

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA CAPACIDAD PORTANTE DETERMINADA CON EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO Y EL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR, DEL SUELO PARA EL PROYECTO SISTEMA DE SANEAMIENTO RURAL EN EL DISTRITO DE JESUS - CAJAMARCA”

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

**AUTOR:**

Bach. LIZZ KATHERINE VÁSQUEZ ENEQUE

**ASESOR:**

Ing. LUCIO MARCIAL SIFUENTES INOSTROZA

CAJAMARCA – PERÚ

2023

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, hago extensivo mi agradecimiento a los ingenieros de la carrera de ingeniería civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, por los conocimientos brindados en aras del fortalecimiento de mi formación tanto profesional como personal.

De igual manera agradezco a mis padres Amado Vásquez Azañero y Julia Eneque Gonzales, a mis hermanos, familiares y amigos quienes en todo momento me apoyaron incondicionalmente para lograr mis objetivos académicos propuestos, por lo cual les estaré muy agradecida.

Asimismo, se hace presente mi agradecimiento al Ing. Lucio Marcial Sifuentes Inostroza, por brindarme su asesoría en cada momento durante las etapas de la elaboración de la presente tesis, mediante sus aportes que fueron la guía fundamental para su realización.

## CONTENIDO

|  |      |
|--|------|
| <b>AGRADECIMIENTO</b> .....  | i    |
| <b>CONTENIDO</b> .....   | ii   |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....  | v    |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....   | vi   |
| <b>RESUMEN</b> .....   | vii  |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | viii |
| <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b>  |      |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....   | 2    |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....   | 3    |
| 1.3. HIPÓTESIS.....  | 3    |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....                                    | 3    |
| 1.5. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....                                      | 4    |
| 1.6. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....   | 4    |
| 1.7. OBJETIVOS.....  | 5    |
| 1.7.1. Objetivo General.....   | 5    |
| 1.7.2. Objetivos Específicos.....  | 5    |
| 1.8. ESTRUCTURA DE LA TESIS.....   | 6    |
| <b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>  |      |
| 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....  | 8    |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales .....                                      | 8    |
| 2.1.2. Antecedentes nacionales .....   | 9    |
| 2.1.3. Antecedentes locales .....  | 11   |
| 2.2. BASES TEÓRICAS.....   | 12   |
| 2.2.1. Los suelos .....  | 12   |
| 2.2.1.1. Origen de los suelos .....  | 12   |
| 2.2.1.2. Tipos de suelos .....   | 14   |
| 2.2.2. Obtención de las muestras del suelo .....                               | 15   |
| 2.2.2.1. Profundidad de la perforación y perfil del suelo .....                | 18   |
| 2.2.2.2. Secado y disgregación de muestras alteradas .....                     | 19   |
| 2.2.3. Exploración del subsuelo .....  | 19   |
| 2.2.3.1. Programa de exploración del subsuelo .....                            | 20   |
| 2.2.3.2. Perforaciones exploratorias .....                                     | 22   |
| 2.2.3.3. Muestreo mediante tubo muestreador .....                              | 22   |
| 2.2.4. Capacidad portante de los suelos .....                                  | 23   |
| 2.2.4.1. Primeros cálculos de la capacidad portante .....                      | 23   |
| 2.2.4.2. Ecuación para cálculo de la capacidad portante en suelos blandos..... | 24   |

|   |    |
|---|----|
| 2.2.5. Métodos de ensayo para determinar la capacidad portante .....          | 25 |
| 2.2.5.1. Método de ensayo de corte directo .....                              | 25 |
| 2.2.5.2. Método de ensayo de penetración estándar (SPT) .....                 | 30 |
| 2.2.6. Características físicas y mecánicas de los suelos .....                | 35 |
| 2.2.6.1. Contenido de humedad .....   | 35 |
| 2.2.6.2. Límites de Atterberg .....   | 36 |
| 2.2.6.3. Granulometría .....  | 37 |
| 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....                                     | 39 |
| <b>CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS</b>                                     |    |
| 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN.....                            | 42 |
| 3.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN .....  | 44 |
| 3.3. PROCEDIMIENTO .....  | 44 |
| 3.3.1. Ensayos de corte directo para la hallar la capacidad portante .....    | 45 |
| 3.3.1.1. Procedimiento del ensayo de corte directo .....                      | 45 |
| 3.3.1.2. Cálculos del ensayo .....  | 47 |
| 3.3.2. Ensayos de SPT para hallar la capacidad portante .....                 | 49 |
| 3.3.2.1. Procedimiento del ensayo de SPT .....                                | 49 |
| 3.4. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS PRESENTACIÓN RESULTADOS.....              | 52 |
| 3.4.1. Población y muestra del estudio .....                                  | 52 |
| 3.4.1.1. Población del estudio .....  | 52 |
| 3.4.1.2. Muestra .....  | 52 |
| 3.4.1.3. Unidad de análisis .....   | 52 |
| 3.4.2. Tipo, nivel, diseño y método de investigación .....                    | 52 |
| 3.4.3. Tipo de análisis .....   | 53 |
| 3.4.4. Recolección de datos .....   | 53 |
| 3.4.5. Procesamiento de datos .....   | 54 |
| 3.4.6. Equipos y materiales utilizados .....                                  | 54 |
| 3.4.7. Análisis de datos y presentación de los resultados .....               | 55 |
| 3.4.7.1. Trabajos de campo, referente a la ejecución de calicatas .....       | 55 |
| 3.4.7.2. Trabajos de campo, referente al ensayo de penetración estándar ..... | 55 |
| 3.4.7.3. Ensayos de laboratorio .....   | 56 |
| 3.4.7.4. Presentación de resultados .....                                     | 58 |
| A. Capacidad portante determinada con el ensayo de corte directo .....        | 59 |
| B. Capacidad portante determinada con el ensayo SPT .....                     | 60 |
| C. Comparación de los valores obtenidos mediante ambos métodos .....          | 60 |
| D. Gráficas comparativas de las propiedades del suelo .....                   | 61 |

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

|  |    |
|--|----|
| 4.1. CALICATAS Y PUNTOS DE EXPLORACIÓN DE SPT.....             | 64 |
| 4.2. CALICATA C-1 Y SPT1.....                                  | 65 |
| 4.3. CALICATA C-2 Y SPT2.....                                  | 66 |
| 4.4. CALICATA C-3 Y SPT3.....                                  | 67 |
| 4.5. DISTRIBUCIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE EN LAS LAGUNAS..... | 68 |
| 4.6. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....                        | 69 |

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 5.1. CONCLUSIONES .....    | 72 |
| 5.2. RECOMENDACIONES ..... | 73 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>74</b> |
|---|-----------|

## **ANEXOS**

|  |     |
|--|-----|
| ANEXO 01. PANEL FOTOGRÁFICO.....                             | 78  |
| ANEXO 02. HUMEDAD, GRANULOMETRÍA Y LÍMITES DE ATTERBERG..... | 92  |
| ANEXO 03. ENSAYO DE CORTE DIRECTO.....                       | 110 |
| ANEXO 04. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT).....          | 119 |
| ANEXO 05. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS.....                      | 122 |
| ANEXO 06. PLANOS.....  | 125 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 3.1. Relación entre N y la compacidad de suelos no cohesivos.....         | 50  |
| Tabla 3.2. Relación entre N y las resistencia de suelos cohesivos.....          | 51  |
| Tabla 3.3. Ubicación de las calicatas para corte directo y los ensayos SPT..... | 56  |
| Tabla 3.4. Estructuras proyectadas, según el proyecto de saneamiento.....       | 56  |
| Tabla 3.5. Normatividad ASTM para los ensayos.....                              | 57  |
| Tabla 3.6. Propiedades físicas y clasificación de suelos.....                   | 58  |
| Tabla 3.7. Capacidad portante mediante el ensayo de corte directo.....          | 59  |
| Tabla 3.8. Capacidad portante mediante el ensayo de penetración estándar.....   | 60  |
| Tabla 3.9. Comparación de capacidad portante mediante corte directo y SPT.....  | 60  |
| Tabla 5.1. Ensayo de contenido de humedad – Calicata C-1.....                   | 92  |
| Tabla 5.2. Ensayos de los límites de Atterberg – Calicata C-1.....              | 93  |
| Tabla 5.3. Ensayo de análisis granulométrico – Calicata C-1.....                | 95  |
| Tabla 5.4. Ensayo de densidad húmeda en campo – Calicata C-1.....               | 97  |
| Tabla 5.5. Ensayo de contenido de humedad – Calicata C-2.....                   | 98  |
| Tabla 5.6. Ensayos de los límites de Atterberg – Calicata C-2.....              | 99  |
| Tabla 5.7. Ensayo de análisis granulométrico – Calicata C-2.....                | 101 |
| Tabla 5.8. Ensayo de densidad húmeda en campo – Calicata C-2.....               | 103 |
| Tabla 5.9. Ensayo de contenido de humedad – Calicata C-3.....                   | 104 |
| Tabla 5.10. Ensayos de los límites de Atterberg – Calicata C-3.....             | 105 |
| Tabla 5.11. Ensayo de análisis granulométrico – Calicata C-3.....               | 107 |
| Tabla 5.12. Ensayo de densidad húmeda en campo – Calicata C-3.....              | 109 |
| Tabla 5.13. Ensayo de corte directo – Calicata C-1.....                         | 110 |
| Tabla 5.14. Esfuerzo normal y esfuerzo de corte – Calicata C-1.....             | 112 |
| Tabla 5.15. Parámetros de resistencia al corte – Calicata C-1.....              | 112 |
| Tabla 5.16. Ensayo de corte directo – Calicata C-2.....                         | 113 |
| Tabla 5.17. Esfuerzo normal y esfuerzo de corte – Calicata C-2.....             | 115 |
| Tabla 5.18. Parámetros de resistencia al corte – Calicata C-2.....              | 115 |
| Tabla 5.19. Ensayo de corte directo – Calicata C-3.....                         | 116 |
| Tabla 5.20. Esfuerzo normal y esfuerzo de corte – Calicata C-3.....             | 118 |
| Tabla 5.21. Parámetros de resistencia al corte – Calicata C-3.....              | 118 |
| Tabla 5.22. Ensayo de penetración estándar – SPT1.....                          | 119 |
| Tabla 5.23. Ensayo de penetración estándar – SPT2.....                          | 120 |
| Tabla 5.24. Ensayo de penetración estándar – SPT3.....                          | 121 |
| Tabla 5.25. Perfil estratigráfico – Calicata C-1.....                           | 122 |
| Tabla 5.26. Perfil estratigráfico – Calicata C-2.....                           | 123 |
| Tabla 5.27. Perfil estratigráfico – Calicata C-3.....                           | 124 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 3.1. Ubicación geográfica de la investigación.....                              | 43  |
| Figura 3.2. Porcentaje de variación de la capacidad portante, corte directo y SPT..... | 61  |
| Figura 3.3. Comparación entre valores de cohesión según el método de ensayo.....       | 62  |
| Figura 5.1. Gráfica límite líquido – Calicata C-1.....                                 | 94  |
| Figura 5.2. Gráfica de la curva de distribución granulométrica – Calicata C-1.....     | 96  |
| Figura 5.3. Gráfica límite líquido – Calicata C-2.....                                 | 100 |
| Figura 5.4. Gráfica de la curva de distribución granulométrica – Calicata C-2.....     | 102 |
| Figura 5.5. Gráfica límite líquido – Calicata C-3.....                                 | 106 |
| Figura 5.6. Gráfica de la curva de distribución granulométrica – Calicata C-3.....     | 108 |
| Figura 5.7. Gráfica de la aplicación del esfuerzo cortante – Calicata C-1.....         | 111 |
| Figura 5.8. Gráfica de los envolventes de resistencia – Calicata C-1.....              | 112 |
| Figura 5.9. Gráfica de la aplicación del esfuerzo cortante – Calicata C-2.....         | 114 |
| Figura 5.10. Gráfica de los envolventes de resistencia – Calicata C-2.....             | 115 |
| Figura 5.11. Gráfica de la aplicación del esfuerzo cortante – Calicata C-3.....        | 117 |
| Figura 5.12. Gráfica de los envolventes de resistencia – Calicata C-3.....             | 118 |

## RESUMEN

En la presente investigación se realizó el análisis comparativo entre la capacidad portante determinada con el ensayo de corte directo y el ensayo de penetración estándar (SPT), del suelo para el proyecto sistema de saneamiento rural en el distrito de Jesús – Cajamarca; para determinar los valores de este parámetro utilizado en la cimentación de las lagunas de oxidación, por los ensayos antes mencionados, de acuerdo a las normas ASTM-D3080 (ensayo de corte directo) y ASTM-D1586 (ensayo de penetración estándar); adicionalmente se hallaron las características físicas del suelo, tales como el contenido de humedad, los límites de consistencia, la clasificación según el sistema SUCS; así como las propiedades mecánicas como son la cohesión y el ángulo de fricción. Con el método de ensayo de corte directo se encontraron valores de la capacidad portante desde 0.56 kg/cm<sup>2</sup> a 0.65 kg/cm<sup>2</sup> y con el método de ensayo de penetración estándar (SPT) los valores de la capacidad portante fueron de 0.88 kg/cm<sup>2</sup> a 0.98 kg/cm<sup>2</sup>, originándose una variación porcentual en el rango de 26.41% hasta 42.76%; dado que las estructuras propuestas son lagunas de oxidación, estas poseen una platea de cimentación por lo cual el área de contacto con el suelo es mayor. Concluyendo que los valores hallados utilizando el ensayo de corte directo son menores que los obtenidos por el ensayo de SPT.

**Palabras clave:** capacidad portante, ensayo de corte directo, ensayo de penetración estándar (SPT), cohesión, suelos blandos.

## ABSTRACT

In the present investigation, the comparative analysis was carried out between the bearing capacity determined with the direct shear test and the standard penetration test (SPT), of the soil for the rural sanitation system project in the district of Jesús - Cajamarca; to determine the values of this parameter used in the foundation of the oxidation lagoons, by the aforementioned tests, according to the ASTM-D3080 (direct shear test) and ASTM-D1586 (standard penetration test) standards; Additionally, the physical characteristics of the soil were found, such as moisture content, consistency limits, classification according to the SUCS system; as well as the mechanical properties such as the cohesion and the friction angle. With the direct shear test method, bearing capacity values ranging from 0.56 kg/cm<sup>2</sup> to 0.65 kg/cm<sup>2</sup> were found and with the standard penetration test method (SPT) the bearing capacity values were from 0.88 kg/cm<sup>2</sup> to 0.98 kg/cm<sup>2</sup>, originating a percentage variation in the range of 26.41% to 42.76%; Since the proposed structures are oxidation ponds, they have a foundation plate, so the contact area with the ground is greater. Concluding that the values found using the direct shear test are lower than those obtained by the SPT test.

**Key words:** bearing capacity, direct cut test, standard penetration test, cohesion, soft floors.

**CAPÍTULO I.**  
**INTRODUCCIÓN**

---

# **CAPÍTULO I.**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El territorio peruano se encuentra comprendido en una de las regiones de actividad sísmica, por lo tanto, siempre estará expuesto a este peligro natural, que trae consigo la pérdida de vidas humanas y cuantiosas pérdidas materiales. Esto hace prioritario efectuar estudios que permitan conocer el comportamiento más probable de este fenómeno conjuntamente con la geotécnica de suelos para poder planificar y mitigar los grandes efectos que trae consigo, es decir predecir los posibles impactos que podrían ocurrir en un lugar determinado. (Castillo y Alva, 1993).

El departamento de Cajamarca al encontrarse expuesto a un posible movimiento sísmico de intraplaca hace que tengamos presente que la población está expuesta a sufrir en cualquier momento un movimiento telúrico, si bien este no sería de tan alta magnitud, pero cabe la necesidad de tomar medidas al respecto, ya que puede ocasionar el colapso de las edificaciones vulnerables que fueron construidas sin los respectivos estudios geotécnicos. Además de esto, la no ejecución de dichos estudios ocasiona en casi todas las edificaciones fallas estructurales tales como la falla por corte, flexión, punzonamiento, asentamientos diferenciales, entre otras. (Ravines, 2017).

En distintas ocasiones se ha evidenciado que el terreno presenta una capacidad portante que no es capaz de resistir los incrementos de tensiones inducidos por las obras de ingeniería, no llegando a alcanzar los índices de seguridad que se establecieron en la etapa de diseño. Tal resistencia del suelo debe permanecer invariable en el tiempo o por lo menos no disminuir por debajo de los valores admisibles, estos inconvenientes se presentan ya sea por utilizar las pruebas no acordes o por realizar mal los ensayos, arrojando datos no reales del terreno en estudio. (Pérez, 2020).

En la zona a realizarse el proyecto son muy escasos los estudios de suelos, es decir, son casi inexistentes los estudios de corte directo y de penetración estándar (SPT), lo cual podría incurrir en fallas y colapsos. Es de absoluta relevancia la determinación de las características físicas y mecánicas de tales suelos, con el fin de tener los resultados adecuados al momento de realizar el diseño de las estructuras conformantes del proyecto.

Al ser las lagunas de oxidación estructuras fundamentales en el proyecto de saneamiento rural en el distrito de Jesús, es de suma importancia diseñarlas eficientemente teniendo en cuenta la capacidad portante del suelo que las soporta, por lo tanto esta investigación se centra en ello, es decir, en conocer los resultados mediante dos métodos de ensayo, uno en laboratorio como el método de corte directo y el otro practicado in situ como el método de penetración estándar (SPT), para optar según los resultados por el más asequible y más útil.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

En este estudio, el problema de investigación se sintetiza en la siguiente pregunta:

¿Cuál es la variación de la capacidad portante determinada con el ensayo de corte directo y el ensayo de penetración estándar, del suelo para el proyecto sistema de saneamiento rural en el distrito de Jesús - Cajamarca?

## **1.3. HIPÓTESIS**

Los resultados de la capacidad portante determinada con el ensayo de corte directo son mayores que los resultados obtenidos con el ensayo de penetración estándar (SPT), del suelo de fundación para las lagunas de oxidación del proyecto saneamiento rural en el distrito de Jesús – Cajamarca.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Debido a que la capacidad portante del suelo de fundación es una medida primordial para conocer la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno, es necesario utilizar los métodos de ensayos más efectivos ejecutándolos de manera correcta y eficiente, para que al realizar el diseño y construcción de las

estructuras se pueda garantizar la seguridad, buscando siempre que no se produzca un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo.

Buscando tener los resultados adecuados en los ensayos para la determinación de la capacidad portante del suelo, es que se realiza el análisis comparativo de dos métodos de ensayo destinados para tal fin, como son el método de ensayo de corte directo y el ensayo de penetración estándar (SPT), realizados a diferentes profundidades para poder realizar una comparación de los datos recabados de la resistencia de los suelos.

Dada la ubicación geográfica, el distrito de Jesús en Cajamarca se encuentra en un valle con un tipo de suelo predominantemente blando, es decir es del tipo flexible, lo cual no resulta ser beneficioso para las cimentaciones y más aún si tiene en cuenta la posible ocurrencia de sismos, se hace evidente la necesidad de realizar estos estudios.

### **1.5. IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

Este trabajo de investigación tiene una importancia radicada en aplicación de dos métodos de ensayo distintos para determinar la capacidad portante del suelo, utilizando cada uno sus propias metodologías orientadas a encontrar el valor de la resistencia del suelo a las fuerzas cortantes, el cual nos permite efectuar un diseño de las estructuras del proyecto de saneamiento rural con un menor riesgo de falla en el futuro, se establece el método más utilizable mediante la comparación de los resultados obtenidos mediante el ensayo de corte directo y SPT.

### **1.6. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

En la presente investigación se analizó la manera cómo varían los valores de la capacidad portante, según el método de ensayo utilizado para su determinación, de un suelo para el sistema de tratamiento de aguas residuales en la zona rural, teniendo como ubicación el caserío de Pashul, distrito de Jesús - Cajamarca. El estudio se centra en la capacidad portante del suelo de fundación para las tres lagunas de oxidación de dicho proyecto, estas lagunas tienen una dimensión de 3.5 m de ancho por 10 m de largo.

## **1.7. OBJETIVOS**

### **1.7.1. Objetivo General**

- Realizar el análisis comparativo de la capacidad portante determinada con el ensayo de corte directo y el ensayo de penetración estándar, del suelo para el proyecto sistema de saneamiento rural en el distrito de Jesús - Cajamarca.

### **1.7.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las propiedades físicas del suelo para el proyecto sistema de saneamiento rural en el distrito de Jesús - Cajamarca.
- Determinar la capacidad portante utilizando el método de ensayo de corte directo, en el suelo para el sistema de saneamiento rural en el distrito de Jesús - Cajamarca.
- Determinar la capacidad portante utilizando el método de ensayo de penetración estándar (SPT), en el suelo para el sistema de saneamiento rural en el distrito de Jesús - Cajamarca.

## **1.8. ESTRUCTURA DE LA TESIS**

La presente investigación presenta la siguiente estructura:

- **Capítulo I:** Abarca la introducción en la cual se tienen el planteamiento y formulación del problema, posteriormente la hipótesis, la debida justificación e importancia de la investigación, los alcances y objetivos.
- **Capítulo II:** Este capítulo describe el marco teórico en el cual se tienen los antecedentes teóricos de la investigación y también las bases teóricas.
- **Capítulo III:** Corresponde a la descripción de los materiales, así como la metodología utilizada, exponiendo el procedimiento de la investigación, se hace el tratamiento, análisis de datos y se presenta los resultados.
- **Capítulo IV:** Se efectúa el análisis y discusión de resultados, describiendo la información que se halló y su posterior contrastación con la teoría empleada, para explicar luego los resultados.
- **Capítulo V:** Corresponde a la exposición de conclusiones y las recomendaciones relacionadas a futuras investigaciones en el área.
- **Referencias bibliográficas.**
- **Anexos.**

**CAPÍTULO II.**  
**MARCO TEÓRICO**

---

## **CAPÍTULO II.**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS**

##### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

- Montenegro (2014), en su tesis de maestría, “CALIBRACIÓN DEL MÉTODO DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA CON SPT EN SUELOS DE LA REGIÓN LLANERA COLOMBIANA” determinó las herramientas para encontrar los parámetros de resistencia del suelo, por medio de 202 muestras con resultados del ensayo de corte directo y cerca de 4800 muestras con mediciones realizadas en campo a través del SPT en la región llanera colombiana en los departamentos de Meta y Casanare. Calibró la metodología para estimar dichos parámetros de resistencia, y calculó una ecuación para encontrar equivalencias a partir de los resultados. Finalmente los comparó, con algunas metodologías y valores típicos reportados en la literatura internacional, para definir cuál es la mejor metodología a utilizar en los suelos de esta región colombiana.
  
- Carmona (2014), en su trabajo de grado, “ESTUDIO DE RESULTADOS ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT) PARA EL FACTOR DE CORRECCIÓN Y EL ÁNGULO DE FRICCIÓN DEL SUELO USANDO DIFERENTES TIPOS DE CORRELACIONES” determinó la correlación más apropiada, para obtener el ángulo de fricción a partir de los resultados del ensayo de penetración estándar (SPT). Concluyendo que las metodologías que propusieron Seed (1985), Liao – Whitman (1986) y Skempton (1986), arrojan mejores resultados para desarrollar los valores obtenidos con la metodología de ensayo SPT, los cuales fueron determinados a partir de la clasificación de las secciones teniendo en cuenta la formación del terreno. Utilizando métodos más apropiados para poder realizar el correcto cálculo del ángulo de fricción para el diseño de cimentaciones, obteniendo como resultado final la unión de las metodologías planteadas y que se adhieren mejor al resultado.

- Rodas y Torres (2015), en su tesis “ESTUDIO DE LAS ENVOLVENTES CONSOLIDADA – DRENADA MEDIANTE ENSAYO DE CORTE DIRECTO PARA EL ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LAS PRESAS DE TIERRA DEL PROYECTO PACALORI” desarrolló un análisis comparativo de la envolvente consolidada-drenada obtenida de diversas muestras, utilizando el método de ensayo específico para estos casos, como es el método ensayo de corte directo lento. Realizó este ensayo utilizando muestras compactadas y saturadas, teniendo en cuenta que el equipo de corte directo lento es poco sofisticado y requiere de un largo tiempo de ensayo. El tiempo de corte con el equipo de corte directo para alcanzar una deformación unitaria en este suelo MH fue de casi 100 horas. Concluyendo que los resultados son similares en el caso de suelo fino MH, aun cuando se trate de muestras compactadas e inalteradas, la razón se debe a que la estructura del suelo, a las cuales tiende en los procesos de consolidación y saturación previas al corte son similares, tal y como se establece en la teoría de la mecánica de suelos.

#### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

- Domínguez y Terrones (2019), en su tesis “CARACTERIZACIÓN DE SUELOS MEDIANTE EL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO, 2019” se realizó dentro del campus de la Universidad Nacional de Trujillo, ensayos de penetración estándar (SPT) y calicatas complementarias para corroborar el perfil estratigráfico del subsuelo obtenido mediante dicho ensayo. Este estudio fue realizado con el propósito de determinar las propiedades físicas y mecánicas del subsuelo de la ciudad universitaria, Para caracterizar el suelo de tal lugar se hizo la exploración geotécnica mediante la cual se realizaron 8 puntos de investigación que constaron de 5 sondeos con el ensayo de penetración estándar. Al concluir con los ensayos, obtuvieron que en el suelo del campus universitario de la Universidad Nacional de Trujillo predominaron las arenas, y en menor cantidad los finos.

- Germán y Pérez (2019), en su tesis “CORRELACIÓN DE LOS VALORES EN LOS ENSAYOS SPT Y CORTE DIRECTO DEL SUELO EN EL ASENTAMIENTO HUMANO VIRGEN DEL CARMEN – LAGUNAS – MOCUPE” realizaron una investigación que tuvo como finalidad hacer un estudio de mecánica de suelos para determinar las características físicas y mecánicas en la zona de estudio, para posteriormente poder correlacionar la capacidad portante en los ensayos SPT y Corte Directo. Concluyendo que al obtener como resultado en la zona una estratigrafía con tipos de suelos finos, predominantemente CL, la correlación entre los resultados del ensayo SPT y los resultados obtenidos mediante el método de corte directo no es cercano a 1, por lo cual no es tan fiable.
- Archenti (2018), en su tesis “ZONIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO EN LA LOCALIDAD DE LAGUNAS DISTRITO DE LAGUNAS, ALTO AMAZONAS - REGIÓN DE LORETO” desarrolló una investigación dirigida a estudiar, identificar y evaluar los tipos de suelos existentes en dicha localidad, así como determinar su capacidad portante mediante el método de ensayo de corte directo, con el fin de utilizar estos resultados para elaborar un plano de zonificación de acuerdo a las características físicas y mecánicas de los suelos hallados. Llegó a la conclusión de que la capacidad portante de la zona de estudio varía entre  $0.529 \text{ kg/cm}^2$  y  $1.178 \text{ kg/cm}^2$ , de igual forma se hallaron 2 diferentes tipos de suelos CH (suelo arcilloso con alta plasticidad) y CL (suelo arcilloso con baja plasticidad). En lo que respecta a la zonificación mediante propiedades físicas, logró identificar dos zonas, bastante definidas las cuales pertenecerían a los tipos de suelo hallados (CL, CH) respectivamente.

### 2.1.3. Antecedentes Locales

- Ravines (2017), en su tesis de maestría “CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN, PARA LA CIUDAD DE JOSÉ GÁLVEZ - CELENDÍN - CAJAMARCA” realizó una investigación en la ciudad de José Gálvez, distrito José Gálvez, provincia Celendín, región Cajamarca; con el objetivo principal de determinar la capacidad portante de los suelos de fundación de dicha ciudad. En esta investigación encontró que hay una diferencia entre las capacidades portantes obtenidas por los métodos, con una variación entre 0,53 y 1.20 kg/cm<sup>2</sup> y el número de golpes varía entre 7 y 16 respectivamente y por el método de corte directo la variación se encontró entre 0,84 y 0,96 kg/cm<sup>2</sup>. Asimismo, se determinó 4 zonas geotécnicas en el área de estudio. Finalmente concluyó que el método a utilizar en las obras de ingeniería es el ensayo de corte directo ya que este da mejores resultados.
- Fernández (2015), en su tesis de doctorado “EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA – UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA – 2014” determinó la medida de la capacidad portante de los suelos en la ciudad universitaria, para lo cual utilizó dos métodos, el método de ensayo de corte directo y el método SPT. Realizó 08 ensayos de corte directo y 08 de SPT para determinar las características de los suelos de fundación con el propósito de cimentaciones. Al realizar la contrastación de la hipótesis entre estos métodos, el ensayo de penetración estándar y el ensayo de corte directo se ha encontrado una variación de 0.20, lo que representa el 2.03 %. La capacidad portante con fines de cimentaciones mediante el método de ensayo de penetración estándar (SPT) y corte directo en la ciudad universitaria a una profundidad de 3 m son de 0.67 kg/cm<sup>2</sup> – 1.58 kg/cm<sup>2</sup> y 1.11 kg/cm<sup>2</sup> – 1.41 kg/cm<sup>2</sup> respectivamente.

- Caro (2018), en su tesis “CAPACIDAD PORTANTE DE LOS SUELOS DE FUNDACIÓN CON FINES DE CIMENTACIÓN EN LA CIUDAD DE LLACANORA – CAJAMARCA” determinó la capacidad portante del suelo de fundación, para fines de cimentación utilizando los ensayos de corte directo, clasificó además el suelo con el Sistema (SUCS), así como las propiedades físicas y mecánicas, halló la capacidad portante mediante la metodología especificada en la norma ASTM 3080 y NTP 339.159 respectivamente. Asimismo, determinó que la varianza porcentual es mayor respecto de la capacidad portante obtenida mediante corte directo. Llegando a la conclusión de que existen 03 zonas por capacidad portante en la zona de expansión de la ciudad de Llacanora con su respectiva capacidad portante con fines de cimentación, los valores en estas zonas varían entre 2,09 a 3,36 Kg/cm<sup>2</sup>

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Los suelos**

El suelo es una capa relativamente delgada, ubicada en la corteza terrestre, constituido por un material proveniente de la alteración y/o desintegración física y química de las rocas, así también de los residuos de las actividades de los seres vivos que se asientan sobre ellas, la capa del suelo antes mencionada tiene una potencia muy difícil de precisar, pero podría decirse que puede ser todo espesor del globo terráqueo que está afectado por las distintas actividades del ser humano. (Crespo, 2004).

#### **2.2.1.1. Origen de los suelos**

Los suelos son originados, entre otros fenómenos, por intemperismo, es decir, por la fractura y rompimiento de varios tipos de rocas en piezas más pequeñas mediante procesos mecánicos y químicos. Los suelos provenientes de la desintegración física son diferentes a los suelos provenientes de la desintegración química, es decir los suelos que provienen de una alteración física tienen la misma composición que las rocas que les dieron origen, mientras que si el proceso de desintegración fue químico

entonces el nuevo suelo tienen composición mineralógica diferente a la roca originaria. (Crespo, 2004).

La desintegración de los fragmentos de roca hasta tamaños minúsculos menores a 0.01 mm solo es posible mediante procesos químicos, entre los cuales podemos encontrar la carbonatación, la hidratación y la oxidación.

- La carbonatación ocurre principalmente sobre las rocas que en su composición presenten Calcio, Magnesio, Hierro, Sodio. Sobre todo, en las rocas ígneas, las cuales presentan estos elementos, como ejemplo se puede mencionar la carbonatación de la ortoclasa que se convierte en un tipo de arcilla llamada caolinita.
- Al combinar ciertos minerales con el agua se produce la llamada hidratación, es decir se forman los hidratos, al absorberse el agua se combina químicamente dando lugar a los nuevos minerales.
- Mientras que la oxidación se produce cuando llueve, mediante la humedad el oxígeno del aire reacciona produciéndose la oxidación mayormente en las rocas que presentan hierro en su composición, una manera de detectarlo es observando en las afloraciones el color rojizo. (Crespo, 2004).

#### **2.2.1.2. Tipos de suelos**

Crespo Villalaz, 2004, menciona que los suelos inorgánicos que se quedaron en el mismo lugar son los llamados residuales, mientras que si han sido trasladados de lugar se les llama suelos transportados lo cual pudo haber sucedido por el agua, la gravedad, los glaciales o el viento. Por su parte, los suelos orgánicos son formados in situ, como descomposición de la materia orgánica. Un ejemplo de ello son las turbas, las cuales posteriormente se convierten en carbón.

