medición del volumen del agua, zona1

| Ítem | Hora inicio | Hora final | Tiempo min | Medida cm |
|------|-------------|------------|------------|-----------|
| 1    | 9:02        | 9:12       | 10         | 3.5       |
| 2    | 9:15        | 9:25       | 10         | 3.7       |
| 3    | 9:28        | 9:38       | 10         | 3.5       |
| 4    | 9:52        | 10:02      | 10         | 3.7       |
| 5    | 10:05       | 10:15      | 10         | 3.7       |

Fuente: *Elaboración propia*



*Figura 41:* Volumen de agua, zona 1

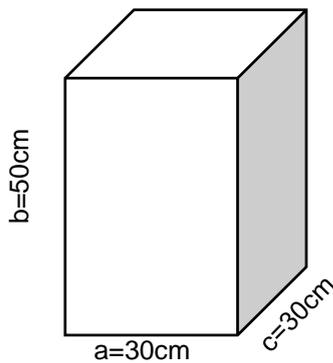
Fuente: *Elaboración propia*

El volumen del agua en zona 1 se determinó en razón a lo acumulado en 5 pruebas en un tiempo de 10 minutos.

Pruebas 1 y 3 se determina que en 3.5 cm ha disminuido el agua.

Pruebas 2, 4 y 5 se obtiene la medida de 3.7 cm de disminución del agua en el hoyo.

Para determinar el nivel de permeabilidad, se realiza los cálculos siguientes:



$$t = 10 \text{ minutos} \longrightarrow 600s$$

$$A = 4(h * L) + 2L^2$$

$$A = 4(50\text{cm} * 30\text{cm}) + 2(30\text{cm})^2$$

$$A = 7\,800 \text{ cm}^2$$

$$H_{prom} = \frac{\sum H}{n}$$

$$H_{prom} = \left( \frac{3.5+3.7+3.5+3.7+3.7}{5} \right) = 3.62 \text{ cm}$$

$$V = A * H_{prom}$$

$$V = 7\,800\text{cm}^2 * 3.62\text{cm} = 28.236 \text{ cm}^3$$

Fórmula usada por Darcy

$$K = \frac{V * L}{H * A * t}$$

$$K = \frac{28.236\text{cm}^3 * 50 \text{ cm}}{3.62\text{cm} * 7\,800\text{cm}^2 * 600s}$$

$$K = \frac{28.236 \text{ cm}^3 * 50 \text{ cm}}{3.62\text{cm} * 7\,800\text{cm}^2 * 600s}$$

$$K = \frac{1\,411.8 \text{ cm}}{16\,941.600s}$$

$$K = 0,08333333333 \text{ cm/s}$$

$$K = 8,333333333333 * 10^{-2} \text{ cm/s}$$

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

$$i = \frac{3.62\text{cm}}{50\text{cm}}$$

$$i = 0.0724$$

$$v = k \cdot i \quad v = 0,08.33333333 \times 0.0724 \quad v = 6,033333331 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

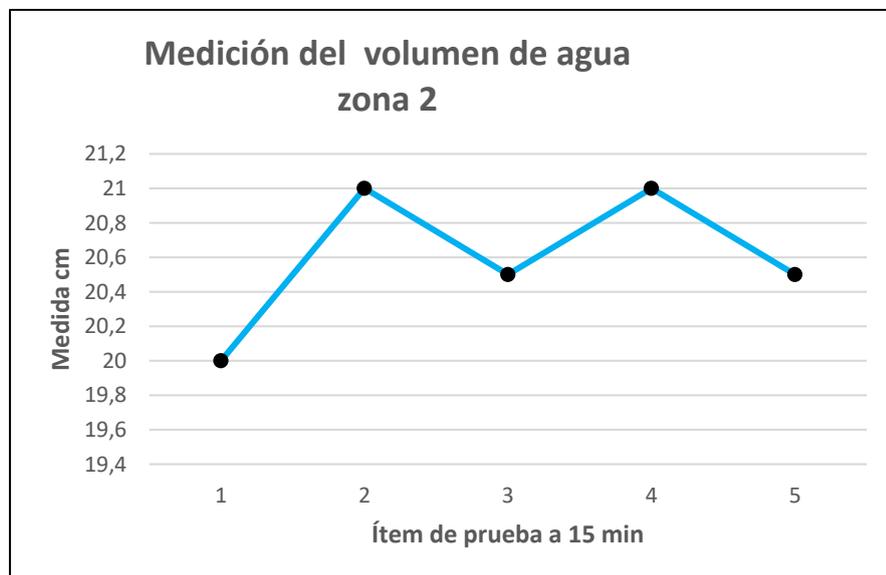
Después del resultado de la ecuación y la clasificación que da Baquerizo (2015) el coeficiente de permeabilidad de la zona 1 es de  $10^{-2}$ , es decir, es grava areno limo arcillosas, y pertenece a la clase de suelo permeable rápida – excelente o bueno.

#### 4.4. Resultados de Zona 2

**Tabla 15:** Medición del tiempo y volumen de agua, zona 2

| Ítem | Hora inicio | Hora final | Tiempo | Medida cm |
|------|-------------|------------|--------|-----------|
| 1    | 11:30       | 11:45      | 15     | 20.0      |
| 2    | 11:47       | 12:02      | 15     | 21.0      |
| 3    | 12:05       | 12:20      | 15     | 20.5      |
| 4    | 12:23       | 12:38      | 15     | 21.0      |
| 5    | 12:41       | 12:56      | 15     | 20.5      |

Fuente: *Elaboración propia*



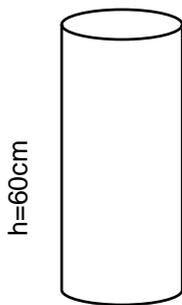
*Figura 42:* Volumen de agua, zona 2

Fuente: *Elaboración propia*

El hoyo hecho para realizar nuestro ensayo en situ, arrojó los valores siguientes:

Prueba 1, se obtuvo 20 cm como prueba de la filtración del agua. Prueba 2 y 4, va con 21 cm de filtración. Prueba 3 y 5, va con 20.5 cm de filtración. Datos que permitió medir la permeabilidad del suelo.

Se realizó los cálculos siguientes:



D=10.16cm

$$t = 15 \text{ minutos} \longrightarrow 900s$$

$$r = \pi \frac{D}{2}$$

$$r = \frac{10.16cm}{2}$$

$$r = 5.08cm$$

$$A = 2\pi r h + 2\pi r^2$$

$$A = 2\pi r (h + r)$$

$$A = 2 * 3.14 * 5.08cm (60cm + 5.08cm)$$

$$A = 2 * 3.14 * 5.08cm (65.08cm)$$

$$A = 2076.2082cm^2$$

$$H_{prom} = \frac{\sum H}{n}$$

$$\frac{\sum H}{n} = \left( \frac{20+21+20.5+21+20.5}{5} \right) = 20.6 \text{ cm}$$

$$V = A \cdot H_{prom}$$

$$V = 2076.2082cm^2 \times 20.6cm = 42796.8889 \text{ cm}^3$$

Fórmula usada por Darcy

$$K = \frac{V \cdot L}{H \cdot A \cdot t}$$

$$K = \frac{42796.8889 \text{ cm}^3 \times 60 \text{ cm}}{20.6 \text{ cm} \times 2076.2082 \text{ cm}^2 \times 900s}$$

$$K = 0,0667087523 \text{ cm/s}$$

$$K = 6,667087523 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$$

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

$$i = \frac{20.6\text{cm}}{60\text{cm}}$$

$$i = 0.3433333333$$

$$v = k \cdot i \quad v = 0,00667087523 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \times 0.3433333333$$

$$v = 2,29003338 \times 10^{-3} \text{cm/s}$$

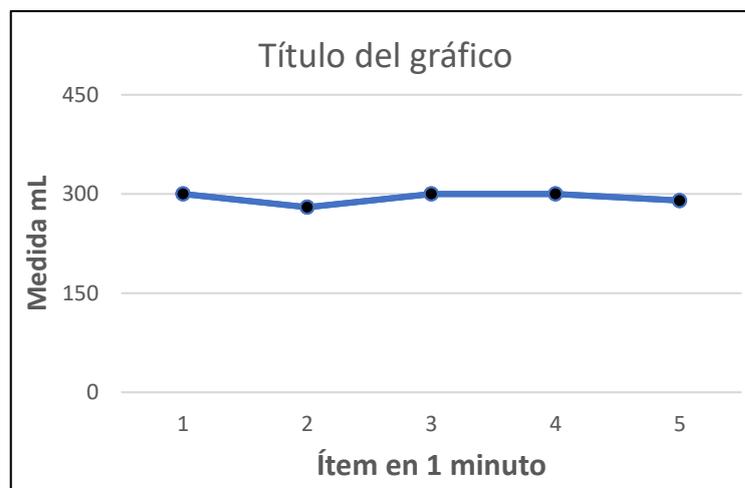
Entonces de acuerdo al resultado de la ecuación y la clasificación que nos da Baquerizo (2015) el coeficiente de permeabilidad de la zona 2 es de  $10^{-2}$ , es decir, es grava y arena limo arcillosas. Como también pertenece a la clase de suelo permeable rápida y buena.

