

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**T E S I S**

**El ensayo triaxial en la capacidad de carga de la cimentación del reservorio**

**de agua potable en Yanama, Yauli, Junín - 2024**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Geólogo**

**Autor:**

**Bach. Bryan Marlon OSORIO LEYVA**

**Asesor:**

**Mg. Vidal Victor CALSINA COLQUI**

**Cerro de Pasco – Perú – 2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**T E S I S**

**El ensayo triaxial en la capacidad de carga de la cimentación del reservorio**

**de agua potable en Yanama, Yauli, Junín - 2024**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Tito Marcial ARIAS ARZAPALO**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Javier LOPEZ ALVARADO**  
**MIEMBRO**



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

### INFORME DE ORIGINALIDAD N° 316-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**El ensayo triaxial en la capacidad de carga de la cimentación del  
reservorio de agua potable en Yanama, Yauli, Junín - 2024**

Apellidos y nombres del tesista

**Bach. Bryan Marlon OSORIO LEYVA**

Apellidos y nombres del Asesor:

**Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI**

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería geológica**

Índice de Similitud

**8 %**

**APROBADO**

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 8 de setiembre del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO  
ISIDRO Ruben Edgar FAU  
20154805046 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 08.09.2025 15:37:25 -05:00

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres, por su apoyo incondicional, que en las buenas y en las malas siempre han estado conmigo para lograr ser un profesional y a los que les debo todo lo que soy.

A mi novia quien estuvo a mi lado brindándome comprensión, tolerancia, amor y alegría.

A toda mi familia que siempre me apoyaron desde niño le dedico esta tesis con cariño.

## **AGRADECIMIENTO**

No hay palabras suficientes para expresar mi gratitud a Dios Jehová todo poderoso por la bendición de lograr el presente objetivo académico y a todas aquellas personas que me han brindado su apoyo a lo largo de mi vida académica y personal.

A mi asesor, MSc. Vidal Víctor Calsina Colqui, por sus aportes, paciencia, tiempo, supervisión, sugerencias, correcciones y facilidades prestadas al presente trabajo, además de su amistad y ayuda desinteresada.

También agradezco a todos los catedráticos de la escuela académica profesional de Ingeniería Geológica que me impartieron su profesionalismo y conocimientos aportando a mi formación y desarrollo profesional.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado “El ensayo triaxial en la determinación de la capacidad de carga de la cimentación del reservorio de agua potable ubicado en el centro poblado de Yanama, distrito de Yauli, región Junín, durante el año 2024” tiene como objetivo principal determinar la capacidad de carga admisible del suelo mediante el método de compresión triaxial y caracterizar su comportamiento mecánico del suelo, con el fin de garantizar la estabilidad y seguridad estructural del reservorio. Para ello se realizaron muestreos representativos en el área de cimentación, y las muestras obtenidas fueron ensayadas en laboratorio bajo condiciones controladas. Los resultados permitieron obtener parámetros fundamentales como: cohesión 0.14 kg/cm<sup>2</sup>, ángulo de fricción 17.35° y coeficiente poisson 0,40, que fueron aplicados en el análisis de capacidad última mediante teorías clásicas de mecánica de suelos. Se evidencia que el uso del ensayo triaxial proporciona datos precisos y confiables para el diseño geotécnico, permitiendo optimizar el dimensionamiento de la cimentación y reducir riesgos estructurales en obras hidráulicas. Finalmente, como los resultados del ensayo triaxial indican una capacidad de carga de 92.1 kPa valor que se considera bajo por lo tanto debemos de realizar un mejoramiento del suelo utilizando técnicas como la compactación, el uso de geotextiles, o la inyección de materiales para aumentar la cohesión o mejorar la fricción interna.

**Palabras claves:** Angulo, cohesión, ensayo, fricción, triaxial.

## ABSTRACT

The present work entitled "The triaxial test in the determination of the bearing capacity of the foundation of the drinking water reservoir located in the town of Yanama, Yauli district, Junín region, during the year 2024" has as its main objective to determine the admissible bearing capacity of the soil using the triaxial compression method and characterize its mechanical behavior, in order to guarantee the stability and structural safety of the reservoir. For this purpose, representative samples were taken in the foundation area, and the samples obtained were tested in the laboratory under controlled conditions. The results allowed obtaining fundamental parameters such as: cohesion 0.14 kg / cm<sup>2</sup>, friction angle 17.35 ° and Poisson's ratio 0.40, which were applied in the capacity analysis using the latest classical theories of soil mechanics. It is evident that the use of triaxial testing provides accurate and reliable data for geotechnical design, allowing for optimized foundation sizing and reducing structural risks in hydraulic works. Finally, since the triaxial test results indicate a load-bearing capacity of 92.1 kPa, a value considered low, soil improvement is required using techniques such as compaction, the use of geotextiles, or the injection of materials to increase cohesion or improve internal friction.

**Keywords:** Angle, cohesion, friction, test, triaxial.

## INTRODUCCIÓN

La construcción de reservorios de agua potable en zonas alto andinas constituye una necesidad prioritaria para garantizar el abastecimiento hídrico y mejorar la calidad de vida de las poblaciones rurales. En este contexto, el adecuado diseño de las cimentaciones cobra especial importancia, dado que deben adaptarse a las características geotécnicas del terreno y soportar cargas significativas a lo largo del tiempo. El presente estudio se enfoca en la aplicación del ensayo triaxial como herramienta fundamental para evaluar la capacidad de carga del suelo en la cimentación del reservorio de agua potable ubicado en el centro poblado de Yanama, distrito de Yauli, región Junín, durante el año 2024b.

En el Capítulo I: Problema de Investigación, expone la situación problemática detectada en el área de estudio, donde se requiere una caracterización geotécnica precisa para garantizar la estabilidad estructural del reservorio. Se plantea la interrogante principal: ¿Cómo influye el ensayo triaxial en la determinación de la capacidad de carga de la cimentación en el proyecto mencionado? Asimismo, se formulan los objetivos generales y específicos, así como la justificación y delimitación del estudio.

En el Capítulo II: Marco Teórico, se revisan los fundamentos conceptuales y científicos relacionados con la mecánica de suelos, el ensayo triaxial y la teoría de capacidad de carga. Se describen las propiedades físicas y mecánicas del suelo, los tipos de ensayos triaxiales (UU, CU, CD) y su aplicabilidad en proyectos de infraestructura. Además, se presentan antecedentes de investigaciones similares y el sustento teórico que respalda la importancia de este ensayo en el diseño de cimentaciones.

El Capítulo III: Metodología y Técnicas de Investigación detalla el enfoque metodológico del estudio, de tipo aplicado y con un diseño experimental. Se describe el proceso de muestreo de suelos en el terreno, el procedimiento del ensayo triaxial no



consolidado no drenado (UU) en laboratorio, y las herramientas analíticas utilizadas para interpretar los resultados. También se expone el ámbito espacial y temporal del estudio, así como las técnicas de recolección y análisis de datos.

Finalmente, el Capítulo IV: Resultados y Discusión presenta los datos obtenidos del ensayo triaxial, incluyendo parámetros clave como la cohesión y el ángulo de fricción interna. Estos valores se utilizaron para calcular la capacidad portante del suelo mediante métodos clásicos de Terzaghi y Meyerhof. Se analizan los resultados en función de los objetivos planteados y se discute su relevancia técnica para el diseño de la cimentación del reservorio.

Este estudio busca contribuir al conocimiento aplicado en el área de la geotecnia y brindar herramientas precisas para la toma de decisiones en proyectos de infraestructura hidráulica, especialmente en zonas rurales con condiciones geológicas complejas.

## ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

|        |   |   |
|--------|---|---|
| 1.1.   | Identificación y determinación del problema ..... | 1 |
| 1.2.   | Delimitación de la investigación .....            | 2 |
| 1.2.1. | Delimitación espacial .....                       | 2 |
| 1.2.2. | Delimitación temporal .....                       | 2 |
| 1.3.   | Formulación del problema.....                     | 2 |
| 1.3.1. | Problema general .....                            | 2 |
| 1.3.2. | Problema específico.....                          | 2 |
| 1.4.   | Formulación de objetivos .....                    | 3 |
| 1.4.1. | Objetivo general .....                            | 3 |
| 1.4.2. | Objetivos específicos.....                        | 3 |
| 1.5.   | Justificación de la investigación.....            | 3 |
| 1.6.   | Limitaciones de la investigación .....            | 4 |

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 2.1.   | Antecedentes de estudio .....                           | 6  |
| 2.1.1. | A nivel local .....                                     | 6  |
| 2.1.2. | A nivel nacional.....                                   | 7  |
| 2.1.3. | A nivel internacional .....                             | 8  |
| 2.2.   | Bases teóricas - científicas.....                       | 9  |
| 2.3.   | Definición de términos básicos .....                    | 14 |
| 2.3.1. | Asentamiento .....                                      | 14 |
| 2.3.2. | Capacidad admisible del suelo .....                     | 14 |
| 2.3.3. | Angulo de fricción interna.....                         | 14 |
| 2.3.4. | Cohesión.....   | 14 |
| 2.4.   | Formulación de hipótesis.....                           | 14 |
| 2.4.1. | Hipótesis general .....                                 | 14 |
| 2.4.2. | Hipótesis específicas .....                             | 15 |
| 2.5.   | Identificación de variables.....                        | 15 |
| 2.5.1. | Variables independientes.....                           | 15 |
| 2.5.2. | Variables dependientes .....                            | 15 |
| 2.6.   | Definición operacional de variables e indicadores ..... | 15 |

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

|      |                              |    |
|------|------------------------------|----|
| 3.1. | Tipo de investigación .....  | 17 |
| 3.2. | Nivel de investigación ..... | 17 |
| 3.3. | Método de investigación..... | 17 |
| 3.4. | Diseño de investigación..... | 18 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.5.   | Población y muestra .....   | 18 |
| 3.5.1. | Población .....   | 18 |
| 3.5.2. | Muestra .....   | 18 |
| 3.6.   | Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....                           | 18 |
| 3.7.   | Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación..... | 18 |
| 3.8.   | Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....                              | 19 |
| 3.9.   | Tratamiento estadístico.....  | 19 |
| 3.10.  | Orientación ética filosófica y epistémica .....                                 | 20 |

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

|        |  |    |
|--------|--|----|
| 4.1.   | Descripción del trabajo de campo .....   | 21 |
| 4.1.1. | Ubicación del proyecto .....   | 21 |
| 4.1.2. | Accesibilidad .....  | 23 |
| 4.1.3. | Altitud.....   | 24 |
| 4.1.4. | Clima .....  | 24 |
| 4.1.5. | Área de construcción del reservorio .....  | 24 |
| 4.1.6. | Aspectos geológicos del reservorio de agua en Yanama.....                                    | 24 |
| 4.1.7. | Topografía .....   | 34 |
| 4.2.   | Presentación, análisis e interpretación de resultados.....                                   | 35 |
| 4.2.1. | Ubicación de la zona de excavación.....  | 35 |
| 4.2.2. | Ensayo de granulometría por tamizado .....   | 35 |
| 4.2.3. | Ensayo de compresión triaxial no consolidado - no drenado para suelos<br>cohesivos (UU)..... | 36 |
| 4.2.4. | Descripción geotécnica del suelo de cimentación .....  | 36 |
| 4.2.5. | Caracterización geotécnica .....   | 37 |

|   |    |
|---|----|
| 4.2.6. Análisis de capacidad de carga .....                   | 37 |
| 4.2.7. Análisis de asentamientos.....                         | 38 |
| 4.2.8. Cálculo de la capacidad de carga y asentamientos ..... | 40 |
| 4.2.9. Consideradas empleadas.....                            | 40 |
| 4.2.10. Resultados de capacidad de carga .....                | 40 |
| 4.3. Prueba de hipótesis .....                                | 41 |
| 4.4. Discusión de resultados .....                            | 51 |