Durante la planificación, diseño y construcción de cimentaciones, terraplenes y estructuras de retención, los ingenieros deben conocer el origen de los depósitos de los suelos sobre los que se construirán las cimentaciones debido a que cada depósito de suelos tiene atributos físicos propios y únicos. (Braja, 2001).

Al momento de realizar las excavaciones para los cimientos de las obras, a menudo nos encontramos con suelos de fundación muy diversos, para identificarlos se utilizan generalmente los siguientes nombres:

- ✓ **Arcillas** Son las partículas sólidas con diámetro menor a 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua. Su estructura es generalmente cristalina y complicada, además cuenta con sus átomos dispuestos en forma laminar. Las arcillas, en general al ser plásticas, se contraen al secarse, tienen una alta cohesión de acuerdo al grado de humedad, son además compresibles, se comprimen lentamente al aplicarles una carga superficial. (Crespo, 2004).
- ✓ **Limos** Este tipo de suelo posee muy poca o ninguna plasticidad, además de tener granos muy finos. Los limos sueltos y saturados son absolutamente inadecuados para las cimentaciones. Por otro lado, los limos poseen una permeabilidad muy baja y su compresibilidad es muy alta. El diámetro de sus partículas varía entre 0.005 mm y 0.05 mm. (Crespo, 2004).
- ✓ **Arenas** Son materiales de granos finos, los cuales proceden de la denudación de las rocas, así como también pueden proceder de la trituración artificial. Las partículas de las arenas varían entre 0.05 mm y 2 mm de diámetro. (Crespo, 2004).
- ✓ **Gravas** Poseen más de 2 mm de diámetro, cuando estas son acarreadas por las aguas, sufren un desgaste de sus aristas obteniendo una forma redondeada y suelen encontrarse en los conos de deyección de los ríos. (Crespo, 2004).

### 2.2.2. Obtención de las muestras del suelo

Según Villalaz (2004), cuando se tiene que determinar las propiedades de un suelo en específico en el laboratorio, es necesario contar con las muestras más representativas de dicho suelo. Para lo cual es preciso contar con un muestreo

representativo y adecuado, teniendo en cuenta que esto es tan importante como los ensayos en sí.

Un análisis de la muestra solamente será aplicable a la muestra propia mas no al material del cual procede, a menos que tal muestra que se obtuvo sea totalmente representativa de los materiales que se va a utilizar, por esta razón surge la necesidad de que el personal que realice el muestreo sea el más idóneo y especialista en su trabajo.

Las muestras pueden ser de dos tipos: muestras alteradas e inalteradas; la primera se refiere a que una muestra es alterada cuando no preserva las condiciones que tenía cuando estaba en el terreno de procedencia, mientras que la muestra inalterada si guarda las mismas condiciones que tenía cuando se encontraba en el terreno original. (Villalaz, 2004).

**A. Muestras alteradas:** El muestreo para la obtención de las muestras alteradas se debe realizar según el propósito que se persigue; en la toma de muestras individuales en sondeo a cielo abierto, es decir en una calicata, se efectúa de la siguiente manera:

- Se debe acondicionar una superficie fresca del suelo, rebajando la parte suelta y seca.
- Tomar una muestra de cada capa del suelo y colocarlo en un recipiente, asignarle una tarjeta de identificación.
- Trasladar las muestras al laboratorio para su análisis respectivo, estas deben estar contenidas en bolsas.

**B. Muestras inalteradas:** En el caso de la obtención de las muestras inalteradas se tiene que cortar una determinada porción del terreno a analizar, dicha porción es del tamaño adecuado según los ensayos que se le va a aplicar. Se debe cubrir con parafina y empaquetarlo adecuadamente con el fin de evitar la pérdida de humedad natural.

Al inicio de todo el procedimiento para obtener una muestra inalterada se procede a ubicar una superficie plana, limpiar la parte superior de cualquier maleza o vegetación, eliminar el terreno orgánico de la parte superior, excavar la calicata de acuerdo a las dimensiones necesarias, posteriormente se extrae la muestra de acuerdo a los siguientes pasos:

- Inicialmente limpiar el terreno alrededor de la muestra y procurarle una superficie lisa, posteriormente se marca el contorno de la porción a extraer.
- Excavar alrededor de dicha porción una zanja. Se ahonda la excavación y posteriormente cortar los lados de la porción definida, utilizando un cuchillo que sea de hoja delgada.
- Cortar con el cuchillo a la porción de muestra y proceder a extraerla del hoyo que se venía excavando alrededor.
- La porción extraída cuenta con una de sus caras que coincide con el nivel del terreno. Se debe marcar dicha cara dado que esto indicará la posición original que tenía la muestra en el terreno.
- Luego se achaflana cada una de las aristas de la muestra e inmediatamente colocarle con una brocha la parafina caliente dispuesta en tres capas.
- En el caso en que la muestra no sea utilizada con prontitud, esta necesitará una protección adicional a las tres capas de parafina, para esto se puede utilizar una tela blanda, se lo envuelve y amarra con un cordel, posteriormente se sumerge a toda la muestra en parafina fundida.
- Se debe sumergir varias veces hasta que alcance un espesor de 3 mm, con esto se garantiza su impermeabilidad frente a la humedad del exterior, ya que esta muestra inalterada se transporta al laboratorio para sus respectivos ensayos.

Villalaz (2004), afirma que el uso de pozos a cielo abierto, es decir las calicatas, siempre ofrecen una información correcta, pero se limitan en dar información sólo hasta donde llega su profundidad, dado que nos permite una inspección visual de los estratos del suelo, pero mayormente en las investigaciones del terreno es necesario se deben hacer a mayores profundidades, para tener resultados más satisfactorios.

### **2.2.2.1. Profundidad de la perforación y perfil del suelo**

La profundidad hasta la que se debe investigar un terreno se puede determinar de acuerdo al tipo de suelo, al tamaño de la estructura, así como al peso que esta transmitirá al terreno; dado que no existen unas reglas definitivas que establezcan la profundidad de perforación, se puede basar en los criterios antes mencionados.

De igual manera deben considerarse los esfuerzos desarrollados en el suelo, ya que estos dependen de las cargas provenientes de la estructura.

De acuerdo a Villalaz (2004), las profundidades de investigación que se realizan con regularidad para edificar una obra civil, normalmente llegan de 1 a 1.5 veces la menor dimensión del área cargada, es decir, estas profundidades se determinan conforme a la distribución de cargas.

El perfil de los suelos es muy importante porque nos permite conocer las características y potencia de cada estrato que se ha ido formando a través del tiempo, para ello, a medida que se ejecute la perforación se deben ir anotando las características de los estratos que se van atravesando, en lo cual se debe identificar si son arcillas, limos, arenas, gravas o una mezcla de estas; además registrar si son los granos uniformes o no, el color, aspereza, tamaño, etc. Mediante los datos anteriores y las pruebas al material se va graficando un perfil del suelo.

### **2.2.2.2. Secado y disgregación de muestras alteradas**

Dependiendo del estado de la muestra al llegar al laboratorio será necesario o no realizar su secado, cuando la muestra alterada tiene una humedad que permite una disgregación fácil, no será necesario secarla, pero si contiene demasiada humedad se hace necesario su secado, ya sea exponiéndola directamente al sol o mediante la utilización de un horno con una temperatura de 110 °C, hasta tener una masa uniforme, lo cual ocurre aproximadamente a las 24 horas, en ocasiones se puede utilizar también una estufa a bajo calor. (Villalaz, 2004).

Para realizar la disgregación se puede utilizar un mazo de madera y que tenga un peso aproximado de 1 kg. Posteriormente se procede al cuarteo, es decir, dividir la muestra del suelo en cuatro partes, mezclar los cuadrantes opuestos y se repite esta operación hasta obtener la cantidad que se utilizará en las pruebas a realizarse.

### **2.2.3. Exploración del subsuelo**

Según Braja (2015), este es un proceso que consiste en identificar las capas de depósitos hallados debajo de una determinada estructura, reconociendo sus características y propiedades físicas. La exploración del subsuelo ayuda al responsable geotécnico en lo siguiente:

- Sirve para seleccionar la profundidad de cimentación y la forma de esta para la estructura a edificarse en tal lugar.
- Se puede evaluar la capacidad portante del suelo bajo la cimentación.
- Estimación del asentamiento que probablemente tenga la edificación.
- Determinar si es un suelo colapsable, expansivo o si es un relleno sanitario, etc.
- Sirve además para encontrar el nivel freático en el terreno.
- Se puede predecir el empuje lateral de tierras sobre muros de contención, pilotes, entibados, etc.
- De acuerdo a las características halladas se puede establecer el método de construcción que se puede llevar a cabo.

#### **2.2.3.1. Programa de exploración del subsuelo**

Para realizar la exploración del subsuelo de debe implementar varios pasos, referentes a la recolección de información preliminar, reconocimiento del terreno y la investigación en sí. (Braja, 2015).

##### **A. Recolección de información preliminar**

Inicialmente se debe tener información de la estructura que se edificará, así como el uso que se le va a dar.

De igual manera se deben conocer las cargas que esta impondrá al suelo, de acuerdo a los códigos de diseño nacionales e internacionales aplicado según el tipo de construcción.

Con el propósito de evitar posibles contratiempos en el transcurso de la exploración, es recomendable tener una idea genérica del tipo de suelo y de la topografía de la zona, utilizando mapas cartográficos, geológicos, entre otros necesarios. (Braja, 2015).

## **B. El reconocimiento del terreno**

Según Braja (2015), el reconocimiento del terreno se trata de la inspección visual que el encargado responsable de la exploración debe hacer para asegurarse de las características principales, tales como:

- ✓ La topografía del lugar, zanjas de utilizadas como drenaje en la zona, cualquier evidencia de deslizamientos.
- ✓ Estratos del suelo, se pueden observar en las construcciones aledañas como la construcción de carretera en el lugar.
- ✓ La vegetación del lugar, ya que esto indica también la naturaleza del suelo.
- ✓ Si hay alguna marca alta de agua en las edificaciones aledañas o en los pilares de puentes existentes en el lugar de exploración.
- ✓ Observación de los pozos cercanos para determinar los niveles de aguas subterráneas.
- ✓ Problemas en las construcciones del lugar, como grietas u otros.

## **C. Perforación del terreno**

Esto consiste primeramente en la planificación, el barrenado y la recolección de muestras para ser llevados al laboratorio.

Para hacer la perforación primeramente se debe determinar la profundidad, pero esta puede ser cambiada durante el proceso, pues depende mucho del tipo de subsuelo encontrado.

Según la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (1972), para una perforación se debe tener en cuenta el esfuerzo neto que la edificación transmitirá al suelo, así como estimar la variación del esfuerzo vertical.

Debido a que las estructuras son lagunas de oxidación, la profundidad a realizarse la perforación puede llegar a 3.5 m o menor a esta.

### **2.2.3.2. Perforaciones exploratorias**

El método empleado en esta investigación es el más simple mediante barrena, como la excavación es menor de 3 m se puede hacerlo de manera manual, por tratarse en este caso de estructuras pequeñas.

El personal encargado de realizar la perforación puede notar cambios en la velocidad y sonido de la perforación, esto se debe al cambio de tipo de suelo. En necesario detener la perforación durante intervalos en los cuales se obtendrán las muestras del suelo y a la vez para hacerle otras operaciones necesarias como la prueba de penetración estándar SPT.

### **2.2.3.3. Muestreo mediante tubo muestreador**

Las muestras que se pueden obtener durante una exploración del subsuelo son muestras alteradas e inalteradas. De las alteradas generalmente se hacen las siguientes pruebas: Análisis Granulométrico, Peso específico, Límites de Atterberg, etc.

Al tener una profundidad determinada, las herramientas de perforación son retiradas y se introduce el muestreador en la parte inferior del pozo perforado y es introducido en el suelo mediante un martillo con golpes en la parte superior de la barra de perforación. (Braja, 2015).

#### 2.2.4. Capacidad portante de los suelos

Usualmente las cimentaciones para soportar estructuras o equipos son diseñadas con el criterio de soportar ciertos requerimientos previos de servicio y resistencia.

De acuerdo a estas condiciones la cimentación se debe comportar satisfactoriamente y no fallará (cuando la capacidad portante del suelo resiste la presión inducida por la estructura), si las condiciones de carga son normales de forma tal que satisfaga los propósitos del diseño de las estructuras. (Arévalo, 2008).

El primero en presentar una teoría completa sobre la evaluación de la capacidad de carga última de cimentaciones superficiales fue Terzaghi (1943), de acuerdo a su teoría, una cimentación es superficial si la profundidad es menor o igual que el ancho de la misma, sin embargo, investigadores posteriores sugieren que cimentaciones con una profundidad igual a 3 ó 4 veces el ancho de la cimentación pueden ser también consideradas como cimentaciones superficiales. (Braja, 2001).

Para expresar la capacidad última, Terzaghi (1943), mediante un análisis de equilibrio, planteó la siguiente ecuación:

$$q_u = c \cdot N_c + q \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \dots\dots\dots(1)$$

De la ecuación (1) se describe a continuación cada una de las componentes:

$N_c, N_q, N_\gamma$  = Son los factores de capacidad de carga.

$q = \gamma \cdot D_f$

$\gamma$  = Peso específico del suelo.

$c$  = Cohesión del suelo.

Para hallar los factores de capacidad de carga Terzaghi definió las siguientes expresiones:

$$N_c = \cot\phi \left[ \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)\tan\phi}}{2 \cdot \cos^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)} - 1 \right] = \cot\phi (N_q - 1) \dots\dots\dots(2)$$

$$N_q = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)\tan\phi}}{2 \cdot \cos^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)} \dots\dots\dots(3)$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \left( \frac{K_{p\gamma}}{\cos^2\phi} - 1 \right) \tan\phi \dots\dots\dots(4)$$

**Ecuación para el cálculo de la capacidad portante en suelos blandos**

Según la Norma E.050 del RNE (2018), la capacidad de carga es determinada mediante las fórmulas utilizadas en los estudios de mecánica de suelos.

En el caso de suelos blandos del tipo limosos o arcillosos, se emplea un ángulo de fricción interna igual a cero ( $\Phi = 0$ ). Las fórmulas utilizadas para el cálculo de la capacidad portante en este reglamento están referenciadas a Bowles, Joseph E. (1996) Foundation Analysis and Design. New York: Mc Graw – Hill Book Co.

$$q_u = S_c \cdot i_c \cdot C \cdot N_c \dots\dots\dots(5)$$

Teniendo:  $S_c = 1 + 0.2 \frac{B}{L} \dots\dots\dots(6)$

$$i_c = \left( 1 - \frac{\alpha}{90^\circ} \right)^2 \dots\dots\dots(7)$$

Donde:  $q_u$ : Capacidad de carga última.

$S_c$ : Coeficiente de corrección por la forma de cimentación.

$i_c$ : Coeficiente de corrección por inclinación de carga.

$C$ : Cohesión del suelo.

$N_c$ : Coeficiente de capacidad de carga,  $N_c = 5.14$

$B$ : Ancho de la cimentación.

$L$ : Largo de la cimentación.

$\alpha$ : Ángulo que hace la carga con la vertical.

Para hallar la capacidad portante admisible del terreno, se deberá afectar a la ecuación (5) por el factor de seguridad correspondiente, se recomienda un factor de seguridad  $FS = 3$ .

## **2.2.5. Métodos de ensayo para determinar la capacidad portante**

### **2.2.5.1. Método de ensayo de corte directo**

Para realizar este ensayo es necesaria una caja metálica, dentro de la cual se coloca la muestra del suelo a ensayar. Cabe precisar que en esta investigación todas las muestras fueron solamente circulares.

Los esfuerzos de cizalladura y los desplazamientos no se distribuyen uniformemente dentro del suelo y no se puede definir una altura apropiada para el cálculo de las deformaciones por cizalladura. En consecuencia, a partir de este ensayo no pueden determinarse las relaciones esfuerzo-deformación o cualquier otro valor asociado, como el módulo de cizalladura.

Las condiciones del ensayo, incluyendo los esfuerzos normales y la humedad, son seleccionadas para representar las condiciones de campo que se investigan.

La velocidad de deformación debe ser lo suficientemente lenta para asegurar las condiciones de drenaje equivalentes a una presión intersticial nula. (Unalmed, 2001).

Se le aplica horizontalmente una fuerza normal a la muestra desde la parte superior de la caja de corte, moviendo una mitad de la caja con respecto a la otra, generando de esta manera una falla por corte, cabe resaltar que el esfuerzo aplicado a la muestra puede llegar a los 1000 kN/m<sup>2</sup>. (Braja, 2015).

El método para realizar el ensayo de corte directo realizado en este estudio se describe a continuación:

- ✓ **Prueba de deformación controlada:** Se aplica una velocidad constante para la deformación por corte a la mitad de la caja de prueba, esto se logra mediante engranajes adecuados y el motor del equipo, a medida que avanza la prueba se mide la resistencia al corte de suelo por cizalladura mediante una celda de carga o con un anillo de prueba horizontal. (Braja, 2015).

Teniendo una muestra de suelo seco, se puede calcular el esfuerzo normal mediante la siguiente expresión:

$$\sigma = \sigma' = \text{Esfuerzo normal} = \frac{\text{Fuerza normal}}{\text{Área de la sección transversal de la muestra}} \dots\dots\dots(8)$$

Asimismo, también podemos calcular el esfuerzo cortante para la muestra del suelo, de acuerdo a lo siguiente:

$$\tau = \text{Esfuerzo cortante} = \frac{\text{Resistencia al esfuerzo de corte}}{\text{Área de la sección transversal de la muestra}} \dots\dots\dots(9)$$

Se realiza la prueba drenada de la muestra con una velocidad suficientemente lenta, tal que sea la necesaria como para hacer que el exceso de presión del agua

intersticial sea drenado, para lograr un fácil drenado se colocan dos rocas porosas en los extremos de la muestra. (Braja, 2015).

Los suelos finos presentan una conductividad hidráulica demasiado pequeña en comparación con la arena. En este sentido, al aplicar una carga normal a la muestra de arcilla se debe esperar un lapso de tiempo hasta que elimine todo exceso de presión del agua intersticial y así logre su consolidación completa. Debido a esto, se le tendrá que aplicar una carga de corte bastante lenta, estudios anteriores demuestran que este proceso puede durar entre 2 a 5 días. (Braja, 2015).

En la prueba de corte directo normalmente al suelo no se le está permitido de fallar en su plano más débil, debido a su confinamiento en la caja de prueba. Pero si se le obliga a fallar en el plano coincidente con la división de la caja de corte.

Por otro lado, teniendo en cuenta la distribución del esfuerzo cortante no es del todo uniforme sobre el plano de falla.

Pese a estos minúsculos imprevistos, la prueba de corte directo sobresale frente a otras pruebas en cuanto a su economía y simplicidad.

#### **2.2.5.1.1. Proceso del ensayo de corte directo**

Este ensayo se ha regularizado según la Norma ASTM – D3080 y principalmente se siguen los siguientes pasos:

- Colocar la muestra de ensayo dentro de la caja metálica circular, para luego proceder a su cizalladura mediante la aplicación de un esfuerzo normal adecuado.
- Humedecer o drenar la muestra de ensayo, en ciertos casos pueden ser ambas cosas.
- Realizar la consolidación del espécimen de ensayo, bajo el esfuerzo normal que se le aplica. Cabe especificar que en esta investigación si se realizó la consolidación.

- Se suelta los marcos que contienen a la muestra.
- Deslizar un marco de forma horizontal respecto al otro marco, controlando que la velocidad de deformación que sea constante.
- Luego se mide la fuerza de cizalladura.
- Así como también se mide los desplazamientos horizontales, a medida que se va cizallando la muestra.

#### **A. Mecanismos de aplicación de la fuerza normal**

En la aplicación de este ensayo para determinar la capacidad de carga de un suelo se tiene en cuenta el siguiente mecanismo:

- *Mecanismo de cizallamiento:* Se controla una cizalladura a una velocidad uniforme de desplazamiento, se puede aceptar una desviación menor de  $\pm 5\%$ , este mecanismo debe permitir ajustar la velocidad de deformación desde 0.0025 a 1.0 mm/min.
- *El peso de la parte superior de la caja:* Este es ser menor del 1% del peso de la fuerza normal que se le está aplicando, en ciertos casos esto puede requerir aplicarle una fuerza vertical que lo levante.
- *Instrumento para medir la fuerza de cizalladura:* En este caso se utiliza una celda o un anillo de carga, el cual debe tener una precisión de 2.5 N, equivalente al 1% de la carga de cizallamiento en condiciones de ruptura.
- *El soporte de la caja de cizalladura:* Es necesario para tal fin, un marco metálico que sirva de soporte a la caja de cizalladura y permita una reacción en contra del movimiento de la parte deslizable de la caja.
- *Anillo de corte:* Utilizados para recortar la muestra del suelo a un tamaño que sea mayor a las dimensiones de la caja, evitando cualquier alteración.

- *Indicadores de deformación:* Miden el cambio de espesor del espécimen de ensayo, para lo cual deben tener una sensibilidad de 0.002 mm y medir desplazamientos horizontales con una sensibilidad de 0.02 mm.
- *Instrumentos para la preparación de la muestra:* Son herramientas complementarias pero necesarias, como espátula, enrasador, cuchillo, agua destilada, cronómetro.

## **B. Equipo utilizado para el ensayo de corte directo**

Se hace referencia principalmente al aparato para realizar el cizallamiento, a la caja de cizalladura y a los bloques de piedra porosa que permiten el drenaje; a continuación, se describe cada uno.

- *Aparato para realizar el cizallamiento:* Es un instrumento diseñado para contener la muestra de manera segura mientras se le aplica una carga, debe permitir medir el cambio de volumen y permitir el drenaje de la muestra. Debe ser de un material metálico como acero inoxidable, aluminio o bronce.
- *La caja de cizalladura:* en este estudio la caja es circular, de acero inoxidable, aluminio o bronce; debe contar en su parte superior e inferior con dispositivos de drenaje. Está dividida en dos partes por un plano de corte horizontal, el espacio entre las partes se ajusta con tornillos de separación.
- *Bloques de piedra porosa:* Utilizados para drenar la muestra en la parte superior e inferior, estos bloques deben estar libres de corrosión. Deben ser más permeables que el suelo, el diámetro del bloque para la parte superior debe tener una dimensión de 0.2 a 0.5 mm menos que la medida interior de la caja.

## **C. Preparación de la muestra**

La muestra debe ser lo suficientemente grande para obtener por lo menos tres especímenes de similar característica. Es recomendable mantenerlos en un ambiente de humedad y temperatura controlada, tener cuidado con los especímenes inalterados del suelo para prevenir cualquier alteración, asimismo se determina la masa y el contenido de humedad inicial.

Para los especímenes circulares, la dimensión será su diámetro y con un espesor mínimo inicial de 12 mm, la relación entre diámetro y espesor debe ser de 2:1 aproximadamente.

*Preparación de muestras inalteradas:* Se preparan a partir de muestras grandes inalteradas, estas deben ser transportadas y preservadas cuidadosamente, se obtiene los especímenes con una temperatura que evite la pérdida de humedad que contenía el suelo inicialmente.

### **2.2.5.2. Método de ensayo de penetración estándar (SPT)**

El ensayo de penetración estándar (SPT de las siglas inglesas Standart Penetration Test) es uno de los ensayos de mayor uso a nivel mundial, nació mediante la idea de contabilizar el número de golpes que se necesita para hincar 1 pie el tomamuestras.

Posteriormente Terzaghi y Peck (1948), realizaron numerosos ensayos para publicar sus resultados en el libro Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica. Ahora es uno de los métodos más extendidos y uno de los cuales se realizan más investigaciones. (Devincenzi y Frank, 2004).

Este ensayo es simple, puede ser utilizado en cualquier tipo de suelo, hasta en rocas blandas o meteorizadas. Los resultados de este ensayo se correlacionan con las propiedades in situ del terreno. En la actualidad la mayoría de datos correlacionados utilizando este método son para arenas, dado que es muy recomendado en este tipo de terrenos.

Para la realización del ensayo de penetración estándar (SPT), se ejecuta un taladro hasta la profundidad indicada del proyecto, posteriormente en el fondo se introduce un tomamuestras el cual consta de tres partes: zapata, tubo bipartido y cabeza de acoplamiento.

El ensayo SPT cuenta con un recorrido limitado a la longitud del tomamuestras (la hincada se limita a 45 cm o a 60 cm) por lo que se ejecuta en el fondo de la perforación durante la realización de un sondeo geotécnico.

Devincenci y Frank (2004), describen el procedimiento indicando que se debe contar el número de golpes necesarios para hincar tramos de 15 cm, mediante una masa de 63.5 kg, la cual cae desde una altura de 76.2 cm, esto equivale a un trabajo de 0.5 kJ por cada golpe.

Posiblemente ocurra un derrumbe en la pared del sondeo, por esto no se debe tener en cuenta la lectura del golpeo del primer tramo y si podría haber ocurrido una compactación del suelo tampoco se tiene en cuenta la lectura del golpeo del último tramo de la prueba. Mediante los valores de golpeo de los tramos centrales de 15 cm nos lleva al parámetro  $N_{30SPT}$  o  $N_{SPT}$  el cual es la resistencia a la penetración estándar del suelo.

El tomamuestras también hace posible la toma de muestras alteradas para posibilitar su posterior identificación.

La prueba del SPT culmina cuando se han aplicado 50 golpes en un tramo de 15 cm, cuando se llega a los 100 golpes en total o cuando no hay ninguna penetración durante 10 golpes, a menos que se trate de una parte de grava se insistirá con los golpes. (Devincenzi y Frank, 2004).

Una vez realizado el ensayo, se recupera el tomamuestras, del cual se obtiene una muestra representativa (siempre que la granulometría del terreno sea tal que no quede falseada por el diámetro de la cuchara). Conforme a las indicaciones del Eurocódigo 7 (parte 3) para realizar un uso adecuado del valor obtenido del ensayo,

el mismo debe ser corregido en función de la profundidad a la que se realiza el ensayo, de la eficiencia del dispositivo de golpeo respecto a la eficiencia estándar (estimada del 60 % de la energía cinética teórica), de la situación del nivel freático, así como de otras particularidades del procedimiento de realización. (Frankie, 2020).

Como en toda prueba, hay ciertas variables que afectan los resultados obtenidos del  $N_{SPT}$ , algunos de ellos son mencionados a continuación:

- Acondicionamiento y calidad del sondaje a realizar.
- Dispositivo para realizar el golpeo.
- Diámetro del sondaje.
- Longitud del varillaje.
- Pandeo del varillaje.

El método de ensayo de penetración estándar, presenta algunas formas de corregir sus resultados, ya que ciertos factores independientes al ensayo pueden producir distorsiones, las correcciones del  $N_{SPT}$  son los siguientes:

- **Corrección por nivel freático** Si el terreno se trata de arenas gruesas o gravas los resultados no se verán afectados incluso cuando el suelo esté saturado, por el contrario, si se trata de arenas finas y limos es necesaria una corrección, ya que la resistencia al corte se reduce durante el proceso de golpeo, para ello, Terzaghi y Peck recomiendan para los valores con  $N > 15$ , utilizar la siguiente relación:

$$N = 15 + \frac{N^i - 15}{2} \dots\dots\dots(10)$$

- **Corrección por la presión de confinamiento** Gibbs y Holtz (1957), afirman que cuando existe una sobrecarga debido al peso del suelo el valor de  $N$  tiene ciertas variaciones, debido a esto se lo debe normalizar refiriéndolo a un valor unitario de la presión efectiva vertical  $\sigma'v = 1kp/cm^2$ , con el propósito de comparar distintos ensayos a varias profundidades.

$$(N_1)_{60} = C_N * N_{60} \dots\dots\dots(11)$$

Siendo  $C_N$  el factor de corrección, el cual depende de la presión vertical  $\sigma'v$ , Liao y Whitman (1986), analizaron diferentes valores de  $C_N$ , diferenciando que intervienen factores conscientes y factores inconscientes en su determinación.

$$C_N = \frac{1}{\sigma'v^n} \dots\dots\dots(12)$$

Teniendo que:  $n = 0.5$ .

Para calcular la presión admisible en las cimentaciones superficiales en base al  $N_{SPT}$  se propusieron varios métodos, los cuales se basan en algunos análisis retrospectivos de asentamientos estructurales, relacionando el asiento, la carga de trabajo y el ancho del cimientto. A continuación de mencionan algunos métodos:

- **Método de Terzaghi y Peck, 1948** Inicialmente estas relaciones fueron presentadas en ábacos, correspondiendo a un asentamiento máximo de 2.5 cm. Posteriormente se realizaron diversas correcciones tratando de hacerlas más realistas.

$$q_{adm} = 2.54 \left( \frac{N}{7.62} \right) \left( \frac{B+0.3}{2B} \right)^2 \dots\dots\dots(13)$$

### 2.2.5.2.1. Proceso del ensayo de penetración estándar

El método de ensayo de penetración estándar está sustentado de acuerdo a la Norma ASTM – D1586 y básicamente se fundamenta en determinar  $N$ , es decir contar el número de golpes que se necesitan para hincar un sacamuestras normalizado a una profundidad de 1 pie en el suelo, esto se logra mediante la caída de una masa de 63.5 kg soltada desde una altura de 76.2 cm. Principalmente se siguen los siguientes pasos:

- Limpiar bien la parte del suelo donde se introducirá el muestreador del SPT.
- Ajustar con mucho cuidado el muestreador al suelo y también a la barra que sirve de guía a la masa que cae.
- Empezar a golpear la cabeza de la barra con la finalidad de que el sacamuestras penetre los primeros 15 cm en el suelo de ensayo.
- Una vez que se ha introducido los 15 cm a partir de ese momento se cuenta N, es decir el número de golpes para que el sacamuestras penetre aproximadamente 1 pie de profundidad más.
- Posteriormente se extrae el sacamuestras y se recolecta la muestra que ha recogido en su interior para su análisis.

Este método de ensayo es ampliamente difundido en exploraciones geotécnicas de los proyectos civiles, dada su simplicidad, sumado a ello tiene un bajo costo, ayuda a obtener muestras representativas del suelo, puede penetrar capas densas del suelo y arenas gruesas, además presenta una vasta aplicación en todo lugar ya que se puede utilizar en todo tipo de suelos, siempre que dicho suelo presente un bajo contenido de gravas.

#### **A. Aplicabilidad del ensayo SPT**

Según Abad (2011), el ensayo de penetración estándar presenta la siguiente aplicabilidad, expresada en términos de intensidad alta, moderada, limitada y nula; a continuación, se presentan algunos parámetros del suelo en los que tiene el ensayo SPT tiene cierto nivel de aplicabilidad:

- ✓ *Resistencia a la licuefacción:* Intensidad alta de aplicabilidad, es recomendable utilizar SPT para este parámetro.
- ✓ *Tipo de suelo:* Intensidad moderada.
- ✓ *Perfil estratigráfico:* Intensidad Moderada.
- ✓ *Densidad relativa:* Intensidad moderada.
- ✓ *Ángulo de fricción:* Su aplicabilidad es muy limitada para este parámetro.
- ✓ *Resistencia al corte:* Tiene una aplicabilidad limitada.
- ✓ *Compresibilidad:* Intensidad limitada, no se utiliza SPT.

- ✓ *Consolidación*: Su aplicación para este parámetro es nula.
- ✓ *Permeabilidad*: No se aplica para este parámetro.

## **B. Equipo utilizado para el ensayo SPT**

Este ensayo mediante el cual se conocen los parámetros de resistencia del suelo es realizado in situ, para lo cual se utiliza los siguientes componentes como parte del equipo:

- Sacamuestras que cuente con un diámetro interno de 1 3/8" o su equivalente a 35 mm.
- Sacamuestras con un diámetro externo de 2" o equivalente a 50 mm.
- Masa de 63.5 kg, la cual originará el hincamiento del sacamuestras en el suelo.
- Variante con diámetro interno de 38 mm.
- Tubo portamuestras, el cual debe tener un diámetro interno final de 35 mm.
- Cabeza de golpeo, construida con un metal resistente al impacto.
- Barras de sondeo.
- Mecanismo de liberación del martinete, este mecanismo funciona mediante una soga y un malacate.
- Cabe mencionar que la altura de caída para la masa debe ser de 76.2 cm.

### **2.2.6. Características físicas y mecánicas de los suelos**

#### **2.2.6.1. Contenido de humedad**

Esta propiedad física del suelo es de gran utilidad en la construcción civil y se obtiene de una manera sencilla, pues el comportamiento y la resistencia de los suelos en la construcción están regidos por la cantidad de agua que contiene. (Braja, 2012).