#### 4.5. Resultados del Módulo de permeabilidad Permeámetro casero

**Tabla 16:** Medición del volumen del permeámetro

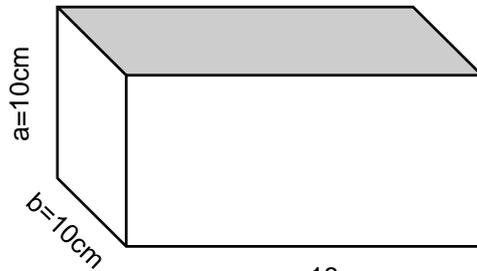
| Ítem | Tiempo Min | Medida V (mL) |
|------|------------|---------------|
| 1    | 1          | 300           |
| 2    | 1          | 280           |
| 3    | 1          | 300           |
| 4    | 1          | 300           |
| 5    | 1          | 290           |

Fuente: *Elaboración propia*



**Figura 43:** Volumen de agua, Permeámetro  
Fuente: *Elaboración propia*

El volumen de agua acumulado es de 100mL a 125mL en un tiempo determinado de 1 minuto, realizado en 5 pruebas o ensayos a un abastecimiento de agua en forma constante. Siendo estos datos primordiales en hallar si el suelo es permeable, y la cantidad de agua que pasan por sus poros.



$$t = 1 \text{ minutos} \longrightarrow 60s$$

Hallando el volumen de la muestra puesta en permeámetro.

$$c=18\text{cm}$$

$$A = 4(h * L) + 2L^2$$

$$A = 4(10\text{cm} * 18\text{cm}) + 2(10\text{cm})^2$$

$$A = 920 \text{ cm}^2$$

$$H = 70\text{cm}$$

$$\frac{\sum v}{n} = \left( \frac{300+280+300+300+290}{5} \right) = 294 \text{ mL/min}$$

$$V = 294 \text{ mL/min}$$

Conversión del Volumen de mL/min a  $\text{cm}^3/\text{s}$

$$V = 4.9 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Fórmula usada por Darcy

$$K = \frac{V \cdot L}{H \cdot A \cdot t}$$

$$K = \frac{4.9\cancel{\text{cm}^3}/\text{s} \times 18 \text{ cm}}{5\cancel{\text{cm}} \times 920\cancel{\text{cm}^2} \times 60\text{s}}$$

$$K = \frac{88.2 \text{ cm}}{276 \text{ 000s}}$$

$$K = 0.000319565 \text{ cm/s}$$

$$K = 3.19565 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

$$i = \frac{5\text{cm}}{18\text{cm}}$$

$$i = 0.2777777778$$

$$v = k \cdot i \quad v = 0.000319565 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \times 0.2777777778$$

$$v = 8.876805563 \times 10^{-5} \text{cm/s}$$

Después de haber realizado los cálculos de rigor en nuestro laboratorio es decir en el permeámetro casero se obtiene una permeabilidad  $10^{-1}$ , perteneciendo a cantos, gravas y arena. Ubicándose en la clasificación de suelo rápida y excelente o bueno.

#### 4.6. Resultados de validez y confiabilidad

Se elaboró fichas de encuesta y se dio a cada ingeniero experto a dar su calificación. (Véase anexos). Dicha información se llevó a la tabla de Cronbach desarrollado en Excel y el resultado es de  $\alpha = 0.735058$  que de acuerdo a la tabla de rangos de Cronbach se ubica entre 0.72 a 0.99 con una excelente confiabilidad.

#### 4.7. Contrastación de hipótesis

El nivel de permeabilidad del suelo areno – arcilloso define la capacidad de captación natural en acuíferos para abastecimiento de agua potable.

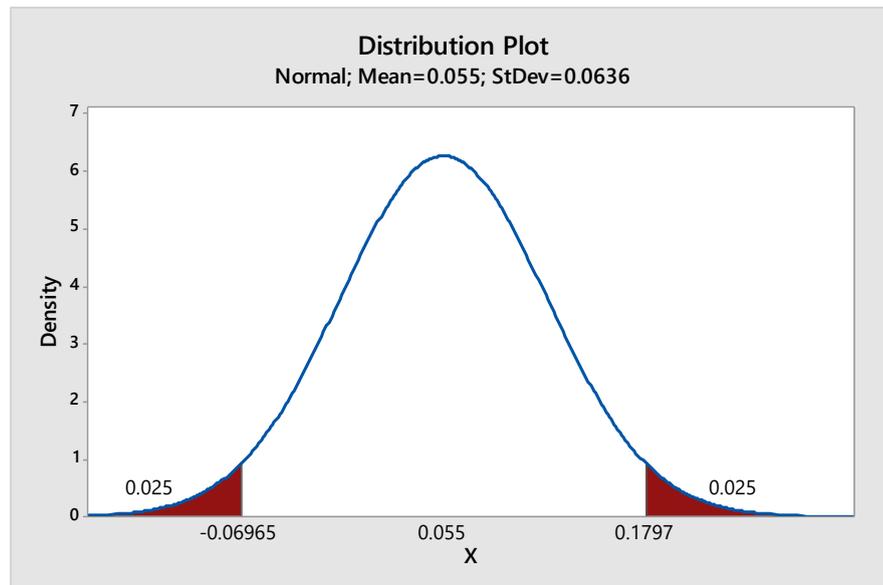
$H_0 \rightarrow K = 10^{-6} \Rightarrow$  El nivel de permeabilidad no modifica la capacidad de captación natural.

$H_1 \rightarrow K \neq 10^{-6} \Rightarrow$  El nivel de permeabilidad si modifica la capacidad de captación natural.

$$T = \frac{\bar{x} - \bar{\mu}}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

$$T = \frac{10^{-1} - 10^{-6}}{\frac{0.0636}{\sqrt{3}}}$$

$$T = 2.723400439$$



*Figura 44:* Contratación hipótesis principal  
*Fuente:* Elaboración propia

Encontrándose en zona de aceptación con 2.7234, deducimos:  
Se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se rechaza la hipótesis alternativa ( $H_1$ )

La variación de la energía potencial identifica el máximo nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso

$H_0 \rightarrow E_g = 6.7 \Rightarrow$  La variación de la energía potencial no modifica la capacidad de captación natural.

$H_0 \rightarrow E_g \neq 6.7$  La variación de la energía potencial si modifica la capacidad de captación natural.

$$T = \frac{\bar{x} - \bar{\mu}}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$
$$T = \frac{3.5 - 6.7}{\frac{2.56}{\sqrt{5}}}$$
$$T = -2.882430117$$

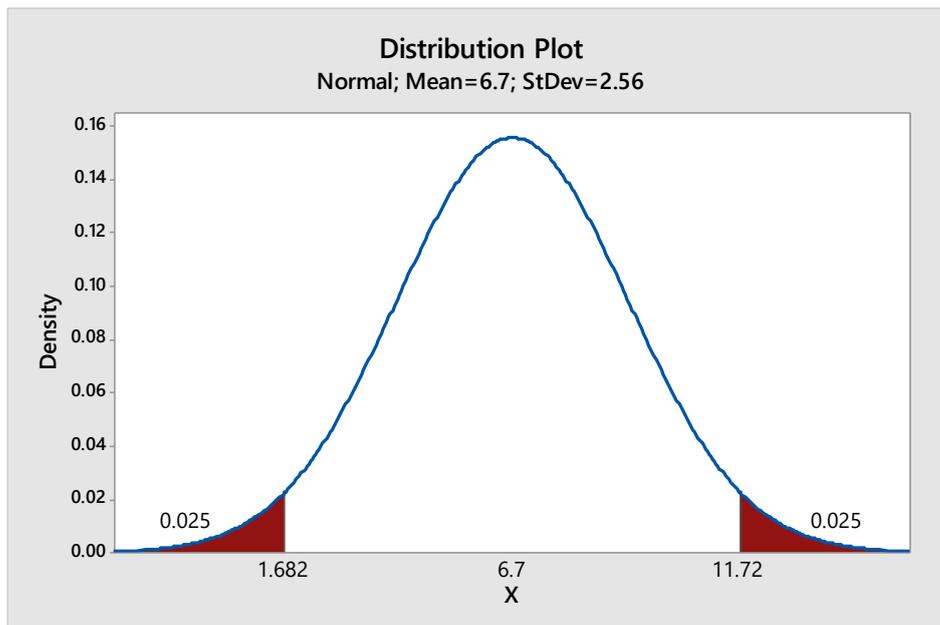


Figura 45: Contratación hipótesis secundario 1  
Fuente: Elaboración propia

Encontrándose en zona de aceptación con  $-2.882430117$  deducimos:  
Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ )

El gradiente hidráulico define la relación directa o indirecta del nivel de permeabilidad del suelo areno arcilloso

$H_0 \rightarrow i = 1.86 \Rightarrow$  El gradiente hidráulico no define la relación directa e indirecta de permeabilidad.