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1</b> Mapa de ubicación .....   | 22 |
| <b>Figura 2</b> Imagen satelital de la Zona de estudio .....  | 22 |
| <b>Figura 3</b> Acceso a la zona a estudiar vía terrestre .....   | 23 |
| <b>Figura 4</b> Columna estratigráfica regional del distrito de Yauli .....   | 25 |
| <b>Figura 5</b> Mapa geológico regional.....  | 26 |
| <b>Figura 6</b> Columna estratigráfica regional del distrito de Yauli .....   | 30 |
| <b>Figura 7</b> Mapa geológico local.....   | 31 |
| <b>Figura 8</b> Mapa estructural del área de estudio y sección del Domo.....  | 34 |
| <b>Figura 9</b> Zona de excavación.....   | 35 |
| <b>Figura 10</b> Gráfico de regresión lineal, que relaciona el tamaño de la zapata (en m <sup>2</sup> ) con la capacidad admisible del suelo (en kPa) ..... | 43 |
| <b>Figura 11</b> Gráfico de regresión lineal, que relaciona la cohesión (en Kg/cm <sup>2</sup> ) con la capacidad admisible del suelo (en kPa) .....        | 47 |
| <b>Figura 12</b> Gráfico de regresión lineal, que relaciona el ángulo de fricción (en °) con la capacidad admisible del suelo (en kPa) .....                | 47 |
| <b>Figura 13</b> Gráfico de regresión lineal, que relaciona la Densidad (en g/cm <sup>3</sup> ) con la capacidad admisible del suelo (en kPa) .....         | 48 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1</b> Operacionalización de Variables .....   | 16 |
| <b>Tabla 2</b> Vía de acceso a la zona de estudio. ....  | 23 |
| <b>Tabla 3</b> Coordenadas de la zona en estudio.....  | 23 |
| <b>Tabla 4</b> Resultados de ensayos de clasificación de suelos .....  | 35 |
| <b>Tabla 5</b> Resultados de ensayo triaxial no consolidado - no drenado para suelos<br>cohesivos (UU). .... | 36 |
| <b>Tabla 6</b> Capacidad admisible y asentamientos en relleno estructural .....                              | 41 |
| <b>Tabla 7</b> Aquí una muestra de los primeros 15 registros .....   | 46 |

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

El reservorio de agua potable en Yanama, ubicado en el distrito de Yauli, Junín, está destinado a proporcionar abastecimiento de agua potable a la población local. La estabilidad y seguridad estructural de dicho reservorio dependen en gran medida de la capacidad de carga de su cimentación. Sin embargo, la zona en la que se ha proyectado la construcción del reservorio presenta suelos cuya resistencia y capacidad de carga pueden ser inadecuadas debido a las características geotécnicas del lugar, lo que genera preocupación sobre posibles asentamientos o fallos estructurales.

El ensayo triaxial es una herramienta esencial para determinar las propiedades de resistencia al esfuerzo cortante de los suelos en condiciones controladas de presión y deformación. Con esta técnica, es posible obtener parámetros clave como la cohesión y el ángulo de fricción interna del suelo, los cuales son determinantes para calcular la capacidad de carga de la cimentación.



La implementación del ensayo triaxial permite mejorar la precisión en los diseños de cimentación y asegurar la estabilidad estructural del reservorio.

Este enfoque permitirá abordar de manera integral la problemática de la capacidad de carga del suelo y su impacto en la estabilidad del reservorio, utilizando el ensayo triaxial como método fundamental para la toma de decisiones en el diseño y construcción de la cimentación.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

### **1.2.1. Delimitación espacial**

El estudio de dicho ensayo triaxial en la capacidad de carga de la cimentación fue desarrollado en el reservorio de agua potable en el sector de Yanama, provincia de Yauli, departamento de Junín.

### **1.2.2. Delimitación temporal**

El estudio se desarrolló a partir del mes de junio del 2023 y se culminó en el mes de julio del 2024, elaborándose la tesis en el año 2025.

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿Cómo afectan los resultados del ensayo triaxial en la determinación de la capacidad de carga de la cimentación del reservorio de agua potable en Yanama, Yauli, Junín?

### **1.3.2. Problema específico**

- a. ¿Cuál es el comportamiento mecánico del suelo en el área de estudio según los resultados del ensayo triaxial?
- b. ¿Cómo afectan los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna, obtenidos del ensayo triaxial, en la capacidad de carga de la cimentación?

- c. ¿Qué medidas correctivas o de diseño pueden implementarse si los resultados del ensayo indican una capacidad de carga insuficiente?

#### **1.4. Formulación de objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar cómo afectan los resultados de carga admisible del suelo mediante el método de compresión triaxial.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Determinar el comportamiento mecánico del suelo en el área de estudio de acuerdo a los resultados obtenidos.
- b. Determinar cómo afectan en la capacidad de carga de la cimentación los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna, obtenidos del ensayo triaxial.
- c. Determinar las medidas correctivas o de diseño que pueden implementarse si los resultados del ensayo indican una capacidad de carga insuficiente.

#### **1.5. Justificación de la investigación**

El presente estudio sobre la influencia del ensayo triaxial en la capacidad de carga de la cimentación del reservorio de agua potable en Yanama, Yauli, Junín, se justifica por la necesidad de garantizar la seguridad estructural y la durabilidad del reservorio en el mediano y largo plazo. Este reservorio es esencial para asegurar el suministro continuo de agua potable a la comunidad, y cualquier fallo en su cimentación podría generar consecuencias catastróficas, como asentamientos excesivos, inestabilidad estructural o incluso fallos catastróficos, afectando tanto a la infraestructura como a la población que depende de ella.

El suelo sobre el que se construirá el reservorio puede presentar condiciones geotécnicas complejas, que varían en resistencia y comportamiento bajo cargas estructurales. El ensayo triaxial es una herramienta clave para evaluar las propiedades mecánicas del suelo, como su cohesión y ángulo de fricción interna, que son parámetros fundamentales para calcular la capacidad de carga y diseñar la cimentación adecuada. Mediante este estudio, se logrará un diseño de cimentación optimizado, reduciendo el riesgo de fallos estructurales y costos adicionales por correcciones posteriores a la construcción.

Además, la investigación contribuye al desarrollo del conocimiento técnico en la región, sirviendo como referencia para futuros proyectos de infraestructura que enfrenten condiciones geotécnicas similares. Esto es especialmente relevante en áreas de alta montaña como Yanama, donde las características del suelo pueden variar significativamente y representar un desafío para los ingenieros.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

Condiciones geológicas variables: La heterogeneidad de los suelos en Yanama puede dificultar la generalización de los resultados obtenidos en los ensayos triaxiales, ya que diferentes zonas pueden presentar características geotécnicas muy distintas. La variabilidad del terreno podría requerir la realización de múltiples ensayos para obtener un perfil confiable del área.

Limitación temporal: El estudio está sujeto a las condiciones climáticas de la región. Durante la temporada de lluvias, los ensayos y la recolección de muestras podrían verse afectados, lo que podría retrasar el desarrollo del estudio y la posterior ejecución del proyecto de cimentación.

Accesibilidad y logística: Yanama, al ser una zona remota y de alta montaña, presenta desafíos logísticos para la recolección de muestras y el transporte de equipos especializados necesarios para la realización de los ensayos triaxiales. Esto podría aumentar los costos y el tiempo del proyecto.

Presupuesto limitado: La ejecución del estudio depende del presupuesto asignado para la realización de ensayos geotécnicos. Un presupuesto limitado podría restringir el número de muestras analizadas o los tipos de ensayos realizados, lo que afectaría la precisión de los resultados.

Restricciones en los modelos de cálculo: Los modelos teóricos utilizados para estimar la capacidad de carga de la cimentación a partir de los resultados del ensayo triaxial asumen condiciones idealizadas que no siempre reflejan las condiciones reales del terreno. Esto podría llevar a resultados conservadores o imprecisos en ciertas circunstancias.

Influencia de otros factores no considerados: El estudio se enfoca principalmente en la capacidad de carga del suelo obtenida a partir del ensayo triaxial, pero otros factores, como el comportamiento sísmico del terreno o la interacción suelo-estructura, pueden no estar completamente abordados en este análisis.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

La evaluación de la capacidad de carga de cimentaciones es una tarea fundamental en proyectos de infraestructura, sobre todo cuando se construyen estructuras esenciales como reservorios de agua potable en zonas con características geotécnicas complejas. En este contexto, el ensayo triaxial juega un papel clave, ya que permite obtener parámetros importantes como la resistencia al esfuerzo cortante, la cohesión y el ángulo de fricción interna del suelo. Estos parámetros son esenciales para evaluar el comportamiento del suelo bajo carga y diseñar cimentaciones seguras y eficientes.

A continuación, se presentan algunos estudios que han abordado aspectos similares al análisis del ensayo triaxial y la capacidad de carga de cimentaciones en diversos contextos:

##### **2.1.1. A nivel local**

**Jave Díaz, M. A. (2022).** Modelado y diseño de una presa de relaves (colas) en el distrito de Morococha – Yauli – Junín [Trabajo de suficiencia

profesional, Universidad Privada del Norte]. Este estudio incluyó ensayos de laboratorio, entre ellos el ensayo triaxial, para caracterizar geotécnicamente los suelos utilizados en la cimentación de la presa de relaves

**OM Ingeniería y Laboratorio SRL (2012).** Informe de ensayo de compresión triaxial consolidado–drenado (CD), Calicata C-3 (Proyecto: Presa Lauracocha, Distrito de Yauli, Provincia de Yauli, Dpto. Junín). Este documento técnico presenta resultados detallados del ensayo triaxial (esfuerzo-deformación, círculo de Mohr) en muestras de suelo del distrito de Yauli.

### **2.1.2. A nivel nacional**

**Según Navarro y Sánchez (2010)**, en su estudio sobre geotecnia aplicada a obras hidráulicas en terrenos montañosos, los ensayos triaxiales son fundamentales para comprender cómo los suelos con alta cohesión o suelos con presencia de materiales rocosos responden a las cargas de cimentación. La variabilidad del terreno y los diferentes tipos de suelos encontrados en áreas como Yanama requieren una caracterización precisa mediante pruebas triaxiales, que permiten conocer cómo el suelo reaccionará bajo las condiciones de carga impuestas por el reservorio.

**Martínez et al. (2015)**, en su estudio "Capacidad de carga de suelos para grandes obras hidráulicas", realizaron un análisis de suelos sometidos a altas presiones en grandes proyectos de reservorios, utilizando el ensayo triaxial como metodología principal. Los resultados del estudio demostraron que los parámetros obtenidos a partir del ensayo permiten ajustar las condiciones de cimentación para prevenir el colapso estructural y el asentamiento excesivo, especialmente en zonas donde la saturación de los suelos puede comprometer la capacidad de carga.

Este estudio es relevante para el reservorio en Yanama, ya que la zona presenta condiciones geológicas similares.

### **2.1.3. A nivel internacional**

**Según Bowles (1996)** en su obra "Foundation Analysis and Design", el ensayo triaxial es una de las pruebas más utilizadas para la determinación de las propiedades mecánicas del suelo. A través de este ensayo, es posible obtener el comportamiento del suelo bajo condiciones controladas de confinamiento y carga axial, lo cual es crucial para el diseño de cimentaciones superficiales y profundas. En el caso de suelos granulares y cohesivos, la resistencia al esfuerzo cortante obtenida mediante este ensayo se convierte en un parámetro clave para determinar la capacidad de carga y los asentamientos admisibles de una estructura

**El estudio de Terzaghi y Peck (1967)** en "Soil Mechanics in Engineering Practice" enfatiza la importancia de los estudios geotécnicos para proyectos de infraestructura en áreas rurales o remotas, donde la variabilidad del terreno y las condiciones geotécnicas pueden representar desafíos adicionales. Los autores describen cómo los ensayos triaxiales permiten una evaluación más precisa del comportamiento del suelo en áreas montañosas, donde los suelos pueden tener alta cohesión o estar sujetos a variaciones en los niveles freáticos. Este tipo de estudios resulta directamente aplicable a proyectos como el reservorio de agua potable en Yanama, donde la seguridad de la cimentación es crucial para el éxito del proyecto.

**Según Craig (2004)**, en su libro "Soil Mechanics", los reservorios requieren un análisis detallado de la interacción suelo-estructura, ya que cualquier fallo en la cimentación podría comprometer la estabilidad del reservorio y generar pérdidas económicas y sociales significativas. El ensayo triaxial es recomendado

como un método estándar para obtener los parámetros de resistencia del suelo, ya que permite simular las condiciones de confinamiento a las que estarán sometidos los suelos bajo una estructura de gran envergadura como un reservorio.

## **2.2. Bases teóricas - científicas**

La capacidad de carga de la cimentación de cualquier estructura, como un reservorio de agua potable, está directamente relacionada con las propiedades mecánicas del suelo sobre el que se construye. Para obtener una evaluación precisa de estas propiedades, el ensayo triaxial es una de las pruebas geotécnicas más utilizadas. A continuación, se presentan las bases teóricas científicas que sustentan este estudio, con un enfoque en el ensayo triaxial y su relación con la capacidad de carga de cimentaciones, especialmente en áreas con características geotécnicas complejas como Yanama, Yauli, Junín.