Es un indicador complementario y necesario en numerosos análisis de suelos, este ha sido expresado tradicionalmente como la proporción de la masa de humedad con respecto a la masa de la muestra de suelo después de que ha sido secada a un peso

constante, también se conoce como el volumen de humedad respecto al volumen total de la muestra de suelo.

Para realizar cálculos de contenido de humedad con base en el volumen se requiere una medida correcta de la densidad aparente del suelo, dada la variabilidad espacial y temporal de los niveles de humedad en el suelo, se recomienda tomar un gran número de muestras repetidas.

En términos de pesos, el contenido de humedad se expresa como el porcentaje que relaciona el peso del agua  $W_w$  contenida en la masa del suelo y el peso de la cantidad de sólidos en esa misma cantidad de muestra de suelo. (Fratelli, 1993).

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \dots\dots\dots(14)$$

Donde:

$W$  = Contenido de humedad del suelo.

$W_w$  = Peso del agua contenida en la masa del suelo.

$W_s$  = Peso de los sólidos en la masa del suelo.

### 2.2.6.2. Límites de Atterberg

Cuando se tiene una muestra de suelo del tipo arcilloso y este posteriormente se mezcla con una cantidad excesiva de agua, se tiene como consecuencia que el suelo puede fluir como un semilíquido, asimismo si esta muestra de suelo mezclado con agua es secada gradualmente se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, es decir va dependiendo de su contenido de agua.

Cuando el suelo pasa de un estado líquido a un estado plástico se define como Límite Líquido (LL), igualmente los contenidos de agua con el que el suelo cambia de un estado plástico a un semisólido y de un semisólido a un sólido se definen como el Límite Plástico (PL) y el Límite de Contracción (SL), respectivamente. (Braja, 2012).

- **Límite Líquido** Para determinar el Límite Líquido de un suelo se utiliza la copa de Casagrande, según la Norma ASTM D – 4318. El cual es definido como el contenido de agua para encerrar una ranura de 12.7 mm, aplicando 25 golpes.
- **Límite Plástico** Este es definido como el contenido de agua con el cual el suelo se empieza a agrietar luego de formar un rollito de 3.18 mm de diámetro. Este ensayo está según la Norma ASTM D – 4318.
- **Límite de Contracción** Se define como la cantidad precisa de agua con la cual el suelo no pierde su volumen al disminuir la cantidad de agua. Se contempla en la Norma ASTM D – 427.

Por su parte el Índice de Plasticidad (PI) viene a ser la diferencia entre el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP).

### 2.2.6.3. Granulometría

En cualquier masa de suelo, los granos tienen un tamaño que varía considerablemente, Para clasificar adecuadamente un suelo se debe conocer bien su distribución granulométrica, si es un suelo de grano grueso se determina mediante mallas, mientras que para un suelo de grano fino la distribución granulométrica se obtiene mediante el hidrómetro. (Braja, 2012).

Conocer la composición granulométrica de un suelo es necesaria para estimar la influencia que tendrá la densidad al ser compactado.

Al conocer la granulometría de un determinado suelo se tendrán presente los porcentajes de cada tamaño de granos que lo conforman, en los casos que se tenga una muestra de suelo de grano grueso el método más utilizado es el tamizado, pero cuando es una muestra que presenta granos finos el tamizado se complica, entonces se tiene que utilizar procedimientos mediante la sedimentación. (Crespo, 2004).

Determinada la composición granulométrica se procede a graficar los resultados, con el fin de contar con la curva granulométrica. A continuación, se presenta el procedimiento para realizar la granulometría, según sea la muestra del suelo de grano grueso o fino:

#### ✓ **Análisis granulométrico por mallas**

Este se efectúa tomando una cantidad medida de suelo seco bien pulverizado y pasándolo a través de una serie de mallas cada vez más pequeñas y con una charola en el fondo.

La cantidad de suelo retenido en cada malla se mide y el por ciento de suelo que pasa a través de cada malla es graficado en papel semilogarítmico. (Braja, 2012).

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Peso específico** Representa la relación entre el peso del suelo y su volumen, la parte sólida del suelo está conformada por partículas formando cierto tipo de estructura porosa, su análisis ha demostrado que el peso específico varía poco de un tipo de suelo a otro. (Leoni, 2015).
- **Cohesión** Es la capacidad del suelo para resistir tensiones tangenciales o de corte, es decir presenta una resistencia al desplazamiento relativo de partículas adyacentes dentro de la masa del suelo. (Leoni, 2015).
- **Ángulo de fricción** Propiedad que presentan los suelos, a la cual se le relaciona con el máximo ángulo posible de pendiente de un suelo manteniéndose en reposo. (Bustabad, 1980).
- **Ensayo de corte directo** Ensayo utilizado para hallar la capacidad portante del suelo, a partir de las propiedades del terreno como son la cohesión y el ángulo de fricción interno. (Fernández, 2015).

- **Ensayo de penetración estándar** Es un ensayo utilizado para establecer la resistencia del suelo, es del tipo de penetración dinámica, que mediante sondeos determina el número de golpes, con lo cual se halla dicha resistencia (Fernández, 2015).

**CAPÍTULO III.**  
**MATERIALES Y MÉTODOS**

---

### **CAPÍTULO III.**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

##### **3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación se encuentra ubicada en el caserío Pashul, distrito de Jesús, provincia y región de Cajamarca – Perú.

##### Coordenadas UTM:

Este: 788268.32 m

Norte: 9198658.24 m

Altitud: 2509 msnm

##### Clima:

El clima de la zona en estudio está definido por un verano fresco y parcialmente nublado, el invierno es frío y lluvioso. Durante el transcurso del año la temperatura en la zona generalmente varía de 5°C a 19°C.

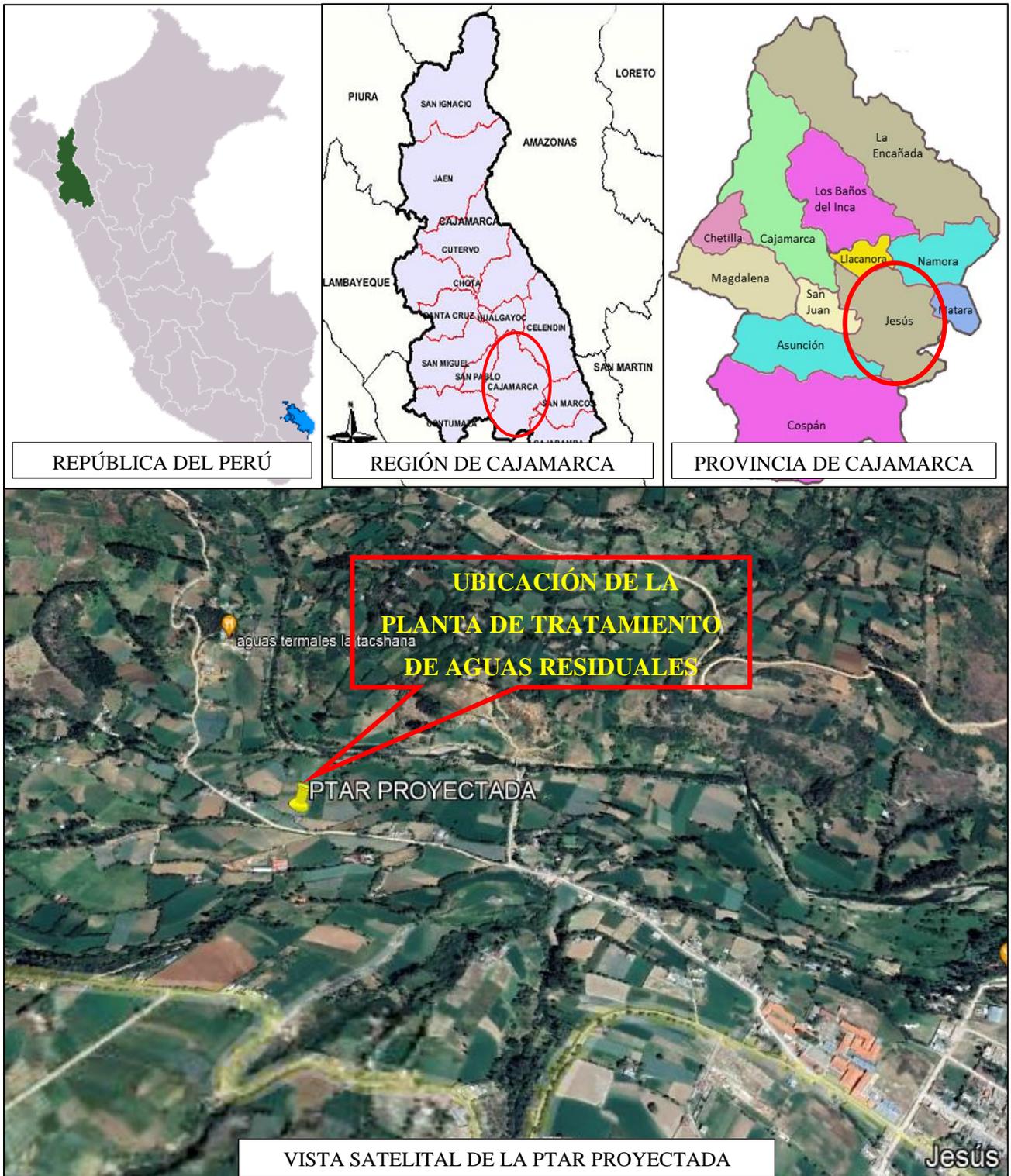
El ámbito de influencia del proyecto de saneamiento rural para el cual se está realizando el estudio de la capacidad portante del suelo de fundación, se encuentra en la región Quechua. Esta región natural se encuentra entre los 2300 y 3500 msnm, presenta un clima templado con lluvias estivales y un relieve con valles, en general el clima es templado y agradable.

##### Hidrología:

El sistema hidrológico en la zona y en general en Cajamarca está conformado por ríos con un régimen de escurrimiento bastante irregular y de carácter torrencioso, tienen su nacimiento en los Andes, su desembocadura es en el Océano Pacífico y en el Océano Atlántico.

Los ríos de la vertiente del Pacífico tienen una descarga irregular de sus aguas, se estima que los meses de concentración son de diciembre a marzo, donde discurre entre el 60% y 70% de la descarga total anual.

**Figura 3.1.** Ubicación geográfica de la investigación.



### **3.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación fue realizada en el mes de abril del 2022, durante el cual se realizaron los ensayos, para posteriormente elaborar el informe final.

### **3.3. PROCEDIMIENTO**

El procedimiento de la presente tesis conduce a detallar la capacidad portante del suelo de fundación para las lagunas de oxidación del proyecto de saneamiento rural en el caserío Pashul, distrito de Jesús, provincia de Cajamarca.

Para tal propósito se ejecutaron dos métodos de ensayos orientados a la determinación de la capacidad portante y así poder establecer cuál de estos da los valores más realistas, además se realizaron los trabajos de campo y laboratorio pertinentes para conocer las propiedades físicas y mecánicas de dicho suelo. Conociendo tales propiedades geotécnicas se puede proyectar con mayor confianza las cimentaciones, es decir, hacerlas más confiables frente a cualquier posibilidad de falla.

Con el fin de concretar los objetivos propuestos, fueron realizadas las exploraciones geotécnicas en la zona, conjuntamente con sus respectivas labores de laboratorio, siguiendo las siguientes etapas:

- ✓ Elección del lugar de las calicatas.
- ✓ Excavación de calicatas.
- ✓ Recolección de muestras para los ensayos de laboratorio.
- ✓ Elección del lugar de sondeo para el ensayo SPT.
- ✓ Ejecución in situ del ensayo de penetración estándar.
- ✓ Realización de trabajos de laboratorio.
- ✓ Cálculos de la capacidad portante y demás propiedades del suelo.
- ✓ Elaboración de las conclusiones de los resultados obtenidos.

### 3.3.1. Ensayos de corte directo para hallar la capacidad portante

#### 3.3.1.1. Procedimiento del ensayo de corte directo

- ✓ En este caso fueron muestras inalteradas, se colocaron los bloques porosos en los extremos libres en la caja de cizallamiento, se puso el conjunto en el soporte y se fijó la caja circular.
- ✓ Se colocó la caja que contiene al espécimen circular junto con las piedras y luego se fijó en el soporte.
- ✓ Se conectó la carga y ajustó de tal manera que no se transmitan fuerzas sobre el instrumento que mide la carga normal.
- ✓ Se conectó el instrumento que mide la deformación horizontal por cizalladura, tomando la anotación de la primera lectura.
- ✓ El bloque poroso húmedo se colocó conjuntamente con la placa de transferencia de carga ubicados en la parte superior del espécimen.
- ✓ Posteriormente se coloca un marco de fuerza horizontal, se ajusta adecuadamente ya sea este un sistema de palancas o un sistema neumático.
- ✓ Aplicando al espécimen una pequeña fuerza normal, verificando que no haya interferencias, se registró la carga horizontal y la vertical aplicadas al sistema, la carga normal debe ser de 7 kPa aproximadamente.
- ✓ Se fija y ajusta los instrumentos con los que se mide el desplazamiento lateral y el vertical. Obteniendo las lecturas iniciales de dichos desplazamientos.
- ✓ Se calcula y se registra la fuerza normal requerida para alcanzar un esfuerzo normal deseado o el incremento que sigue. Luego aplicar este esfuerzo deseado incrementando apropiadamente las masas en el extremo de la palanca y si es un sistema neumático se le incrementará la presión.
- ✓ Se aplicó al espécimen los incrementos sucesivos o la carga normal deseada y posteriormente y se registró las lecturas de la deformación normal vs el tiempo; para proseguir con los incrementos de carga se debe estar pendiente de que la consolidación primaria haya tenido lugar completamente. Se grafican los resultados del desplazamiento normal vs el logaritmo del tiempo o su raíz cuadrada, pero en minutos.
- ✓ Cuando ocurrió la consolidación primaria se retiraron los tornillos de alineamiento de la caja de cizalladura, posteriormente se abre el espaciamiento aproximadamente 0.6 mm.

- ✓ Se le aplicó la carga de cizallamiento.
- ✓ Se selecciona una adecuada velocidad de desplazamiento, cizallar el espécimen a una velocidad baja con el fin de que exista exceso de presión en los poros al momento de que ocurra la ruptura.
- ✓ Para determinar el tiempo mínimo requerido desde que empieza el ensayo hasta que sucede la ruptura, se utilizó la siguiente ecuación:

$$T_f \approx 50 T_{50} \dots\dots\dots(15)$$

Donde:

$T_f$  = Tiempo estimado hasta la ruptura. (min).

$T_{50}$  = Tiempo requerido para que el espécimen pueda alcanzar el 50% de la consolidación bajo el esfuerzo normal deseado o mediante los incrementos subsiguientes. (min).

En el caso de que la gráfica fuera del desplazamiento normal vs la raíz cuadrada del tiempo, entonces se calcula el  $T_{90}$  con el fin de comprobar el 90 de la consolidación, para lo cual se utiliza lo siguiente:

$$T_{50} \approx T_{90}/4.8 \dots\dots\dots(16)$$

Donde:

$T_{90}$  = Tiempo requerido para que el espécimen alcance el 90% de la consolidación mediante la fuerza normal especificada o los incrementos subsiguientes. (min).

4.8 = Es la constante que relaciona el desplazamiento y los factores  $T_{50}$  y  $T_{90}$ , para alcanzar el 50 y 90% de consolidación.

- ✓ Mediante el uso de la siguiente ecuación se determinó el desplazamiento:

$$D_r \approx D_f/T_f \dots\dots\dots(17)$$

Donde:

$D_r$  = Velocidad con la que ocurre el desplazamiento. (mm/min).

$D_f$  = Desplazamiento horizontal al momento de la ruptura (mm).

$T_f$  = Tiempo estimado hasta la ruptura. (min).

- ✓ Se seleccionó y se fijó la velocidad de desplazamiento, se lo puede hacer mediante la posición de las palancas y combinación de piñones o mediante el ajuste de la velocidad del motor.
- ✓ Registro del tiempo inicial, así como el desplazamiento horizontal, el desplazamiento vertical, la fuerza normal y la fuerza de cizalladura; posteriormente a esto se pone en marcha el aparato y se inicia la cizalladura.
- ✓ Se realizó la lectura del tiempo, el desplazamiento horizontal, el desplazamiento vertical y la fuerza de cizalladura a intervalos definidos de desplazamiento, estos datos deben tomarse mediante intervalos de desplazamiento equivalente al 2% de su anchura del espécimen o de su diámetro. Esto con el motivo de definir con precisión la curva de esfuerzo-desplazamiento. También en ocasiones suele ser necesario efectuar lecturas adicionales para poder identificar el valor máximo de cizalladura en el caso de materiales que se encuentran sobreconsolidados. Con el fin de mantener el espacio entre las dos piezas de la caja de cizalladura, a menudo es necesario suspender el ensayo y separar nuevamente las mitades de dicha caja.
- ✓ Una vez ocurrida la falla se procedió a detener el aparato. Puede darse que el desplazamiento al momento de la falla se encuentre entre el 15 y el 20% del ancho o diámetro del espécimen.
- ✓ Se quitó la fuerza normal, mediante el retiro de la masa que se encuentra en la palanca.
- ✓ Se fotografió y se describió por escrito la superficie de falla, esto no se hace en suelos no cohesivos.
- ✓ Finalmente se retiró el espécimen de la caja de cizalladura para posteriormente se halló su contenido de humedad.
- ✓ Se calculó y graficó el esfuerzo de cizalladura nominal vs el desplazamiento lateral relativo.

### 3.3.1.2. Cálculos del ensayo

Los cálculos de los factores referentes al método de corte directo son los siguientes:

*El esfuerzo de cizallamiento nominal aplicado al espécimen:*

$$\tau \approx F/A \dots\dots\dots(18)$$

Donde:

$\tau$  = Esfuerzo de cizalladura nominal. (kPa).

$F$  = Fuerza de cizallamiento. (N).

$A$  = Área inicial del espécimen. (cm<sup>2</sup>).

*Esfuerzo normal aplicado sobre el espécimen:*

$$\sigma_n \approx F/A \dots\dots\dots(19)$$

Donde:

$\sigma_n$  = Esfuerzo normal. (kPa).

$F$  = Fuerza vertical nominal aplicada sobre el espécimen. (N).

$A$  = Área inicial del espécimen. (cm<sup>2</sup>).

*Velocidad de desplazamiento:*

$$D_r \approx D_h/t_e \dots\dots\dots(20)$$

Donde:

$D_r$  = Velocidad real de desplazamiento. (mm/min).

$D_h$  = Desplazamiento relativo lateral. (mm).

$t_e$  = Tiempo transcurrido. (min).

Adicionalmente se calculó el contenido de humedad, el peso unitario seco, la masa total del espécimen, cabe mencionar que el volumen se determina según las dimensiones de la caja de cizallamiento y la medida del espesor del espécimen.

Se realizó el correspondiente gráfico mediante el logaritmo del tiempo o su raíz cuadrada vs la deformación respectiva por los incrementos de carga mediante los cuales se determinó el  $T_{50}$ .

De igual manera se obtuvo el gráfico del esfuerzo nominal de cizallamiento vs el desplazamiento relativo lateral expresado en porcentaje.

### **3.3.2. Ensayos de SPT para hallar la capacidad portante**

#### **3.3.2.1. Procedimiento del ensayo de SPT**

En la realización de este ensayo se presentan dos etapas bien marcadas, la primera relacionada al proceso de sondeo con el fin de realizar la limpieza de las capas superiores del suelo y la segunda corresponde a la toma de muestras y conteo de los golpes, es en si el ensayo propiamente dicho.

*Etapa correspondiente al sondeo:*

- ✓ Es la actividad inicial y consistió en perforar en suelo mediante una barrena o un taladro rotatorio inyectando agua, con el fin de expulsar los detritos del suelo.
- ✓ Para soportar las paredes de la perforación, en suelos firmes no hay que hacer mucho ya que este se mantiene por acción de arco del mismo suelo, mientras que en suelos que constan arenas debajo del nivel freático y en arcillas blandas la perforación se mantendrá firme utilizando un tubo de acero como entibado o también se lo puede rellenar con lodo de perforación.

*Etapa de muestreo:*

- ✓ Esta parte comienza cuando ya se había limpiado la perforación de sondeo. Se efectuó mediante un tomamuestras el cual, como se describió anteriormente consta de un tubo de acero con paredes gruesas que se encuentra partido longitudinalmente, tiene un anillo cortante en el extremo inferior y su parte superior está conectada a la barra de sondeo.

- ✓ Para asegurarse que la cimentación se asiente en material virgen, el tomamuestras se hincó 15 cm en suelo.
- ✓ Posteriormente haciendo uso de la masa de 63.5 kg se la dio golpes desde la altura mencionada de 76.2 cm para realizar un hincado de 30 cm, esto mediante incrementos de 15 cm.
- ✓ Se anota el número de golpes N que se necesitó para hincar el tomamuestras en cada uno de los 15 cm antes mencionados.
- ✓ Se obtuvo el registro de penetración o también llamado índice de penetración N, mediante los golpes que fueron necesarios para que el tomamuestras logre hincar los últimos 30 cm de un total de 45 cm, debido a que no se consideran los primeros 15 cm porque el suelo podría tener alguna alteración debido al sondaje que se realizó al inicio.
- ✓ Se extrajo la muestra, se clasificó y examinó sus propiedades y se almacenó en un recipiente hermético de plástico, para su posterior análisis en el laboratorio de suelos.
- ✓ Se considera que al realizar el ensayo SPT, en suelos no cohesivos la resistencia a la penetración es un indicador de la compacidad y de los suelos cohesivos indica su resistencia en sí, al tratarse de una prueba in situ del esfuerzo cortante. A continuación, se presenta unas tablas que definen la compacidad y resistencia según el tipo de suelo y el número de golpes N del ensayo SPT:

**Tabla 3.1.** Relación entre N y la compacidad de suelos no cohesivos.

| Número de golpes (N) | Compacidad relativa |
|----------------------|---------------------|
| 0 - 4                | Muy suelta          |
| 5 - 10               | Suelta              |
| 11 - 20              | Firme               |
| 21 - 30              | Muy firme           |
| 31 - 50              | Densa               |
| Más de 50            | Muy densa           |

**Fuente:** Villalaz (1980)

**Tabla 3.2.** Relación entre N y la resistencia de suelos cohesivos.

| Número de golpes (N) | Consistencia | Resistencia a la compresión simple q (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|--------------|---|
| < 2                  | Muy blanda   | < 0.25  |
| 2 - 4                | Blanda       | 0.25 - 0.50   |
| 4 - 8                | Media        | 0.50 - 1.00   |
| 8 - 15               | Firme        | 1.00 - 2.00   |
| 15 - 30              | Muy firme    | 2.00 - 4.00   |
| > 30                 | Dura         | > 4.0   |

**Fuente:** Villalaz (1980)

### 3.4. TRATAMIENTO, ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

#### 3.4.1. POBLACIÓN Y MUESTRA DEL ESTUDIO

##### 3.4.1.1. Población del estudio

Suelos del distrito de Jesús, ubicados en el sector rural y que a su vez se encuentran en la parte baja y llana de dicho distrito.

##### 3.4.1.2. Muestra

Suelo de la zona establecida para las lagunas de oxidación del proyecto sistema de saneamiento rural, teniendo específicamente como ubicación el caserío Pashul del distrito de Jesús.

#### **3.4.1.3. Unidad de análisis**

Comparación entre la capacidad portante determinada por el ensayo de corte directo y el ensayo de SPT para la cimentación de las estructuras, como son las tres lagunas de oxidación en el caserío de Pashul.

#### **3.4.1.4. Unidad de observación**

Capacidad portante del suelo de fundación para las lagunas de oxidación.

### **3.4.2. TIPO, NIVEL, DISEÑO Y MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

- La presente investigación es del tipo Aplicada.
- Además, tiene un nivel Descriptivo – Correlacional.
- El diseño del método de la investigación es No Experimental.
- Cabe señalar que cuenta con una fuente primaria
- El contexto a realizarse es en campo y laboratorio, donde se realizaron y analizaron los resultados de los ensayos.

### **3.4.3. TIPO DE ANÁLISIS**

Se ha aplicado el análisis cuantitativo, reuniendo los datos y la información referida al tema mediante los ensayos, la documentación pertinente, las normativas internacionales y nacionales para la realización de los trabajos de campo y laboratorio.

Posteriormente se resume de manera apropiada, siempre teniendo en cuenta la hipótesis que se formuló, para finalmente analizar los resultados de los ensayos por ambos métodos y contrastarlo con dicha hipótesis planteada para la presente investigación.

### **3.4.4. RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para la tesis se realizó la recopilación de información referente al tema de la capacidad portante mediante el método de ensayo de corte directo y el método de ensayo SPT, para lo cual se llevó a cabo lo siguiente:

- Revisión del material bibliográfico referido al tema.

- Revisión de investigaciones sobre el tema de diferentes medios.
- Reconocimiento del terreno y la adecuada ubicación de las calicatas de donde se obtienen las muestras para el ensayo de corte directo y las zonas de exploración para el ensayo SPT.
- Exploración geotécnica, muestreo y calicatas realizadas en campo.
- Ensayos de laboratorio, tales ensayos son realizados con el fin de conocer las propiedades del suelo, entre los que se mencionan el contenido de humedad, límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, además de ser necesario realizar la granulometría del suelo.
- El método de ensayo de corte directo se realiza en laboratorio, mientras que el método de ensayo SPT se realiza in situ.

#### **3.4.5. PROCESAMIENTO DE DATOS**

En lo referente al procesamiento de la información, esta se realizó mediante el uso de hojas de cálculo de doble entrada, formatos de laboratorio y a su vez gráficos que sirven para explicar los resultados de los ensayos.

Cabe mencionar que, los gráficos de los resultados de los ensayos, las tablas, gráficos estadísticos, planos y demás elementos necesarios en el transcurso de la investigación se realizaron utilizando los programas como AutoCAD, Microsoft Excel, Microsoft Word, entre otros.

#### **3.4.6. EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS**

Durante el proceso de investigación se utilizaron los siguientes equipos y materiales tanto para el trabajo en campo como en el laboratorio, algunos de los cuales se mencionan a continuación:

- Tamices para la granulometría 3", 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", ¼", N°4, N°10, N°20, N°30, N°40, N°60, N°100 y N°200
- Probeta graduada de 500 ml.
- Agua destilada.
- Horno eléctrico con control de T° de 0 °C a 300 °C
- Bandejas.

- Balanza digital con una precisión de 0.1 g.
- Copa Casa Grande.
- GPS Smap 60CSx Garmin.
- Parafina.
- Calibrador vernier marca INSIZE modelo 1108-300W
- Cronómetro.
- Máquina de corte directo marca UTEST modelo UTS-2060.
- Equipo para el ensayo de penetración estándar SPT modelo TCP-021

### **3.4.7. ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS**

Se tomó en cuenta la recomendación del RNE, Norma E.050, de considerar un valor del ángulo de fricción interno igual a cero para suelos blandos, además, dado que las estructuras propuestas son lagunas de oxidación, estas poseen una platea de cimentación por lo cual el área de contacto con el suelo es mayor, dicha área también se tomó en cuenta para el cálculo de la capacidad portante.

#### **3.4.7.1. Trabajos de campo, referente a la ejecución de calicatas**

Durante los trabajos de campo, en lo referente a las calicatas se realizaron 3, ejecutadas manualmente y de acuerdo al programa de exploración de suelos, las cuales fueron en pozo a cielo abierto y tuvieron una distribución conveniente según las estructuras que tendrán lugar en la zona. Las calicatas poseen la siguiente nomenclatura: C-1, C-2 y C-3; con un ancho de 1 m, largo 1 m y alcanzando una profundidad promedio de 2 m.

Posteriormente se procedió a recolectar las muestras inalteradas del suelo en cada calicata, de dichas muestras luego se recaban los datos físicos del terreno que nos sirven como parámetros para determinar su capacidad portante, de acuerdo a la normatividad vigente.

En el proceso de recolección de las muestras, lo usual es utilizar la parafina con la cual se lo recubre y así poder llegarlo al laboratorio con las mismas características encontradas en el terreno.

### 3.4.7.2. Trabajos de campo, referente al ensayo de penetración estándar

En la realización de esta prueba se efectuaron 3 ensayos de penetración estándar SPT, llegando hasta una profundidad promedio de 2.25 m.

Para hacer este ensayo SPT se tuvo presente la normativa ASTM-D1586, este método describe el procedimiento que se conoce como ensayo de penetración estándar, el cual consiste en utilizar un muestreador de caña partida, el cual se hincan en el terreno. El muestreador tiene en su parte inferior un anillo cortante y al otro extremo unido a la tubería de perforación, para realizar la perforación se deja caer un martillo de 63.5 kg de peso, desde una altura de 76.2 cm.

Asimismo, se obtiene el registro de penetración, el cual también es llamado índice de penetración N, mediante los golpes que han sido necesarios para que el tomamuestras pueda hincar los últimos 30 cm de un total de 45 cm.

A continuación, se presenta la ubicación geográfica de los trabajos en campo realizados, tanto de las calicatas, como de los ensayos SPT. De la misma manera se presentan las estructuras que se ubicarán según el proyecto de saneamiento, en cada punto de estudio.

**Tabla 3.3.** Ubicación de las calicatas para corte directo y los ensayos SPT.

| PUNTO | CD/SPT | PROFUNDIDAD | COORDENADAS UTM |            |
|-------|--------|-------------|-----------------|------------|
|       |        |             | ESTE (m)        | NORTE (m)  |
| 1     | C-1    | 2.25 m      | 788273.65       | 9198663.26 |
|       | SPT-1  |             |                 |            |
| 2     | C-2    | 2.25 m      | 788243.44       | 9198686.07 |
|       | SPT-2  |             |                 |            |
| 3     | C-3    | 2.25 m      | 788280.12       | 9198661.91 |
|       | SPT-3  |             |                 |            |

La ubicación de las calicatas, así como de los puntos de SPT se encuentran detallados en el plano de ubicación.

**Tabla 3.4.** Estructuras proyectadas en cada punto, según el proyecto de saneamiento.

| PUNTO | ESTRUCTURA PROYECTADA | OBSERVACIÓN   |
|-------|-----------------------|---------------|
| 1     | Laguna de oxidación   | Por construir |
| 2     | Laguna de oxidación   | Por construir |
| 3     | Laguna de oxidación   | Por construir |

### 3.4.7.3. Ensayos de laboratorio

Inicialmente cabe indicar que no se encontró nivel freático durante los trabajos, en ninguna de las excavaciones realizadas.

En cuanto a los ensayos de laboratorio que se efectuaron, fueron los referentes a las muestras obtenidas de las calicatas y los ensayos de penetración estándar SPT, dichos ensayos efectuados en el laboratorio son los relativos al contenido de humedad, los límites de consistencia, la granulometría y clasificación de suelos. Tales procedimientos de los ensayos están normados según la American Standard of Testing Materials (ASTM), los ensayos de acuerdo a la ASTM son los siguientes:

**Tabla 3.5.** Normatividad ASTM para los ensayos.

| Ensayos estándar        | Normas ASTM      |
|-------------------------|------------------|
| Análisis granulométrico | Norma ASTM-D422  |
| Clasificación de suelos | Norma ASTM-D2487 |
| Límite líquido          | Norma ASTM-D423  |
| Límite plástico         | Norma ASTM-D424  |
| Humedad natural         | Norma ASTM-D2216 |
| Ensayo de corte directo | Norma ASTM-D3080 |
| Ensayo de SPT           | Norma ASTM-D1586 |

### Ensayo de corte directo

En base al procedimiento establecido en la sección 3.3.1. se procedió a ejecutar el ensayo de corte directo, para lo cual se colocó el espécimen proveniente de la muestra inalterada en la caja de cizalladura con los bloques porosos en cada extremo expuesto, luego se lo fijó adecuadamente.

Se conectó el instrumento de medición de desplazamiento horizontal, ajustándolo apropiadamente, esto medirá los desplazamientos ocasionados por cizalladura.

Posteriormente se empezó a aplicar la carga normal y se fijó el instrumento de medición de deformación vertical, debe obtenerse las lecturas iniciales o colocar en cero los instrumentos de medición.

El número de muestras inalteradas utilizadas para determinar la capacidad portante fue de 3, de las cuales se obtuvieron resultados de acuerdo a lo establecido por las normas para ensayos de suelos. La ejecución de los ensayos de corte directo se muestra detalladamente en el anexo 03.