$H_0 \rightarrow i \neq 1.86 \Rightarrow$  El gradiente hidráulico si define la relación directa e indirecta de permeabilidad.

$$T = \frac{\bar{x} - \bar{\mu}}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

$$T = \frac{0.724 - 1.86}{\frac{1}{\sqrt{3}}}$$

$$T = -1.967552$$

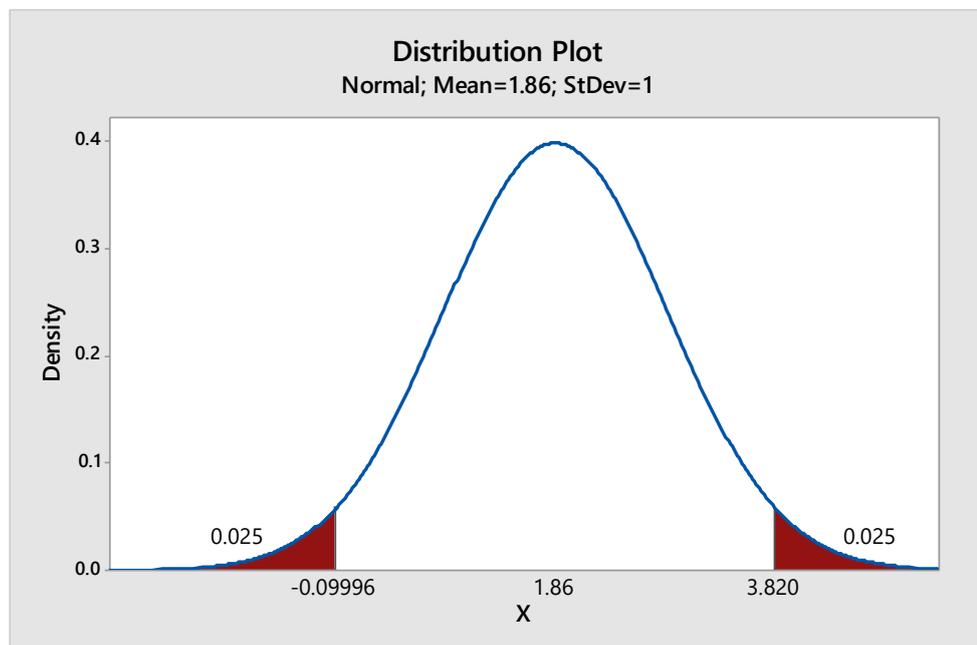


Figura 46: Contrastación hipótesis secundario 2  
Fuente: Elaboración propia

Encontrándose en zona de aceptación con  $-1.967552$  deducimos:  
Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ )

La velocidad hidráulica en el medio determina los desfases del nivel de permeabilidad del suelo areno arcilloso

$H_0 \rightarrow V_d = 5.588 \Rightarrow$  La velocidad hidráulica no determina los desfases del nivel de permeabilidad.

$H_0 \rightarrow V_d \neq 5.588 \Rightarrow$  La velocidad hidráulica si determina los desfases del nivel de permeabilidad.

$$T = \frac{\bar{x} - \bar{\mu}}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

$$T = \frac{6.0333 - 5.5883}{\frac{2}{\sqrt{3}}}$$

$$T = -0.6435$$

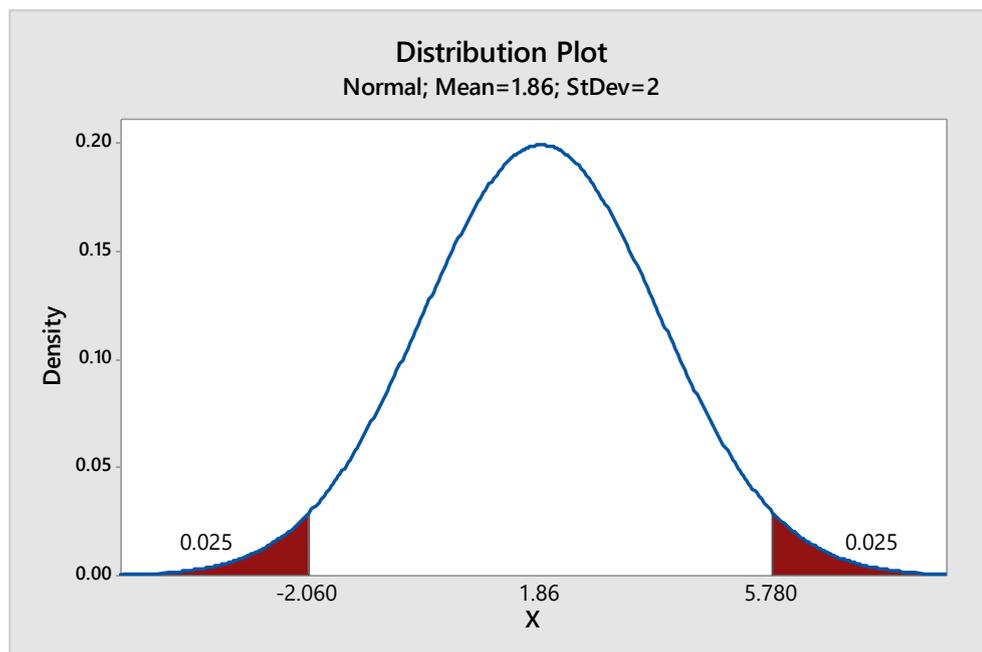


Figura 47.: Contrastación hipótesis secundario 3  
Fuente: Elaboración propia

Encontrándose en zona de aceptación con -0.6435 deducimos:

Se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ )

## V. DISCUSIÓN

El resultado de nuestra investigación se pudo apreciar que se obtuvo el coeficiente de permeabilidad de  $10^{-2}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-4}$ , ubicándose en el tipo de suelo canto, grava y arena y en la clase de permeabilidad rápida. Encontrándose similitud con la investigación del autor López (2018) donde el obtiene  $10^{-3}$  y  $10^{-5}$  también ubicándose en el tipo de suelo canto, grava y arena y en la clase de permeabilidad rápida.

Entonces si podemos afirmar que la permeabilidad del suelo areno – arcilloso tiene la capacidad de permitir la formación de acuíferos naturales para luego extraer el agua acumulada y de esta manera abastecer de agua potable a poblaciones que sufren en meses de sequía en los ríos.

El nivel de permeabilidad del suelo – arcilloso en las zonas de ensayos es bueno, donde al tener buena permeabilidad la variación de la energía, el gradiente hidráulico y también la velocidad hidráulica son óptimos para obtener el volumen de agua.

La proyección a que esta investigación sea difundida en todas partes y que de esta forma encontrar solución al desabastecimiento en comunidades y centros poblados que lo necesiten.

## **VI. CONCLUSIONES**

En esta tesis se definió la capacidad de captación natural que tienen los acuíferos para la extracción y el abastecimiento de agua potable por medio del nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso, demostrado en los resultados de los ensayos realizados, basado a esto se pudo concluir sometidos a carga constante de agua zona 1, zona 2 y el permeámetro casero existe similitud con un estrecho margen.

En esta tesis se Identificó el máximo nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso mediante la variación de la energía potencial, puesto a una altura de 50cm el recipiente fuente, en el permeámetro.

En esta tesis se definió mediante la relación directa e indirecta del gradiente hidráulico proporcional que si es adecuado en la toma de resultados.

En esta tesis se determinó el nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso por medio de la velocidad hidráulica, concluyendo que el caudal es satisfactorio, gracias a la velocidad que toma en forma vertical el agua ya sea en lo natural como en el permeámetro casero.

## **VII. RECOMENDACIONES**

En base a la importancia que da esta investigación para el bienestar de la población, se recomienda.

Se recomienda a los profesionales que deberían de considerar a esta investigación como antecedente en futuras investigaciones.

Se recomienda realizar la permeabilidad del suelo, para ubicar acuíferos o reservas de agua bajo el suelo, ya que en un futuro muy cercano esta será la solución a la necesidad de tener fuentes de captación.

En aras de entender mejor las implicaciones de estos resultados, se recomienda a los estudios futuros podrían abordar esta investigación como ejemplo para ayudar a resolver problemas de escasez de agua ante tanta sequía.

Se recomienda obtener las muestras de suelo en situ para encontrar resultados reales o que reflejan el nivel de permeabilidad del suelo.

## REFERENCIAS

LOPEZ ZANAPA, Luis Ronald, (2018). Evaluación del Coeficiente de permeabilidad efectivo en depósitos cuaternarios e implicancias en los Diseños de presas alto andinos. Perú: Universidad San Agustín de Arequipa. 127 p

Disponible: <https://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6938>

PACSE ZUÑIGA, Danitza Karoly (2020). Propuesta de gestión ambiental de la subcuenca del río cunas. Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 144 p

Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/1073>

YALI SAMANIEGO, Rey Marco (2018). Modelo de erosión RUSLE y coeficiente de aporte de sedimentos (SDR) para la estimación del volumen muerto de reservorios, gallito ciego. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 115 p

Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/10078>.