### **a. Resistencia al esfuerzo cortante del suelo**

La resistencia al esfuerzo cortante es uno de los parámetros más importantes en la mecánica de suelos, ya que determina la capacidad del suelo para resistir cargas sin fallar por deslizamiento. De acuerdo con la teoría clásica de la mecánica de suelos, la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo se expresa a través del Criterio de Mohr-Coulomb, que establece que la resistencia al esfuerzo cortante ( $\tau_f$ ) está dada por la ecuación:

$$\tau_f = c + \sigma \cdot \tan(\phi)$$

Donde:

- $\tau_f$ : Resistencia al esfuerzo cortante del suelo (en Kpa).
- $c$ : cohesión del suelo (en Kpa).
- $\sigma$ : esfuerzo normal efectivo (en Kpa).
- $\Phi$ : ángulo de fricción interna del suelo (en grados).



Datos obtenidos del ensayo:

✓  $C = 14 \text{ kPa}$

✓  $\Phi = 17.35^\circ$

✓  $\sigma = 50 \text{ kPa}$

Reemplazando en la fórmula:

$$\tau_f = 14 + 50 \cdot \tan(17.35^\circ)$$

|                             |
|-----------------------------|
| $\tau_f = 29.6 \text{ kPa}$ |
|-----------------------------|

El ensayo triaxial permite medir estos dos parámetros ( $c$  y  $\phi$ ) en condiciones controladas, proporcionando una base sólida para el diseño de cimentaciones. Según Craig (2004), el ensayo triaxial es crucial para determinar el comportamiento del suelo bajo esfuerzos de confinamiento, que es un estado realista para cimentaciones sometidas a cargas verticales.

#### b. Ensayo triaxial: Metodología y resultados

El ensayo triaxial consiste en someter una muestra de suelo a condiciones controladas de presión de confinamiento y esfuerzo axial. Este ensayo permite reproducir situaciones reales en las que el suelo está confinado y sometido a cargas, como ocurre en la cimentación de estructuras. Existen varios tipos de ensayos triaxiales, como el triaxial no consolidado no drenado (UU), el triaxial consolidado no drenado (CU) y el triaxial consolidado drenado (CD), cada uno utilizado según las condiciones del suelo y el tipo de estructura.

- **Ensayo UU:** Se utiliza cuando no se permite la disipación de presiones de poro, lo que representa suelos saturados y de comportamiento rápido.

- **Ensayo CU:** En este caso, la muestra se consolida antes de la aplicación de cargas, lo que refleja el comportamiento del suelo cuando existe un proceso de drenaje parcial.
- **Ensayo CD:** Se permite el drenaje completo durante la prueba, lo que es útil para suelos que permiten la salida de agua a largo plazo.

Estos ensayos permiten obtener las curvas esfuerzo-deformación, que son esenciales para comprender la respuesta del suelo ante cargas de cimentación. Según Bowles (1996), el ensayo triaxial es el más preciso para la determinación de parámetros de resistencia, ya que simula de manera efectiva las condiciones de presión de confinamiento presentes en el campo.

#### c. Capacidad de carga de cimentaciones

La capacidad de carga de una cimentación depende de las propiedades mecánicas del suelo, como la cohesión y el ángulo de fricción interna, obtenidos mediante el ensayo triaxial.

El modelo de Terzaghi para la capacidad de carga de cimentaciones superficiales establece que:

$$q_{ult} = cN_c + qN_q + 0.5\gamma B N_\gamma$$

Donde:

- $q_{ult}$ : capacidad de carga última.
- $N_c$ ,  $N_q$  y  $N_\gamma$ : son factores de capacidad de carga.
- $q$ : esfuerzo normal efectivo en la base de la cimentación.
- $c$ : cohesión del suelo.
- $\gamma$ : peso unitario del suelo.
- $B$ : ancho de la cimentación.

Datos obtenidos del ensayo:

✓  $N_c = 7.75$

✓  $N_q = 3.42$

✓  $N_\gamma = 3.29$

✓  $q = 36 \text{ kPa}$

✓  $c = 14 \text{ kPa}$

✓  $\gamma = 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

✓  $B = 2\text{m}$

Reemplazando en la fórmula:

$$q_{ult} = 14(7.75) + 36(3.42) + 0.5(18)(1.5)(3.29)$$

|                               |
|-------------------------------|
| $q_{ult} = 276.3 \text{ kPa}$ |
|-------------------------------|

Todos los datos utilizados en esta ecuación se obtienen directamente de los resultados del ensayo triaxial, lo que demuestra su relevancia para el diseño de cimentaciones.

**d. Hallando la capacidad de carga admisible:**

La capacidad de carga admisible es la máxima presión que el suelo puede soportar de manera segura bajo una cimentación, sin que se generen fallas por corte ni asentamientos excesivos que comprometan la estabilidad de la estructura y lo podemos hallar de acuerdo a la siguiente formula.

$$q_{adm} = \frac{q_{ult}}{F.S.}$$

Donde:

✓  $q_{adm}$ : capacidad de carga admisible.

✓  $q_{ult}$  : capacidad de carga ultima (276.3 kPa)

✓ F.S. : factor de seguridad (3.0)

Reemplazando en la formula los datos obtenidos:

$$q_{adm} = \frac{(276.3 \text{ kPa})}{3.0}$$

|                              |
|------------------------------|
| $q_{adm} = 92.1 \text{ kPa}$ |
|------------------------------|

**e. Influencia de las condiciones geotécnicas**

Las características geotécnicas de zonas montañosas, como Yanama en Junín, presentan suelos que pueden ser altamente cohesivos, con presencia de materiales rocosos o suelos residuales. Estas condiciones requieren un análisis detallado para asegurar la estabilidad de la cimentación del reservorio. Según estudios como el de Navarro y Sánchez (2010), en áreas con suelos de alta cohesión, los valores de resistencia al esfuerzo cortante son determinantes para el diseño de cimentaciones. El ensayo triaxial permite obtener los valores precisos que evitan sobreestimaciones de la capacidad de carga y fallos estructurales.

**f. Asentamientos y deformaciones**

El asentamiento es otro aspecto crucial a evaluar en el diseño de cimentaciones. De acuerdo con Skempton y MacDonald (1956), los suelos que presentan baja resistencia al esfuerzo cortante pueden experimentar asentamientos significativos cuando se someten a cargas elevadas, como las impuestas por un reservorio. El ensayo triaxial permite evaluar la deformación axial del suelo, proporcionando una idea clara del potencial de asentamiento bajo condiciones de carga.

## **2.3. Definición de términos básicos**

### **2.3.1. Asentamiento**

El asentamiento ocurre cuando el suelo debajo de una cimentación se compacta, reacomoda o se comprime, ya sea por el peso propio de la estructura, por cargas adicionales o por cambios en el contenido de agua del suelo.

Hay tres tipos de asentamiento los cuales son asentamiento inmediato, asentamiento consolidado y por ultimo asentamiento diferencial.

### **2.3.2. Capacidad admisible del suelo**

La capacidad admisible del suelo es la máxima presión que puede ejercer una cimentación sobre el terreno sin producir fallas en el suelo ni asentamientos perjudiciales para la estructura.

### **2.3.3. Angulo de fricción interna**

El Angulo de fricción interna es la propiedad mecánica del suelo que muestra la resistencia al desplazamiento de las partículas granulares del suelo debido a la fricción interna, cuando se somete a esfuerzos cortantes.

### **2.3.4. Cohesión**

La cohesión es el segmento de la resistencia al corte de un terreno que no se basa en el esfuerzo habitual aplicado, y se origina por la atracción entre las partículas del mismo, particularmente en suelos cohesivos como las arcillas.

## **2.4. Formulación de hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

Las propiedades mecánicas del suelo influyen significativamente en la determinación de la capacidad de carga de la cimentación del reservorio de agua potable en Yanama, Yauli, Junín.

#### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- a. Las características geotécnicas del suelo en el área de estudio influyen en los resultados del ensayo triaxial.
- b. Los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna determinan en gran medida la resistencia al corte y por tanto la capacidad de carga del terreno en el área del reservorio.
- c. Los resultados del ensayo indican que medidas correctivas o de diseño pueden implementarse si la capacidad de carga es insuficiente.

### **2.5. Identificación de variables**

#### **2.5.1. Variables independientes**

Propiedades mecánicas del suelo relacionados al ensayo triaxial.

#### **2.5.2. Variables dependientes**

Capacidad de carga de la cimentación del reservorio.

### **2.6. Definición operacional de variables e indicadores**

En el cuadro siguiente se pasa a detallar el desarrollo de la Operacionalización de las variables.

**Tabla 1** Operacionalización de Variables

| <b>Variables</b>  | <b>Definición conceptual</b>   | <b>Definición operacional</b>  | <b>Dimensiones</b>                             | <b>Indicadores</b>   |
|---|--|--|--|--|
| <b>Independiente: Propiedades mecánicas del suelo relacionados al ensayo triaxial</b> | Las propiedades mecánicas del terreno relacionados al ensayo triaxial representan el grupo de propiedades físicas que definen la reacción del suelo ante esfuerzos aplicados, como la compresión, corte o deformación. | Las propiedades mecánicas del suelo se medirán a través de los resultados obtenidos en el ensayo triaxial no consolidado no drenado (UU), aplicado a muestras representativas del terreno del área del reservorio. | Resistencia al corte (kPa)                     | Angulo de fricción interna (°)<br>Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )<br>Peso unitario (kN/m <sup>3</sup> )<br>Coeficiente de Poisson |
| <b>Dependiente: Capacidad de carga de la cimentación del reservorio</b>               | La capacidad de carga de una cimentación se refiere al valor máximo de carga que el suelo puede resistir de forma segura, evitando así fallos de corte o asentamientos excesivos.                                      | Se medirá este parámetro en el ejercicio, empleando procedimientos técnicos particulares.  | Carga ultima (kN)<br><br>Carga admisible (kN). | Profundidad de cimentación (m)<br>Ancho de cimentación (m)   |

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Investigación cuasi - experimental y aplicada: Este estudio busca determinar la capacidad de carga del suelo mediante ensayos triaxiales. Se aplicó en un contexto real, proporcionando información práctica para la construcción de infraestructuras.

#### **3.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación según la naturaleza del estudio es aplicado, porque utiliza conocimientos teóricos de (mecánica de suelos, resistencia al corte, capacidad de carga de cimentaciones), con el objetivo de utilizar dichos conocimientos para tomar decisiones técnicas respecto a la seguridad o diseño del reservorio.

#### **3.3. Método de investigación**

Método Cuantitativo: Se utilizó un enfoque cuantitativo para recolectar datos numéricos sobre la resistencia del suelo y su capacidad de carga. Los datos se analizaron estadísticamente para obtener conclusiones objetivas.



Recolección de datos: Se realizó ensayos triaxiales en muestras de suelo obtenidas del sitio de construcción.

Análisis de resultados: se comparó los resultados con normas y estándares de ingeniería para evaluar la capacidad de carga.

### **3.4. Diseño de investigación**

El diseño del estudio es descriptivo y experimental, en lo descriptivo se describió los rasgos fundamentales del suelo y en la experimental se realiza el ensayo triaxial para conocer los resultados de la resistencia del suelo.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

El conjunto total de Suelos para el análisis de la cimentación del reservorio de Yanama.

#### **3.5.2. Muestra**

Selección representativa de la muestra de suelos del reservorio para el ensayo de aproximadamente 1500 gr. de la perforación C – 01.

### **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos que se utilizaron son: equipos de ensayo triaxial, además se utilizará el Software de análisis estadístico también se realizará la comparación de la resistencia obtenida con las cargas esperadas en el reservorio. Luego se realizó una evaluación de la seguridad y estabilidad de la cimentación.

### **3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

#### **➤ Selección de Instrumentos**

- Datos Resistencia a las cargas: Para determinar los datos se tomaron datos de los ensayos de compresión triaxial.
- Evaluación de la cimentación: Se usó el software Excel.

➤ **Validación de Instrumentos**

- Se realizaron comparaciones con ensayos realizados en la zona, en los mismos tipos de suelos.
- Uso de estándares internacionales (ASTM).

➤ **Confiabilidad de los Datos**

- Repetición de mediciones en los ensayos para evaluar los posibles errores.

**3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Se realizó la comparación de la resistencia obtenida con las cargas esperadas en el reservorio.

Luego se tomó una evaluación de la seguridad y estabilidad de la cimentación.