### **Ensayo de clasificación de los suelos**

Para la clasificación del suelo se utilizó el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS), de acuerdo a la Norma ASTM-D2487. La ejecución de estos ensayos se muestra detalladamente en el anexo 02.

#### **3.4.7.4. Presentación de resultados**

Primeramente, se realizaron los ensayos referentes a la clasificación de suelos, según la norma descrita en el párrafo anterior, utilizando el sistema SUCS se clasificó el suelo proveniente de las calicatas, dando los siguientes resultados:

**Tabla 3.6.** Propiedades físicas y clasificación de suelos.

| NÚMERO DE CALICATA           | C - 1  | C - 2  | C - 3  |
|------------------------------|--------|--------|--------|
| NOMENCLATURA DE LA MUESTRA   | M - 1  | M - 1  | M - 1  |
| PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN    | 2 m    | 2 m    | 2 m    |
| % QUE PASA POR EL TAMIZ 3/8" | 100%   | 100%   | 100%   |
| % QUE PASA POR EL TAMIZ N° 4 | 99.69% | 99.88% | 98.19% |

|                                |           |           |           |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| % QUE PASA POR EL TAMIZ N° 10  | 99.32%    | 97.84%    | 97.74%    |
| % QUE PASA POR EL TAMIZ N° 40  | 97.18%    | 87.38%    | 95.56%    |
| % QUE PASA POR EL TAMIZ N° 100 | 81.01%    | 59.86%    | 77.57%    |
| % QUE PASA POR EL TAMIZ N° 200 | 76.10%    | 52.37%    | 71.54%    |
| LÍMITE LÍQUIDO                 | 34%       | 30%       | 33%       |
| LÍMITE PLÁSTICO                | 26%       | 25%       | 26%       |
| ÍNDICE DE PLATICIDAD           | 8%        | 5%        | 7%        |
| <b>CLASIFICACIÓN SUCS</b>      | <b>ML</b> | <b>ML</b> | <b>ML</b> |
| CONTENIDO DE HUMEDAD (%)       | 37.54%    | 27.08%    | 31.67%    |

La tabla 3.6 muestra la clasificación de suelos en las 3 calicatas, en las cuales uniformemente se ha encontrado un tipo de suelo ML, es decir del tipo de limo inorgánico, el cual presenta un color marrón y contiene proporciones relativamente altas de arena y una ligera cantidad de gravas.

#### **A. Capacidad portante determinada mediante el método de ensayo de corte directo**

El procesamiento y análisis de los datos derivados de la prueba de corte directo realizada, arrojó los siguientes resultados en cuanto a la cohesión y la capacidad portante del terreno, cabe mencionar que según el RNE, Norma E.050, para suelos blandos se considera un valor para el ángulo de fricción interno igual a cero ( $\Phi = 0$ ).

**Tabla 3.7.** Capacidad portante mediante el ensayo de corte directo.

| NÚMERO DE CALICATA | PROFUNDID.<br>(m) | COHESIÓN<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | ÁNGULO DE<br>FRICCIÓN<br>( $\phi^\circ$ ) | CAPACIDAD PORTANTE<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------------|-------------------|-----------------------------------|---|---|
| C - 1              | 2.25 m            | 0.314 kg/cm <sup>2</sup>          | 20.78°                                    | 0.65 kg/cm <sup>2</sup>                     |
| C - 2              | 2.25 m            | 0.272 kg/cm <sup>2</sup>          | 24.85°                                    | 0.56 kg/cm <sup>2</sup>                     |
| C - 3              | 2.25 m            | 0.306 kg/cm <sup>2</sup>          | 18.27°                                    | 0.63 kg/cm <sup>2</sup>                     |

Los resultados del ensayo de corte directo se pueden observar más detalladamente en el anexo 03.

#### **B. Capacidad portante determinada mediante el método de ensayo de penetración estándar SPT**

En lo referente a la capacidad portante mediante el método de ensayo SPT, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 3.8.** Capacidad portante del suelo mediante el ensayo de penetración estándar.

| SPT | N <sub>SPT</sub> | PROFUNDID.<br>(m) | COHESIÓN<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | ÁNGULO DE<br>FRICCIÓN<br>( $\phi^\circ$ ) | CAPACIDAD PORTANTE<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----|------------------|-------------------|-----------------------------------|---|---|
| 1   | 9                | 2.25 m            | 0.558 kg/cm <sup>2</sup>          | 4.29°                                     | 0.88 kg/cm <sup>2</sup>                     |
| 2   | 10               | 2.25 m            | 0.628 kg/cm <sup>2</sup>          | 4.57°                                     | 0.98 kg/cm <sup>2</sup>                     |
| 3   | 9                | 2.25 m            | 0.558 kg/cm <sup>2</sup>          | 4.29°                                     | 0.88 kg/cm <sup>2</sup>                     |

Los resultados del ensayo de SPT se pueden observar más detalladamente en el anexo 04.

### C. Comparación de los valores obtenidos de la capacidad portante mediante el ensayo de corte directo y SPT

Los valores de la capacidad portante mediante estos dos métodos presentan valores con una variación de un método a otro, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 3.9.** Comparación de la capacidad portante del suelo mediante el ensayo de corte directo y el ensayo de penetración estándar SPT.

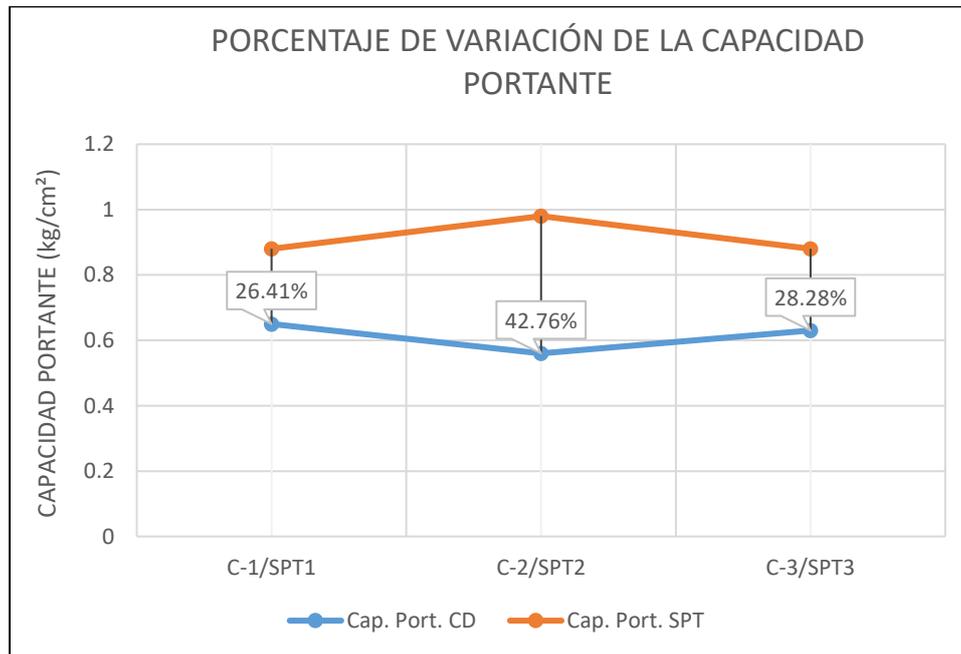
| PUNTO | CD/SPT | CAPACIDAD PORTANTE CD (kg/cm <sup>2</sup> ) | CAPACIDAD PORTANTE SPT (kg/cm <sup>2</sup> ) | VARIACIÓN (%) |
|-------|--------|---|--|---------------|
| 1     | C-1    | 0.65 kg/cm <sup>2</sup>                     | 0.88 kg/cm <sup>2</sup>                      | 26.41%        |
|       | SPT-1  |   |  |               |
| 2     | C-2    | 0.56 kg/cm <sup>2</sup>                     | 0.98 kg/cm <sup>2</sup>                      | 42.76%        |
|       | SPT-2  |   |  |               |
| 3     | C-3    | 0.63 kg/cm <sup>2</sup>                     | 0.88 kg/cm <sup>2</sup>                      | 28.28%        |
|       | SPT-3  |   |  |               |

### D. Gráficas comparativas de las propiedades del suelo, para los dos métodos de ensayos.

El tema central de estudio propuesto en la investigación es la determinación de la capacidad portante, pero además se ha visto conveniente realizar la comparación entre los valores de la cohesión del suelo, encontrada mediante los dos métodos de ensayo.

Debido al uso de dos métodos como son el corte directo y SPT, se han hallado diferentes valores para los parámetros antes mencionados, de los cuales se detalla a continuación sus comparaciones:

**Figura 3.2.** Porcentaje de variación de la capacidad portante, determinada mediante el ensayo de corte directo y SPT.

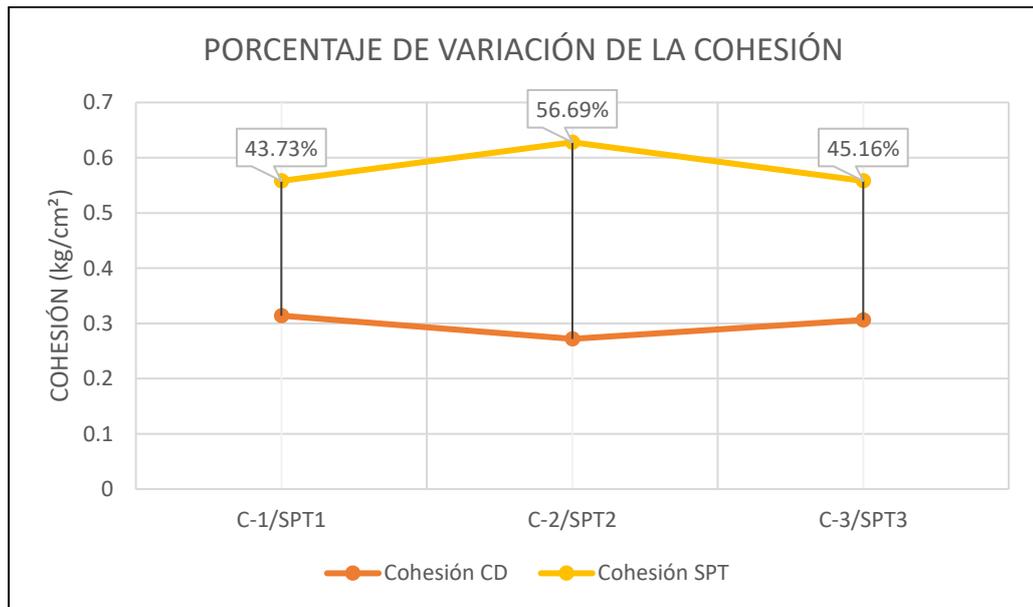


Las tablas 3.7 y 3.8 junto con la figura 3.3 muestran cómo al determinar la capacidad portante para una platea de cimentación (fondo de las lagunas de oxidación) mediante el método de ensayo de corte directo nos arroja unos resultados menores a los resultados determinados mediante el método de penetración estándar (SPT).

En términos porcentuales se encontró que en la calicata C-2, donde se tomó también como punto de exploración para el ensayo SPT2, la variación porcentual es mayor, mientras que en la menor variación se obtuvo en la calicata C-1 y punto de exploración STP1.

Tal como se puede observar en la figura 3.3 los valores de la capacidad portante determinada mediante el método de corte directo cuentan con una mayor variación entre sí por cada calicata, mientras que la capacidad portante determinada con el método SPT presenta una mayor uniformidad entre puntos de exploración.

**Figura 3.3.** Comparación entre los valores de cohesión según el método de ensayo.



Las tablas 3.7 y 3.8 junto con la figura 3.4 muestran cómo varía la cohesión del terreno, presentando valores distintos, los cuales dependen del método de ensayo realizado, en el caso del método de penetración estándar (SPT) obtenemos una cohesión mayor que la determinada mediante las calicatas para el método de corte directo, encontrándose una alta variación porcentual en los valores de esta propiedad del suelo.

**CAPÍTULO IV.**  
**ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

---

## **CAPÍTULO IV.**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1. CALICATAS Y PUNTOS DE EXPLORACIÓN DE SPT**

Las calicatas nos sirvieron para extraer las muestras de las cuales se realizaron los ensayos de corte directo en el laboratorio, junto con la determinación de las principales propiedades físicas y mecánicas del terreno; asimismo con esta ubicación también se efectuaron las exploraciones del ensayo de penetración estándar.

De la realización de dichos ensayos se obtuvieron que en general las tres calicatas C-1, C-2 y C-3 presentan un tipo de suelo orgánico en la parte superficial hasta una profundidad que varía entre 40 y 50 cm, en la parte más profunda se va mostrando un suelo limoso inorgánico de color marrón con un porcentaje de arenas que varían desde un 23.59% hasta 47.51%, es decir, este suelo contiene una alta proporción de arenas; además se encontraron una ligera cantidad de gravas que varían desde un 0.12% hasta 1.81%.

La clasificación de los suelos utilizando en sistema SUCS, dio como resultado para las tres calicatas uniformemente un suelo de tipo ML, es decir el terreno es un limo de baja plasticidad al presentar todos unos límites líquidos menores de 50% y por consiguiente un bajo índice de plasticidad.

En lo concerniente al contenido de humedad del terreno encontrado en las calicatas este varía desde un 27.08% hasta 37.54%, debido a que el tiempo en que se realizaron los ensayos fue en el periodo de lluvias en Cajamarca, por otro lado, no se halló napa freática en la zona.

Los límites de Atterberg determinados en el suelo en estudio son el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad. En cuanto al límite líquido entre las calicatas se encontró una variación que va desde un 30% hasta 34%; el límite plástico varía desde un 25% a 26%. Finalmente, un índice de plasticidad con una variación entre calicatas que va de 5% hasta 8%.

En cuanto a la cohesión, se determinó para los dos métodos utilizados en la presente investigación. Para el ensayo de corte directo se obtuvo una cohesión que varía en cada calicata desde 0.272 kg/cm<sup>2</sup> hasta 0.314 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que en el ensayo SPT tenemos una cohesión según cada punto de exploración que varía desde 0.558 kg/cm<sup>2</sup> hasta 0.628 kg/cm<sup>2</sup>. Al realizar una comparación entre los valores de la cohesión en las calicatas y los valores de la cohesión al realizar un ensayo in situ SPT se observa una variación mínima de 43.73% entre la calicata C-1 con el punto de exploración SPT1 y una variación máxima 56.69% entre la calicata C-2 con el punto de exploración SPT2.

En lo referente a la capacidad portante del suelo, determinado mediante los métodos de ensayo de corte directo y el método de ensayo de penetración estándar (SPT), se obtuvo que para el primer método el suelo en las calicatas presenta una capacidad portante que varía desde 0.56 kg/cm<sup>2</sup> hasta 0.65 kg/cm<sup>2</sup>, asimismo en el ensayo in situ SPT se determinó que el suelo presenta una capacidad portante que varía desde 0.88 kg/cm<sup>2</sup> hasta 0.98 kg/cm<sup>2</sup>. Comparando tales resultados encontramos una variación entre estos valores, observándose que va desde un mínimo de 26.41% entre la calicata C-1 con el punto de exploración SPT1, hasta un máximo de 42.76% entre la calicata C-2 con el punto de exploración SPT2. Tal variación porcentual de estos los valores entre un método y otro se debe a que en las fórmulas utilizadas se toma en cuenta el ancho de cimentación, dado que para las lagunas de oxidación el cimiento será una platea, entonces este ancho varía de manera proporcional con los valores de la capacidad portante.

#### **4.2. CALICATA C-1 Y SPT1**

En la calicata C-1 se encontraron dos estratos bien definidos, el primer estrato desde la superficie hasta los primeros 0.50 m de profundidad constituido por materia orgánica y presencia de pequeñas raíces; el segundo estrato va desde los 0.50 m hasta los 2.00 m de profundidad, su clasificación según el sistema SUCS es ML, este estrato está constituido por un suelo del tipo limo inorgánico de color marrón, mezclado con arena en una proporción de 23.59% y 0.31% de grava de TM 3/8".

Su contenido de humedad es de 37.54%; presenta una baja plasticidad, con un límite líquido de 34%, límite plástico de 26% y un índice de plasticidad de 8%. La

cohesión del suelo mediante el ensayo de corte directo dio un valor de 0.314 kg/cm<sup>2</sup>, a diferencia de 0.558 kg/cm<sup>2</sup> con el SPT, arrojando una variación porcentual de 43.73% entre C-1 y SPT1.

Asimismo, en esta calicata se realizó la determinación del peso específico húmedo, hallándose un valor de 1.842 g/cm<sup>3</sup>, por otro lado, también durante el ensayo de penetración estándar (SPT) se calculó la resistencia al corte no drenado hallándose un valor de 0.284 kg/cm<sup>2</sup>.

La capacidad portante determinada mediante el ensayo de corte directo en la calicata C-1 fue de 0.65 kg/cm<sup>2</sup> y mediante el método de ensayo de penetración estándar en el punto de exploración SPT1 fue de 0.88 kg/cm<sup>2</sup>, generándose una variación porcentual de 26.41%. Debido a que el cálculo de la capacidad portante para cada método está relacionado proporcionalmente con las dimensiones de la cimentación y en este caso las estructuras proyectadas son lagunas de oxidación por lo cual tendrán como cimiento una platea de concreto armado.

#### **4.3. CALICATA C-2 Y SPT2**

En esta calicata C-2 se presentaron también dos estratos, de los cuales el estrato superficial tuvo una profundidad de 0.40 m, el cual está constituido por materia orgánica y presencia de pequeñas raíces de la vegetación del lugar; por su parte el estrato inferior va desde los 0.40 m hasta los 2.00 m de profundidad y tiene una clasificación según el sistema SUCS de un suelo tipo ML, es decir, un terreno limoso de baja plasticidad, este estrato está constituido por un suelo como se mencionó anteriormente del tipo limo inorgánico de color marrón, mezclado con arena que alcanza un alto porcentaje de 47.51% y 0.12% de grava de TM 3/8".

Los estudios de laboratorio arrojaron unos resultados en cuanto a su contenido de humedad de 27.08%; presenta un límite líquido de 30%, límite plástico de 25% y un índice de plasticidad de 5%. La cohesión del suelo mediante el ensayo de corte directo dio un valor de 0.272 kg/cm<sup>2</sup>, a diferencia de 0.628 kg/cm<sup>2</sup> con el SPT, esto se traduce en una variación porcentual de 56.69%.

En lo referente al peso específico húmedo, en esta calicata se halló un valor de  $1.845 \text{ g/cm}^3$  para esta propiedad del suelo, de igual manera durante el ensayo de penetración estándar se calculó otro parámetro importante del terreno como es la resistencia al corte no drenado, del cual se obtuvo un valor de  $0.314 \text{ kg/cm}^2$ .

La determinación de la capacidad portante mediante el ensayo de corte directo en la calicata C-2 arrojó un valor de  $0.56 \text{ kg/cm}^2$ , asimismo esta mediante el método de ensayo de penetración estándar en el punto de exploración SPT2 fue de  $0.98 \text{ kg/cm}^2$ , generándose una variación porcentual de 42.76% entre el método de ensayo de corte directo y el método de ensayo SPT.

#### **4.4. CALICATA C-3 Y SPT3**

Para la calicata C-3 se tuvieron de igual forma dos estratos bastante definidos, de los cuales el estrato superior presentó una profundidad de 0.50 m desde la superficie y se constituye exclusivamente por materia orgánica y pequeñas raíces; por su parte el estrato inferior va desde los 0.50 m hasta los 2.00 m de profundidad y su clasificación según el sistema SUCS fue del tipo ML, es decir, este estrato está constituido por un suelo limo inorgánico de color marrón, mezclado con arena que tiene un porcentaje de 26.65% y 1.18% de grava de TM 3/4".

En cuanto al parámetro de contenido de humedad se tiene un valor de 31.67%; además este suelo presenta una baja plasticidad, tiene un límite líquido de 33%, límite plástico de 26% y un índice de plasticidad de 7%. Asimismo, la cohesión del suelo mediante el ensayo de corte directo dio un valor de  $0.306 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que con el SPT fue de  $0.558 \text{ kg/cm}^2$ , teniendo una variación porcentual de 45.16% entre los valores de la cohesión para ambos métodos.

El peso específico húmedo del terreno en estudio para esta calicata C-3 se tuvo un valor de  $1.724 \text{ g/cm}^3$ , de igual manera durante el ensayo de penetración estándar se calculó otro de los parámetros importantes para el suelo, como es la resistencia al corte no drenado, obteniéndose un valor de  $0.284 \text{ kg/cm}^2$ .

La capacidad portante que se determinó mediante el ensayo de corte directo en la calicata C-3 fue de  $0.63 \text{ kg/cm}^2$ , por su parte mediante el método de ensayo de

penetración estándar en el punto de exploración SPT3 se obtuvo un valor de 0.88 kg/cm<sup>2</sup>, generándose una variación porcentual de 28.28%.

### **Comparación de los resultados con los obtenidos en los antecedentes**

Teniendo como base a la literatura utilizada en los antecedentes, comparando con los resultados de otras investigaciones, en cuanto a la capacidad portante hallada mediante los métodos de ensayo de corte directo y SPT se tienen las siguientes coincidencias:

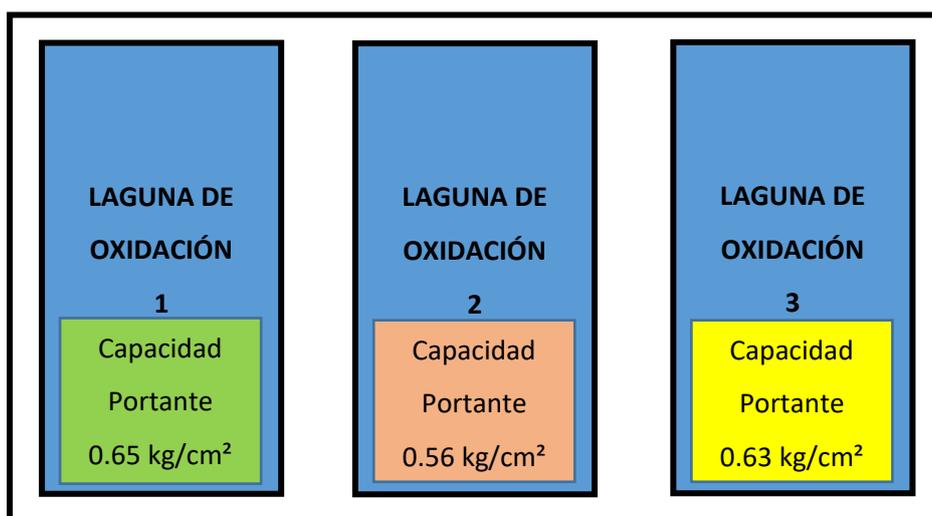
- En suelos blandos como en el caso del suelo en la Universidad Nacional de Cajamarca y el suelo en estudio de esta investigación, ubicado en el distrito de Jesús, la capacidad portante es muy baja, con valores que rodean y se aproximan a 1 kg/cm<sup>2</sup>.
- Como se ha demostrado en investigaciones anteriores, los valores de la capacidad portante hallados mediante el método de ensayo de corte directo y SPT para un mismo estrato generan valores aproximados pero no iguales ya que depende mucho de las fórmulas utilizadas entre uno y otro método.
- El método de ensayo más utilizado para determinar la capacidad portante de un suelo es el método de corte directo, esto se ha demostrado en las investigaciones anteriores, pero con el fin de corroborar y realizar correlaciones se utilizan métodos alternativos como el SPT, DLP, etc.

### **4.5. DISTRIBUCIÓN DE LA CAPACIDAD PORTANTE EN LAS LAGUNAS**

La presente investigación está basada en determinar cuál de los dos métodos de ensayo arroja los resultados más aceptables de la capacidad portante para el terreno donde se proyecta una planta de tratamiento de aguas residuales en el caserío de Pashul distrito de Jesús, destinado a tratar las aguas servidas de las comunidades rurales aledañas.

Específicamente se ha determinado la capacidad portante donde se cimentarán tres lagunas de oxidación, dichas estructuras cuentan con plateas de cimentación, esto ayuda a tener un mejor soporte por parte del terreno, lo cual se ha visto reflejado en el cálculo de la capacidad portante debido a las significativas dimensiones del cimiento.

Las calicatas, así como los puntos de exploración para el SPT han sido determinados de acuerdo a la ubicación de las lagunas de oxidación. En la distribución de la capacidad portante para cada laguna se optó por los valores obtenidos mediante el ensayo de corte directo, dado que estos resultados son más confiables.



#### 4.6. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

De acuerdo a los resultados que se han obtenido en los anteriores capítulos y en base a la hipótesis que se planteó, la cual afirma que los resultados de la medición de la capacidad portante determinada con el ensayo de corte directo son mayores que los resultados obtenidos con el ensayo de penetración estándar (SPT), del suelo para el proyecto saneamiento rural en el distrito de Jesús – Cajamarca. Se evidencia que no ha sucedido lo planteado en la hipótesis.

Al emplearse el método de ensayo de corte directo, en las tres calicatas C-1, C-2 y C-3 se puede constatar que los valores de la capacidad portante son menores que los valores de la capacidad portante empleando el método de ensayo de penetración estándar en los puntos de exploración in situ SPT1, SPT2 y SPT3. Llegando a una variación porcentual de 26.41% entre C-1 y SPT1, mientras que esta variación se elevó hasta 42.76% entre C-2 y SPT2, asimismo entre la calicata C-3 y el punto de

exploración SPT3 la variación porcentual fue de 28.28%. (los valores se hallan más detalladamente en la tabla 3.9). Tales resultados hacen que se rechace la hipótesis que se planteó para esta investigación, ya que los valores de la capacidad portante determinada mediante el método de ensayo de corte directo son menores que los valores hallados mediante el método de ensayo de penetración estándar (SPT).

## **CAPÍTULO V.**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- La capacidad portante del suelo de fundación, encontrada mediante el ensayo de corte directo varía entre 0.56 kg/cm<sup>2</sup> y 0.65 kg/cm<sup>2</sup>; mientras que la capacidad portante determinada con el ensayo de penetración estándar tiene una variación desde 0.88 kg/cm<sup>2</sup> hasta 0.98 kg/cm<sup>2</sup>. La comparación entre ambos resultados origina una variación porcentual que va desde un 26.41% hasta 42.76%, evidenciando que los valores de la capacidad portante hallados mediante el método de corte directo son menores que los hallados con el método SPT.
- El suelo de fundación encontrado es un limo inorgánico de color marrón, cuya clasificación mediante el sistema SUCS es del tipo ML, con un contenido de humedad que varía desde 27.08% hasta 37.54%, además el terreno presenta un pequeño porcentaje de arenas, asimismo se encontraron gravas con una ligera proporción de 0.12% a 1.81%.
- Los parámetros geotécnicos también mostraron variación, como el ángulo de fricción interno que para el ensayo de corte directo varía desde 18.27° hasta 24.85°, mientras que el determinado mediante el ensayo SPT varía desde 4.29° a 4.57°, generando un porcentaje de variación desde 76.52% hasta 81.61%. De igual forma la cohesión mediante el ensayo de corte directo tuvo una variación desde 0.272 kg/cm<sup>2</sup> hasta 0.314 kg/cm<sup>2</sup>, por su parte para el método SPT se obtuvieron los valores de cohesión que varían de 0.558 kg/cm<sup>2</sup> a 0.628 kg/cm<sup>2</sup>, originando una variación porcentual de 43.73% hasta 56.69%.
- La diferencia de valores de la capacidad portante entre un método y el otro está vinculada directamente al método de ensayo, al tipo de estructura a cimentar y a las fórmulas utilizadas; para el cálculo de la capacidad portante se utilizó lo planteado en el RNE, Norma E.050, en donde se recomienda utilizar un ángulo de fricción interno de cero ( $\Phi = 0$ ) para el caso de suelos blandos como el encontrado en esta investigación.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar investigación para otros tipos de estructuras, ya que en esta investigación se trató de una platea de cimentación por ser lagunas de oxidación.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Alva Hurtado, JE. 2007. Diseño de cimentaciones, conceptos teóricos y aplicaciones prácticas. Lima, PE, Universidad Nacional de Ingeniería. 117 p.
- Archenti Zegarra, JF. 2018. Zonificación de la capacidad portante del suelo en la localidad de Lagunas distrito de Lagunas, Alto Amazonas - región de Loreto. Tesis de titulación. Tarapoto, PE, Universidad Nacional de San Martín. 135 p.
- Braja M. Das. 2012. Principios de Ingeniería de Cimentaciones. USA. Internacional Thomson Editores. 880 p.
- Braja M. Das. 2015. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. USA. Cengage Learning Editores. 658 p.
- Carmona Álvarez, JE. 2014. Estudio de resultados ensayo de penetración estándar (SPT) para el factor de corrección y el ángulo de fricción del suelo usando diferentes tipos de correlaciones. Trabajo de grado para optar título. Bogotá, CO, Universidad Católica de Colombia. 141 p.
- Caro Linares, WF. 2018. Capacidad portante de los suelos de fundación con fines de cimentación mediante ensayos de corte directo y DLP en la ciudad de Llacanora – Cajamarca. Tesis de titulación. Cajamarca, PE, Universidad Nacional de Cajamarca. 183 p.
- Castillo Aedo, JL y Alva Hurtado, JE. 1993. Peligro sísmico en el Perú. Lima, PE, CISMID, Universidad Nacional de Ingeniería. 19 p.
- Crespo Villalaz, C. 2004. Mecánica de Suelos y Cimentaciones. Monterrey, MX, Editorial Limusa. 652 p.
- Devincenci, M y Frank, N. 2004. Ensayos geotécnicos in situ – su ejecución e interpretación. Artículo de investigación. Girona, ES, IGEOTEST. 87 p.

- Domingo Chávez, FJ. y Terrones Cotrina, EA. 2019. Caracterización de suelos mediante el ensayo de penetración estándar en la Universidad Nacional de Trujillo, 2019. Tesis de titulación. Trujillo, PE, Universidad Nacional de Trujillo. 138 p.
- Fernández Muñoz, WR. 2015. Evaluación de la capacidad portante de los suelos de fundación de la ciudad universitaria – Universidad Nacional de Cajamarca- 2014. Tesis de doctorado. Cajamarca, PE, Universidad Nacional de Cajamarca. 186 p.
- Fratelli, MG. 1993. Suelos, Fundaciones y Muros. Caracas, VE. 574 p.
- Gonzales de Vallejo, L, Ferrer, M, Ortuño, L y Oteo, C. 2002. Ingeniería Geológica. Madrid, ES, Pearson Educación. 744 p.
- Juárez Badillo, E y Rico Rodríguez, A. 1973. Mecánica de suelos – teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. México DF, MX, Editorial LIMUSA. 591 p.
- Montenegro Padilla, LF. 2014. Calibración del método de parámetros de resistencia con SPT en suelos de la región llanera colombiana. Tesis de maestría. Bogotá, CO, Universidad Nacional de Colombia. 92 p.
- Nij Patzán, J. 2009. Guía práctica para el cálculo de capacidad de carga en cimentaciones superficiales, losas de cimentación, pilotes y pilas perforadas. Trabajo de graduación. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 432 p.
- Olivos Velásquez, MA. 2015. Estimación del ángulo de fricción interna y cohesión no drenada a partir de correlaciones basadas en ensayos in situ para suelos del piedemonte de los Cerros Orientales. Trabajo de grado. Bogotá, CO, Universidad Piloto de Colombia. 106 p.

- Padilla, P. 1970. Cimentaciones y estructuras de hormigón armado. Barcelona, ES, Técnicos Asociados SA. 123 p.
- Ravines Aliaga, JA. 2017. Capacidad portante de los suelos de fundación, mediante los métodos DLP y corte directo para la ciudad de José Gálvez – Celendín – Cajamarca. Tesis de maestría. Cajamarca, PE, Universidad Nacional de Cajamarca. 169 p.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (Norma E.050-2018). 46 p.
- Rodas Jaramillo, RP y Torres Lazo, MA. 2015. Estudio de envolventes consolidada – drenada mediante ensayo de corte directo para el análisis de estabilidad de las presas de tierra del proyecto Pacalori. Tesis. Cuenca, EC, Universidad de Cuenca. 99 p.
- Rojas Parco, FG. y Zamora Ortiz, JM. 2015. Correlación de los valores  $N_{spt}$  con  $M_{dpl}$  en los suelos arenosos de la Asociación Agropecuaria Sumac Pacha – Lurín. Tesis. Lima, PE, Universidad Ricardo Palma. 133 p.
- Ventayol Lázaro, A. y Fernández Tadeo, C. 2005. Medida de la energía del ensayo spt correcciones a aplicar. Barcelona, ES, CFT Asociados. p. 1-6.