PARI LOZANO, Rusvel Alberto (2020). Evaluación geomecánica de la cantera Pumpunya y su influencia en el diseño de enrocados para drenaje de aguas subterráneas en accesos del puente comuneros, Huancayo 2019. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 175 p

Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12894/6188>.

VILLAVICENCIO GALLARDO, Rafael William (2019). Calculo hidráulico del sistema de relaves – mina invicta. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 174 p

Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/16581>

CARDENAS DIAS, Octavio Enrique (2018). Estudio del comportamiento de colapso en cuencas arcillosas bajo un estado generalizado de tensiones.

Tesis. España: Universidad Politécnica de Cataluña. 387 p

Disponible: <http://hdl.handle.net/10803/663332>

DIOSES TAPIA Juan Manuel y PÉREZ GÓMEZ Christian Mariano (2018), Estimación de la erosión hídrica mediante la aplicación de la metodología RUSLE en la cuenca del río Piura. Tesis. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 238 p

Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/10055>

FUENTES GALVÁN, Oscar (2008), Diseño de una presa de almacenamiento tipo enrocado para el afianzamiento de la sub cuenca del río Shullcas. Tesis. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 114 p

Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/14015>.

CARRASCO ELGUETA, Javiera Catalina (2017). Implementación de ensayos de succión en suelos parcialmente saturados y análisis de resultados en suelos residuales. Tesis. Chile: Universidad de Chile. 84 p

Disponible: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/148022>.

CEPEDA ALAYA, Leonardo catalina (2021). Ingeniería de detalles sistema de agua potable y aguas servidas de Maitencillo, comuna de Puchuncavi. Tesis. Chile: Universidad de Chile. 180 p

Disponible: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181704>.

GRAVS MARTINEZ, Ian Michael (2020). Desarrollo de curvas de fragilidad para sistemas de distribución de agua en Chile. Tesis. Chile: Universidad de Chile. 185 p

Disponible: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/179150>.

VEGA ALVARADO, Camila Francisca (2020). Evaluación del potencial geotérmico de baja entalpia en la subcuenca del Maipo Medio. Tesis. Chile: Universidad de Chile. 98 p

Disponible: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/174594>.

REKALDE, VIZCARRA Y MACAZAGA, (2014), La Observación Como Estrategia De Investigación Para Construir Contextos De Aprendizaje Y Fomentar Procesos Participativos. Artículo. España: Universidad Nacional de Educación a Distancia España. 21 p

Disponible: <https://bit.ly/3y9pTVU>

AEDO, María Victoria (2015). Estudio de la propiedad del agua subterránea correspondiente al acuífero del río La Ligua, región de Valparaíso Chile. Tesis. Chile: Universidad de Chile. 71 p

Disponible: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/150758>.

RODRIGUEZ VÁSQUEZ, A.M. (2021). Análisis paramétrico de diferentes configuraciones geométricas de la placa en un sistema placa pilote en un suelo arcilloso. Colombia: Universidad Católica de Colombia. 182 p

Disponible: <https://repositorio.ucatolica.edu.co/handle/10983/26740>.

DEL SALTO Alulema, (e. at) (2018). Caracterización hidrogeológica y análisis de vulnerabilidad del acuífero de Cayambe, nor-este de la provincia Pichincha. Tesis. Ecuador: Universidad Central de Ecuador. 230 p

Disponible: <https://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16380>

GÓMEZ CASTRO Karina Yesenia, (e. at) (2014), Estudio de la permeabilidad en suelos arenosos contaminados con aguas aceitosas en una estratificación de mediante un modelo físico a escala reducida. Tesis. Colombia: Universidad Católica de Colombia. 59 p

Disponible: <http://hdl.handle.net/10983/1577>.

AREQUIPEÑO HUERTA Jesús Alexis (2017), Permeabilidad in situ en los ejes de presas y túnel de derivación del Complejo Hidroeléctrico Arazá. Tesis. Lima Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 7 p

Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/6989>

MELLA Hugo, (e. at), (2017), Teorías de cómo se formó el suelo y los tipos de suelo en Chile. Publicación. Chile: slideshare. 12 p  
Disponible: <https://bit.ly/3w52pOZ>

BAQUERIZO CONDORI Chistian David (2015), Estudio geotécnico de suelos para la construcción del complejo deportivo Piura y Pampa, distrito de Chincheros Urubamba – Cusco. Tesis. Perú. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 74 p  
Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/4653>

HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto (e. at) (2010), Metodología de la investigación. Texto. México: Mc Graw Hill Education. 656 p  
Disponible: <https://repositorio.uasb.edu.bo/handle/54000/1210>

ORDOÑEZ GÁLVEZ Juan Julio (2011), Aguas subterráneas – acuíferos. Cartilla, artículo: Universidad Privada del Norte. 44 p.  
Disponible: <https://hdl.handle.net/11537/25436>.

GEOLOGIWEB (2012), Permeabilidad del suelo. El blog o sitio web dedicado a la geología, sus ramas y aplicaciones.7 p  
Disponible: <https://bit.ly/3kJ2jaG>

VALLENILLA SULEIMAR, (e at) (2015), Clasificación de los suelos, cartilla, artículo: Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño”, Venezuela. 22 p  
Disponible: <https://bit.ly/3Jdvz2T>

MIYAPAS (2013), Clasificación de los suelos, cartilla, artículo, Slideshare. 2 p  
Disponible: <https://bit.ly/37kWyfz>

YADIRA CORRAL (2009), Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación para la recolección de datos. Revista ciencias de la educación segunda etapa Vol 19 N° 33. Valencia. 20 p

Disponible: <https://bit.ly/3LIEFwg>

EDUARDO CHAVES BARBOZA (2018), Análisis de confiabilidad y validez de un cuestionario sobre entornos personales de aprendizaje. Universidad Nacional Heredia, Costa Rica. 36 p

Disponible: <https://bit.ly/3kD50dM>

AQEEL AL-ADILI, (e. at) (2017) Use of Shallow Groundwater in Sprinkler Irrigation. Artículo. Building and Construction Engineering Department, University of Technology, Baghdad, Iraq. 15 p

Disponible: <https://bit.ly/3vAzu6n>

## **ANEXOS**

## Anexo 1 Matriz de consistencia

“Nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso como fuente de captación natural para acuíferos de abastecimiento de agua potable, Huancayo 2022”