**3.9. Tratamiento estadístico**

Descripción de datos:

- **Datos iniciales:** Recopilamos datos de las características del suelo (tipo, humedad, densidad) y resultados de los ensayos triaxiales (resistencia, deformación).
- **Organización:** Tabulación de los datos en hojas de cálculo para facilitar el análisis.
- **Análisis Descriptivo:** Se calculó estadísticas descriptivas (media, mediana, moda, desviación estándar) para cada variable medida. Se obtuvo gráficos de distribución para visualizar la variabilidad de los datos.
- **Software Estadístico:** Utilizar software como SPSS, R o Excel para llevar a cabo el análisis estadístico y la visualización de datos.

### **3.10. Orientación ética filosófica y epistémica**

Consentimiento Informado: Si se involucran comunidades locales o se realiza trabajo en colaboración con instituciones, se debe obtener consentimiento informado antes de la recolección de datos. Explicar el propósito del estudio y cómo se utilizarán los resultados.

Transparencia: Mantener una comunicación clara sobre los objetivos y metodologías del estudio. Compartir los resultados con las partes interesadas, incluyendo la comunidad local.

Impacto Ambiental: Evaluar el impacto del estudio en el medio ambiente local. Asegurarse de que las prácticas de muestreo y pruebas minimicen cualquier daño potencial al entorno.

Integridad Científica: Asegurarse de que todos los datos sean recolectados y analizados de manera ética y rigurosa, evitando el sesgo y la manipulación de resultados.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **4.1.1. Ubicación del proyecto**

El proyecto se ubica en la Región Junín de acuerdo al siguiente detalle

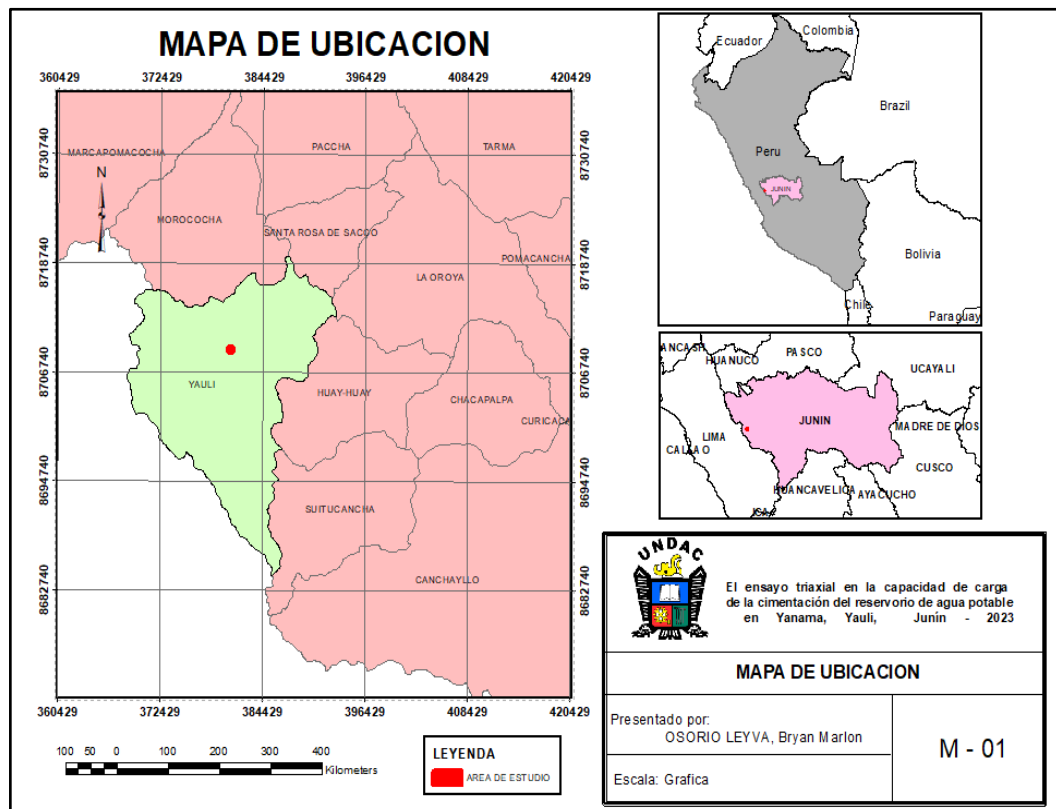
**REGION:** Junín

**PROVINCIA:** Yauli

**DISTRITO:** Yauli

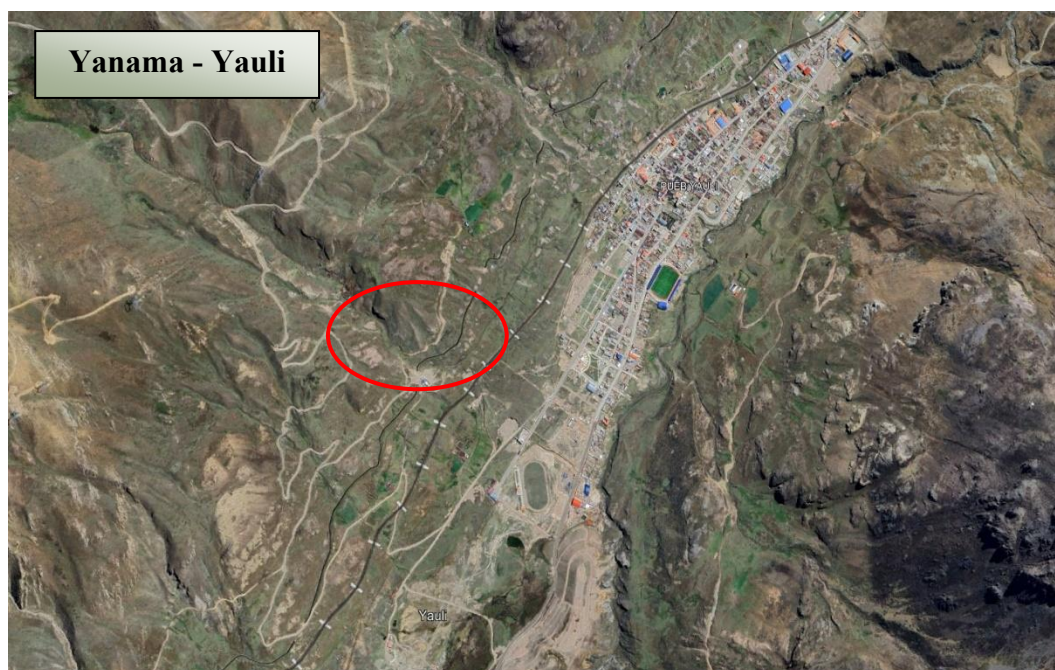
**LOCALIDAD:** Yanama

**Figura 1 Mapa de ubicación**



*Nota. Elaboración propia*

**Figura 2 Imagen satelital de la Zona de estudio**



*Nota. Fuente Google Earth.*

#### 4.1.2. Accesibilidad

El acceso a la zona de estudio se realiza de acuerdo al detalle siguiente:

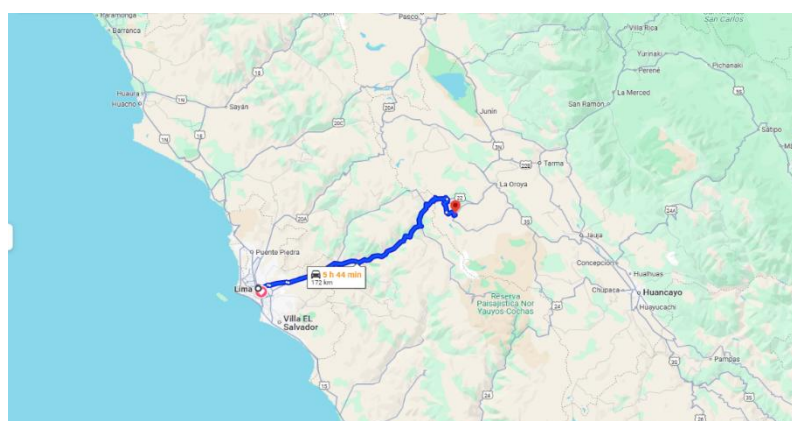
**Tabla 2** *Vía de acceso a la zona de estudio.*

| Desde | Hacia  | Distancia en Km | TIEMPO (HORA/MINUTOS) | TIPO DE VÍA         | SERVICIO TRANSPORTE             |
|-------|--------|-----------------|-----------------------|---------------------|---------------------------------|
| Lima  | Yauli  | 186 km.         | 6 Hrs.                | Carretera Asfaltada | Autos, camionetas, combis, bus. |
| Yauli | Yanama | 8.3 Km          | 12 min.               | Carretera trocha    | Autos, camionetas.              |

**Tabla 3** *Coordenadas de la zona en estudio*

| Localidad | Longitud   | Latitud |
|-----------|------------|---------|
| Yanama    | 380659,42E | 870949N |

**Figura 3** *Acceso a la zona a estudiar vía terrestre*



*Nota. Fuente Google Earth*

#### **4.1.3. Altitud**

La altitud del proyecto está comprendida entre los niveles de 4226 m.s.n.m.

#### **4.1.4. Clima**

El sector de Yanama, presentan un clima templado y una temperatura que oscila de la siguiente manera:

Temperatura máxima de 5 °C

Temperatura mínima de 0 °C

Reduciéndose las temperaturas más bajas en los meses de junio, julio y agosto.

#### **4.1.5. Área de construcción del reservorio**

Se ha proyectado la construcción de un reservorio circular de concreto armado de 6.18 m. de diámetro, una altura de 2 m. y un volumen de almacenamiento de 60.00 m<sup>3</sup>, con su respectiva caseta de válvulas, ocupando un terreno total de 30 metros cuadrados aproximadamente.

#### **4.1.6. Aspectos geológicos del reservorio de agua en Yanama**

##### ***Geología regional***

La litología está compuesta por rocas metamórficas, volcánicas, sedimentarias e ígneas cuya antigüedad abarca desde el Devónico medio hasta el Cretáceo superior, tal como se detalla en la columna estratigráfica. El Grupo Excelsior se halla en la base en una discordancia erosional compuesta por filitas de tonalidad gris y negruzca; después se encuentra el Grupo Mitú, formado por traquita a traqui-andesita, con su color predominante el violeta de textura porfirítica media; y en la parte superior, se encuentra el Grupo Pucará, formado principalmente por calizas y dolomías; la secuencia se repite hacia la parte

superior con el Grupo Goyllarizquisga representada por arenisca, tal como se puede ver en el plano regional.

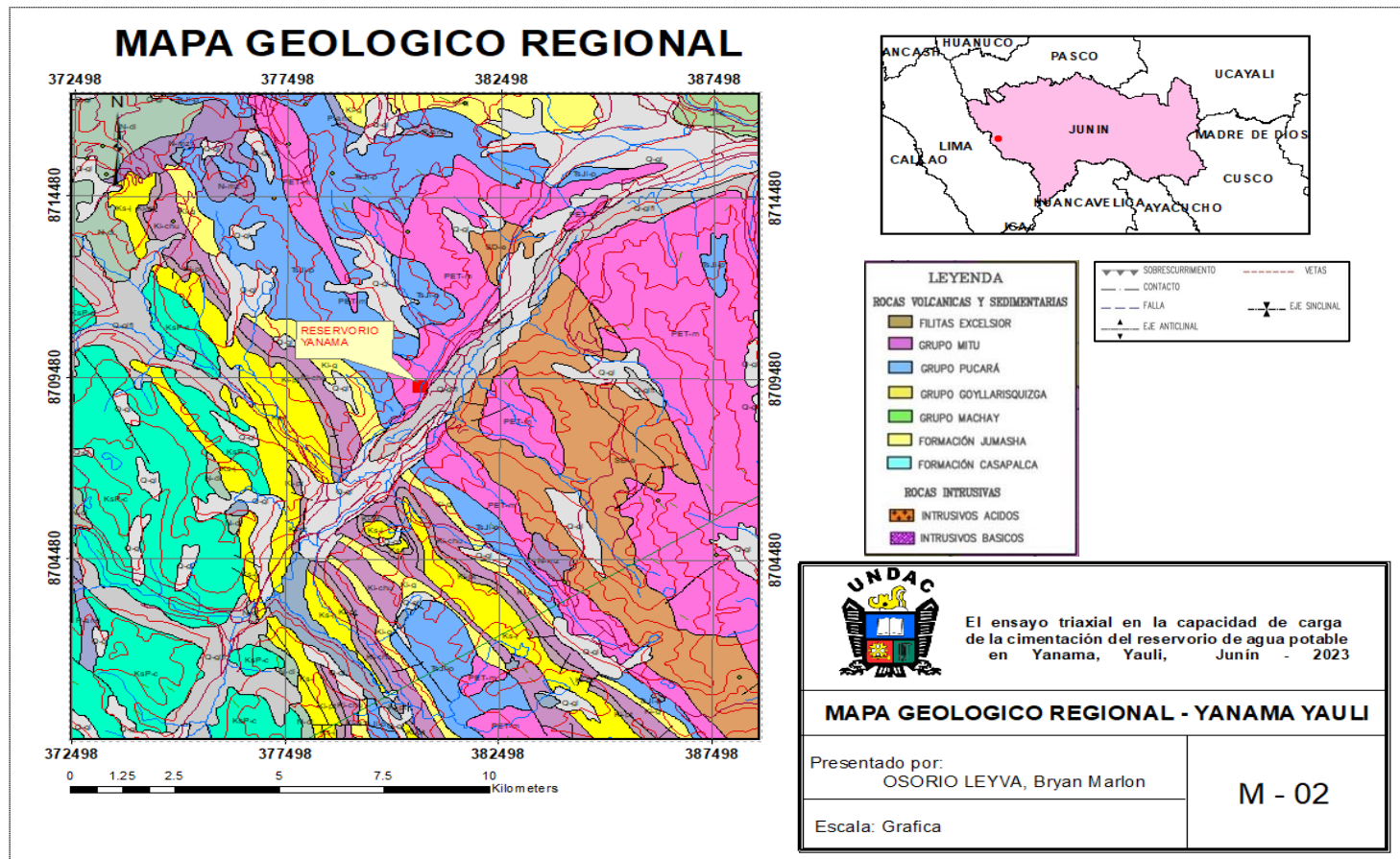
**Figura 4** Columna estratigráfica regional del distrito de Yauli