## **ANEXOS**

---

## ANEXOS

### ANEXO 01

#### PANEL FOTOGRÁFICO

**Fotografía 01.** Preparación del terreno para excavación de calicatas.



**Fotografía 02.** Instalación de equipos para el ensayo SPT.



Fotografía 03. Calicata N° 01 (C-1).



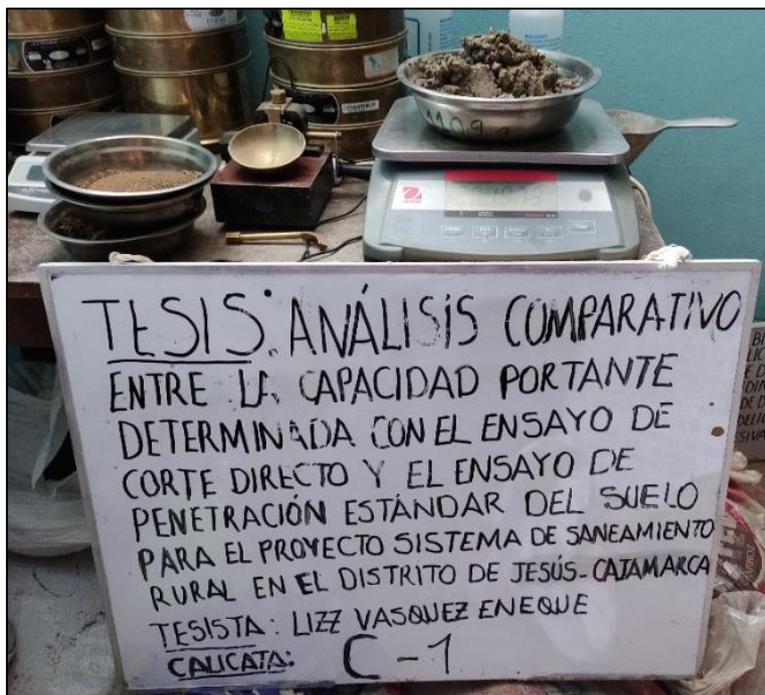
Fotografía 04. Calicata N° 02 (C-2).



Fotografía 05. Calicata N° 03 (C-3).



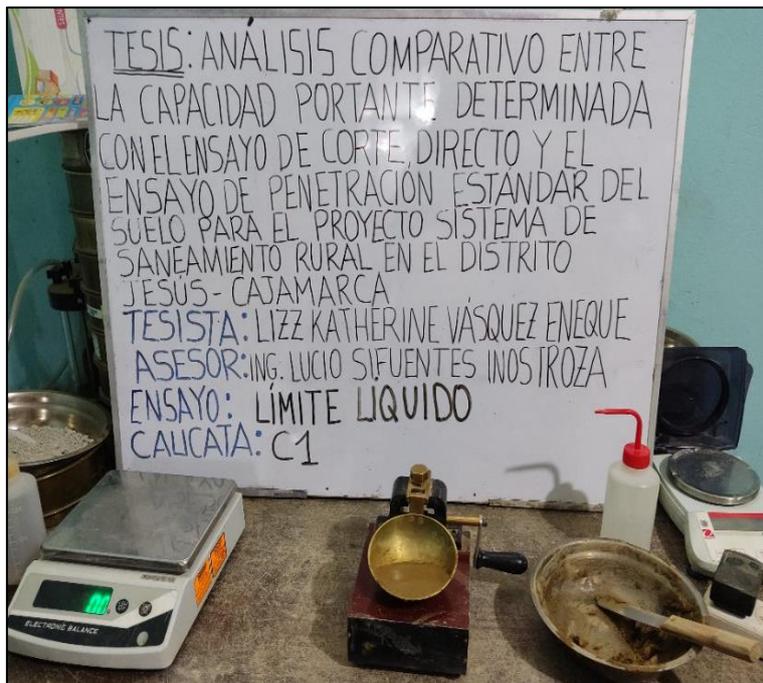
Fotografía 06. Ensayo de contenido de humedad en la calicata C-1.



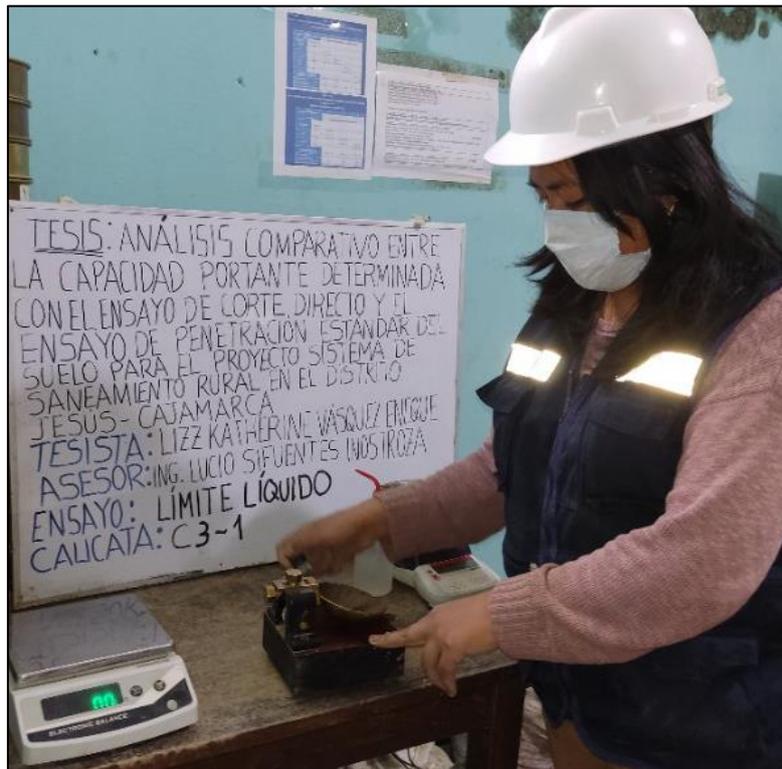
**Fotografía 07.** Ensayo de contenido de humedad en la calicata C-3.



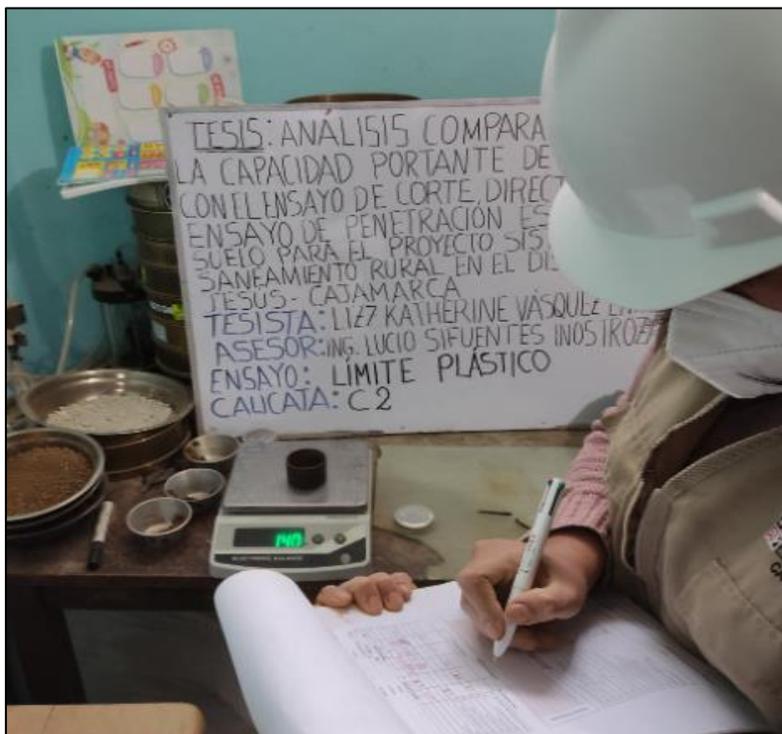
**Fotografía 08.** Ensayo de límite líquido en la calicata C-1.



**Fotografía 09.** Ensayo de límite líquido en la calicata C-3.



**Fotografía 10.** Ensayo de límite plástico en la calicata C-2.



**Fotografía 11.** Ensayo de granulometría en la calicata C-1.



**Fotografía 12.** Ensayo de granulometría en la calicata C-3.



**Fotografía 13.** Máquina utilizada para el ensayo de corte directo.



**Fotografía 14.** Muestra circular para el ensayo.



**Fotografía 15.** Realización del ensayo de corte directo.



**Fotografía 16.** Muestras del ensayo de corte directo.





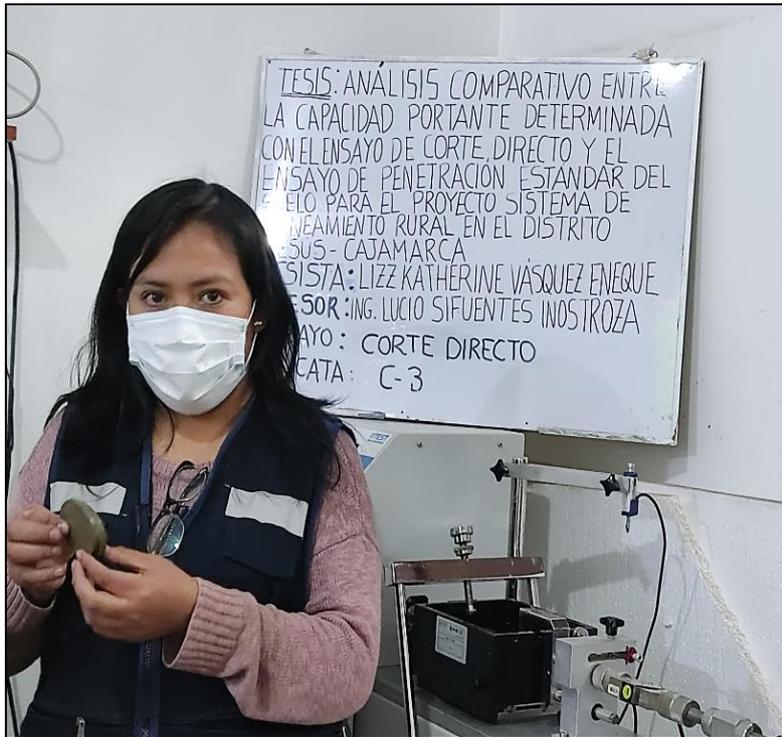
**Fotografía 19.** Ensayo de corte directo de la calicata C-2.



**Fotografía 20.** Gráfica del esfuerzo de corte vs desplazamiento, espécimen 3 calicata C-2.



**Fotografía 21.** Ensayo de corte directo de la calicata C-3.



**Fotografía 22.** Gráfica del esfuerzo de corte vs desplazamiento, espécimen 2 calicata C-3.



**Fotografía 23.** Ensayo de penetración estándar SPT1.



**Fotografía 24.** Muestras extraídas del ensayo SPT1.



**Fotografía 25.** Ensayo de penetración estándar SPT2.



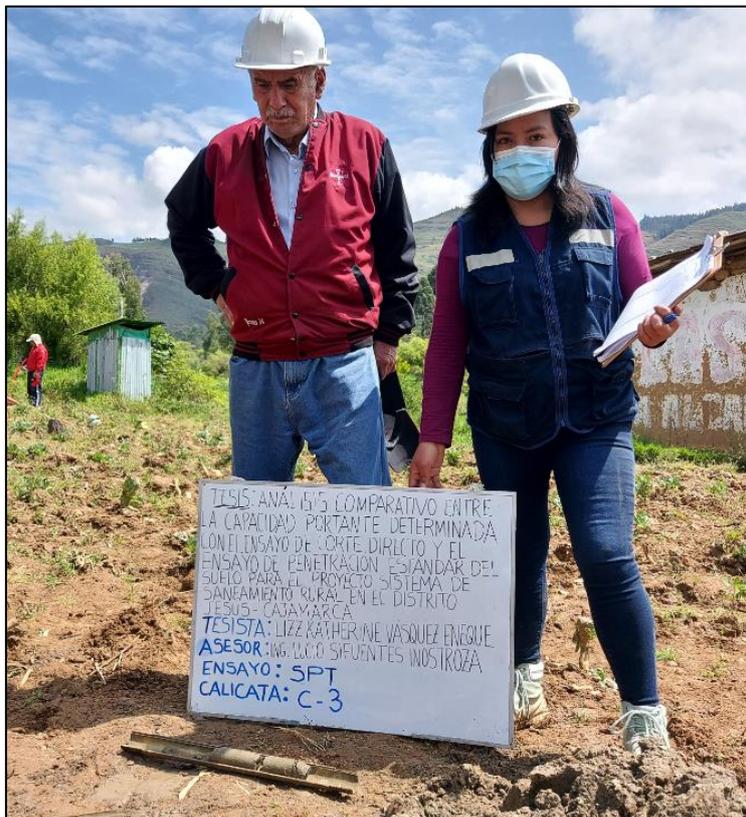
**Fotografía 26.** Extracción de las muestras del ensayo SPT2.



**Fotografía 27.** Ensayo de penetración estándar SPT3.



**Fotografía 28.** Muestras extraídas del ensayo SPT3.



## ANEXO 02

### CONTENIDO DE HUMEDAD, GRANULOMETRÍA Y LÍMITES DE ATTERBERG

Tabla 5.1. Ensayo de contenido de humedad – Calicata C-1.

| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD<br/>A.S.T.M. D 2216 / A.A.S.H.T.O. T 265</b> |                          |
|--|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>   | C-1                      |
| <b>MUESTRA:</b>  | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>  | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>  | N 9198663.26 E 788273.65 |
| <b>FECHA:</b>  | ABRIL, 2022              |

| <b>CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE SECADO DE MUESTRA</b> |        |                         |      |
|---|--------|-------------------------|------|
| <b>TEMPERATURA DE SECADO</b>                            | 110 °C | <b>TIEMPO DE SECADO</b> | 16 h |

| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>     |         |
|---------------------------------|---------|
| <b>Identificación de Tara</b>   | D-15    |
| <b>Masa de tara (g)</b>         | 110.90  |
| <b>M. Tara + M.Húmeda (g)</b>   | 2672.00 |
| <b>M. Tara + M. Seca (g)</b>    | 1973.00 |
| <b>Masa de agua (g)</b>         | 699.00  |
| <b>Masa de Muestra Seca (g)</b> | 1862.10 |
| <b>W (%)</b>                    | 37.54%  |

**Tabla 5.2.** Ensayos de los límites de Atterberg – Calicata C-1.

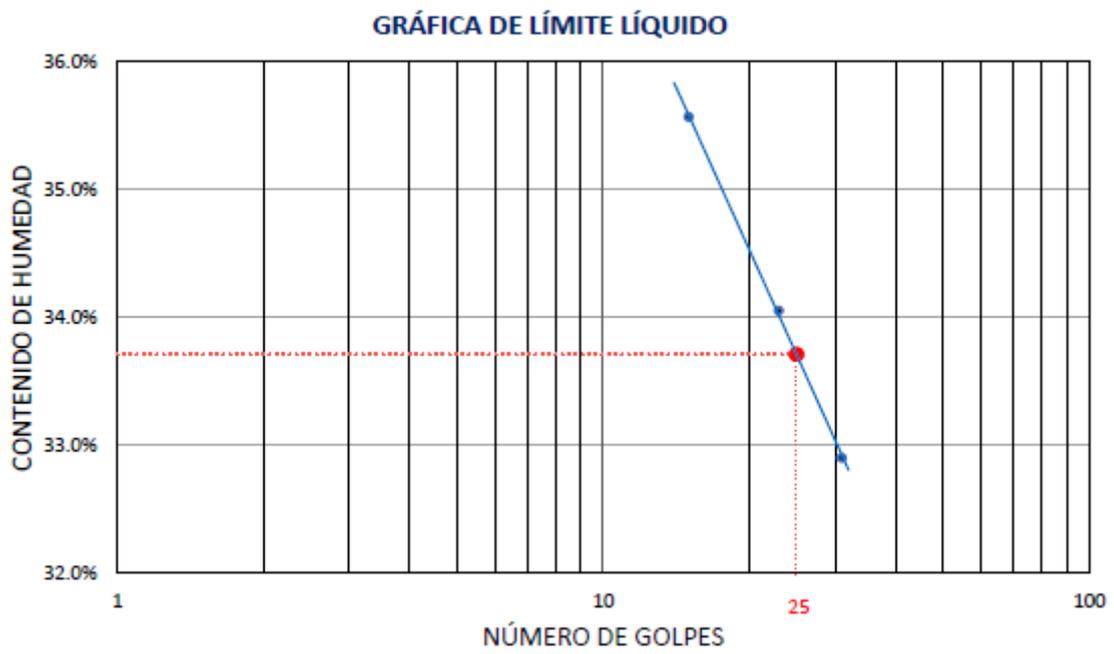
| <b>LÍMITES DE ATTERBERG<br/>A.S.T.M. D 4318 / A.A.S.H.T.O. T 89</b> |                          |
|---|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>  | C-1                      |
| <b>MUESTRA:</b>   | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>   | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>   | N 9198663.26 E 788273.65 |
| <b>FECHA:</b>   | ABRIL, 2022              |

| <b>CONDICIONES DEL ENSAYO</b> |                     |                                   |        |
|-------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--------|
| MUESTRA A ENSAYAR             |                     | CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216) |        |
| TEMP. DE SECADO:              | 60 °C               | TEMP. DE SECADO:                  | 110 °C |
| TIPO DE MATERIAL:             | Pasa la malla N° 40 | TIEMPO DE SECADO:                 | 16 h   |
| AGUA USADA:                   | Potable             |                                   |        |

| LÍMITE LÍQUIDO   |        |        |        | LÍMITE PLÁSTICO                       |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|---------------------------------------|--------|--------|
| TARA N°          | 1      | 2      | 3      | TARA N°                               | 4      | 5      |
| M tara (g)       | 11.19  | 10.70  | 11.02  | M tara (g)                            | 14.25  | 14.13  |
| Mt+ M.Húmeda (g) | 31.43  | 31.84  | 32.59  | Mt+ M.Húmeda (g)                      | 21.39  | 20.51  |
| Mt+ M. Seca (g)  | 26.12  | 26.47  | 27.25  | Mt+ M. Seca (g)                       | 19.91  | 19.18  |
| M agua (g)       | 5.31   | 5.37   | 5.34   | M agua (g)                            | 1.48   | 1.33   |
| M M.Seca (g)     | 14.93  | 15.77  | 16.23  | M. Muestra Seca (g)                   | 5.66   | 5.05   |
| W(%)             | 35.57% | 34.05% | 32.90% | W(%)                                  | 28.15% | 26.34% |
| N.GOLPES         | 15     | 23     | 31     | Contenido de Humedad Promedio: 26.24% |        |        |

| LÍMITE LÍQUIDO | LÍMITE PLÁSTICO | ÍNDICE DE PLASTICIDAD |
|----------------|-----------------|-----------------------|
| 34.00%         | 26.00%          | 8.00%                 |

**Figura 5.1.** Gráfica límite líquido – Calicata C-1.



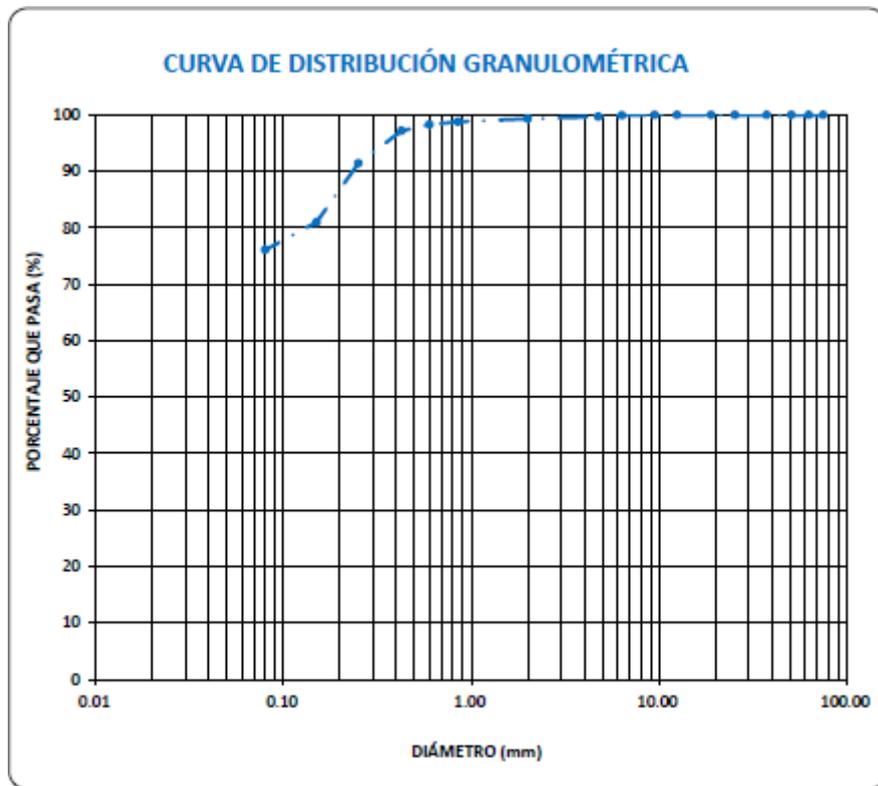
**Tabla 5.3.** Ensayo de análisis granulométrico – Calicata C-1.

| <b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO<br/>A.S.T.M. D 422 / A.A.S.H.T.O. T 88</b> |                          |
|---|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>  | C-1                      |
| <b>MUESTRA:</b>   | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>   | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>   | N 9198663.26 E 788273.65 |
| <b>FECHA:</b>   | ABRIL, 2022              |

| <b>CONDICIONES DE LA MUESTRA TOTAL</b> |         |                                     |       |               |
|--|---------|-------------------------------------|-------|---------------|
| TEMPERATURA DE SECADO                  | 110° C  | PORCENTAJE DE GRAVA, ARENAS Y FINOS |       | % TOTAL       |
| PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)            | 1000.00 | GRAVA (%):                          | 0.31  | <b>100.00</b> |
| PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (g)     | 998.94  | ARENA GRUESA (%):                   | 2.51  |               |
| PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (g)     | 3.06    | ARENA FINA (%):                     | 21.08 |               |
| PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (g)          | 1375.38 | FINOS (%):                          | 76.10 |               |

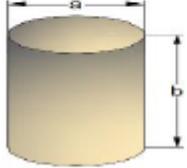
| <b>ANÁLISIS FRACCIÓN GRUESA</b>                                    |               |                       |                             |                               |                     |
|--|---------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| N°   | Tamiz         | Peso Retenido Parcial | Porcentaje Retenido Parcial | Porcentaje Retenido Acumulado | Porcentaje Que Pasa |
|  | Abertura (mm) |                       |                             |                               |                     |
| 3"   | 76.20         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 2 ½"   | 63.50         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 2"   | 50.80         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 1 ½"   | 38.10         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 1"   | 25.40         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| ¾"   | 19.05         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| ½"   | 12.70         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 3/8"   | 9.52          | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| ¼"   | 6.35          | 0.62                  | 0.06                        | 0.06                          | 99.94               |
| N°4  | 4.75          | 2.44                  | 0.24                        | 0.31                          | 99.69               |
| TOTAL  | W G =         | 3.06                  |                             |                               |                     |
| <b>ANÁLISIS FRACCIÓN FINA</b>                                      |               |                       |                             |                               |                     |
| CORRECCIÓN DE MUESTRA CUARTEADA :                                  |               |                       |                             |                               | 0.1994              |
| PESO SECO FRACCIÓN FINA :  |               |                       |                             |                               | 500.00              |
| N 10   | 2.00          | 1.86                  | 0.37                        | 0.68                          | 99.32               |
| N 20   | 0.85          | 2.68                  | 0.53                        | 1.21                          | 98.79               |
| N 30   | 0.60          | 2.47                  | 0.49                        | 1.70                          | 98.30               |
| N 40   | 0.43          | 5.62                  | 1.12                        | 2.82                          | 97.18               |
| N 60   | 0.25          | 28.94                 | 5.77                        | 8.59                          | 91.41               |
| N 100  | 0.15          | 52.12                 | 10.39                       | 18.99                         | 81.01               |
| N 200  | 0.08          | 24.65                 | 4.91                        | 23.90                         | 76.10               |
| Cazoleta   | --            | --                    | --                          | --                            | --                  |
| TOTAL  |               |                       |                             |                               |                     |
| <b>LÍMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D 4318 / A.A.S.H.T.O. T 89</b> |               |                       |                             |                               |                     |
| LÍMITE LÍQUIDO :   |               |                       |                             | 34.00%                        |                     |
| LÍMITE PLÁSTICO :  |               |                       |                             | 26.00%                        |                     |
| ÍNDICE PLÁSTICO :  |               |                       |                             | 8.00%                         |                     |
| <b>CLASIFICACIÓN</b>   |               |                       |                             |                               |                     |
| S.U.C.S. :   |               |                       |                             | ML                            |                     |

**Figura 5.2.** Gráfica de la curva de distribución granulométrica – Calicata C-1.



**Tabla 5.4.** Ensayo de densidad húmeda en campo – Calicata C-1.

| <b>DENSIDAD HÚMEDA EN CAMPO (MÉTODO VOLUMÉTRICO)</b> |                          |
|--|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>                                     | C-1                      |
| <b>MUESTRA:</b>                                      | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>                                  | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>                                  | N 9198663.26 E 788273.65 |
| <b>FECHA:</b>  | ABRIL, 2022              |

| <b>DENSIDAD HÚMEDA</b>  |   |              |
|---|---|--------------|
| PROPIEDADES   | CILINDRO METÁLICO                               |              |
|  | Peso del anillo ( $W_c$ ) (g)                   | 75.84        |
|   | Diámetro (a) (cm)                               | 5.96         |
|   | Altura (b) (cm)                                 | 1.82         |
|   | Volumen del anillo ( $V_c$ ) (cm <sup>3</sup> ) | 50.78        |
| Peso de la muestra + anillo ( $W_{h+c}$ ) (g)                                     |   | 169.35       |
| Peso de la muestra ( $W_h$ ) (g)  |   | 93.5         |
| <b>Dh (g/cm<sup>3</sup>)</b>  |   | <b>1.842</b> |

**Tabla 5.5.** Ensayo de contenido de humedad – Calicata C-2.

| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD<br/>A.S.T.M. D 2216 / A.A.S.H.T.O. T 265</b> |                          |
|--|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>   | C-2                      |
| <b>MUESTRA:</b>  | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>  | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>  | N 9198686.07 E 788243.44 |
| <b>FECHA:</b>  | ABRIL, 2022              |

| <b>CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE SECADO DE MUESTRA</b> |        |                         |      |
|---|--------|-------------------------|------|
| <b>TEMPERATURA DE SECADO</b>                            | 110 °C | <b>TIEMPO DE SECADO</b> | 16 h |

| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>     |         |
|---------------------------------|---------|
| <b>Identificación de Tara</b>   | T-32    |
| <b>Masa de tara (g)</b>         | 133.98  |
| <b>M. Tara + M.Húmeda (g)</b>   | 4667.00 |
| <b>M. Tara + M. Seca (g)</b>    | 3701.00 |
| <b>Masa de agua (g)</b>         | 966.00  |
| <b>Masa de Muestra Seca (g)</b> | 3567.02 |
| <b>W (%)</b>                    | 27.08%  |

**Tabla 5.6.** Ensayos de los límites de Atterberg – Calicata C-2.

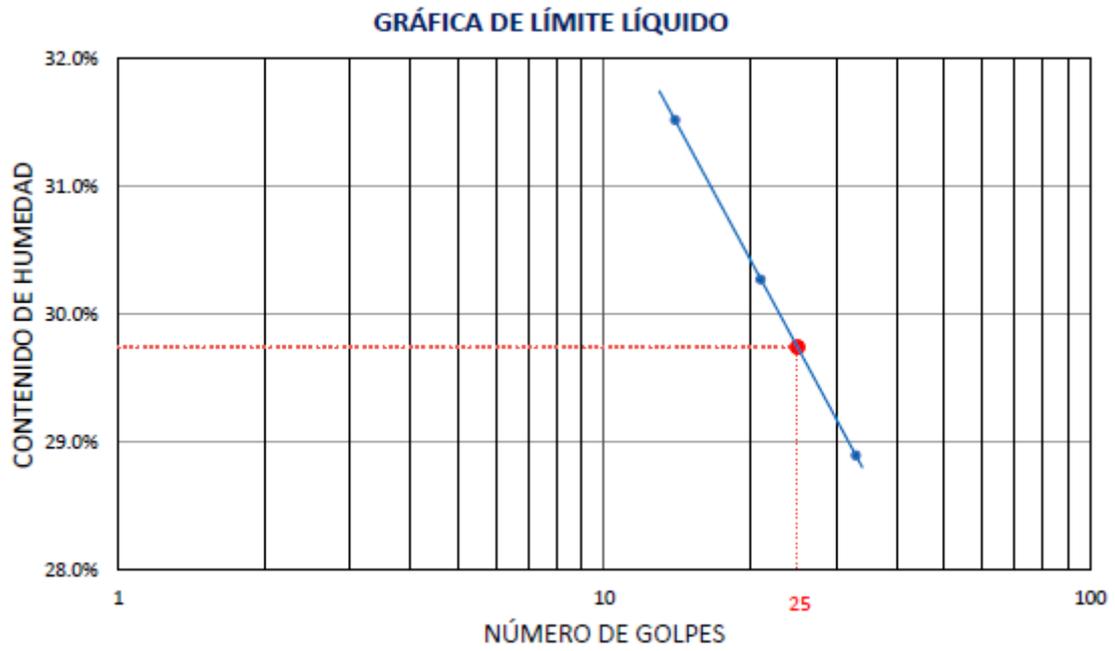
| <b>LÍMITES DE ATTERBERG<br/>A.S.T.M. D 4318 / A.A.S.H.T.O. T 89</b> |                          |
|---|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>  | C-2                      |
| <b>MUESTRA:</b>   | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>   | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>   | N 9198686.07 E 788243.44 |
| <b>FECHA:</b>   | ABRIL, 2022              |

| <b>CONDICIONES DEL ENSAYO</b> |                     |                                   |        |
|-------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--------|
| MUESTRA A ENSAYAR             |                     | CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216) |        |
| TEMP. DE SECADO:              | 60 °C               | TEMP. DE SECADO:                  | 110 °C |
| TIPO DE MATERIAL:             | Pasa la malla N° 40 | TIEMPO DE SECADO:                 | 16 h   |
| AGUA USADA:                   | Potable             |                                   |        |

| LÍMITE LÍQUIDO   |        |        |        | LÍMITE PLÁSTICO                       |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|---------------------------------------|--------|--------|
| TARA Nº          | 1      | 2      | 3      | TARA Nº                               | 4      | 5      |
| M tara (g)       | 11.38  | 11.22  | 10.62  | M tara (g)                            | 13.78  | 14.33  |
| Mt+ M.Húmeda (g) | 33.37  | 32.65  | 31.54  | Mt+ M.Húmeda (g)                      | 21.24  | 22.59  |
| Mt+ M. Seca (g)  | 28.10  | 27.67  | 26.85  | Mt+ M. Seca (g)                       | 19.73  | 20.93  |
| M agua (g)       | 5.27   | 4.98   | 4.69   | M agua (g)                            | 1.51   | 1.66   |
| M M.Seca (g)     | 16.72  | 16.45  | 16.23  | M. Muestra Seca (g)                   | 5.95   | 6.60   |
| W(%)             | 31.52% | 30.27% | 28.90% | W(%)                                  | 25.38% | 25.15% |
| N.GOLPES         | 14     | 21     | 33     | Contenido de Humedad Promedio: 25.26% |        |        |

| LÍMITE LÍQUIDO | LÍMITE PLÁSTICO | ÍNDICE DE PLASTICIDAD |
|----------------|-----------------|-----------------------|
| 30.00%         | 25.00%          | 5.00%                 |