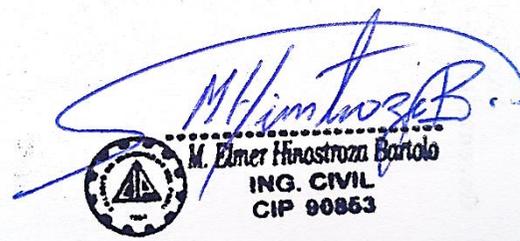
Autor: RISALVE HUARACA, Luis Donato

| PROBLEMAS  | OBJETIVOS   | HIPÓTESIS   | VARIABLES   | DIMENSIÓN  | INDICADORES  | METODOLOGÍA  |
|--|---|---|---|--|--|--|
| <p><b>PROBLEMA PRINCIPAL</b><br/>¿Cómo el nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso definiría la capacidad de captación natural en acuíferos para abastecimiento de agua potable?</p> | <p><b>OBJETIVO PRINCIPAL</b><br/>Definir la capacidad de captación natural en acuíferos para abastecimiento de agua potable por medio del nivel de permeabilidad del suelo areno arcilloso.</p> | <p><b>HIPÓTESIS PRINCIPAL</b><br/>El nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso define la capacidad de captación natural en acuíferos para abastecimiento de agua potable</p> | <p>VI:<br/>• Nivel de permeabilidad del suelo<br/>VD:<br/>• Capacidad de captación</p>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Difusión</li> <li>• Almacenaje</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad (l/s)</li> <li>• Volumen (m3/día)</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: Hipotético deductivo</li> <li>• DISEÑO DE INVESTIGACION: GE: X <math>\Rightarrow</math> Y1<br/>GE: Grupo experimental<br/>X: Variable independiente<br/>Y1: Observación de la variable Dependiente</li> </ul>  |
| <p><b>PROBLEMA SECUNDARIO N°1</b><br/>¿Con la variación de la energía potencial se identificaría el máximo nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso?</p>                             | <p><b>OBJETIVO SECUNDARIO N°1</b><br/>Identificar el máximo nivel de permeabilidad del suelo areno arcilloso mediante la variación de la energía potencial</p>                                  | <p><b>HIPÓTESIS SECUNDARIO N°1</b><br/>La variación de la energía potencial identifica el máximo nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso</p>                               | <p>VI:<br/>• Variación de la energía potencial<br/>VD:<br/>• Nivel de permeabilidad del suelo</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desplazamiento</li> <li>• Desplazamiento</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gravedad (m/s<sup>2</sup>)</li> <li>• Distancia (cm/s)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• TIPO DE INVESTIGACIÓN: Aplicada</li> <li>• NIVEL DE INVESTIGACIÓN Correlacional - Explicativo</li> </ul>  |
| <p><b>PROBLEMA SECUNDARIO N°2</b><br/>¿Con un gradiente hidráulico proporcional se definiría la relación directa o indirecta del nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso?</p>       | <p><b>OBJETIVO SECUNDARIO N°2</b><br/>Definir la relación directa o indirecta del nivel de permeabilidad del suelo areno arcilloso a través del gradiente hidráulico proporcional</p>           | <p><b>HIPÓTESIS SECUNDARIO N°2</b><br/>El gradiente hidráulico proporcional define la relación directa o indirecta del nivel de permeabilidad del suelo areno arcilloso</p>         | <p>VI:<br/>• Gradiente hidráulico<br/><br/>VD:<br/>• Relación de permeabilidad</p>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Variable</li> <li>• Distancia</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen (cm/s)</li> <li>• Longitud (cm)</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• POBLACIÓN Tipos de suelos</li> <li>• MUESTRA Suelos: arenoso, arcilloso</li> </ul>  |
| <p><b>PROBLEMA SECUNDARIO N°3</b><br/>¿Con la velocidad hidráulica en el medio se determinaría el nivel de permeabilidad del suelo areno - arcilloso?</p>                                    | <p><b>OBJETIVO SECUNDARIO N°3</b><br/>Determinar el nivel de permeabilidad del suelo areno arcilloso por medio de la velocidad hidráulica en el medio.</p>                                      | <p><b>HIPÓTESIS SECUNDARIO N°3</b><br/>La velocidad hidráulica en el medio determina los desfases del nivel de permeabilidad del suelo areno arcilloso</p>                          | <p>VI:<br/>• Velocidad hidráulica<br/><br/>VD:<br/>• Desfases</p>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Desplazamiento</li> <li>• Variación</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Longitud y tiempo</li> <li>• Caudal (l/s)</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• TECNICAS DE OBTENCION DE DATOS: Fuentes primarias: Observación Fuentes secundarias: Textos, tesis, formatos de control, fichas.</li> <li>• TECNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS: Se utilizaron herramientas tecnológicas para el procesamiento e interpretación de la información: Minitab, Excel, etc.</li> </ul> |

### Anexo 3. Formatos de encuesta de validez y confiabilidad por expertos

| Cuestionario de validez del suelo           |  |   |            |       |   |   |
|---|--|---|------------|-------|---|---|
| <b>Título de la investigación</b>           |  | "Nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso como fuente de captación natural para acuíferos de abastecimiento de agua potable, Huancayo 2022" |            |       |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del investigador</b> |  | Risalve Huaraca Luis Donato   |            |       |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del Experto</b>      |  | Hinostroza Bartolo Melquiades Elmer   |            |       |   |   |
| <b>Profesión</b>                            |  | Ingeniero Civil   | <b>CIP</b> | 90853 |   |   |
| Ítem  | Indicador  | 1   | 2          | 3     | 4 | 5 |
| 1   | ¿En su experiencia, cree Ud. que el análisis granulométrico del suelo en situ da resultados óptimos?             |   |            |       | X |   |
| 2   | ¿En su experiencia, el suelo arenoso es el que tiene más permeabilidad?  |   |            | X     |   |   |
| 3   | ¿En su experiencia, el suelo de cultivo es el que posee más permeabilidad?                                       |   |            |       | X |   |
| 4   | ¿En su experiencia, el suelo arcilloso será permeable en % bajo con respecto a otros?                            |   |            | X     |   |   |
| 5   | ¿En su experiencia, la humedad que tiene el suelo es un indicio de permeabilidad?                                |   |            |       | X |   |
| 6   | ¿En su experiencia, un suelo saturado al 90% será óptimo para una obra civil?                                    |   |            |       |   | X |
| 7   | ¿En su experiencia, los acuíferos encontrados en medio natural será la solución en futuro a la escasez del agua? |   |            | X     |   |   |
| 8   | ¿En su experiencia, la porosidad que tiene el suelo en su medio natural es el mejor filtro de agua, para beber?  |   |            |       | X |   |
| 9   | ¿En su experiencia, los ensayos de suelo practicados en laboratorios son más confiables?                         |   |            | X     |   |   |
| 10  | ¿En su experiencia, el agricultor se beneficiará al saber el tipo de suelo que hay en su propiedad?              |   |            |       | X |   |

Calificación: 1-> total desacuerdo; 2-> en desacuerdo; 3-> en acuerdo; 4-> de acuerdo; 5-> totalmente de acuerdo



M. Elmer Hinostroza Bartolo  
ING. CIVIL  
CIP 90853

| Cuestionario del Permeámetro                |   |   |       |   |   |   |
|---|---|---|-------|---|---|---|
| <b>Título de la investigación</b>           |   | "Nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso como fuente de captación natural para acuíferos de abastecimiento de agua potable, Huancayo 2022" |       |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del investigador</b> |   | Risalve Huaraca Luis Donato   |       |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del Experto</b>      |   | Hinostrza Bartolo Melquiades Elmer  |       |   |   |   |
| <b>Profesión</b>                            | Ingeniero Civil   | <b>CIP</b>  | 90853 |   |   |   |
| Ítem  | Indicador   | 1   | 2     | 3 | 4 | 5 |
| 1   | ¿En su experiencia, cada tipo de suelo debería de tener un permeámetro adecuado para su medición?             |   |       |   | X |   |
| 2   | ¿En su experiencia, es óptimo la permeabilidad del suelo arenoso puesto en un permeámetro casero?             |   |       |   |   | X |
| 3   | ¿En su experiencia, es óptimo la permeabilidad del suelo de cultivo puesto en un permeámetro casero?          |   |       |   | X |   |
| 4   | ¿En su experiencia, es óptimo la permeabilidad del suelo de arcilloso puesto en un permeámetro casero?        |   |       |   |   | X |
| 5   | ¿En su experiencia, es óptimo la permeabilidad del suelo pedregoso puesto en un permeámetro casero?           |   |       |   | X |   |
| 6   | ¿En su experiencia, se puede medir el caudal en un permeámetro casero?  |   |       |   |   | X |
| 7   | ¿En su experiencia, el permeámetro casero tiene la capacidad de arrojar datos exactos en permeabilidad?       |   |       |   |   | X |
| 8   | ¿En su experiencia, la porosidad natural que tiene el suelo es igual a la porosidad puesta en el permeámetro? |   |       |   | X |   |
| 9   | ¿En su experiencia, los ensayos de permeabilidad practicados en el prototipo son confiables?                  |   |       |   |   | X |
| 10  | ¿En su experiencia, el permeámetro casero con respecto a la prueba de campo en situ, es mejor en resultados?  |   |       |   |   | X |

Calificación: 1-> total desacuerdo; 2-> en desacuerdo; 3-> en acuerdo; 4-> de acuerdo; 5-> totalmente de acuerdo

  
  
M. Elmer Hinostrza Bartolo  
ING. CIVIL  
CIP 90853

| Cuestionario del Procedimiento de Medir la Permeabilidad |  |   |  |  |            |  |       |   |   |   |   |   |
|--|--|---|--|--|------------|--|-------|---|---|---|---|---|
| <b>Título de la investigación</b>                        |  | "Nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso como fuente de captación natural para acuíferos de abastecimiento de agua potable, Huancayo 2022" |  |  |            |  |       |   |   |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del investigador</b>              |  | Risalve Huaraca Luis Donato   |  |  |            |  |       |   |   |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del Experto</b>                   |  | Hinostrza Bartolo Melquiades Bartolo Elmer  |  |  |            |  |       |   |   |   |   |   |
| <b>Profesión</b>   |  | Ingeniero Civil   |  |  | <b>CIP</b> |  | 90853 |   |   |   |   |   |
| Ítem   | Indicador  |   |  |  |            |  |       | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1  | ¿En su experiencia, es necesario explorar la zona e identificar el lugar para realizar la prueba de permeabilidad? |   |  |  |            |  |       |   |   |   |   | X |
| 2  | ¿En su experiencia, las calicatas ayudan a localizar el lugar exacto para la medición de permeabilidad del suelo?  |   |  |  |            |  |       |   |   |   |   | X |
| 3  | ¿En su experiencia, el llenado de agua a los hoyos para saturarlos es óptimo para determinar la permeabilidad?     |   |  |  |            |  |       |   |   |   |   | X |
| 4  | ¿En su experiencia, el llenado del permeámetro casero con la muestra del suelo en capas, dará buen resultado?      |   |  |  |            |  |       |   |   |   |   | X |
| 5  | ¿En su experiencia, es necesario tomar las medidas de cada elemento para hallar la permeabilidad?                  |   |  |  |            |  |       |   |   |   |   | X |
| 6  | ¿En su experiencia, se puede medir el caudal en un permeámetro casero, usando un cronometro?                       |   |  |  |            |  |       |   |   |   |   | X |
| 7  | ¿En su experiencia, al alimentar constantemente de agua al permeámetro nos permite calcular la velocidad del agua? |   |  |  |            |  |       |   |   |   |   | X |
| 8  | ¿En su experiencia, después de los ensayos realizados y datos obtenidos se puede realizar los cálculos con éxito?  |   |  |  |            |  |       |   |   |   |   | X |
| 9  | ¿En su experiencia, los resultados de permeabilidad obtenidos en el permeámetro casero son confiables?             |   |  |  |            |  |       |   |   |   |   | X |
| 10   | ¿En su experiencia, el prototipo del permeámetro casero puede patentarse?  |   |  |  |            |  |       |   |   |   |   | X |