| ERA       | SISTEMA     | EPOCA                        | EDADES PISOS                          | UNIDAD LITOLOGICA     | GRAFICO  | FORMACION SEDIMENTARIA  | FORMACION IGNEA   | MINERALIZACION  |
|-----------|-------------|------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|--|---|---|---|
| CENOZOICO | CUATERNARIO |                              |                                       |                       |  | Sedimentos no consolidados  |   |   |
|           | TERCIARIO   |                              |                                       | CAPAS ROJAS CASAPALCA |  | Disconformidad erosional<br>Conglomerados calcáreos<br>Calizas<br><br>Lutitas Calcáreas<br><br>Calizas arcillosas arenosas<br><br>Disconformidad erosional<br>Calizas masivas y Dol. poco fosilíferas | Intrusivos intermedios<br>Cuarzo-Dioritas                   |   |
| MESOZOICO | CRETACEO    | INFERIOR                     | COMANCHEADO                           | FORMACION JUMASHIA    |  | Basalto   |   | Mineralización estratoligada de Fe, Ba, Zn, Pb, Ag, Cu.   |
|           |             | NEOCOMICO<br><br>(EOCRET.)   |                                       | GRUPO MACAY           | FORMACION PARIATAMBO   | Alternancia de Clz. Bit. con nódulos de chert   |   |   |
|           |             |                              |                                       | FORMACION CHULEC      | Calizas y Dolomías   |   |   |   |
|           |             |                              |                                       | GRUPO GOYLLAR         | Alternancia de Clz. Marguzas Fossil. Qrt<br>Basalto Montero<br>Areniscas Limolitas rojas |   |   |   |
|           | JURASICO    | INFERIOR O EOIURASICO (LIAS) | NEOCOMIANO TOARCIANO PLEIENSABACHIANO | FORMACION CONDORSINGA |  | Calizas gris claras y dol. blancas amarillentas   |   | Mineralización estratoligada de Fe, Ba, Zn, Pb, con sobreimpresión de Mineralización Hidrotermal forma de cuerpos y mantos. |
|           |             |                              | HETTANGIANO                           | FORMACION ARAMACHAY   |  | Basalto Montero   |   |   |
|           |             |                              |                                       | FORMACION CHAMBARA    | Calizas con Yeso   |   |   |   |
|           |             | TRIASICO                     | SUPERIOR O MESOTRIASICO               | RETIANO NORIANO       |  |   | Calizas y Dolomías  |   |
|           |             |                              |                                       |                       |  | Disconformidad erosional  |   |   |
|           | PALEOZOICO  | PERMICO                      | ERTRIOSICO SUPERIOR                   | OCHIOA                | GRUPO MITU   |   | Lentes de areniscas y conglomerados rojos                   |   |
| MEDIO     |             |                              | GUADALUPE LEONARDO                    |                       |  | Disconformidad erosional  | Intrusivo intermedio tipo Carahuacra<br>Cuarzo- Monzonítica |   |
| DEVONICO  |             | SUPERIOR                     | CHAUTAUQUAN                           | GRUPO EXCELSIOR       |  | Filitas   |   | Mineralización Hidrotermal en Vetas de W, Sn, V, Bi, Cu, Zn, Pb, Ag, Sb.  |
|           |             | 245 y 246 MEDIO              | ERIAN (HAMILTON)                      |                       |  | Mármoles fosilíferos  |   | Mineralización estratoligada de Ni, Co  |
|           |             |                              | ULSTER                                |                       |  | Cuarcitas   | Volcánicos verdes   | Mineralización estratoligada de Cu, Zn, Pb, Fe  |
|           |             |                              |                                       |                       |  |   |   |   |

Nota. Documento interno Volcan CIA minera SAA.



*Figura 5 Mapa geológico regional*



*Nota. Elaboración propia*

### ***Geología local***

En el ámbito local, las rocas más antiguas pertenecen al Grupo Mitú del Permo-Triásico y se superponen de manera discordante con las facetas calcáreas del Grupo Pucará del Triásico-Jurásico, presentando sus tres formaciones: Chambará, Aramachay y Condorsinga.

#### **Grupo Mitú**

En la región conocidos como volcánicos Catalina, desde el contacto con la formación Chambará hasta aproximadamente 100m hacia el Suroeste, está compuesto por un volcánico de tipo traquita a traqui-andesita. Su color predominante es violeta, tiene una textura porfirítica moderada. Se pueden observar cavidades llenas de minerales arcillosos de color blanco, su brillo al rayarse es suave, podría ser un tipo de feldespato. Otras cavidades están rellenas con un mineral alargado de color verde claro, podría ser clorita.

#### **Grupo Pucará**

Los estudios de exploración tanto desde la superficie como desde la interior de la mina han revelado que el Grupo Pucará está compuesto por sus tres formaciones: la Formación Chambará situada en la base, la Formación Aramachay en la parte superior y la Formación Condorsinga en la parte superior.

#### **Formación Chambará**

Es el cimienta del Grupo Pucará y presenta un espesor medio de 100m; la litología de esta estructura es mayoritariamente carbonática; su litología es predominantemente carbonática. (Alto contenido de CaO: 34-48% y MgO: 4-17%), está principalmente formada por Dolomía y en menor medida por horizontes delgados de Caliza, son de tonalidad gris-gris oscuro, poseen una textura granular media (wackestone) y en menor medida una textura fina, no se

evaporan; muestran venillas finas de calcita. Varios horizontes de dolomías exhiben característicos nódulos elongados silicificados, los cuales simbolizan posibles algas iniciales que, a causa de procesos de diagénesis y sustitución, actualmente están silicificados y con formas alargadas. Además, muestra dolomía con nódulos de cuarzo, los cuales poseen formas subredondeadas que representan pseudomorfos de evaporitas. La dolomía presenta un tono gris levemente pálido con una textura granular media (wackestone) En ciertos horizontes de dolomías se puede observar en distintas proporciones la existencia de pseudomorfos de evaporitas que fueron sustituidos por cuarzo. Todas estas secuencias se distinguen por estratos calcáreo-arcillosos y tobas.

### **Formación Aramachay**

Posee un espesor medio de 120 m, su litología es escasamente carbonática (Contenido bajo de CaO: 15-28% y MgO: (0.5-15%)), están principalmente formadas por calizas y en menor medida por dolomías. Son de tonalidad gris oscuro a negruzco, con una textura granular fino-arcillosa, con niveles volcánico-clásticos e intercalaciones tobáceas, y muestran venillas finas de calcita.

Probablemente, la litología silícea presente en la secuencia del Aramachay impidió la sustitución de las rocas, actuando como una barrera parcial o obstáculo para la subida de los fluidos hidrotermales. Estos fluidos, por consiguiente, habrían modificado en su mayoría las rocas más reactivas del Triásico superior (Formación Chambará).

### **Formación Condorsinga**

Es la parte superior del Grupo Pucará y tiene una potencia promedio de 75m., están compuestas por calizas con escasas intercalaciones de dolomías, su

coloración gris a gris claro, una textura granular fina, y muestran nódulos de chert y venillas finas de calcita.

En la base se encuentran rocas volcánicas de basalto andesítico también conocido como Basalto Montero, que actúa como tapón y receptora de manera favorable para la mineralización económica.

### **Grupo Goyllarisquizga**

En discordancia paralela con el grupo Pucará, se encuentra el grupo Goyllarisquizga, que se asentó en dos etapas sucesivas. La primera está formada por depósitos de granulometría muy fina a fina, de superficies aluviales llanuras con pelitas rojas y pocas intercalaciones de areniscas de superficies de desbordamiento, depositados en un clima semiárido, reflejado en la intensa oxidación de las pelitas. En la segunda etapa se produce un cambio drástico en comparación con la primera, apareciendo areniscas de tamaño medio a muy grande y niveles conglomerados con troncos de árboles que ya han sido silicificados, en un entorno húmedo y con una significativa actividad ígnea manifestada por sills de basalto. En San Cristóbal, su capacidad puede superar los 100 metros. Se ha clasificado el grupo Goyllarisquizga como Cretácico inferior-Valanginiano-Aptiano.

### **Formación Chúlec**

En el detallado levantamiento de la columna en laguna Lacsacocha, las secuencias se componen de barras de calizas tabulares de tonalidad gris medio, predominantemente de wackstone, calizas bioclásticas con numerosas conchillas de gasterópodos y ammonites, y un banco de areniscas calcáreas de 2 metros de espesor. La profundidad registrada en la laguna Lacsacocha es de 120 metros.

## Cuaternario

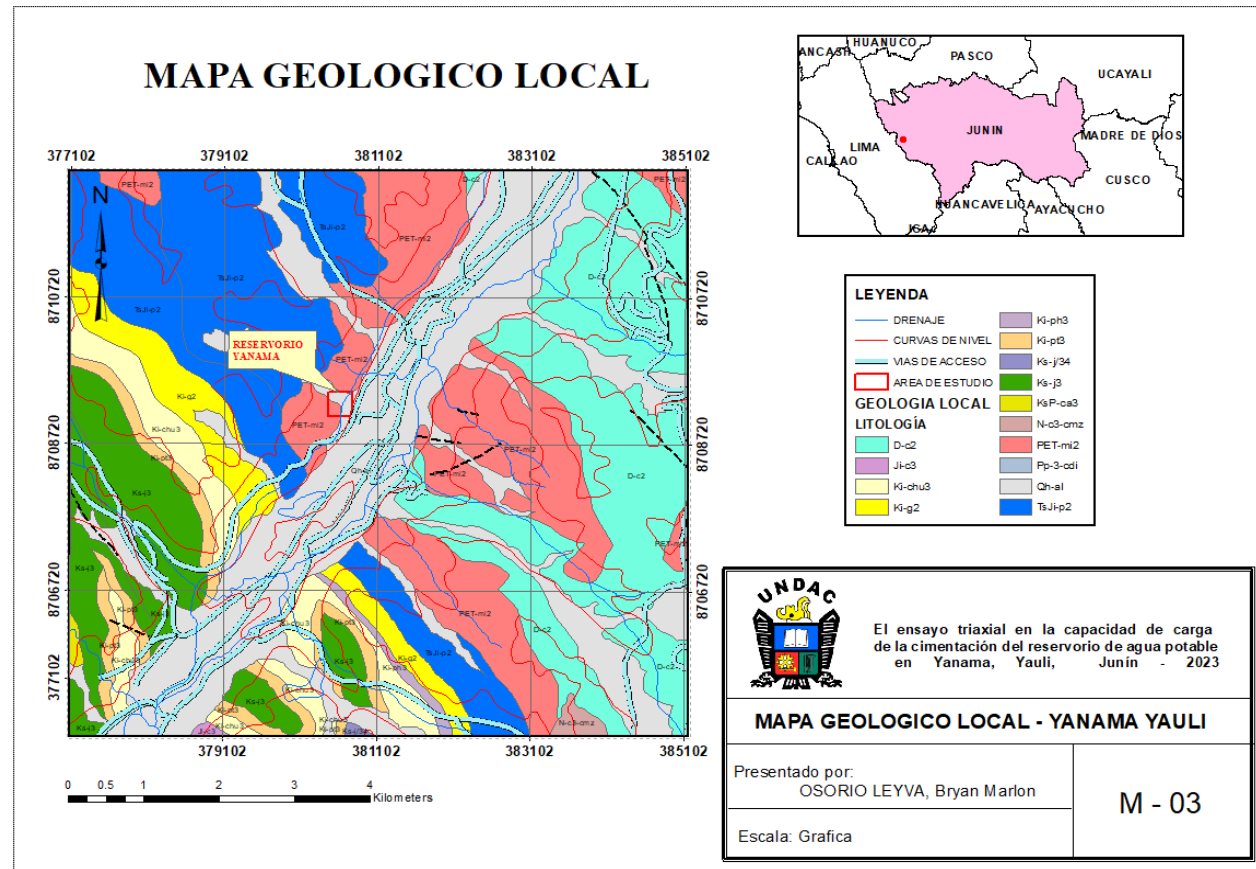
Durante el cuaternario la actividad glacial, el agua meteórica y los vientos realizaron gran actividad erosiva. Como resultado de ello se tiene la considerable acumulación de sedimentos en los fondos de las quebradas y valles, constituyen depósitos morrénicos, aluviales y fluvioglaciares que alcanzan espesores de 15 a 20 m.