**Figura 5.3.** Gráfica límite líquido – Calicata C-2.



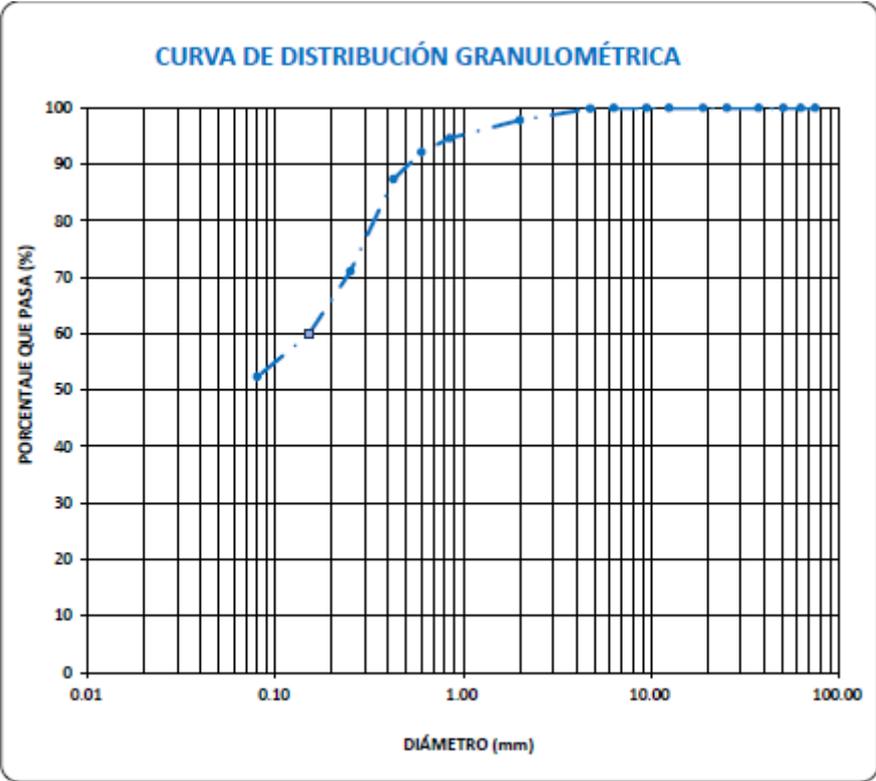
**Tabla 5.7.** Ensayo de análisis granulométrico – Calicata C-2.

| <b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO<br/>A.S.T.M. D 422 / A.A.S.H.T.O. T 88</b> |                          |
|---|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>  | C-2                      |
| <b>MUESTRA:</b>   | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>   | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>   | N 9198686.07 E 788243.44 |
| <b>FECHA:</b>   | ABRIL, 2022              |

| <b>CONDICIONES DE LA MUESTRA TOTAL</b> |         |  |       |                |
|--|---------|--|-------|----------------|
| TEMPERATURA DE SECADO                  | 110° C  | <b>PORCENTAJE DE GRAVA, ARENAS Y FINOS</b> |       | <b>% TOTAL</b> |
| PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)            | 1000.00 | GRAVA (%):                                 | 0.12  | <b>100.00</b>  |
| PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (g)     | 998.82  | ARENA GRUESA (%):                          | 12.50 |                |
| PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (g)     | 1.18    | ARENA FINA (%):                            | 35.01 |                |
| PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (g)          | 1270.81 | FINOS (%):                                 | 52.37 |                |

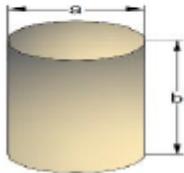
| <b>ANÁLISIS FRACCIÓN GRUESA</b>                                    |               |                       |                             |                               |                     |
|--|---------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| N°   | Tamiz         | Peso Retenido Parcial | Porcentaje Retenido Parcial | Porcentaje Retenido Acumulado | Porcentaje Que Pasa |
|  | Abertura (mm) |                       |                             |                               |                     |
| 3"   | 76.20         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 2 ½"   | 63.50         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 2"   | 50.80         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 1 ½"   | 38.10         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 1"   | 25.40         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| ¾"   | 19.05         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| ½"   | 12.70         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 3/8"   | 9.52          | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| ¼"   | 6.35          | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| N°4  | 4.75          | 1.18                  | 0.12                        | 0.12                          | 99.88               |
| TOTAL  | W G =         | 1.18                  |                             |                               |                     |
| <b>ANÁLISIS FRACCIÓN FINA</b>                                      |               |                       |                             |                               |                     |
| CORRECCIÓN DE MUESTRA CUARTEADA :                                  |               |                       |                             |                               | 0.1998              |
| PESO SECO FRACCIÓN FINA :  |               |                       |                             |                               | 500.00              |
| N 10   | 2.00          | 10.23                 | 2.04                        | 2.16                          | 97.84               |
| N 20   | 0.85          | 15.99                 | 3.19                        | 5.36                          | 94.64               |
| N 30   | 0.60          | 12.34                 | 2.47                        | 7.82                          | 92.18               |
| N 40   | 0.43          | 24.00                 | 4.79                        | 12.62                         | 87.38               |
| N 60   | 0.25          | 82.03                 | 16.39                       | 29.00                         | 71.00               |
| N 100  | 0.15          | 55.77                 | 11.14                       | 40.14                         | 59.86               |
| N 200  | 0.08          | 37.49                 | 7.49                        | 47.63                         | 52.37               |
| Cazoleta   | --            | --                    | --                          | --                            | --                  |
| TOTAL  |               |                       |                             |                               |                     |
| <b>LÍMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D 4318 / A.A.S.H.T.O. T 89</b> |               |                       |                             |                               |                     |
| LÍMITE LÍQUIDO :   |               |                       |                             | 30.00%                        |                     |
| LÍMITE PLÁSTICO :  |               |                       |                             | 25.00%                        |                     |
| ÍNDICE PLÁSTICO :  |               |                       |                             | 5.00%                         |                     |
| <b>CLASIFICACIÓN</b>   |               |                       |                             |                               |                     |
| S.U.C.S. :   |               |                       |                             | ML                            |                     |

Figura 5.4. Gráfica de la curva de distribución granulométrica – Calicata C-2.



**Tabla 5.8.** Ensayo de densidad húmeda en campo – Calicata C-2.

| <b>DENSIDAD HÚMEDA EN CAMPO (MÉTODO VOLUMÉTRICO)</b> |                          |
|--|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>                                     | C-2                      |
| <b>MUESTRA:</b>                                      | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>                                  | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>                                  | N 9198686.07 E 788243.44 |
| <b>FECHA:</b>  | ABRIL, 2022              |

| <b>DENSIDAD HÚMEDA</b>  |   |                          |
|---|---|--------------------------|
|   | <b>PROPIEDADES</b>                              | <b>CILINDRO METÁLICO</b> |
|  | Peso del anillo ( $W_c$ ) (g)                   | 75.84                    |
|   | Diámetro (a) (cm)                               | 5.96                     |
|   | Altura (b) (cm)                                 | 1.82                     |
|   | Volumen del anillo ( $V_c$ ) (cm <sup>3</sup> ) | 50.78                    |
|   | Peso de la muestra + anillo ( $W_{h+c}$ ) (g)   | 169.50                   |
|   | Peso de la muestra ( $W_h$ ) (g)                | 93.7                     |
|   | <b>Dh (g/cm<sup>3</sup>)</b>                    | <b>1.845</b>             |

**Tabla 5.9.** Ensayo de contenido de humedad – Calicata C-3.

| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD<br/>A.S.T.M. D 2216 / A.A.S.H.T.O. T 265</b> |                          |
|--|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>   | C-3                      |
| <b>MUESTRA:</b>  | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>  | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>  | N 9198661.91 E 788280.12 |
| <b>FECHA:</b>  | ABRIL, 2022              |

| <b>CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE SECADO DE MUESTRA</b> |        |                         |      |
|---|--------|-------------------------|------|
| <b>TEMPERATURA DE SECADO</b>                            | 110 °C | <b>TIEMPO DE SECADO</b> | 16 h |

| <b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>   |               |
|-------------------------------|---------------|
| <b>Identificación de Tara</b> | <b>M-3</b>    |
| Masa de tara (g)              | 134.00        |
| M. Tara + M.Húmeda (g)        | 2450.00       |
| M. Tara + M. Seca (g)         | 1893.00       |
| Masa de agua (g)              | 557.00        |
| Masa de Muestra Seca (g)      | 1759.00       |
| <b>W (%)</b>                  | <b>31.67%</b> |

**Tabla 5.10.** Ensayos de los límites de Atterberg – Calicata C-3.

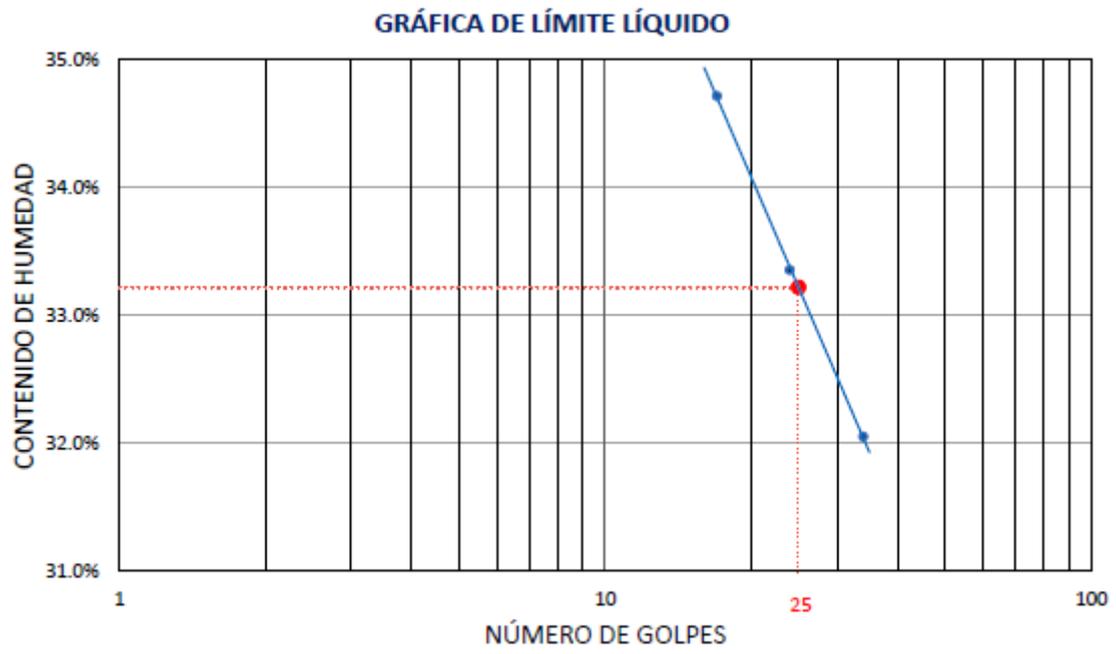
| <b>LÍMITES DE ATTERBERG<br/>A.S.T.M. D 4318 / A.A.S.H.T.O. T 89</b> |                          |
|---|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>  | C-3                      |
| <b>MUESTRA:</b>   | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>   | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>   | N 9198661.91 E 788280.12 |
| <b>FECHA:</b>   | ABRIL, 2022              |

| <b>CONDICIONES DEL ENSAYO</b> |                     |                                   |        |
|-------------------------------|---------------------|-----------------------------------|--------|
| MUESTRA A ENSAYAR             |                     | CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D2216) |        |
| TEMP. DE SECADO:              | 60 °C               | TEMP. DE SECADO:                  | 110 °C |
| TIPO DE MATERIAL:             | Pasa la malla N° 40 | TIEMPO DE SECADO:                 | 16 h   |
| AGUA USADA:                   | Potable             |                                   |        |

| LÍMITE LÍQUIDO   |        |        |        | LÍMITE PLÁSTICO                      |        |        |
|------------------|--------|--------|--------|--------------------------------------|--------|--------|
| TARA N°          | 1      | 2      | 3      | TARA N°                              | 4      | 5      |
| M tara (g)       | 11.02  | 11.19  | 10.70  | M tara (g)                           | 14.45  | 13.76  |
| Mt+ M.Húmeda (g) | 32.83  | 31.78  | 32.33  | Mt+ M.Húmeda (g)                     | 22.18  | 20.53  |
| Mt+ M. Seca (g)  | 27.21  | 26.63  | 27.08  | Mt+ M. Seca (g)                      | 20.58  | 19.12  |
| M agua (g)       | 5.62   | 5.15   | 5.25   | M agua (g)                           | 1.60   | 1.41   |
| M M.Seca (g)     | 16.19  | 15.44  | 16.38  | M. Muestra Seca (g)                  | 6.13   | 5.36   |
| W(%)             | 34.71% | 33.35% | 32.05% | W(%)                                 | 26.10% | 26.31% |
| N.GOLPES         | 17     | 24     | 34     | Contenido de Humedad Promedio: 26.2% |        |        |

| LÍMITE LÍQUIDO | LÍMITE PLÁSTICO | ÍNDICE DE PLASTICIDAD |
|----------------|-----------------|-----------------------|
| 33.00%         | 26.00%          | 7.00%                 |

**Figura 5.5.** Gráfica límite líquido – Calicata C-3.



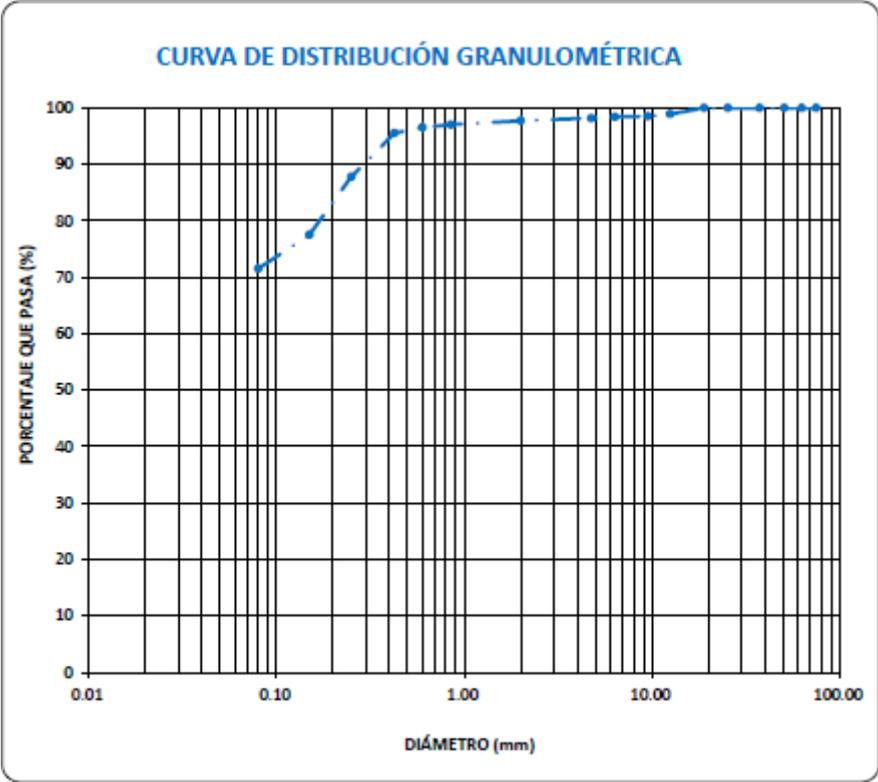
**Tabla 5.11.** Ensayo de análisis granulométrico – Calicata C-3.

| <b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</b><br><b>A.S.T.M. D 422 / A.A.S.H.T.O. T 88</b> |                          |
|---|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>  | C-3                      |
| <b>MUESTRA:</b>   | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>   | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>   | N 9198661.91 E 788280.12 |
| <b>FECHA:</b>   | ABRIL, 2022              |

| <b>CONDICIONES DE LA MUESTRA TOTAL</b> |         |                                     |       |               |
|--|---------|-------------------------------------|-------|---------------|
| TEMPERATURA DE SECADO                  | 110° C  | PORCENTAJE DE GRAVA, ARENAS Y FINOS |       | % TOTAL       |
| PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)            | 1000.00 | GRAVA (%):                          | 1.81  | <b>100.00</b> |
| PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (g)     | 981.88  | ARENA GRUESA (%):                   | 2.63  |               |
| PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (g)     | 18.12   | ARENA FINA (%):                     | 24.02 |               |
| PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (g)          | 1316.66 | FINOS (%):                          | 71.54 |               |

| <b>ANÁLISIS FRACCIÓN GRUESA</b>                                    |               |                       |                             |                               |                     |
|--|---------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------|
| N°   | Tamiz         | Peso Retenido Parcial | Porcentaje Retenido Parcial | Porcentaje Retenido Acumulado | Porcentaje Que Pasa |
|  | Abertura (mm) |                       |                             |                               |                     |
| 3"   | 76.20         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 2 ½"   | 63.50         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 2"   | 50.80         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 1 ½"   | 38.10         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| 1"   | 25.40         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| ¾"   | 19.05         | 0.00                  | 0.00                        | 0.00                          | 100.00              |
| ½"   | 12.70         | 10.82                 | 1.08                        | 1.08                          | 98.92               |
| 3/8"   | 9.52          | 3.88                  | 0.39                        | 1.47                          | 98.53               |
| ¼"   | 6.35          | 1.14                  | 0.11                        | 1.58                          | 98.42               |
| N°4  | 4.75          | 2.28                  | 0.23                        | 1.81                          | <b>98.19</b>        |
| TOTAL  | W G =         | 18.12                 |                             |                               |                     |
| <b>ANÁLISIS FRACCIÓN FINA</b>                                      |               |                       |                             |                               |                     |
| CORRECCIÓN DE MUESTRA CUARTEADA :                                  |               |                       |                             |                               | 0.1964              |
| PESO SECO FRACCIÓN FINA :  |               |                       |                             |                               | 500.00              |
| N 10   | 2.00          | 2.30                  | 0.45                        | 2.26                          | <b>97.74</b>        |
| N 20   | 0.85          | 3.48                  | 0.68                        | 2.95                          | 97.05               |
| N 30   | 0.60          | 2.54                  | 0.50                        | 3.45                          | 96.55               |
| N 40   | 0.43          | 5.05                  | 0.99                        | 4.44                          | <b>95.56</b>        |
| N 60   | 0.25          | 39.49                 | 7.75                        | 12.19                         | 87.81               |
| N 100  | 0.15          | 52.14                 | 10.24                       | 22.43                         | 77.57               |
| N 200  | 0.08          | 30.68                 | 6.02                        | 28.46                         | <b>71.54</b>        |
| Cazoleta   | --            | --                    | --                          | --                            | --                  |
| TOTAL  |               |                       |                             |                               |                     |
| <b>LÍMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D 4318 / A.A.S.H.T.O. T 89</b> |               |                       |                             |                               |                     |
| LÍMITE LÍQUIDO :   |               |                       |                             | 33.00%                        |                     |
| LÍMITE PLÁSTICO :  |               |                       |                             | 26.00%                        |                     |
| ÍNDICE PLÁSTICO :  |               |                       |                             | 7.00%                         |                     |
| <b>CLASIFICACIÓN</b>   |               |                       |                             |                               |                     |
| S.U.C.S. :   |               |                       |                             | <b>ML</b>                     |                     |

Figura 5.6. Gráfica de la curva de distribución granulométrica – Calicata C-3.



**Tabla 5.12.** Ensayo de densidad húmeda en campo – Calicata C-3.

| <b>DENSIDAD HÚMEDA EN CAMPO (MÉTODO VOLUMÉTRICO)</b> |                          |
|--|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>                                     | C-3                      |
| <b>MUESTRA:</b>                                      | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>                                  | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>                                  | N 9198661.91 E 788280.12 |
| <b>FECHA:</b>  | ABRIL, 2022              |

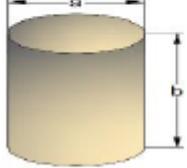
| <b>DENSIDAD HÚMEDA</b>  |   |              |
|---|---|--------------|
| PROPIEDADES   | CILINDRO METÁLICO                               |              |
|  | Peso del anillo ( $W_c$ ) (g)                   | 75.84        |
|   | Diámetro ( $a$ ) (cm)                           | 5.96         |
|   | Altura ( $b$ ) (cm)                             | 1.82         |
|   | Volumen del anillo ( $V_c$ ) (cm <sup>3</sup> ) | 50.78        |
| Peso de la muestra + anillo ( $W_{h+c}$ ) (g)                                     |   | 163.38       |
| Peso de la muestra ( $W_h$ ) (g)  |   | 87.5         |
| <b>Dh (g/cm<sup>3</sup>)</b>  |   | <b>1.724</b> |

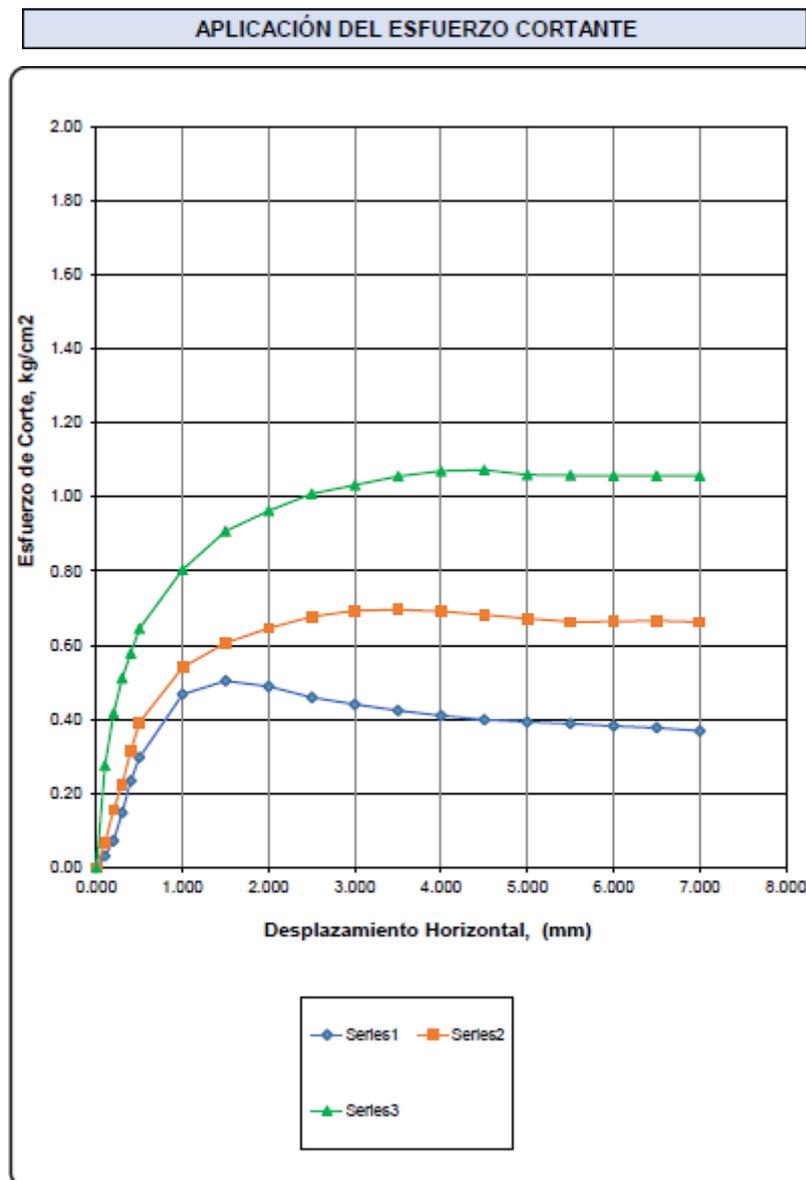
Tabla 5.13. Ensayo de corte directo – Calicata C-1.

| ENSAYO DE CORTE DIRECTO ESTÁNDAR EN SUELOS<br>A.S.T.M. D 3080 |                          |
|---|--------------------------|
| CALICATA:   | C-1                      |
| MUESTRA:  | M-1                      |
| PROFUNDIDAD:  | 2.00 m                   |
| COORDENADAS:  | N 9198663.26 E 788273.65 |
| FECHA:  | ABRIL, 2022              |

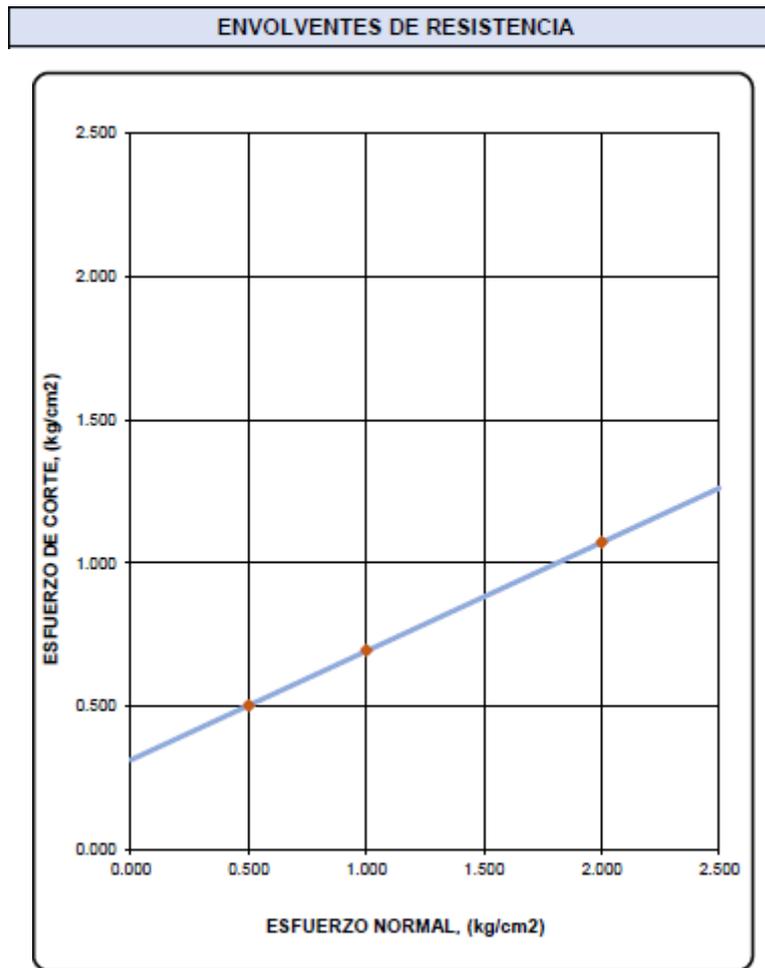
| CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA |                       |                          |                         |                          |                            |                          |        |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|--------|
| CLASIFICACIÓN S.U.C.S. :      |                       |                          | ML                      | ESTADO :                 |                            | INALTERADO               |        |
| DATOS DEL MOLDE               |                       |                          |                         |                          |                            |                          |        |
| MOLDE CIRCULAR                | DIÁMETRO (cm)         | ALTURA (cm)              | ÁREA (cm <sup>2</sup> ) |                          | VOLUMEN (cm <sup>3</sup> ) | PESO (g)                 |        |
|                               | 5.96                  | 1.82                     | 27.899                  |                          | 50.78                      | 75.84                    |        |
| DATOS DEL ENSAYO              |                       |                          |                         |                          |                            |                          |        |
| ESFUERZO NORMAL               | (kg/cm <sup>2</sup> ) | 0.500 Kg/cm <sup>2</sup> |                         | 1.000 Kg/cm <sup>2</sup> |                            | 2.000 Kg/cm <sup>2</sup> |        |
| VELOCIDAD ENSAYO              | (mm/min)              | 0.152                    |                         | 0.104                    |                            | 0.055                    |        |
| PESO DEL ANILLO MÁS MUESTRA   | (g)                   | 169.410                  |                         | 169.250                  |                            | 169.570                  |        |
| PESO MUESTRA                  | (g)                   | 93.570                   |                         | 93.410                   |                            | 93.730                   |        |
| DEFORMACIÓN FINAL             | (mm)                  | -0.208                   |                         | -0.739                   |                            | -0.897                   |        |
| ETAPA                         |                       | INICIAL                  | FINAL                   | INICIAL                  | FINAL                      | INICIAL                  | FINAL  |
| TARA                          |                       | 1                        | 2                       | 3                        | 4                          | 5                        | 6      |
| PESO DE LA TARA               | (g)                   | 11.15                    | 11.03                   | 11.16                    | 11.13                      | 10.45                    | 9.96   |
| PESO TARA + MUESTRA HUMEDA    | (g)                   | 114.39                   | 107.61                  | 112.85                   | 106.21                     | 115.27                   | 103.69 |
| PESO TARA + MUESTRA SECA      | (g)                   | 92.87                    | 86.18                   | 91.13                    | 84.60                      | 93.93                    | 83.62  |
| ALTURA                        | (cm)                  | 1.82                     | 1.80                    | 1.82                     | 1.75                       | 1.82                     | 1.73   |
| DIAMETRO                      | (cm)                  | 5.96                     | 5.96                    | 5.96                     | 5.96                       | 5.96                     | 5.96   |
| CONTENIDO DE HUMEDAD          | (%)                   | 26.33%                   | 28.52%                  | 27.16%                   | 29.41%                     | 25.56%                   | 27.25% |
| DENSIDAD HÚMEDA               | (g/cm <sup>3</sup> )  | 1.843                    | 1.864                   | 1.840                    | 1.918                      | 1.846                    | 1.942  |

| ETAPA DE APLICACIÓN DE CARGA    |                         |        |                       |                         |        |                       |                         |        |                       |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-----------------------|-------------------------|--------|-----------------------|-------------------------|--------|-----------------------|
| DESPLAZA_MIENTO HORIZONTAL (mm) | 0.50 Kg/cm <sup>2</sup> |        |                       | 1.00 Kg/cm <sup>2</sup> |        |                       | 2.00 Kg/cm <sup>2</sup> |        |                       |
|                                 | CARGA                   |        | ESFUERZO DE CORTE     | CARGA                   |        | ESFUERZO DE CORTE     | CARGA                   |        | ESFUERZO DE CORTE     |
|                                 | N                       | kg     | Kg (cm <sup>2</sup> ) | N                       | kg     | Kg (cm <sup>2</sup> ) | N                       | kg     | Kg (cm <sup>2</sup> ) |
| 0.000                           | 0.00                    | 0.000  | 0.000                 | 0.00                    | 0.000  | 0.000                 | 0.00                    | 0.000  | 0.000                 |
| 0.100                           | 8.60                    | 0.877  | 0.031                 | 18.30                   | 1.866  | 0.067                 | 75.40                   | 7.689  | 0.276                 |
| 0.200                           | 19.90                   | 2.029  | 0.073                 | 42.80                   | 4.364  | 0.156                 | 114.00                  | 11.625 | 0.417                 |
| 0.300                           | 40.50                   | 4.130  | 0.148                 | 61.40                   | 6.261  | 0.224                 | 139.80                  | 14.256 | 0.511                 |
| 0.400                           | 64.10                   | 6.536  | 0.234                 | 86.20                   | 8.790  | 0.315                 | 158.20                  | 16.132 | 0.578                 |
| 0.500                           | 81.30                   | 8.290  | 0.297                 | 107.10                  | 10.921 | 0.391                 | 176.50                  | 17.998 | 0.645                 |
| 1.000                           | 128.00                  | 13.052 | 0.468                 | 147.80                  | 15.071 | 0.540                 | 220.00                  | 22.434 | 0.804                 |
| 1.500                           | 137.80                  | 14.052 | 0.504                 | 165.80                  | 16.907 | 0.606                 | 248.30                  | 25.320 | 0.908                 |
| 2.000                           | 133.70                  | 13.634 | 0.489                 | 176.70                  | 18.018 | 0.646                 | 263.30                  | 26.849 | 0.962                 |
| 2.500                           | 125.60                  | 12.808 | 0.459                 | 185.22                  | 18.887 | 0.677                 | 275.90                  | 28.134 | 1.008                 |
| 3.000                           | 120.50                  | 12.288 | 0.440                 | 189.60                  | 19.334 | 0.693                 | 282.40                  | 28.797 | 1.032                 |
| 3.500                           | 115.90                  | 11.819 | 0.424                 | 190.41                  | 19.416 | 0.696                 | 288.80                  | 29.449 | 1.056                 |
| 4.000                           | 112.10                  | 11.431 | 0.410                 | 189.05                  | 19.278 | 0.691                 | 292.70                  | 29.847 | 1.070                 |
| 4.500                           | 109.20                  | 11.135 | 0.399                 | 186.60                  | 19.028 | 0.682                 | 293.50                  | 29.929 | 1.073                 |
| 5.000                           | 107.50                  | 10.962 | 0.393                 | 183.90                  | 18.753 | 0.672                 | 289.90                  | 29.562 | 1.060                 |
| 5.500                           | 106.20                  | 10.829 | 0.388                 | 181.40                  | 18.498 | 0.663                 | 289.50                  | 29.521 | 1.058                 |
| 6.000                           | 104.60                  | 10.666 | 0.382                 | 181.70                  | 18.529 | 0.664                 | 289.30                  | 29.500 | 1.057                 |
| 6.500                           | 103.20                  | 10.523 | 0.377                 | 182.20                  | 18.579 | 0.666                 | 289.30                  | 29.500 | 1.057                 |
| 7.000                           | 100.90                  | 10.289 | 0.369                 | 181.30                  | 18.487 | 0.663                 | 289.30                  | 29.500 | 1.057                 |