Calificación: 1-> total desacuerdo; 2-> en desacuerdo; 3-> en acuerdo; 4-> de acuerdo; 5-> totalmente de acuerdo

  
  
M. Elmer Hinostrza Bartolo  
ING. CIVIL  
CIP 90853

| Cuestionario de validez del suelo           |  |   |        |   |   |   |
|---|--|---|--------|---|---|---|
| <b>Título de la investigación</b>           |  | "Nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso como fuente de captación natural para acuíferos de abastecimiento de agua potable, Huancayo 2022" |        |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del investigador</b> |  | Risalve Huaraca Luis Donato   |        |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del Experto</b>      |  | Morales Risalve Sulyana Madhuri   |        |   |   |   |
| <b>Profesión</b>                            | Ingeniero Ambiental  | <b>CIP</b>  | 269886 |   |   |   |
| Ítem  | Indicador  | 1   | 2      | 3 | 4 | 5 |
| 1   | ¿En su experiencia, cree Ud. que el análisis granulométrico del suelo en situ da resultados óptimos?             |   |        |   | X |   |
| 2   | ¿En su experiencia, el suelo arenoso es el que tiene más permeabilidad?  |   |        |   |   | X |
| 3   | ¿En su experiencia, el suelo de cultivo es el que posee más permeabilidad?                                       |   |        |   | X |   |
| 4   | ¿En su experiencia, el suelo arcilloso será permeable en % bajo, con respecto a otros?                           |   |        | X |   |   |
| 5   | ¿En su experiencia, la humedad que tiene el suelo es un indicio de permeabilidad?                                |   |        |   | X |   |
| 6   | ¿En su experiencia, un suelo saturado al 90% será óptimo para una obra civil?                                    |   |        |   |   | X |
| 7   | ¿En su experiencia, los acuíferos encontrados en medio natural será la solución en futuro a la escasez del agua? |   |        |   | X |   |
| 8   | ¿En su experiencia, la porosidad que tiene el suelo en su medio natural es el mejor filtro de agua, para beber?  |   |        |   |   | X |
| 9   | ¿En su experiencia, los ensayos de suelo practicados en laboratorios son más confiables?                         |   |        | X |   |   |
| 10  | ¿En su experiencia, el agricultor se beneficiará al saber el tipo de suelo que hay en su propiedad?              |   |        |   |   | X |

Calificación: 1-> total desacuerdo; 2-> en desacuerdo; 3-> en acuerdo; 4-> de acuerdo; 5-> totalmente de acuerdo



*Morales Risalve Sulyana Madhuri*  
 MORALES RISALVE SULYANA MADHURI  
 INGENIERO AMBIENTAL  
 CIP N° 269886

| Cuestionario del Permeámetro                |   |   |        |   |   |   |
|---|---|---|--------|---|---|---|
| <b>Título de la investigación</b>           |   | "Nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso como fuente de captación natural para acuíferos de abastecimiento de agua potable, Huancayo 2022" |        |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del investigador</b> |   | Risalve Huaraca Luis Donato   |        |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del Experto</b>      |   | Morales Risalve Sulyana Madhuri   |        |   |   |   |
| <b>Profesión</b>                            | Ingeniero Ambiental   | <b>CIP</b>  | 269886 |   |   |   |
| Ítem  | Indicador   | 1   | 2      | 3 | 4 | 5 |
| 1   | ¿En su experiencia, cada tipo de suelo debería de tener un permeámetro adecuado para su medición?             |   |        |   |   | X |
| 2   | ¿En su experiencia, es óptimo la permeabilidad del suelo arenoso puesto en un permeámetro casero?             |   |        | X |   |   |
| 3   | ¿En su experiencia, es óptimo la permeabilidad del suelo de cultivo puesto en un permeámetro casero?          |   |        |   | X |   |
| 4   | ¿En su experiencia, es óptimo la permeabilidad del suelo de arcilloso puesto en un permeámetro casero?        |   |        | X |   |   |
| 5   | ¿En su experiencia, es óptimo la permeabilidad del suelo pedregoso puesto en un permeámetro casero?           |   |        |   |   | X |
| 6   | ¿En su experiencia, se puede medir el caudal en un permeámetro casero?  |   |        |   | X |   |
| 7   | ¿En su experiencia, el permeámetro casero tiene la capacidad de arrojar datos exactos en permeabilidad?       |   |        |   |   | X |
| 8   | ¿En su experiencia, la porosidad natural que tiene el suelo es igual a la porosidad puesta en el permeámetro? |   |        | X |   |   |
| 9   | ¿En su experiencia, los ensayos de permeabilidad practicados en el prototipo son confiables?                  |   |        |   |   | X |
| 10  | ¿En su experiencia, el permeámetro casero con respecto a la prueba de campo en situ, es mejor en resultados?  |   |        | X |   |   |

Calificación: 1-> total desacuerdo; 2-> en desacuerdo; 3-> en acuerdo; 4-> de acuerdo; 5-> totalmente de acuerdo



*Morales Risalve Sulyana Madhuri*  
 MORALES RISALVE SULYANA MADHURI  
 INGENIERO AMBIENTAL  
 CIP N° 269886

| Cuestionario del Procedimiento de Medir la Permeabilidad |  |  |        |   |   |   |
|--|--|--|--------|---|---|---|
| <b>Título de la investigación</b>                        |  | "Nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso como fuente de captación natural para acuíferos de abastecimiento de agua potable, Huancayo 2022 |        |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del investigador</b>              |  | Risalve Huaraca Luis Donato  |        |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del Experto</b>                   |  | Morales Risalve Sulyana Madhuri  |        |   |   |   |
| <b>Profesión</b>   | Ingeniero Ambiental  | <b>CIP</b>   | 269886 |   |   |   |
| Ítem   | Indicador  | 1  | 2      | 3 | 4 | 5 |
| 1  | ¿En su experiencia, es necesario explorar la zona e identificar el lugar para realizar la prueba de permeabilidad? |  |        |   |   | X |
| 2  | ¿En su experiencia, las calicatas ayudan a localizar el lugar exacto para la medición de permeabilidad del suelo?  |  |        |   |   | X |
| 3  | ¿En su experiencia, el llenado de agua a los hoyos para saturarlos es óptimo para determinar la permeabilidad?     |  |        | X |   |   |
| 4  | ¿En su experiencia, el llenado del permeámetro casero con la muestra del suelo en capas, dará buen resultado?      |  |        | X |   |   |
| 5  | ¿En su experiencia, es necesario tomar las medidas de cada elemento para hallar la permeabilidad?                  |  |        |   | X |   |
| 6  | ¿En su experiencia, se puede medir el caudal en un permeámetro casero, usando un cronometro?                       |  |        |   |   | X |
| 7  | ¿En su experiencia, al alimentar constantemente de agua al permeámetro nos permite calcular la velocidad del agua? |  |        |   | X |   |
| 8  | ¿En su experiencia, después de los ensayos realizados y datos obtenidos se puede realizar los cálculos con éxito?  |  |        |   |   | X |
| 9  | ¿En su experiencia, los resultados de permeabilidad obtenidos en el permeámetro casero son confiables?             |  |        |   | X |   |
| 10   | ¿En su experiencia, el prototipo del permeámetro casero puede patentarse?  |  |        | X |   |   |

Calificación: 1-> total desacuerdo; 2-> en desacuerdo; 3-> en acuerdo; 4-> de acuerdo; 5-> totalmente de acuerdo