**Figura 6** Columna estratigráfica regional del distrito de Yauli

| ERA        | SISTEMA     | EPOCA                        | UNIDAD LITOLOGICA    | GRAFICO | FORMACION SEDIMENTARIA                          | FORMACION IGNEA | MINERALIZACION |
|------------|-------------|------------------------------|----------------------|---------|---|-----------------|----------------|
| CENOZOICO  | CUATERNARIO |                              |                      |         | Sedimentos no consolidados                      |                 |                |
|            |             |                              |                      |         |   |                 |                |
| MESOZOICO  | CRETACEO    | INFERIOR                     | FORMACION PARIATAMBO |         | Discordancia erosional                          |                 |                |
|            |             | NEOCOMICO                    | FORMACION CHULEC     |         | Calizas masivas y Dol. poco fosilíferas         |                 |                |
|            | JURASICO    | (EOCRET.)                    | GRUPO GOYLLAR        |         | Alternancia de Clz. Bit. con nódulos de chert   |                 |                |
|            |             | INFERIOR O EOCRETACEO (LIAS) | GRUPO PUCARA         |         | Calizas y Dolomías                              |                 |                |
| PALEOZOICO | PERMICO     | SUPERIOR O MESOTRIASICO      | GRUPO MITU           |         | Calizas gris claras y dol. Blancas amarillentas |                 |                |
|            |             | MEDIO                        | GRUPO EXCELSIOR      |         | Basalto Montero                                 |                 |                |
|            | DEVONICO    | SUPERIOR                     | GRUPO EXCELSIOR      |         | Calizas con Yeso                                |                 |                |
|            |             | MEDIO                        | GRUPO EXCELSIOR      |         | Calizas y Dolomías                              |                 |                |

Nota. Documento interno Volcan CIA minera SAA.

**Figura 7 Mapa geológico local**



*Nota. Elaboración propia*

## ***Geología estructural***

### **Plegamiento**

El Reservorio de agua potable en Yanama se ubica en la parte occidental de la mayor estructura geológica de la región, denominada el Domo de Yauli. Este se extiende por cerca de 35 kilómetros en dirección longitudinal, desde San Cristóbal hasta Morococha, y cerca de 10 kilómetros en dirección transversal.

Esta estructura geológica se compone de una serie de anticlinales y sinclinales; el anticlinal de Yauli se encuentra en el extremo oeste, es uno de los más relevantes, su eje tiene una dirección que oscila entre 28° y 48° hacia el suroeste (SO), mientras que el flanco oriental exhibe una inclinación de 30° hacia el noreste (NE).

Esta estructura tiene una dirección media de N40°O. Su forma es asimétrica, ya que el flanco este muestra una inclinación (descenso) que varía entre 30° y 40°, en cambio, el flanco oeste exhibe una inclinación más marcada, que oscila entre 60° y 80°.

### **Fracturamiento**

El desgaste visible en la localidad de Yanama donde se encuentra el reservorio de agua, parece ser resultado de las fuerzas compresivas e intrusivas vinculadas a la creación del Domo de Yauli. Es probable que, al final del Cretácico, durante el plegamiento "Peruano", las fuerzas compresivas que se dirigen hacia el noreste-suroeste (NE-SO), hayan iniciado la formación del anticlinal de Chumpe.

Este procedimiento condujo a la generación de diversas fallas inversas, que se complementaban con pliegues de arrastre. Según Szekely,

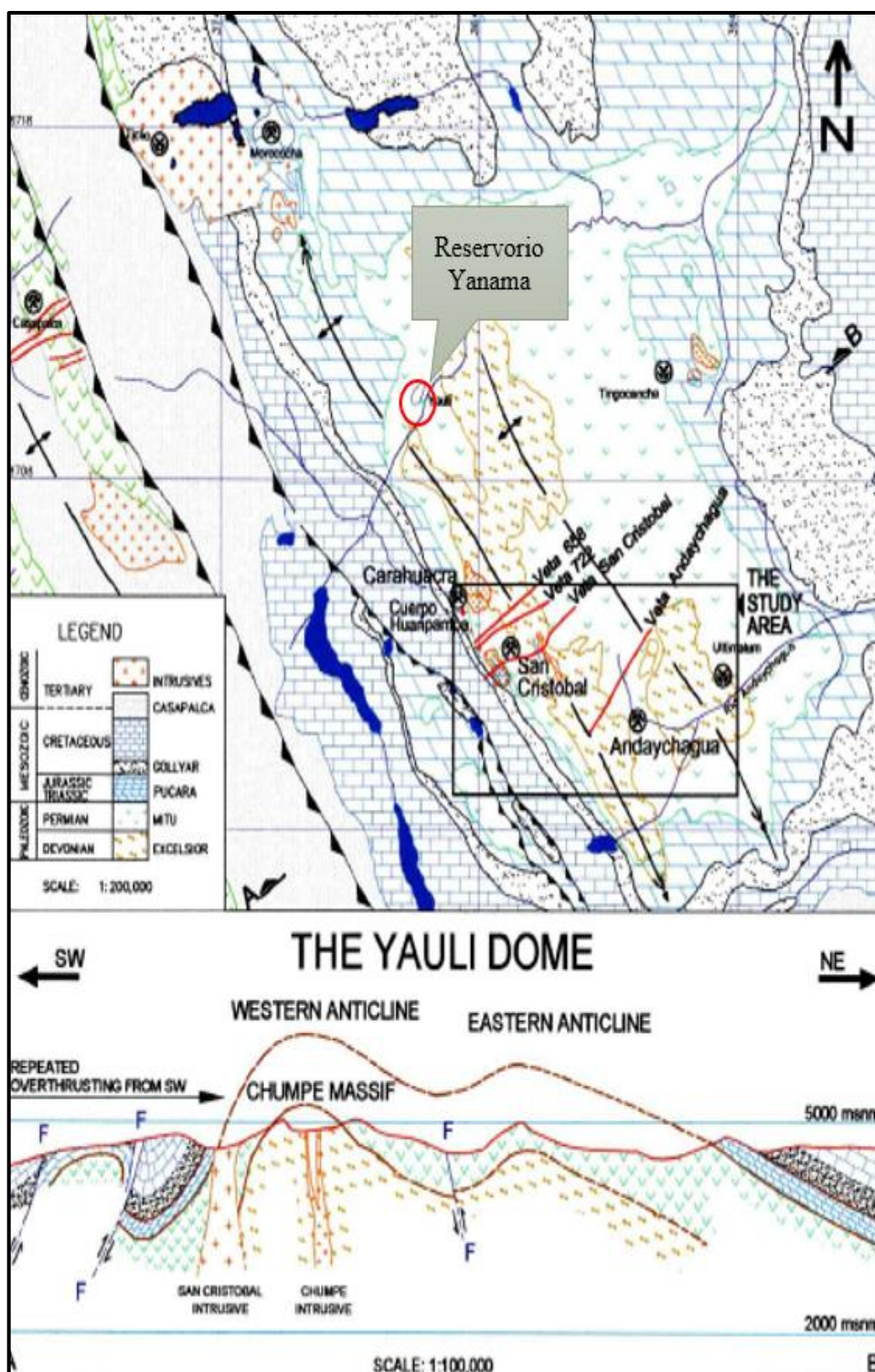
1967, algunos deslizamientos y fallas inversas detectados al oeste de Yauli, en las calizas del Grupo Pucará, podrían tener conexión con este sistema. Luego, cuando las fuerzas de compresión se disminuyeron temporalmente, surgieron fisuras longitudinales paralelas al eje del anticlinal Chumpe, que posteriormente fueron rellenadas por diques de alaskita situados en el núcleo de dicho anticlinal.

Finalmente, mientras las fuerzas compresivas persistían en su acción, surgieron fracturas de cizalla con dirección este-oeste (E-O), impactando a las vetas principales como la de San Cristóbal, Virginia y Prosperidad, que, al atravesar las filitas, muestran estas deformaciones.

En el Plegamiento "Quechua", las fuerzas compresivas siguieron afectando al anticlinal Chumpe. Además, la intrusión de los cuerpos de la monzonita cuarcífera ocasionó una elevación y curvatura del anticlinal. Este procedimiento produjo fisuras de tensión en la región de los materiales volcánicos, impactando principalmente las vetas de Virginia, Ferramina, San Cristóbal, Catalina y Polonia.



**Figura 8** Mapa estructural del área de estudio y sección del Domo



*Nota. Documento interno Volcan CIA minera SAA.*

#### 4.1.7. Topografía

La topografía de la zona es accidentada en el tramo del estudio.

## 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

### 4.2.1. Ubicación de la zona de excavación

*Figura 9 Zona de excavación*



*Nota. Fuente propia*

### 4.2.2. Ensayo de granulometría por tamizado

Este ensayo se realizó con la finalidad de obtener la clasificación del suelo de acuerdo al SUCS, siguiendo las recomendaciones del estándar ASTM D 422-63. Las muestras consideradas para este ensayo fueron de cada calicata de las zonas donde se propone realizar el reservorio.

***Tabla 4 Resultados de ensayos de clasificación de suelos***

| AREA                | CALICATA | MATERIAL | GRANULOMETRIA |        |        | LL    | IP    | CH    |
|---------------------|----------|----------|---------------|--------|--------|-------|-------|-------|
|                     |          |          | %Grava        | %Arena | %Finos | (%)   | (%)   | (%)   |
| Zona de Edificación | C-01     | Suelo    | 1.0           | 3.6    | 95.37  | 83.55 | 44.87 | 38.69 |

*Nota. Los valores fueron obtenidos en el laboratorio de mecánica de suelos*

**Donde:**

LL = Limite liquido

IP = Índice de plasticidad

CH = Arcilla de alta plasticidad

#### 4.2.3. Ensayo de compresión triaxial no consolidado - no drenado para suelos cohesivos (UU)

Se realizó ensayos triaxiales tipo no consolidado — no drenado para suelos cohesivos (UU) en especímenes de 2.8" de diámetro, el ensayo corresponde a muestras extraídas de la calicatas realizadas en las zonas del proyecto, este ensayo fue realizado a 0.50 kg/cm<sup>2</sup>, 1.00 kg/cm<sup>2</sup> y 2.00 kg/cm<sup>2</sup>. El objetivo del ensayo fue obtener los parámetros de resistencia cortante en términos de esfuerzo efectivos y la medición de deformación volumétrica en condición saturada, a fin de poder simular las características de resistencia cortante a las que estarán expuestas las capas de los materiales que conforman las zonas de edificación, Los resultados del ensayo se presentan en la tabla.

**Tabla 5** Resultados de ensayo triaxial no consolidado - no drenado para suelos cohesivos (UU).

| Área              | Calicata | Material | Clasificación | Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> ) | CH (%) | Esfuerzos Efectivos      |        |
|-------------------|----------|----------|---------------|------------------------------------|--------|--------------------------|--------|
|                   |          |          |               |                                    |        | c' (kg/cm <sup>2</sup> ) | φ' (°) |
| Zona del proyecto | C-01     | Suelo    | MH            | 1,855                              | 33,99  | 0,14                     | 17,35  |

#### 4.2.4. Descripción geotécnica del suelo de cimentación

Suelo de cimentación con clasificación según SUCS de CL que presenta gravas 1.0%, arena de 3.6% y finos de 95.37%, con Límite Líquido (LL) de 83.55%, Límite Plástico (LP) de 38.69, Índice Plástico (IP) de 44.87% y Contenido de Humedad de 33.99%, de acuerdo a lo observado en campo en

compacidad suelta de baja a medianamente densa, subyaciendo a este material se encuentra una arcilla ligera el cual se ubica a una profundidad que varía de 0,90 m a 1,80 m.