**Figura 5.7.** Gráfica de la aplicación del esfuerzo cortante – Calicata C-1.



**Figura 5.8.** Gráfica de los envolventes de resistencia – Calicata C-1.



**Tabla 5.14.** Esfuerzo normal y esfuerzo de corte en cada espécimen – Calicata C-1.

| ESPECIMEN | ESFUERZO NORMAL (kg/cm <sup>2</sup> ) | ESFUERZO DE CORTE (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------|---------------------------------------|---|
| 1         | 0.500                                 | 0.504                                   |
| 2         | 1.000                                 | 0.696                                   |
| 3         | 2.000                                 | 1.073                                   |

**Tabla 5.15.** Parámetros de resistencia al corte – Calicata C-1.

| PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE |       |                    |
|------------------------------------|-------|--------------------|
| COHESIÓN =                         | 0.314 | kg/cm <sup>2</sup> |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA =       | 20.78 | °                  |

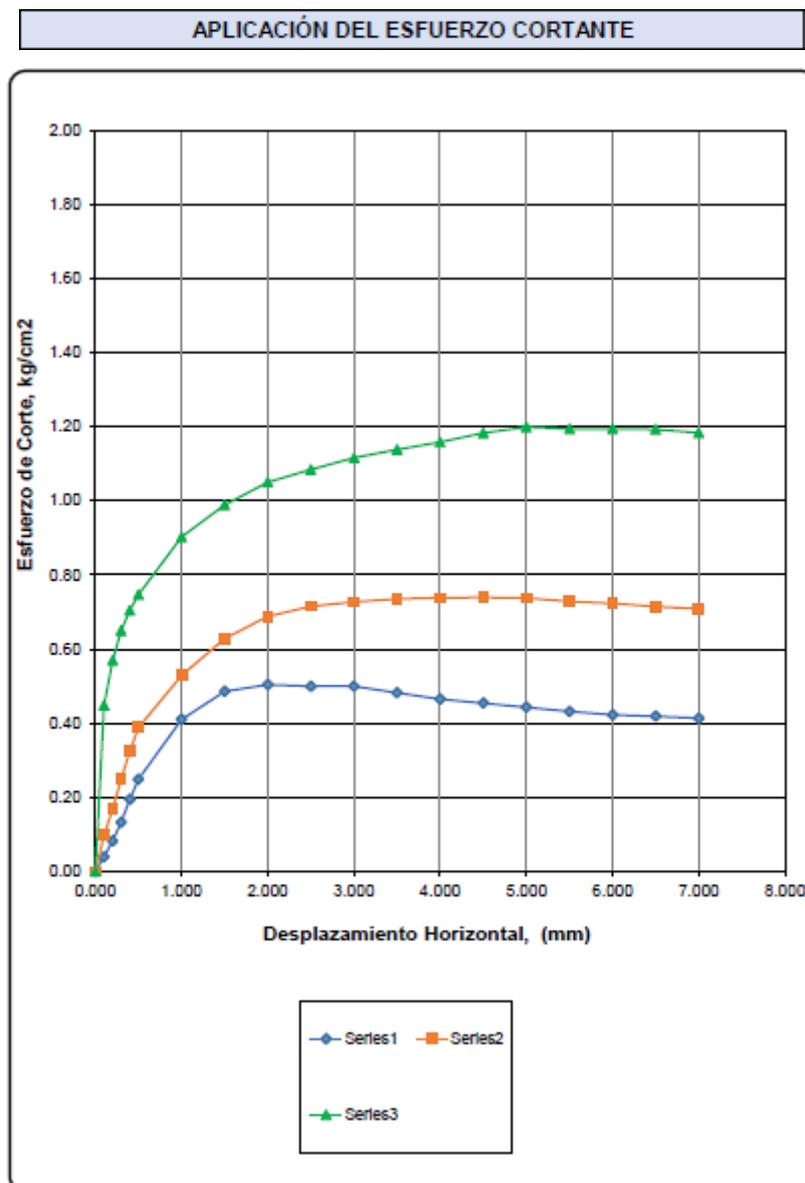
**Tabla 5.16. Ensayo de corte directo – Calicata C-2.**

| <b>ENSAYO DE CORTE DIRECTO ESTÁNDAR EN SUELOS<br/>A.S.T.M. D 3080</b> |                          |
|---|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>  | C-2                      |
| <b>MUESTRA:</b>   | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>   | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>   | N 9198686.07 E 788243.44 |
| <b>FECHA:</b>   | ABRIL, 2022              |

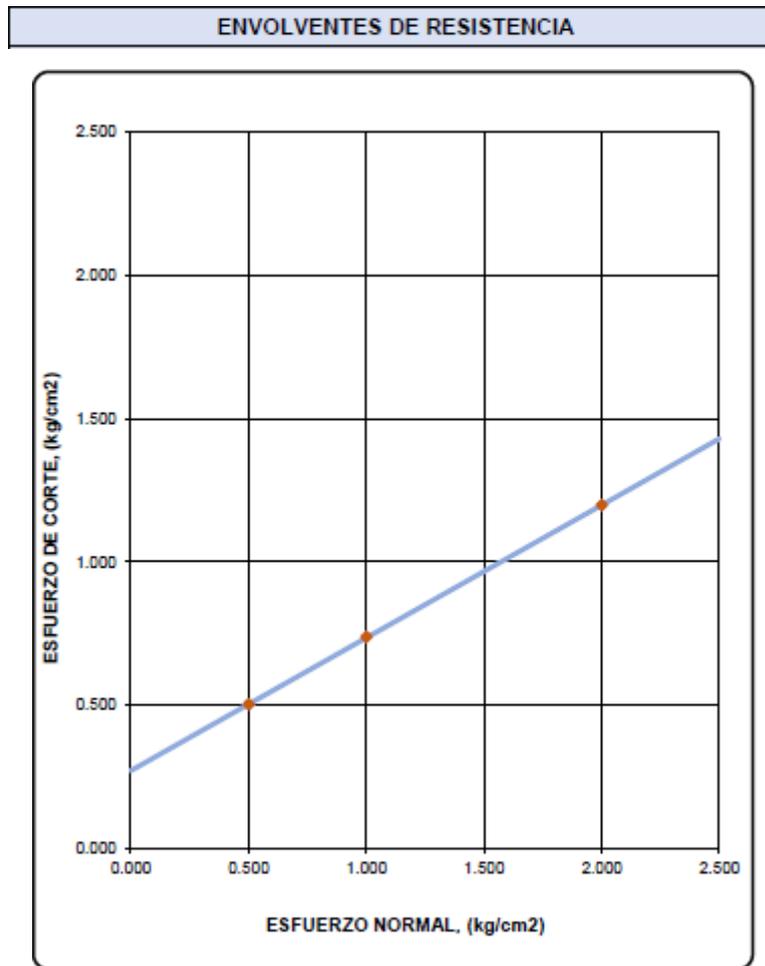
| CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA |                       |                          |                         |                          |                            |                          |            |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|------------|
| CLASIFICACIÓN S.U.C.S. :      |                       |                          |                         | ML                       | ESTADO :                   |                          | INALTERADO |
| DATOS DEL MOLDE               |                       |                          |                         |                          |                            |                          |            |
| MOLDE CIRCULAR                | DIÁMETRO (cm)         | ALTURA (cm)              | ÁREA (cm <sup>2</sup> ) |                          | VOLUMEN (cm <sup>3</sup> ) |                          | PESO (g)   |
|                               | 5.96                  | 1.82                     | 27.899                  |                          | 50.78                      |                          | 75.84      |
| DATOS DEL ENSAYO              |                       |                          |                         |                          |                            |                          |            |
| ESFUERZO NORMAL               | (kg/cm <sup>2</sup> ) | 0.500 Kg/cm <sup>2</sup> |                         | 1.000 Kg/cm <sup>2</sup> |                            | 2.000 Kg/cm <sup>2</sup> |            |
| VELOCIDAD ENSAYO              | (mm/min)              | 0.152                    |                         | 0.104                    |                            | 0.055                    |            |
| PESO DEL ANILLO MÁS MUESTRA   | (g)                   | 169.380                  |                         | 169.480                  |                            | 169.520                  |            |
| PESO MUESTRA                  | (g)                   | 93.540                   |                         | 93.640                   |                            | 93.680                   |            |
| DEFORMACIÓN FINAL             | (mm)                  | -0.139                   |                         | -0.351                   |                            | -0.67                    |            |
| ETAPA                         |                       | INICIAL                  | FINAL                   | INICIAL                  | FINAL                      | INICIAL                  | FINAL      |
| TARA                          |                       | 1                        | 2                       | 3                        | 4                          | 5                        | 6          |
| PESO DE LA TARA               | (g)                   | 10.70                    | 10.88                   | 11.49                    | 11.57                      | 11.25                    | 11.30      |
| PESO TARA + MUESTRA HUMEDA    | (g)                   | 126.26                   | 106.86                  | 122.70                   | 105.28                     | 127.91                   | 104.03     |
| PESO TARA + MUESTRA SECA      | (g)                   | 96.67                    | 81.61                   | 95.56                    | 81.61                      | 99.76                    | 81.40      |
| ALTURA                        | (cm)                  | 1.82                     | 1.81                    | 1.82                     | 1.78                       | 1.82                     | 1.75       |
| DIAMETRO                      | (cm)                  | 5.96                     | 5.96                    | 5.96                     | 5.96                       | 5.96                     | 5.96       |
| CONTENIDO DE HUMEDAD          | (%)                   | 34.42%                   | 35.70%                  | 32.28%                   | 33.79%                     | 31.80%                   | 32.28%     |
| DENSIDAD HÚMEDA               | (g/cm <sup>3</sup> )  | 1.842                    | 1.856                   | 1.844                    | 1.880                      | 1.845                    | 1.916      |

| ETAPA DE APLICACIÓN DE CARGA    |                         |        |                       |                         |        |                       |                         |        |                       |
|---------------------------------|-------------------------|--------|-----------------------|-------------------------|--------|-----------------------|-------------------------|--------|-----------------------|
| DESPLAZA_MIENTO HORIZONTAL (mm) | 0.50 Kg/cm <sup>2</sup> |        |                       | 1.00 Kg/cm <sup>2</sup> |        |                       | 2.00 Kg/cm <sup>2</sup> |        |                       |
|                                 | CARGA                   |        | ESFUERZO DE CORTE     | CARGA                   |        | ESFUERZO DE CORTE     | CARGA                   |        | ESFUERZO DE CORTE     |
|                                 | N                       | kg     | Kg (cm <sup>2</sup> ) | N                       | kg     | Kg (cm <sup>2</sup> ) | N                       | kg     | Kg (cm <sup>2</sup> ) |
| 0.000                           | 0.00                    | 0.000  | 0.000                 | 0.00                    | 0.000  | 0.000                 | 0.00                    | 0.000  | 0.000                 |
| 0.100                           | 10.80                   | 1.101  | 0.039                 | 26.80                   | 2.733  | 0.098                 | 122.70                  | 12.512 | 0.448                 |
| 0.200                           | 22.60                   | 2.305  | 0.083                 | 46.20                   | 4.711  | 0.169                 | 155.70                  | 15.877 | 0.569                 |
| 0.300                           | 36.40                   | 3.712  | 0.133                 | 68.30                   | 6.965  | 0.250                 | 177.70                  | 18.120 | 0.650                 |
| 0.400                           | 53.30                   | 5.435  | 0.195                 | 88.60                   | 9.035  | 0.324                 | 192.70                  | 19.650 | 0.704                 |
| 0.500                           | 68.10                   | 6.944  | 0.249                 | 106.30                  | 10.840 | 0.389                 | 204.30                  | 20.833 | 0.747                 |
| 1.000                           | 112.20                  | 11.441 | 0.410                 | 144.70                  | 14.755 | 0.529                 | 246.90                  | 25.177 | 0.902                 |
| 1.500                           | 132.90                  | 13.552 | 0.486                 | 171.80                  | 17.519 | 0.628                 | 270.40                  | 27.573 | 0.988                 |
| 2.000                           | 137.90                  | 14.062 | 0.504                 | 188.20                  | 19.191 | 0.688                 | 287.30                  | 29.296 | 1.050                 |
| 2.500                           | 136.70                  | 13.940 | 0.500                 | 195.70                  | 19.956 | 0.715                 | 296.60                  | 30.245 | 1.084                 |
| 3.000                           | 136.70                  | 13.940 | 0.500                 | 198.90                  | 20.282 | 0.727                 | 305.30                  | 31.132 | 1.116                 |
| 3.500                           | 131.90                  | 13.450 | 0.482                 | 201.10                  | 20.506 | 0.735                 | 311.30                  | 31.744 | 1.138                 |
| 4.000                           | 127.20                  | 12.971 | 0.465                 | 202.00                  | 20.598 | 0.738                 | 316.90                  | 32.315 | 1.158                 |
| 4.500                           | 124.20                  | 12.665 | 0.454                 | 202.30                  | 20.629 | 0.739                 | 323.60                  | 32.998 | 1.183                 |
| 5.000                           | 121.20                  | 12.359 | 0.443                 | 201.80                  | 20.578 | 0.738                 | 328.00                  | 33.447 | 1.199                 |
| 5.500                           | 118.10                  | 12.043 | 0.432                 | 199.20                  | 20.313 | 0.728                 | 326.60                  | 33.304 | 1.194                 |
| 6.000                           | 115.60                  | 11.788 | 0.423                 | 197.90                  | 20.180 | 0.723                 | 326.60                  | 33.304 | 1.194                 |
| 6.500                           | 114.60                  | 11.686 | 0.419                 | 195.50                  | 19.935 | 0.715                 | 326.20                  | 33.263 | 1.192                 |
| 7.000                           | 113.10                  | 11.533 | 0.413                 | 193.90                  | 19.772 | 0.709                 | 323.80                  | 33.018 | 1.184                 |

Figura 5.9. Gráfica de la aplicación del esfuerzo cortante – Calicata C-2.



**Figura 5.10.** Gráfica de los envolventes de resistencia – Calicata C-2.



**Tabla 5.17.** Esfuerzo normal y esfuerzo de corte en cada espécimen – Calicata C-2.

| ESPECIMEN | ESFUERZO NORMAL (kg/cm <sup>2</sup> ) | ESFUERZO DE CORTE (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------|---------------------------------------|---|
| 1         | 0.500                                 | 0.504                                   |
| 2         | 1.000                                 | 0.739                                   |
| 3         | 2.000                                 | 1.199                                   |

**Tabla 5.18.** Parámetros de resistencia al corte – Calicata C-2.

| PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE |       |                    |
|------------------------------------|-------|--------------------|
| COHESIÓN =                         | 0.272 | kg/cm <sup>2</sup> |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA =       | 24.85 | °                  |

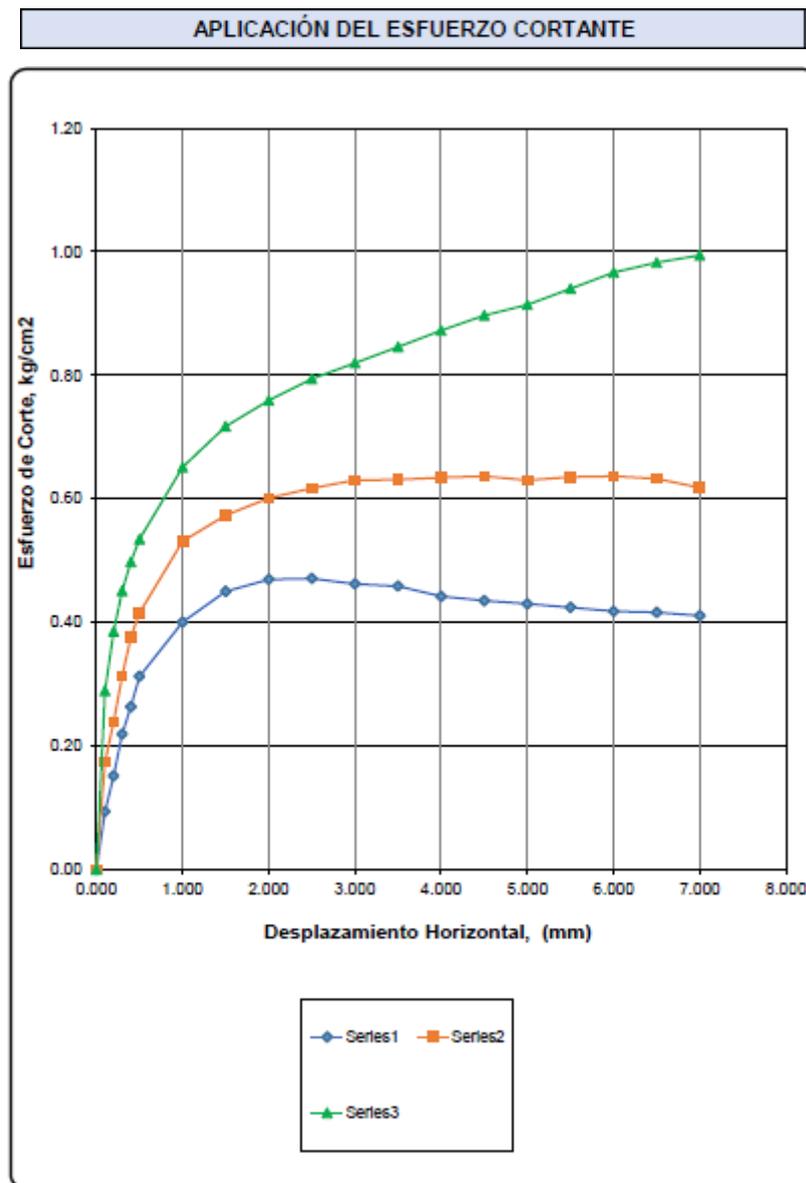
Tabla 5.19. Ensayo de corte directo – Calicata C-3.

| <b>ENSAYO DE CORTE DIRECTO ESTÁNDAR EN SUELOS<br/>A.S.T.M. D 3080</b> |                          |
|---|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>  | C-3                      |
| <b>MUESTRA:</b>   | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>   | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>   | N 9198661.91 E 788280.12 |
| <b>FECHA:</b>   | ABRIL, 2022              |

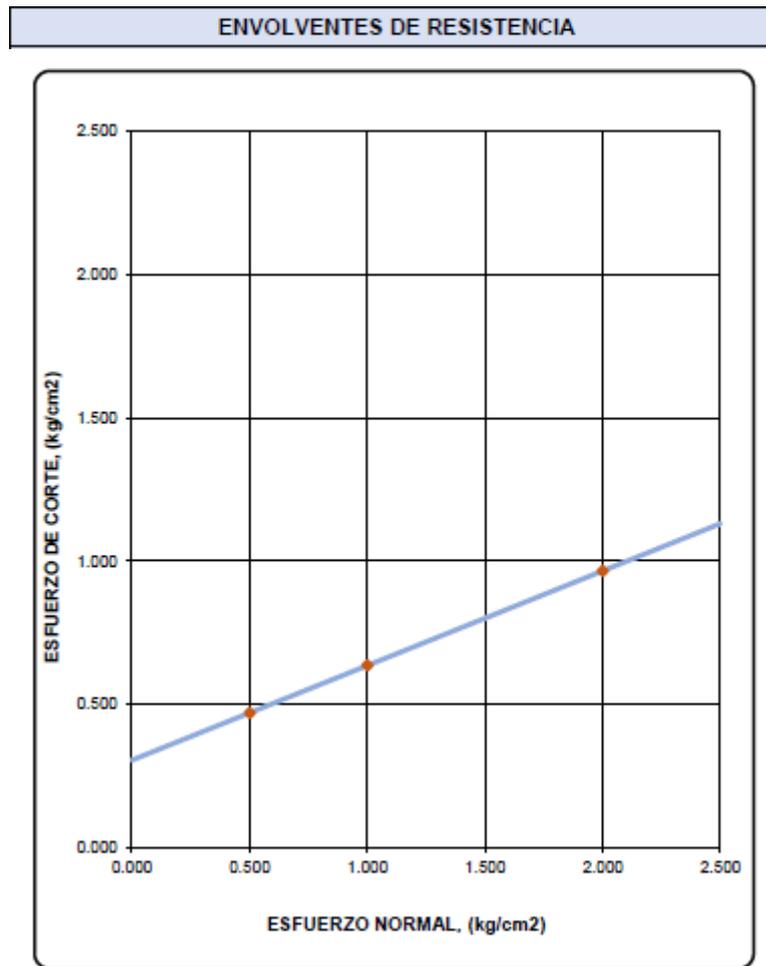
| CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA |                       |                          |                                   |                          |                                     |                          |
|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| CLASIFICACIÓN S.U.C.S. :      |                       |                          | ML                                | ESTADO :                 |                                     | INALTERADO               |
| DATOS DEL MOLDE               |                       |                          |                                   |                          |                                     |                          |
| MOLDE<br>CIRCULAR             | DIÁMETRO (cm)<br>5.96 | ALTURA (cm)<br>1.82      | ÁREA (cm <sup>2</sup> )<br>27.899 |                          | VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )<br>50.78 | PESO (g)<br>75.84        |
| DATOS DEL ENSAYO              |                       |                          |                                   |                          |                                     |                          |
| ESFUERZO NORMAL               | (kg/cm <sup>2</sup> ) | 0.500 Kg/cm <sup>2</sup> |                                   | 1.000 Kg/cm <sup>2</sup> |                                     | 2.000 Kg/cm <sup>2</sup> |
| VELOCIDAD ENSAYO              | (mm/min)              | 0.152                    |                                   | 0.104                    |                                     | 0.055                    |
| PESO DEL ANILLO MÁS MUESTRA   | (g)                   | 163.520                  |                                   | 163.830                  |                                     | 163.020                  |
| PESO MUESTRA                  | (g)                   | 87.680                   |                                   | 87.990                   |                                     | 87.180                   |
| DEFORMACIÓN FINAL             | (mm)                  | -1.073                   |                                   | -1.383                   |                                     | -2.549                   |
| ETAPA                         |                       | INICIAL                  | FINAL                             | INICIAL                  | FINAL                               | INICIAL FINAL            |
| TARA                          |                       | 1                        | 2                                 | 3                        | 4                                   | 5 6                      |
| PESO DE LA TARA               | (g)                   | 10.99                    | 10.96                             | 11.29                    | 11.45                               | 9.91 9.96                |
| PESO TARA + MUESTRA HUMEDA    | (g)                   | 112.49                   | 99.77                             | 108.71                   | 98.07                               | 100.27 93.55             |
| PESO TARA + MUESTRA SECA      | (g)                   | 87.19                    | 76.39                             | 85.48                    | 76.35                               | 78.19 72.12              |
| ALTURA                        | (cm)                  | 1.82                     | 1.71                              | 1.82                     | 1.68                                | 1.82 1.57                |
| DIAMETRO                      | (cm)                  | 5.96                     | 5.96                              | 5.96                     | 5.96                                | 5.96 5.96                |
| CONTENIDO DE HUMEDAD          | (%)                   | 33.20%                   | 35.73%                            | 31.31%                   | 33.47%                              | 32.34% 34.48%            |
| DENSIDAD HÚMEDA               | (g/cm <sup>3</sup> )  | 1.727                    | 1.835                             | 1.733                    | 1.875                               | 1.717 1.997              |

| ETAPA DE APLICACIÓN DE CARGA          |                         |        |                       |                         |        |                       |                         |        |                       |
|---------------------------------------|-------------------------|--------|-----------------------|-------------------------|--------|-----------------------|-------------------------|--------|-----------------------|
| DESPLAZA_MIENTO<br>HORIZONTAL<br>(mm) | 0.50 Kg/cm <sup>2</sup> |        |                       | 1.00 Kg/cm <sup>2</sup> |        |                       | 2.00 Kg/cm <sup>2</sup> |        |                       |
|                                       | CARGA                   |        | ESFUERZO DE CORTE     | CARGA                   |        | ESFUERZO DE CORTE     | CARGA                   |        | ESFUERZO DE CORTE     |
|                                       | N                       | kg     | Kg (cm <sup>2</sup> ) | N                       | kg     | Kg (cm <sup>2</sup> ) | N                       | kg     | Kg (cm <sup>2</sup> ) |
| 0.000                                 | 0.00                    | 0.000  | 0.000                 | 0.00                    | 0.000  | 0.000                 | 0.00                    | 0.000  | 0.000                 |
| 0.100                                 | 25.70                   | 2.621  | 0.094                 | 47.60                   | 4.854  | 0.174                 | 79.20                   | 8.076  | 0.289                 |
| 0.200                                 | 41.50                   | 4.232  | 0.152                 | 65.50                   | 6.679  | 0.239                 | 105.50                  | 10.758 | 0.386                 |
| 0.300                                 | 60.00                   | 6.118  | 0.219                 | 85.70                   | 8.739  | 0.313                 | 123.40                  | 12.583 | 0.451                 |
| 0.400                                 | 72.10                   | 7.352  | 0.264                 | 102.90                  | 10.493 | 0.376                 | 136.20                  | 13.889 | 0.498                 |
| 0.500                                 | 85.50                   | 8.719  | 0.313                 | 113.70                  | 11.594 | 0.416                 | 146.30                  | 14.918 | 0.535                 |
| 1.000                                 | 109.60                  | 11.176 | 0.401                 | 145.40                  | 14.827 | 0.531                 | 178.20                  | 18.171 | 0.651                 |
| 1.500                                 | 123.20                  | 12.563 | 0.450                 | 156.90                  | 15.999 | 0.573                 | 196.20                  | 20.007 | 0.717                 |
| 2.000                                 | 128.50                  | 13.103 | 0.470                 | 164.50                  | 16.774 | 0.601                 | 207.70                  | 21.180 | 0.759                 |
| 2.500                                 | 128.90                  | 13.144 | 0.471                 | 168.90                  | 17.223 | 0.617                 | 217.30                  | 22.158 | 0.794                 |
| 3.000                                 | 126.50                  | 12.899 | 0.462                 | 172.44                  | 17.584 | 0.630                 | 224.30                  | 22.872 | 0.820                 |
| 3.500                                 | 125.50                  | 12.797 | 0.459                 | 172.70                  | 17.610 | 0.631                 | 231.40                  | 23.596 | 0.846                 |
| 4.000                                 | 121.00                  | 12.339 | 0.442                 | 173.60                  | 17.702 | 0.635                 | 238.70                  | 24.341 | 0.872                 |
| 4.500                                 | 119.10                  | 12.145 | 0.435                 | 174.20                  | 17.763 | 0.637                 | 245.40                  | 25.024 | 0.897                 |
| 5.000                                 | 117.70                  | 12.002 | 0.430                 | 172.40                  | 17.580 | 0.630                 | 250.10                  | 25.503 | 0.914                 |
| 5.500                                 | 116.10                  | 11.839 | 0.424                 | 173.80                  | 17.723 | 0.635                 | 257.20                  | 26.227 | 0.940                 |
| 6.000                                 | 114.40                  | 11.666 | 0.418                 | 174.20                  | 17.763 | 0.637                 | 264.40                  | 26.961 | 0.966                 |
| 6.500                                 | 113.90                  | 11.615 | 0.416                 | 173.10                  | 17.651 | 0.633                 | 268.80                  | 27.410 | 0.982                 |
| 7.000                                 | 112.40                  | 11.462 | 0.411                 | 169.10                  | 17.243 | 0.618                 | 272.00                  | 27.736 | 0.994                 |

Figura 5.11. Gráfica de la aplicación del esfuerzo cortante – Calicata C-3.