*Morales Risalve Sulyana Madhuri*  
 MORALES RISALVE SULYANA MADHURI  
 INGENIERO AMBIENTAL  
 CIP N° 269886

| Cuestionario de validez del suelo           |  |   |        |   |   |   |
|---|--|---|--------|---|---|---|
| <b>Título de la investigación</b>           |  | "Nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso como fuente de captación natural para acuíferos de abastecimiento de agua potable, Huancayo 2022" |        |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del investigador</b> |  | Risalve Huaraca Luis Donato   |        |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del Experto</b>      |  | Oscoco Precios Richard A.   |        |   |   |   |
| <b>Profesión</b>                            | Ingeniero Agrícola   | <b>CIP</b>  | 115601 |   |   |   |
| Ítem  | Indicador  | 1   | 2      | 3 | 4 | 5 |
| 1   | ¿En su experiencia, cree Ud. que el análisis granulométrico del suelo en situ da resultados óptimos?             |   |        |   |   | X |
| 2   | ¿En su experiencia, el suelo arenoso es el que tiene más permeabilidad?  |   |        | X |   |   |
| 3   | ¿En su experiencia, el suelo de cultivo es el que posee más permeabilidad?                                       |   |        |   |   | X |
| 4   | ¿En su experiencia, el suelo arcilloso será permeable en % bajo, con respecto a otros?                           |   |        |   | X |   |
| 5   | ¿En su experiencia, la humedad que tiene el suelo es un indicio de permeabilidad?                                |   |        |   |   | X |
| 6   | ¿En su experiencia, un suelo saturado al 90% será óptimo para una obra civil?                                    |   |        |   |   | X |
| 7   | ¿En su experiencia, los acuíferos encontrados en medio natural será la solución en futuro a la escasez del agua? |   |        |   |   | X |
| 8   | ¿En su experiencia, la porosidad que tiene el suelo en su medio natural es el mejor filtro de agua, para beber?  |   |        | X |   |   |
| 9   | ¿En su experiencia, los ensayos de suelo practicados en laboratorios son más confiables?                         |   |        |   | X |   |
| 10  | ¿En su experiencia, el agricultor se beneficiará al saber el tipo de suelo que hay en su propiedad?              |   |        |   |   | X |

Calificación: 1-> total desacuerdo; 2-> en desacuerdo; 3-> en acuerdo; 4-> de acuerdo; 5-> totalmente de acuerdo




Richard A. Oscoco Peceros  
INGENIERO AGRICOLA  
CIP. N° 115601

| Cuestionario del Permeámetro                |   |   |  |            |  |        |  |  |   |   |   |   |   |
|---|---|---|--|------------|--|--------|--|--|---|---|---|---|---|
| <b>Título de la investigación</b>           |   | "Nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso como fuente de captación natural para acuíferos de abastecimiento de agua potable, Huancayo 2022" |  |            |  |        |  |  |   |   |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del investigador</b> |   | Risalve Huaraca Luis Donato   |  |            |  |        |  |  |   |   |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del Experto</b>      |   | Oscoco Peceros Richard A  |  |            |  |        |  |  |   |   |   |   |   |
| <b>Profesión</b>                            |   | Ingeniero Agrícola  |  | <b>CIP</b> |  | 115601 |  |  |   |   |   |   |   |
| Ítem  | Indicador   |   |  |            |  |        |  |  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1   | ¿En su experiencia, cada tipo de suelo debería de tener un permeámetro adecuado para su medición?             |   |  |            |  |        |  |  |   |   |   | X |   |
| 2   | ¿En su experiencia, es óptimo la permeabilidad del suelo arenoso puesto en un permeámetro casero?             |   |  |            |  |        |  |  |   |   |   | X |   |
| 3   | ¿En su experiencia, es óptimo la permeabilidad del suelo de cultivo puesto en un permeámetro casero?          |   |  |            |  |        |  |  |   |   | X |   |   |
| 4   | ¿En su experiencia, es óptimo la permeabilidad del suelo de arcilloso puesto en un permeámetro casero?        |   |  |            |  |        |  |  |   |   |   |   | X |
| 5   | ¿En su experiencia, es óptimo la permeabilidad del suelo pedregoso puesto en un permeámetro casero?           |   |  |            |  |        |  |  |   |   |   |   | X |
| 6   | ¿En su experiencia, se puede medir el caudal en un permeámetro casero?  |   |  |            |  |        |  |  |   |   |   | X |   |
| 7   | ¿En su experiencia, el permeámetro casero tiene la capacidad de arrojar datos exactos en permeabilidad?       |   |  |            |  |        |  |  |   |   | X |   |   |
| 8   | ¿En su experiencia, la porosidad natural que tiene el suelo es igual a la porosidad puesta en el permeámetro? |   |  |            |  |        |  |  |   |   |   | X |   |
| 9   | ¿En su experiencia, los ensayos de permeabilidad practicados en el prototipo son confiables?                  |   |  |            |  |        |  |  |   |   | X |   |   |
| 10  | ¿En su experiencia, el permeámetro casero con respecto a la prueba de campo en situ, es mejor en resultados?  |   |  |            |  |        |  |  |   |   |   | X |   |

Calificación: 1-> total desacuerdo; 2-> en desacuerdo; 3-> en acuerdo; 4-> de acuerdo; 5-> totalmente de acuerdo




Richard A. Oscoco Peceros  
INGENIERO AGRICOLA  
CIP. N° 115601

| Cuestionario del Procedimiento de Medir la Permeabilidad |  |   |        |   |   |   |
|--|--|---|--------|---|---|---|
| <b>Título de la investigación</b>                        |  | "Nivel de permeabilidad del suelo areno-arcilloso como fuente de captación natural para acuíferos de abastecimiento de agua potable, Huancayo 2022" |        |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del investigador</b>              |  | Risalve Huaraca Luis Donato   |        |   |   |   |
| <b>Apellidos y Nombres del Experto</b>                   |  | Oscoco Peceros Richard A.   |        |   |   |   |
| <b>Profesión</b>   | Ingeniero Agrícola   | <b>CIP</b>  | 115601 |   |   |   |
| Ítem   | Indicador  | 1   | 2      | 3 | 4 | 5 |
| 1  | ¿En su experiencia, es necesario explorar la zona e identificar el lugar para realizar la prueba de permeabilidad? |   |        |   |   | X |
| 2  | ¿En su experiencia, las calicatas ayudan a localizar el lugar exacto para la medición de permeabilidad del suelo?  |   |        |   |   | X |
| 3  | ¿En su experiencia, el llenado de agua a los hoyos para saturarlos es óptimo para determinar la permeabilidad?     |   |        |   |   | X |
| 4  | ¿En su experiencia, el llenado del permeámetro casero con la muestra del suelo en capas, dará buen resultado?      |   |        |   |   | X |
| 5  | ¿En su experiencia, es necesario tomar las medidas de cada elemento para hallar la permeabilidad?                  |   |        |   |   | X |
| 6  | ¿En su experiencia, se puede medir el caudal en un permeámetro casero, usando un cronometro?                       |   |        |   |   | X |
| 7  | ¿En su experiencia, al alimentar constantemente de agua al permeámetro nos permite calcular la velocidad del agua? |   |        |   |   | X |
| 8  | ¿En su experiencia, después de los ensayos realizados y datos obtenidos se puede realizar los cálculos con éxito?  |   |        |   |   | X |
| 9  | ¿En su experiencia, los resultados de permeabilidad obtenidos en el permeámetro casero son confiables?             |   |        |   |   | X |
| 10   | ¿En su experiencia, el prototipo del permeámetro casero puede patentarse?  |   |        |   |   | X |

Calificación: 1-> total desacuerdo; 2-> en desacuerdo; 3-> en acuerdo; 4-> de acuerdo; 5-> totalmente de acuerdo



*Richard A. Oscoco Peceros*  
**Richard A. Oscoco Peceros**  
**INGENIERO AGRICOLA**  
**CIP. N° 115601**

#### Anexo 4. Uso del software en Excel Cálculo de validez y confiabilidad tabla de Cronbach

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[ 1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right]$$

Donde:

K: El número de ítems

$\sum S_i^2$ : Sumatoria de Varianzas individuales

$S_T^2$ : Varianza total

$\alpha$ : Coeficiente de Alfa de Cronbach

| EXPERTOS              | ITEMS       |      |      |      |      |      |      |      |      |      | SUMA |
|-----------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                       | 1           | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |      |
| 1                     | 4           | 3    | 4    | 3    | 4    | 5    | 3    | 4    | 3    | 4    | 37   |
| 2                     | 4           | 5    | 4    | 5    | 4    | 5    | 5    | 4    | 5    | 5    | 46   |
| 3                     | 5           | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 50   |
| 4                     | 4           | 5    | 4    | 3    | 4    | 5    | 4    | 5    | 3    | 5    | 42   |
| 5                     | 5           | 3    | 4    | 3    | 5    | 4    | 5    | 3    | 5    | 3    | 40   |
| 6                     | 5           | 5    | 3    | 3    | 4    | 5    | 4    | 5    | 4    | 3    | 41   |
| 7                     | 5           | 3    | 5    | 4    | 5    | 5    | 5    | 3    | 4    | 5    | 44   |
| 8                     | 4           | 4    | 3    | 5    | 5    | 4    | 3    | 4    | 3    | 4    | 39   |
| 9                     | 5           | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 5    | 50   |
| VARIANZA              | 0.25        | 0.84 | 0.54 | 0.89 | 0.25 | 0.17 | 0.67 | 0.62 | 0.77 | 0.67 |      |
| $\sum$ VARIANZAS      | 5.654320988 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| VARIANZA $\sum$ ITEMS | 19.28395062 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