#### **4.2.5. Caracterización geotécnica**

Las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que conforman el modelo geotécnico se obtuvieron sobre la base de la información de investigaciones geotécnicas, ensayos de campo y ensayos de laboratorio. A continuación, se detalla brevemente las consideraciones supuestas en la caracterización de cada tipo de material.

##### **Suelo Natural**

Los resultados del ensayo triaxial no consolidado — no drenado para suelos cohesivos (UU) de 2.8", indican que la envolvente lineal de resistencia cortante de acuerdo a un criterio de falla del tipo Mohr Coulomb presenta una cohesión de 0.14 kg/cm<sup>2</sup> y un ángulo de fricción interna de 17.35°

#### **4.2.6. Análisis de capacidad de carga**

##### **Capacidad de carga de cimentaciones superficiales**

Se ha calculado la capacidad admisible de carga utilizando la fórmula fundamental de Terzaghi, considerando los factores de forma, de profundidad, de inclinación de carga, de excentricidad de carga, de inclinación de base y de inclinación del terreno, propuesto por Brinch-Hansen.

$$q_{ult} = c N_c S_c D_c G_c + q N_q S_q D_q G_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma S_\gamma D_\gamma G_\gamma$$

Siendo la capacidad admisible de carga  $q_{adm} = q_{ult}/FS$

**Donde:**

Factor de seguridad igual a 3,0

$N_c, N_q, N_\gamma$  Factores de capacidad de carga

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} * \tan^2 (45 + \phi/2)$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \phi, \text{ (Vesic)}$$

$S_c, S_q, S_\gamma$  Factores de forma, según De Beer (1970)

$$S_c = 1 + (B/L) (N_q/N_c)$$

$$S_q = 1 + (B/L) \tan \phi$$

$$S_\gamma = 1 - 0,4 (B/L)$$

$D_c, D_q, D_\gamma$  Factores de profundidad

$$D_c = 1 + 0,4 D_f / B$$

$$D_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 D_f / B$$

$$D_\gamma = 1$$

$G_c, G_q, G_\gamma$  Factores de inclinación

$$G_c = (1 - \beta/90^\circ)$$

$$G_q = (1 - \beta/90^\circ)$$

$$G_\gamma = (1 - \beta/\phi)$$

$c$  = Cohesión (kPa)

$q$  = Presión de sobrecarga (kPa) =  $\gamma D_f$

$\gamma$  = Peso unitario del suelo (kN/m<sup>3</sup>)

$D_f$  = Profundidad de cimentación (m)

$B$  = Ancho de cimentación (m)

#### 4.2.7. Análisis de asentamientos

El asentamiento total de la cimentación ha sido estimado considerando las propiedades de los materiales involucrados, generado en las cimentaciones tipo zapata.

$$S_i = \frac{\Delta q B (1 - V^2) I_s}{E}$$

**Dónde:**

$\Delta q$ : Carga aplicada sobre la cimentación.

B: Ancho de la cimentación.

V: Coeficiente de Poisson del suelo.

$I_s$ : Factor de influencia.

E: Modulo de elasticidad del suelo.

Para realizar el cálculo de asentamientos producto de las cargas de la cimentación en el caso de presentarse suelo o varios estratos de suelo, se ha empleado la metodología propuesta por Hirai (2008). Para las condiciones que se presentan en la zona de estudio, el análisis consistirá en el asentamiento elástico - lineal de múltiples capas equivalentes por el método de Hirai (2008).

$$S_i = \left( \frac{I (H_{1e} - D_f * V_n)}{E_1} + \sum_{k=2}^n \frac{I (\sum_{j=1}^k H_{je} - D_f * V_n) - I (\sum_{j=1}^{k-1} H_{je} - D_f * V_n)}{E_k} \right) * B * q$$

**Dónde:**

$S_i$ : Asentamiento inmediato en el centro de una cimentación para n estratos de suelo

$H_{1e}$ : Espesor de estratos equivalentes del primer estrato

$H_{je}$ : Espesor de estratos equivalente del estrato j.

$D_f$ : Profundidad de cimentación.

$E_1$ : Módulo de elasticidad del primer estrato.

Ek: Módulo de elasticidad equivalente de los estratos restantes

Vn: Módulo de Poisson de ultimo estrato.

B: Ancho de la cimentación

q: Solicitación de carga

En todo análisis de cimentaciones se distinguen dos clases de asentamientos, totales y diferenciales, de los cuales son los asentamientos diferenciales los que podrían comprometer la seguridad de la estructura si sobrepasan el valor de 2,5 cm que corresponde al asentamiento máximo tolerable para zapatas aisladas y de 5 cm que corresponde al asentamiento máximo tolerable para losas de cimentación.

#### **4.2.8. Cálculo de la capacidad de carga y asentamientos**

El cálculo de capacidad de carga y evaluación de asentamiento fue realizado para las zapatas de la zona de edificación, para el cual se modeló de manera conservadora del terreno.

En el Anexo C.I se presentan las salidas de los cálculos detallados de capacidad de carga y asentamientos para la zapata en la zona de edificación.

#### **4.2.9. Consideradas empleadas**

Se considera varias opciones de dimensión entre zapatas aisladas de cimentación con la finalidad que el diseñador pueda considerarlas en sus análisis.

De acuerdo a la información obtenida del registro de calicatas el Df (profundidad de cimentación) propuesto tiene el valor de 1,50 m.

Se ha considerado como carga de servicio el valor de 7,355Kpa.

#### **4.2.10. Resultados de capacidad de carga**

En la tabla se presenta los resultados de los análisis de capacidad admisible por resistencia y por asentamiento tanto para relleno estructural como

en basamento rocoso, en la misma tabla se presenta los valores de asentamientos para cada condición.

**Tabla 6** Capacidad admisible y asentamientos en relleno estructural

| Sector | Tipo de cimentación | B (m) | L (m) | Df (m) | qadm (adm) (kPa) | qadm (asent) (kPa) | qserv(1) (Kpa) | S(2) (cm) | S(3) (cm) | S(4) (cm) |
|--------|---------------------|-------|-------|--------|------------------|--------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| Planta | Zapata Cuadrada     | 1     | 1     | 1,0    | 83,96            | 5569,4             | 7,36           | 0,038     | 2,5       | 0,003     |
|        | Zapata Cuadrada     | 1,5   | 1,5   | 1,0    | 88,20            | 3712,9             | 7,36           | 0,059     | 2,5       | 0,005     |
|        | Zapata Cuadrada     | 2     | 2     | 1,0    | 92,45            | 2784,7             | 7,36           | 0,083     | 2,5       | 0,007     |

**Abreviaturas:**

**B:** Ancho de cimentación

**L:** Largo de cimentación

**Df:** Profundidad de cimentación

**q adm (adm):** Capacidad admisible por resistencia

**q adm (asent):** Capacidad admisible por asentamiento

**q serv:** Carga de servicio

**S:** Asentamiento

**(1)** Carga de servicio

**(2)** Asentamiento calculado para la carga capacidad admisible.

**(3)** Asentamiento calculado para la carga por asentamiento

**(4)** Asentamiento calculado para la carga de servicio

#### 4.3. Prueba de hipótesis

Para contrastar las hipótesis formuladas se realiza la siguiente interpretación:

- a. **Hipótesis 1: las características geotécnicas del suelo en el área de estudio influyen en los resultados del ensayo triaxial.**



**Hipótesis nula ( $H_0$ ):**

No existen características geotécnicas significativas que puedan ser identificadas mediante el ensayo triaxial en el área de estudio, (los resultados del ensayo triaxial no muestran ninguna variación o rasgo geotécnico relevante del suelo en la zona del reservorio).

**Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):**

Sí existen características geotécnicas significativas del suelo en el área de estudio que se pueden identificar a partir de los resultados del ensayo triaxial.

**Resultados de la prueba de hipótesis:**

Para esta hipótesis, se evalúa si las características como la **cohesión ( $c$ )** y el **ángulo de fricción interna ( $\phi$ )** obtenidas del ensayo triaxial varían de manera significativa en la muestra de suelo de la zona de estudio, en comparación con valores teóricos, estándares de la literatura o valores establecidos por los códigos geotécnicos locales.

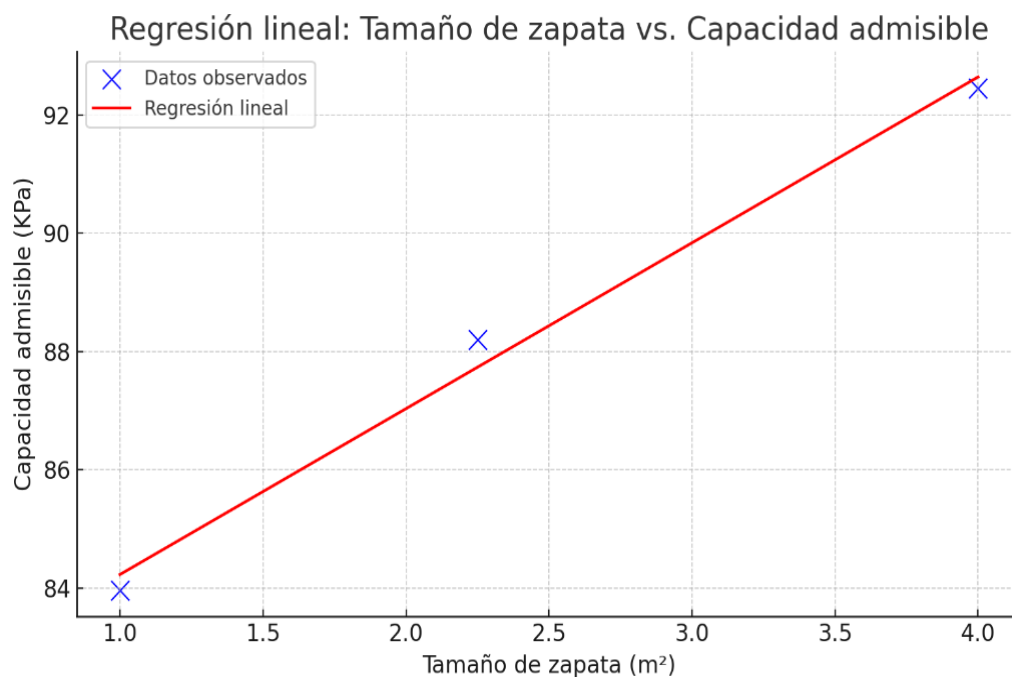
**Valor y decisión:**

- Si el **valor  $p$**  es menor que el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), esto sugiere que las características geotécnicas obtenidas a través del ensayo triaxial son estadísticamente significativas y se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ).
- Si el **valor  $p$**  es mayor que 0.05, no se rechaza la hipótesis nula, lo que indicaría que los resultados del ensayo triaxial no revelan características geotécnicas significativas o distintas de lo esperado.

### Interpretación de los resultados:

Si se rechaza la hipótesis nula, los parámetros del ensayo triaxial (cohesión y ángulo de fricción interna) indicarán características del suelo que son cruciales para entender su comportamiento bajo carga y para el diseño de la cimentación del reservorio. Estos resultados servirían para definir el tipo de suelo, su capacidad de carga, y si es necesario realizar algún tratamiento especial al suelo.

**Figura 10** Gráfico de regresión lineal, que relaciona el tamaño de la zapata (en  $m^2$ ) con la capacidad admisible del suelo (en kPa)



*Nota. Fuente elaboración propia*

Las equis azules representan los valores observados de la investigación.

La línea roja muestra la predicción del modelo lineal ajustado.

Los resultados **estadísticos** de la prueba de significancia del modelo:

- **Ecuación de la recta:**  $Y=81.43+3X$

- **Coefficiente de determinación:  $R^2 = 0.991$**  → El modelo explica el 99.1% de la variabilidad en la capacidad admisible.
- **Estadística F = 109,6, con p-valor = 0,0606**

#### **Interpretación de la prueba de significancia:**

- El valor **p = 0.0606** está muy cerca del umbral típico de significancia ( **$\alpha = 0.05$** ). Esto sugiere que hay **una fuerte evidencia de una relación lineal**, aunque con solo 3 datos no es estadísticamente significativo al 95%. Sin embargo, con más datos, el modelo probablemente sería significativo.

#### **Conclusión**

Por tanto, se **afirma** la hipótesis 1 que las características geotécnicas del suelo en el área de estudio si influyen en los resultados del ensayo triaxial.