**Figura 5.12.** Gráfica de los envolventes de resistencia – Calicata C-3.



**Tabla 5.20.** Esfuerzo normal y esfuerzo de corte en cada espécimen – Calicata C-3.

| ESPECIMEN | ESFUERZO NORMAL (kg/cm <sup>2</sup> ) | ESFUERZO DE CORTE (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------|---------------------------------------|---|
| 1         | 0.500                                 | 0.471                                   |
| 2         | 1.000                                 | 0.637                                   |
| 3         | 2.000                                 | 0.966                                   |

**Tabla 5.21.** Parámetros de resistencia al corte – Calicata C-3.

| PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE |       |                    |
|------------------------------------|-------|--------------------|
| COHESIÓN =                         | 0.306 | kg/cm <sup>2</sup> |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA =       | 18.27 | °                  |

**ANEXO 04**

**ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)**

**Tabla 5.22.** Ensayo de penetración estándar – SPT1.

| <b>ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)<br/>ASTM D 1586</b> |                          |
|---|--------------------------|
| <b>PERFORACIÓN:</b>   | SPT1                     |
| <b>COORDENADAS:</b>   | N 9198663.26 E 788273.65 |
| <b>FECHA:</b>   | ABRIL, 2022              |

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

|                                   |        |                        |            |                      |               |
|-----------------------------------|--------|------------------------|------------|----------------------|---------------|
| PROFUNDIDAD DE INICIO DEL ENSAYO: | 0.00 m | MÉTODO DE PERFORACIÓN: | POSTEADORA | TIPO DE MUESTREADOR: | DE MEDIA CAÑA |
| PROFUNDIDAD FINAL DEL ENSAYO:     | 2.25 m | TIPO DE MARTILLO:      | MANUAL     |                      |               |
| NIVEL FREÁTICO (m):               | -      | MÉTODO DE ENSAYO:      | A          |                      |               |
| PROFUNDIDAD DE RECHAZO (m):       | -      |                        |            |                      |               |

| PROFUNDIDAD DE ESTRATO | DESCRIPCIÓN VISUAL DEL SUELO        | PROFUNDIDAD DE ENSAYO |        | NÚMERO DE GOLPES |                  |                  | ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR |                       | CORRECCIÓN       |                 | CORRELACIONES      |                            |                         |                                 |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------|-----------------|--------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|
|                        |                                     | DE                    | A      | N 0.00m<br>0.15m | N 0.15m<br>0.30m | N 0.30m<br>0.45m | N <sub>SPT</sub> =             | N° de golpes<br>15 cm | N <sub>SPT</sub> | N <sub>60</sub> | (N1) <sub>60</sub> | Ángulo de fricción interno | Cohesión                | Resistencia al corte no drenado |
|                        |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    | φ (°)                      | c (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )        |
| 0.00 m                 |                                     | 0.00 m                |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.10 m                 | MATERIA ORGÁNICA                    |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.20 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.30 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.40 m                 |                                     |                       | 0.45 m |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.50 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.60 m                 | ESTRATO COMPUESTO POR MATERIAL FINO |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.70 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.80 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.90 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.00 m                 |                                     | 1.00 m                |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.10 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.20 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.30 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.40 m                 |                                     | 1.45 m                |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.50 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.60 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.70 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.80 m                 | 1.80 m                              |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       | 9                | 6.8             | 4.29               | 0.558                      | 0.284                   |                                 |
| 1.90 m                 |                                     |                       |        | 3                |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.00 m                 |                                     |                       |        |                  | 4                |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.10 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.20 m                 | 2.25 m                              |                       |        |                  |                  | 5                |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.30 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.40 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.50 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.60 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.70 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.80 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.90 m                 |                                     |                       |        |                  |                  |                  |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |

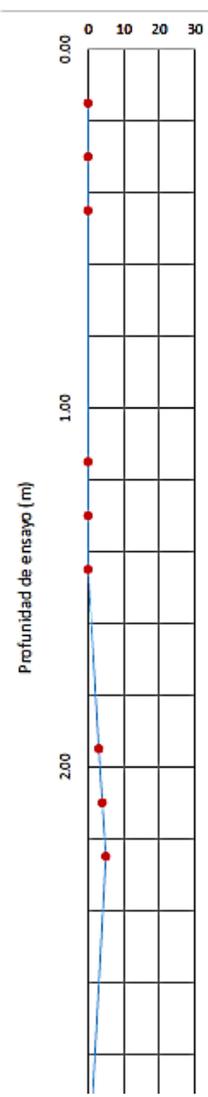


Tabla 5.23. Ensayo de penetración estándar – SPT2.

| ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)<br>ASTM D 1586 |                          |
|---|--------------------------|
| PERFORACIÓN:  | SPT2                     |
| COORDENADAS:  | N 9198686.07 E 788243.44 |
| FECHA:  | ABRIL, 2022              |

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| PROFUNDIDAD DE INICIO DEL ENSAYO: | 0.00 m |
| PROFUNDIDAD FINAL DEL ENSAYO:     | 2.25 m |
| NIVEL FREÁTICO (m):               | -      |
| PROFUNDIDAD DE RECHAZO (m):       | -      |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| MÉTODO DE PERFORACIÓN: | POSTEADORA |
| TIPO DE MARTILLO:      | MANUAL     |
| MÉTODO DE ENSAYO:      | A          |

|                      |               |
|----------------------|---------------|
| TIPO DE MUESTREADOR: | DE MEDIA CAÑA |
|----------------------|---------------|

| PROFUNDIDAD DE ESTRATO | DESCRIPCIÓN VISUAL DEL SUELO        | PROFUNDIDAD DE ENSAYO |        | NÚMERO DE GOLPES |               |               | ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR |              | N <sub>SPT</sub> | CORRECCIÓN      |                       | CORRELACIONES              |                         |                                 |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------|------------------|---------------|---------------|--------------------------------|--------------|------------------|-----------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|
|                        |                                     | DE                    | A      | N 0.00m-0.15m    | N 0.15m-0.30m | N 0.30m-0.45m | N <sub>SPT</sub> =             | N° de golpes |                  | N <sub>60</sub> | [(N1) <sub>60</sub> ] | Ángulo de fricción interno | Cohesión                | Resistencia al corte no drenado |
|                        |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       | φ (°)                      | c (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )        |
| 0.00 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 0.10 m                 | MATERIA ORGÁNICA                    |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 0.20 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 0.30 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 0.40 m                 |                                     |                       | 0.45 m |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 0.50 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 0.60 m                 | ESTRATO COMPUESTO POR MATERIAL FINO |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 0.70 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 0.80 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 0.90 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 1.00 m                 |                                     | 1.00 m                |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 1.10 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 1.20 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 1.30 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 1.40 m                 |                                     |                       | 1.45 m |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 1.50 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 1.60 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 1.70 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 1.80 m                 |                                     | 1.80 m                |        |                  |               |               |                                |              | 10               | 7.5             | 4.57                  | 0.628                      | 0.314                   |                                 |
| 1.90 m                 |                                     |                       |        | 4                |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 2.00 m                 |                                     |                       |        |                  | 4             |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 2.10 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 2.20 m                 |                                     | 2.25 m                |        |                  |               | 6             |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 2.30 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 2.40 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 2.50 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 2.60 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 2.70 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 2.80 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |
| 2.90 m                 |                                     |                       |        |                  |               |               |                                |              |                  |                 |                       |                            |                         |                                 |

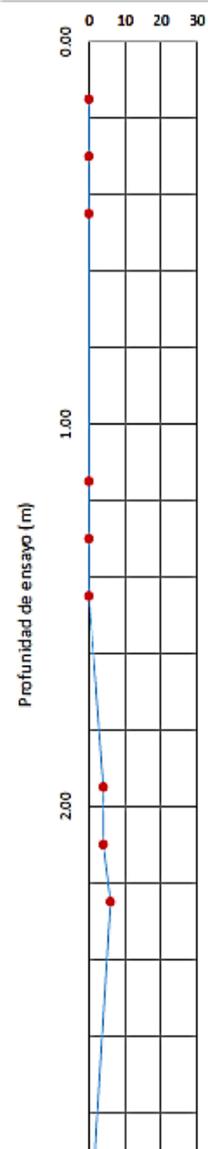


Tabla 5.24. Ensayo de penetración estándar – SPT3.

| ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)<br>ASTM D 1586 |                          |
|---|--------------------------|
| <b>PERFORACIÓN:</b>                                 | SPT3                     |
| <b>COORDENADAS:</b>                                 | N 9198661.91 E 788280.12 |
| <b>FECHA:</b>                                       | ABRIL, 2022              |

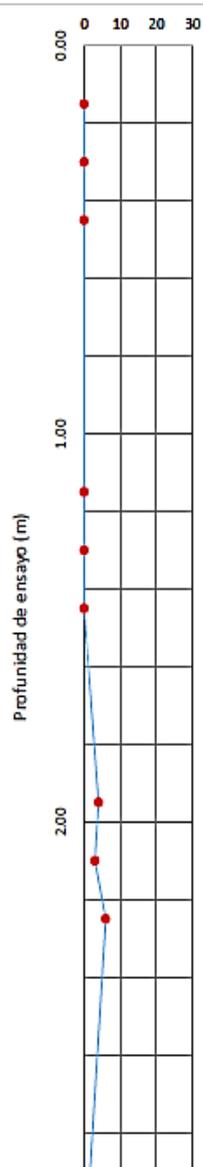
INFORMACIÓN DEL ENSAYO

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| PROFUNDIDAD DE INICIO DEL ENSAYO: | 0.00 m |
| PROFUNDIDAD FINAL DEL ENSAYO:     | 2.25 m |
| NIVEL FREÁTICO (m):               | -      |
| PROFUNDIDAD DE RECHAZO (m):       | -      |

|                        |            |
|------------------------|------------|
| MÉTODO DE PERFORACIÓN: | POSTEADORA |
| TIPO DE MARTILLO:      | MANUAL     |
| MÉTODO DE ENSAYO:      | A          |

|                      |               |
|----------------------|---------------|
| TIPO DE MUESTREADOR: | DE MEDIA CAÑA |
|----------------------|---------------|

| PROFUNDIDAD DE ESTRATO | DESCRIPCIÓN VISUAL DEL SUELO        | PROFUNDIDAD DE ENSAYO |   | NÚMERO DE GOLPES |               |               | ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR |                       | N <sub>SPT</sub> | CORRECCIÓN      |                    | CORRELACIONES              |                         |                                 |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------------|---|------------------|---------------|---------------|--------------------------------|-----------------------|------------------|-----------------|--------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|
|                        |                                     | DE                    | A | N 0.00m-0.15m    | N 0.15m-0.30m | N 0.30m-0.45m | N <sub>SPT</sub> =             | N° de golpes<br>15 cm |                  | N <sub>60</sub> | (N1) <sub>60</sub> | Ángulo de fricción interno | Cohesión                | Resistencia al corte no drenado |
|                        |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    | φ (°)                      | c (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )        |
| 0.00 m                 |                                     | 0.00 m                |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.10 m                 | MATERIA ORGÁNICA                    |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.20 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.30 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.40 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.50 m                 |                                     | 0.45 m                |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.60 m                 | ESTRATO COMPUESTO POR MATERIAL FINO |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.70 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.80 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 0.90 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.00 m                 |                                     | 1.00 m                |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.10 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.20 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.30 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.40 m                 |                                     | 1.45 m                |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.50 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.60 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.70 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.80 m                 | 1.80 m                              |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 1.90 m                 |                                     |                       |   | 4                |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.00 m                 |                                     |                       |   |                  | 3             |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.10 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.20 m                 | 2.25 m                              |                       |   |                  |               | 6             |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.30 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.40 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.50 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.60 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.70 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.80 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |
| 2.90 m                 |                                     |                       |   |                  |               |               |                                |                       |                  |                 |                    |                            |                         |                                 |



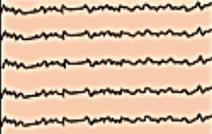
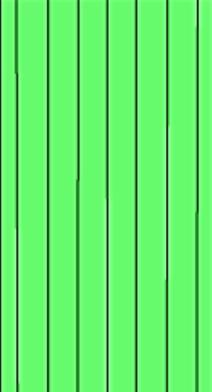
| N <sub>SPT</sub> | N <sub>60</sub> | (N1) <sub>60</sub> | Ángulo de fricción interno φ (°) | Cohesión c (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia al corte no drenado Cu (Kg/cm <sup>2</sup> ) |
|------------------|-----------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|
|                  |                 |                    |                                  |                                  |  |
|                  |                 |                    |                                  |                                  |  |
|                  |                 |                    |                                  |                                  |  |
|                  |                 |                    |                                  |                                  |  |
| 9                | 6.8             |                    | 4.29                             | 0.558                            | 0.284  |
|                  |                 |                    |                                  |                                  |  |
|                  |                 |                    |                                  |                                  |  |
|                  |                 |                    |                                  |                                  |  |
|                  |                 |                    |                                  |                                  |  |

**ANEXO 05**

**PERFILES ESTRATIGRÁFICOS**

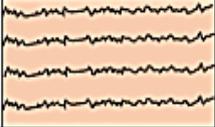
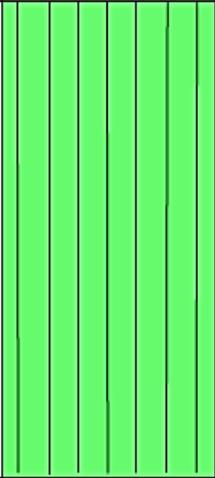
**Tabla 5.25.** Perfil estratigráfico – Calicata C-1.

| <b>PERFIL ESTRATIGRÁFICO<br/>EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA</b> |                          |
|---|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>  | C-1                      |
| <b>MUESTRA:</b>   | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>                                     | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>                                     | N 9198663.26 E 788273.65 |
| <b>FECHA:</b>   | ABRIL, 2022              |

| Profundidad (m)  | Muestra | DESCRIPCIÓN   | Clasificación |   | Contenido de humedad | Límites de Consistencia |        |
|--|---------|---|---------------|---|----------------------|-------------------------|--------|
|  |         |   | Símbolo       | Símbolo Gráfico   |                      | LL (%)                  | IP (%) |
| 0.10<br>0.20<br>0.30<br>0.40<br>0.50   | S/M     | MATERIA ORGANICA CON PRESENCIA DE RAICILLAS   | -             |    | -                    | -                       | -      |
| 0.60<br>0.70<br>0.80<br>0.90<br>1.00<br>1.10<br>1.20<br>1.30<br>1.40<br>1.50<br>1.60<br>1.70<br>1.80<br>1.90<br>2.00   | M - 1   | LIMO INORGANICO, COLOR MARRÓN , MEZCLADO CON 0.31% DE GRAVA DE TM 3/8" Y 23.59% DE ARENA FINA A GRUESA. | ML            |  | 37.54%               | 34.00                   | 8.00   |
| 2.10<br>2.20<br>2.30<br>2.40<br>2.50<br>2.60<br>2.70<br>2.80<br>2.90<br>3.00<br>3.10<br>3.20<br>3.30<br>3.40<br>3.50<br>3.60<br>3.70<br>3.80<br>3.90<br>4.00 |         |   |               |   |                      |                         |        |

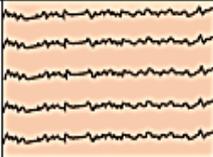
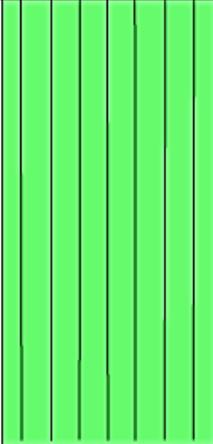
**Tabla 5.26.** Perfil estratigráfico – Calicata C-2.

| <b>PERFIL ESTRATIGRÁFICO<br/>EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA</b> |                          |
|---|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>  | C-2                      |
| <b>MUESTRA:</b>   | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>                                     | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>                                     | N 9198686.07 E 788243.44 |
| <b>FECHA:</b>   | ABRIL, 2022              |

| Profundidad (m) | Muestra | DESCRIPCIÓN   | Clasificación |  | Contenido de humedad | Límites de Consistencia |        |
|-----------------|---------|---|---------------|--|----------------------|-------------------------|--------|
|                 |         |   | Símbolo       | Símbolo Gráfico  |                      | LL (%)                  | IP (%) |
| 0.40            | S/M     | MATERIA ORGANICA CON PRESENCIA DE RAICILLAS   | -             |   | -                    | -                       | -      |
| 2.00            | M - 1   | LIMO INORGANICO, COLOR MARRÓN , MEZCLADO CON 0.12% DE GRAVA DE TM 3/8" Y 47.51% DE ARENA FINA A GRUESA. | ML            |  | 27.08%               | 30.00                   | 5.00   |
|                 |         |   |               |  |                      |                         |        |

**Tabla 5.27.** Perfil estratigráfico – Calicata C-3.

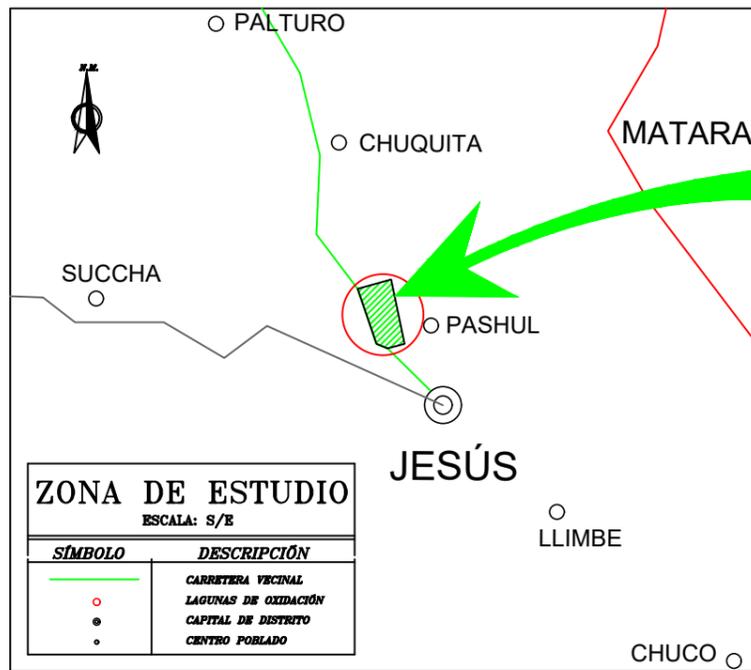
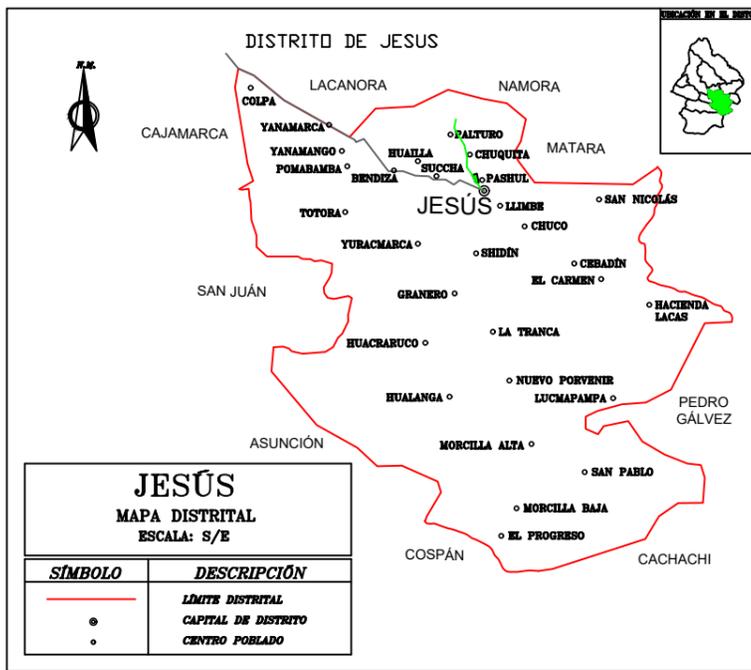
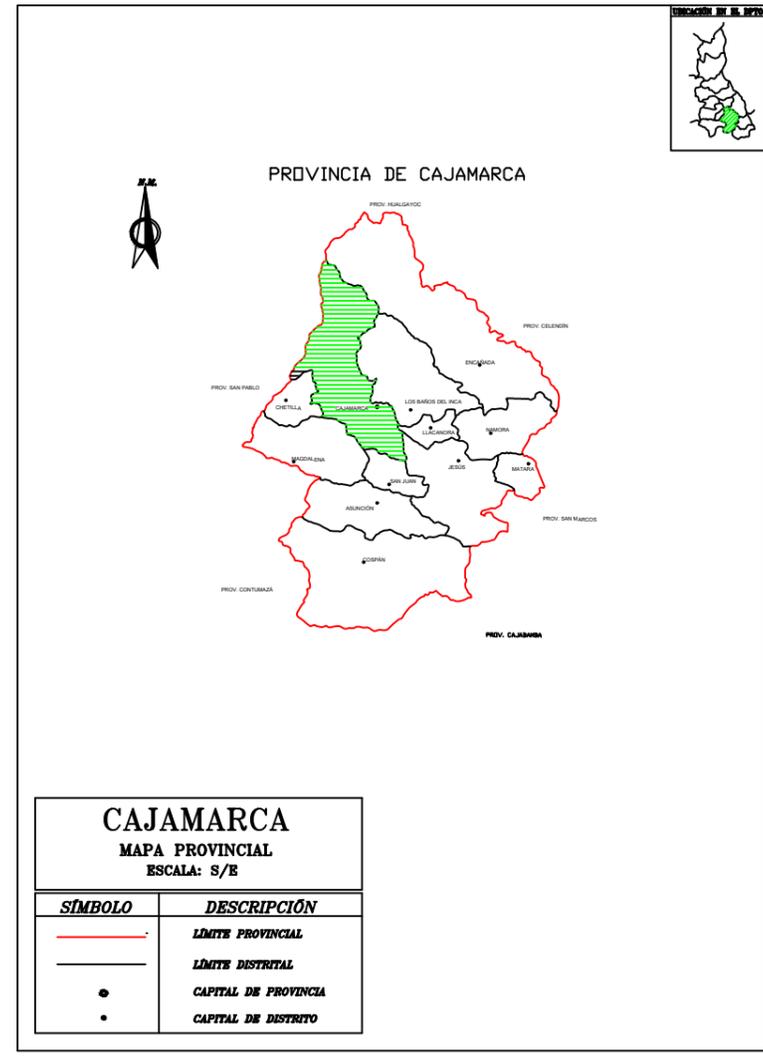
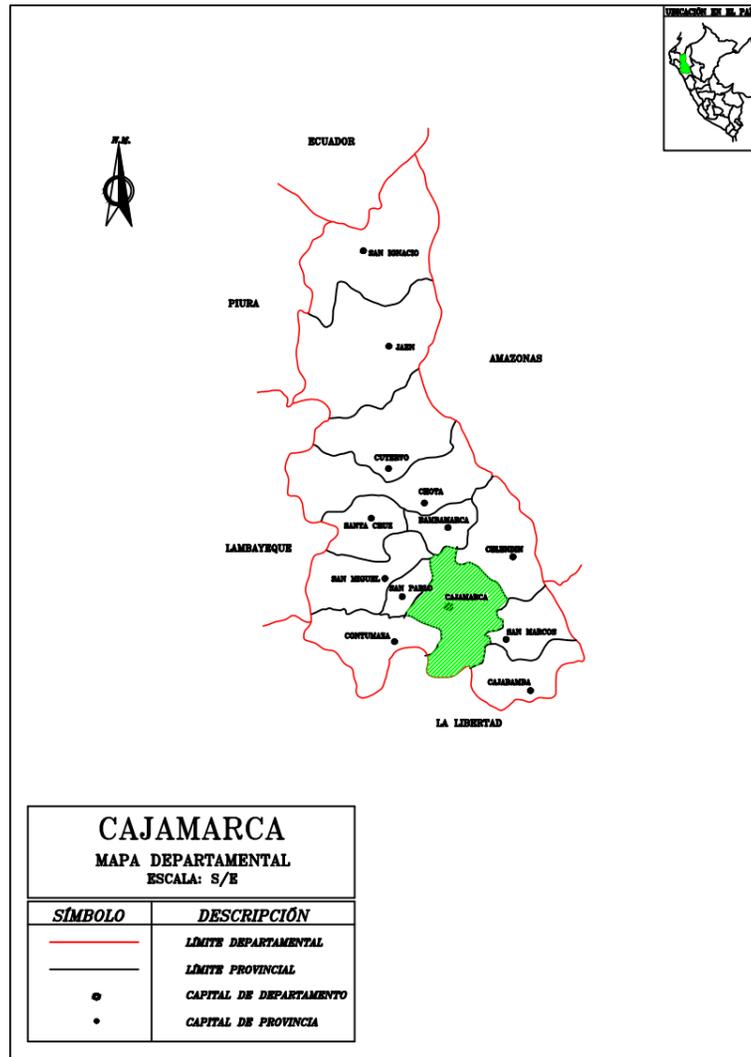
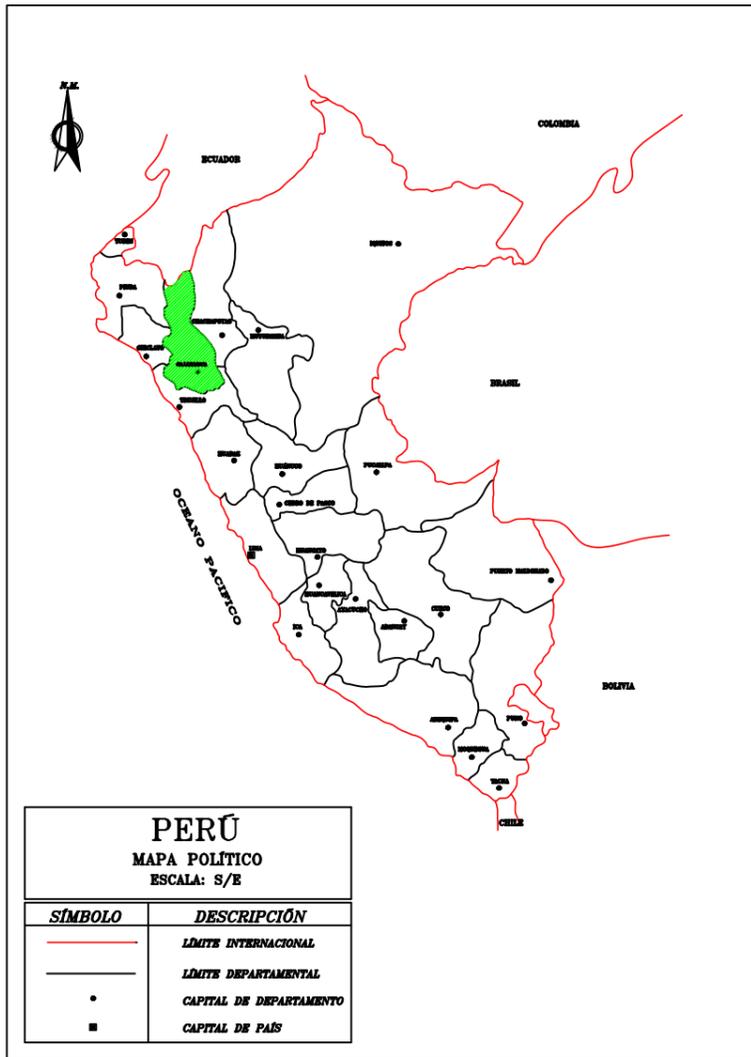
| <b>PERFIL ESTRATIGRÁFICO<br/>EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA</b> |                          |
|---|--------------------------|
| <b>CALICATA:</b>  | C-3                      |
| <b>MUESTRA:</b>   | M-1                      |
| <b>PROFUNDIDAD:</b>                                     | 2.00 m                   |
| <b>COORDENADAS:</b>                                     | N 9198661.91 E 788280.12 |
| <b>FECHA:</b>   | ABRIL, 2022              |

| Profundidad (m)  | Muestra | DESCRIPCIÓN   | Clasificación |  | Contenido de humedad | Límites de Consistencia |        |
|--|---------|---|---------------|--|----------------------|-------------------------|--------|
|  |         |   | Símbolo       | Símbolo Gráfico  |                      | LL (%)                  | IP (%) |
| 0.10<br>0.20<br>0.30<br>0.40<br>0.50   | S/M     | MATERIA ORGANICA CON PRESENCIA DE RAICILLAS   | -             |   | -                    | -                       | -      |
| 0.60<br>0.70<br>0.80<br>0.90<br>1.00<br>1.10<br>1.20<br>1.30<br>1.40<br>1.50<br>1.60<br>1.70<br>1.80<br>1.90<br>2.00   | M - 1   | LIMO INORGANICA, COLOR MARRÓN , MEZCLADO CON 1.81% DE GRAVA DE TM 3/4" Y 28.65% DE ARENA FINA A GRUESA. | ML            |  | 31.67%               | 33.00                   | 7.00   |
| 2.10<br>2.20<br>2.30<br>2.40<br>2.50<br>2.60<br>2.70<br>2.80<br>2.90<br>3.00<br>3.10<br>3.20<br>3.30<br>3.40<br>3.50<br>3.60<br>3.70<br>3.80<br>3.90<br>4.00 |         |   |               |  |                      |                         |        |

## **ANEXO 06.**

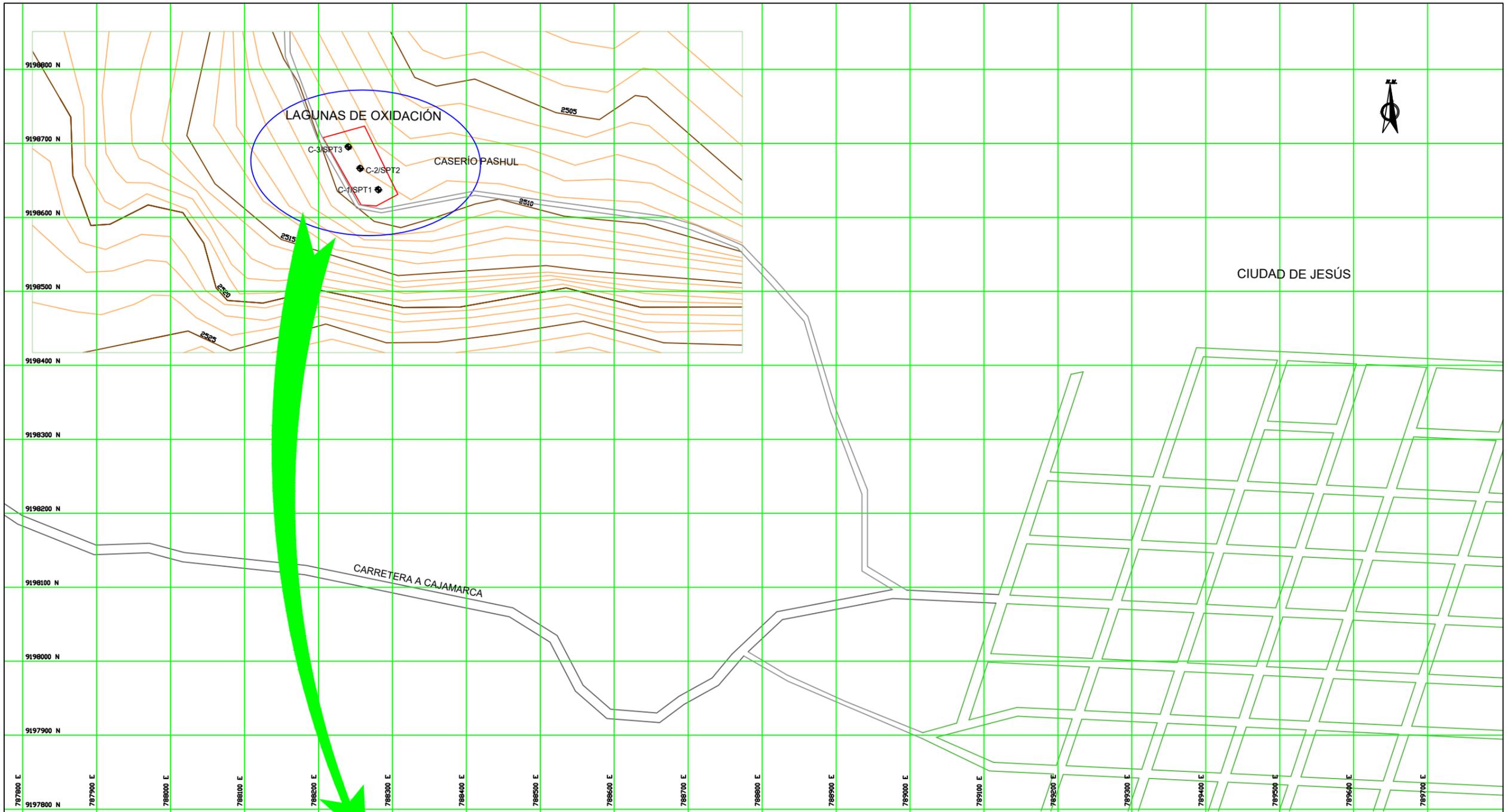
### **PLANOS**

Los planos referentes a la presente investigación están relacionados a la ubicación geográfica de la zona de estudio, dentro del país, departamento y distrito; de igual forma se tiene la ubicación de las calicatas y puntos de exploración SPT, dentro de dicha zona de estudio, la cual está en la parte donde se ha proyectado la cimentación de las lagunas de oxidación para el proyecto de saneamiento rural.



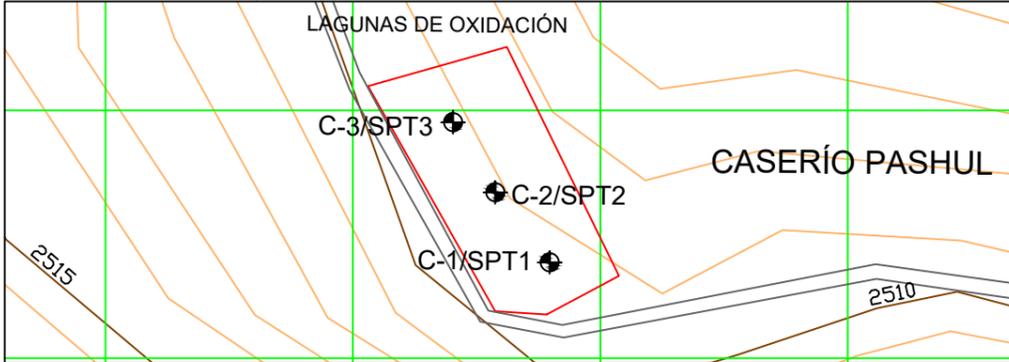
**UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO (PTAR):**  
CALICATAS Y PUNTOS DE EXPLORACIÓN SPT

|  |   |                  |
|--|---|------------------|
|  | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b><br>FACULTAD DE INGENIERÍA<br>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |                  |
|  | TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA CAPACIDAD PORTANTE DETERMINADA CON EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO Y EL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR, DEL SUELO PARA EL PROYECTO SISTEMA DE SANEAMIENTO RURAL EN EL DISTRITO DE JESÚS - CAJAMARCA" |                  |
|  | PLANO: UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO  | ESCALA: INDICADA |
|  | TESISISTA: Bach. LIZZ KATHERINE VÁSQUEZ ENEQUE  | PLANO N°:        |
| ASESOR: Ing. LUCIO MARCIAL SIFUENTES INOSTROZA                                   | <b>U-1</b>  |                  |
| DISTRITO: Jesús PROVINCIA: Cajamarca Departamento: Cajamarca FECHA: Junio - 2022 |   |                  |



ESCALA: 1/3000

| CALICATA / SPT | COORDENADAS UTM |            |
|----------------|-----------------|------------|
|                | ESTE            | NORTE      |
| C-1 / SPT1     | 788273.05       | 9198663.28 |
| C-2 / SPT2     | 788283.71       | 9198672.28 |
| C-3 / SPT3     | 788243.44       | 9198686.07 |



ESCALA: 1/1500

| LEYENDA |   |
|---------|---|
|         | CARRERA INTERDISTRITAL PAVIMENTADA      |
|         | CARRERA VECINAL NO PAVIMENTADA          |
|         | LÍMITE DE MANZANA                       |
|         | ZONA DE LAGUNAS DE OXIDACIÓN            |
|         | ZONA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES |
|         | CALICATA Y PUNTO DE EXPLORACIÓN SPT     |

|  |   |                  |
|--|---|------------------|
|  | <b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA</b><br>FACULTAD DE INGENIERÍA<br>ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL   |                  |
|  | TESIS: "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LA CAPACIDAD PORTANTE DETERMINADA CON EL ENSAYO DE CORTE DIRECTO Y EL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR, DEL SUELO PARA EL PROYECTO SISTEMA DE SANEAMIENTO RURAL EN EL DISTRITO DE JESÚS - CAJAMARCA" |                  |
|  | PLANO: UBICACIÓN DE CALICATAS Y ENSAYOS SPT   | ESCALA: INDICADA |
|  | TESISTA: Bach. LIZZ KATHERINE VÁSQUEZ ENEQUE  | PLANO N°:        |
|  | ASESOR: Ing. LUCIO MARCIAL SIFUENTES INOSTROZA  | <b>U-2</b>       |
| DISTRITO: Jesús PROVINCIA: Cajamarca Departamento: Cajamarca FECHA: Junio - 2022 |   |                  |