K → 26

$\sum S_i^2$  → 5.654321

$S_T^2$  → 19.28395

$\alpha$  → 0.735058

| RANGO        | CONFIABILIDAD           |
|--------------|-------------------------|
| 0.53 a menos | Confiabilidad nula      |
| 0.54 a 0.59  | Confiabilidad baja      |
| 0.60 a 0.65  | Confiable               |
| 0.66 a 0.71  | Muy confiable           |
| 0.72 a 0.99  | Excelente confiabilidad |
| 1            | Confiabilidad perfecta  |

| Clasificación General               | Materiales granulares<br>(35% o menos pasa el tamiz #200) |        |                  |                               |        |        |        | Materiales limo arcillosos<br>(más de 35% pasa el tamiz #200) |        |                   |                       |
|-------------------------------------|---|--------|------------------|-------------------------------|--------|--------|--------|---|--------|-------------------|-----------------------|
| Clasificación de grupo              | A-1   |        | A-3 <sup>^</sup> | A-2                           |        |        |        | A-4   | A-5    | A-6               | A-7<br>A-7-5<br>A-7-6 |
|                                     | A-1-a   | A-1-b  |                  | A-2-4                         | A-2-5  | A-2-6  | A-2-7  |   |        |                   |                       |
| Tamizado %<br>Que pasa              |   |        |                  |                               |        |        |        |   |        |                   |                       |
| Nº 10<br>(2.00 mm)                  | 50 máx  | ...    | ...              | ...                           | ...    | ...    | ...    | ...   | ...    | ...               | ...                   |
| Nº 40<br>(425 µm)                   | 30 máx  | 50 máx | 51 máx           | ...                           | ...    | ...    | ...    | ...   | ...    | ...               | ...                   |
| Nº 200<br>(75 µm)                   | 15 máx  | 25 máx | 10 máx           | 35 máx                        | 35 máx | 35 máx | 35 máx | 35 máx  | 36 mín | 36 mín            | 36 mín                |
| Consistencia                        |   |        |                  |                               |        |        |        |   |        |                   |                       |
| Límite Líquido                      | ...   |        | ...              | B                             |        |        |        | 40 máx  | 41 mín | 40 máx            | 41 máx                |
| Índice de plasticidad               | 6 máx   |        | NP               | B                             |        |        |        | 10 máx  | 10 máx | 11 mín            | 11 mín                |
| Tipos de materiales característicos | Cantos, gravas y arena                                    |        | Arena fina       | Grava y arena limo arcillosas |        |        |        | Suelos limosos  |        | Suelos arcillosos |                       |
| Calificación                        | Excelente a bueno   |        |                  |                               |        |        |        | Regular a malo  |        |                   |                       |

**Anexo 5. Tabla de AASTHO**

## Anexo 6. Tabla de SUCS

| DIVISIONES PRINCIPALES |   | Símbolos del grupo  | NOMBRES TÍPICOS   | IDENTIFICACIÓN DE LABORATORIO   |   |  |
|------------------------|---|---|---|---|---|--|
| SUELOS DE GRANO GRUESO | GRAVAS  | Gravas limpias  | GW  | Gravas, bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos. | $Cu = D_{60}/D_{10} > 4$<br>$Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3<br><br>Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue: |  |
|                        |   | (sin o con pocos finos)   | GP  | Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.   |   |  |
|                        |   | Gravas con finos  | GM  | Gravas limosas, mezclas grava-arena-limo.                             | Límites de Atterberg debajo de la línea A con $IP < 4$ .<br><br>Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$ .  |  |
|                        |   |   | (apreciable cantidad de finos)  | GC  |   | Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla.                  |
|                        | ARENAS  | Arenas limpias  | SW  | Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos.     | $Cu = D_{60}/D_{10} > 6$<br>$Cc = (D_{30})^2 / D_{10} \times D_{60}$ entre 1 y 3<br><br>Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW.   |  |
|                        |   |   | (pocos o sin finos)   | SP  |   | Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos. |
|                        |   | Arenas con finos  | SM  | Arenas limosas, mezclas de arena y limo.                              | 5 al 12% -> casos límite que requieren usar doble símbolo.<br><br>Límites de Atterberg debajo de la línea A con $IP < 4$ .<br><br>Límites de Atterberg sobre la línea A con $IP > 7$ .  |  |
|                        |   |   | (apreciable cantidad de finos)  | SC  |   | Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla.                        |
|                        |   | SUELOS DE GRANO FINO  | Limos y arcillas:   | ML  | Limos inorgánicos y arenas muy finas, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosa, o limos arcillosos con ligera elasticidad.  |  |
|                        |   |   |   | CL  | Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas.  |  |
| OL                     | Limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad. |   |   |   |   |  |
| Limos y arcillas:      | MH  |   | Limos inorgánicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos. |   |   |  |
|                        | CH  | Arcillas inorgánicas de plasticidad alta.                           |   |   |   |  |
|                        | OH  | Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada; limos orgánicos. |   |   |   |  |
| Suelos muy orgánicos   | PT  | Turba y otros suelos de alto contenido orgánico.                    |   |   |   |  |

## Anexo 7. Ubicando la zona de investigación





## Anexo 8. Fabricando el permeámetro casero





**Anexo 9. Excavación de los hoyos y puesta del tubo pvc,**



## Anexo 10. Clasificación de suelo y carga del permeámetro



## Anexo 11. Saturando las muestras de suelo

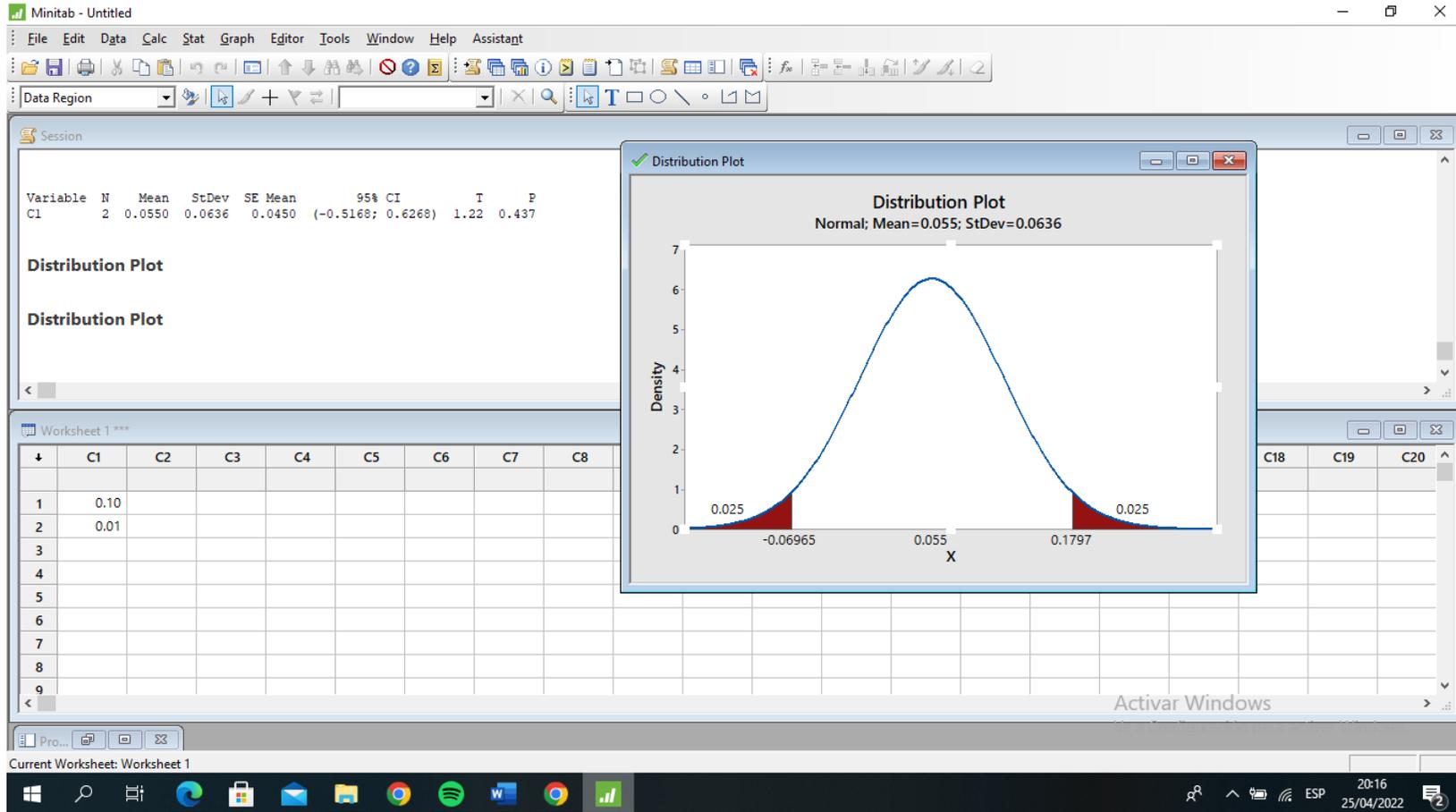


**Anexo 14. Realizando los ensayos para obtener información  
En situ y en laboratorio**





## Anexo. Uso del Minitab en cálculos en contrastación de hipótesis 1



## Anexo. Uso del Minitab en cálculos en contrastación de hipótesis 2