- Hipótesis 2: Los parámetros de cohesión y ángulo de fricción interna y densidad determinan en gran medida la resistencia al corte y por tanto la capacidad de carga del terreno en el área del reservorio.**

#### **Hipótesis nula ( $H_0$ ):**

Los parámetros de cohesión (c) y ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) no afectan significativamente la capacidad de carga de la cimentación del reservorio.

#### **Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):**

Los parámetros de cohesión (c) y ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) afectan significativamente la capacidad de carga de la cimentación del reservorio.

#### **Resultados de la prueba de hipótesis:**

Para evaluar esta hipótesis, se utiliza un **análisis de regresión lineal** o un **análisis de evaluación** entre los resultados del ensayo triaxial (cohesión

y ángulo de fricción) y la capacidad de carga medida de la cimentación en el área de estudio.

#### **Prueba de significancia (valor p):**

- Si el **valor p** para los coeficientes de regresión es menor que 0.05, esto indicaría que la cohesión y el ángulo de fricción interna son factores estadísticamente significativos que afectan la capacidad de carga de la cimentación.
- Si el **valor p** es mayor que 0.05, no se rechazaría la hipótesis nula, lo que implicaría que estos parámetros no tienen un impacto significativo sobre la capacidad de carga.

#### **Interpretación de los resultados:**

Si se rechaza la hipótesis nula, se concluiría que tanto la cohesión como el ángulo de fricción interna son parámetros clave que deben ser considerados en el diseño de la cimentación, ya que influyen directamente en la capacidad de carga del terreno. Los resultados permitirían calcular una **capacidad de carga estimada** para la cimentación, considerando estos parámetros. Por otro lado, si no se rechaza la hipótesis nula, se podría concluir que otros factores (más allá de la cohesión y el ángulo de fricción) son los que impactan más directamente en la capacidad de carga.

Se generó un conjunto de **15 datos simulados para cada condición**. Representando condiciones típicas para limos de **alta plasticidad**, con variaciones en:

- **Cohesión** (0,10 a 0,20 kg/cm<sup>2</sup>)
- **Ángulo de fricción** ( 15 ° a 20 ° )
- **Densidad** (1,80 a 1,90 g/cm<sup>3</sup>)

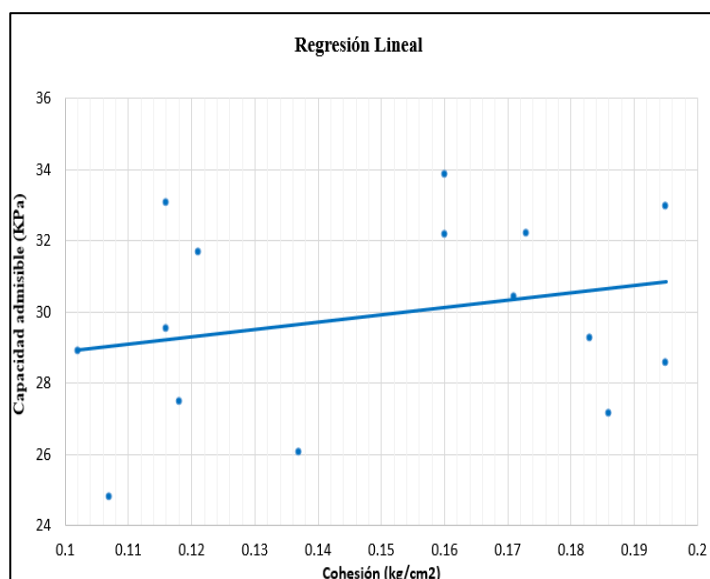
**Tabla 7** Aquí una muestra de los primeros 15 registros

| <b>Cohesión<br/>(kg/cm<sup>2</sup>)</b> | <b>Ángulo<br/>de fricción (°)</b> | <b>Densidad<br/>(g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Capacidad<br/>admisible (KPa)</b> |
|---|-----------------------------------|--|--------------------------------------|
| 0.137                                   | 15.92                             | 1.861                                  | 26.08                                |
| 0.195                                   | 16.52                             | 1.817                                  | 32.99                                |
| 0.173                                   | 17.62                             | 1.807                                  | 37.25                                |
| 0.160                                   | 17.16                             | 1.895                                  | 33.87                                |
| 0.116                                   | 16.46                             | 1.897                                  | 29.56                                |
| 0.102                                   | 18.91                             | 1.813                                  | 28.95                                |
| 0.107                                   | 15.68                             | 1.831                                  | 24.81                                |
| 0.118                                   | 15.14                             | 1.825                                  | 27.49                                |
| 0.121                                   | 17.95                             | 1.891                                  | 31.71                                |
| 0.116                                   | 18.05                             | 1.881                                  | 33.09                                |
| 0.161                                   | 16.82                             | 1.868                                  | 32.21                                |
| 0.171                                   | 17.31                             | 1.844                                  | 30.45                                |
| 0.183                                   | 17.58                             | 1.805                                  | 29.29                                |
| 0.186                                   | 16.48                             | 1.811                                  | 27.21                                |
| 0.195                                   | 15.98                             | 1.848                                  | 28.56                                |

Se realizaron regresiones lineales para cada hipótesis:

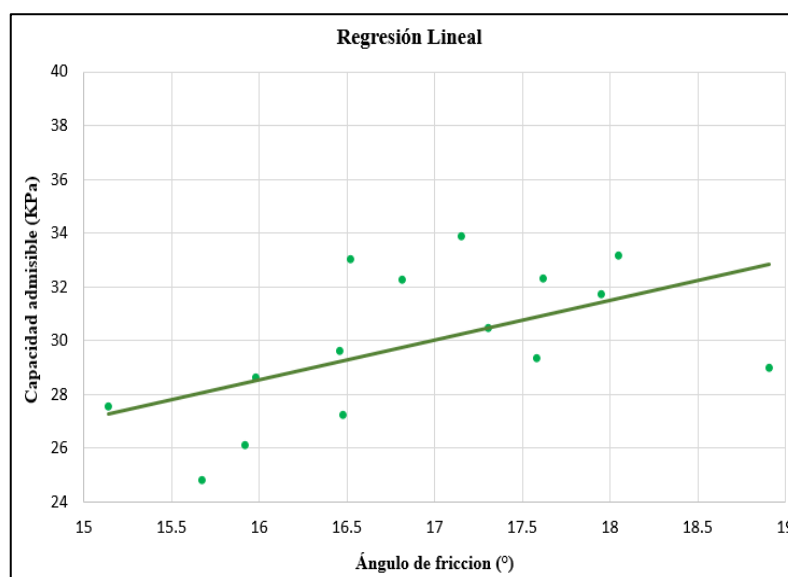
- a) Cohesión Vs Capacidad admisible
- b) Ángulo de fricción vs. Capacidad admisible
- c) Densidad vs. Capacidad admisible

**Figura 11** Gráfico de regresión lineal, que relaciona la cohesión (en Kg/cm<sup>2</sup>) con la capacidad admisible del suelo (en kPa)



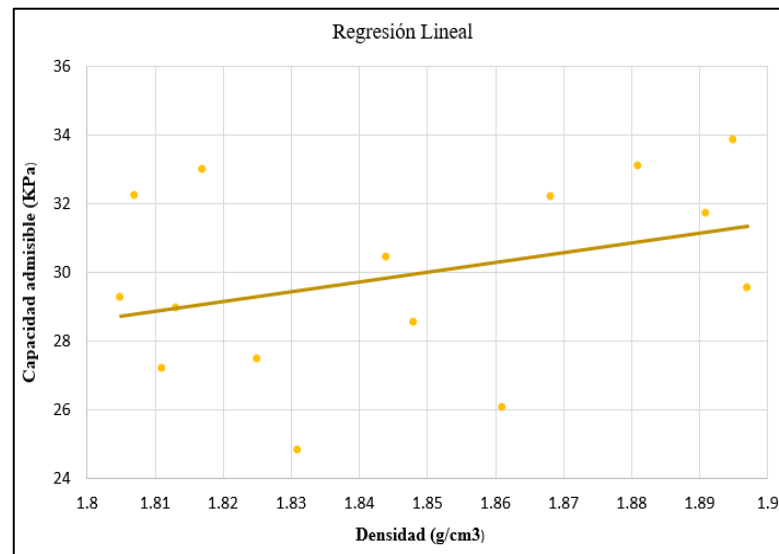
*Nota. Fuente elaboración propia*

**Figura 12** Gráfico de regresión lineal, que relaciona el ángulo de fricción (en °) con la capacidad admisible del suelo (en kPa)



*Nota. Fuente elaboración propia*

**Figura 13** Gráfico de regresión lineal, que relaciona la Densidad (en g/cm<sup>2</sup>) con la capacidad admisible del suelo (en kPa)



*Nota, Fuente elaboración propia*

Aquí tienes los **gráficos de regresión lineal**. Para las tres hipótesis planteadas, para limos de **alta plasticidad**:

- **Hipótesis 1:**

¿La cohesión influye en la capacidad admisible?

✓ **p-valor** → (No significativo)

✓ **R<sup>2</sup> = 0.081** → Parámetro (0 – 1) → Baja

✓ Explicación: No se encontró una relación estadísticamente significativa entre cohesión con la capacidad admisible

- **Hipótesis 2:**

¿El ángulo de fricción influye en la capacidad admisible?

✓ **p-valor = 0.0456** (Significativa al 95%)

✓ **R<sup>2</sup>=0.273**

✓ Explicación: Sí existe una relación estadísticamente **significativa** entre el ángulo de fricción en la capacidad admisible

- **Hipótesis 3:**

¿La densidad del suelo influye en la capacidad admisible?

✓ **p-valor = 0.576** → (No significativo)

✓ **R<sup>2</sup>=0.025**

✓ Importante: La densidad no influye en la capacidad admisible

- **Conclusión**

De las tres hipótesis, solo el ángulo de fricción mostró una relación estadísticamente significativa con la capacidad admisible del suelo, lo cual es coherente con la mecánica de suelos, ya que un mayor ángulo de fricción suele reflejar mejor resistencia al corte y mayor capacidad portante por lo tanto la hipótesis se **CONFIRMA**.

c. **Hipótesis 3: Los resultados del ensayo indican que medidas correctivas o de diseño pueden implementarse si la capacidad de carga es insuficiente.**

**Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):**

No se requieren medidas correctivas o de diseño adicionales, ya que los resultados del ensayo indican que la capacidad de carga es suficiente.

**Hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>):**

Se requieren correctivas o de diseño, ya que los resultados del ensayo indican que la capacidad de carga es insuficiente.

**Resultados de la prueba de hipótesis:**

En este caso, la hipótesis se relaciona con la comparación entre la capacidad de carga obtenida en el ensayo triaxial y los valores mínimos requeridos en el diseño geotécnico. Para realizar esta prueba, se puede comparar la capacidad de carga medida con un umbral crítico que depende



del tipo de cimentación y las especificaciones para la construcción del reservorio de agua potable.

#### 1. Capacidad de carga medida vs. umbral crítico:

- Si la capacidad de carga medida es menor que el umbral mínimo crítico, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que es necesario tomar medidas correctivas
- Si la capacidad de carga medida es igual o superior al umbral mínimo, no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que no son medidas adicionales necesarias.

#### Interpretación de los resultados:

Si se **rechaza** la hipótesis nula y los resultados del ensayo triaxial indican una capacidad de carga insuficiente, podrían implementarse varias **medidas correctivas de diseño** como:

- **Mejoramiento del suelo:** utilizando técnicas como la compactación, el uso de geotextiles, o la inyección de materiales para aumentar la cohesión o mejorar la fricción interna.
- **Cambio en el diseño de la cimentación:** utilizando cimentaciones más profundas o con mayor área de base para distribuir mejor las cargas.
- **Reemplazo del suelo:** si la capacidad de carga del suelo es demasiado baja, podría ser necesario reemplazar el suelo existente con material más adecuado.

#### Conclusión

Por tanto, se **afirma** la hipótesis 3 que los resultados del ensayo indican que medidas correctivas o de diseño pueden implementarse si la capacidad de carga es insuficiente.

#### **4.4. Discusión de resultados**

##### **1. Según Bowles (1996), "Análisis y diseño de cimentaciones"**

**Resultados relevantes:** Bowles destaca que el ensayo Bowles destaca que el ensayo triaxial es fundamental para la determinación de las propiedades mecánicas del suelo, como la resistencia al esfuerzo cortante, la cohesión y el ángulo de fricción interna. Estos parámetros son clave para determinar la capacidad de carga y los asentamientos admisibles de una estructura.

**Discusión en relación con el estudio de Yanama:** Los resultados del ensayo triaxial en el área del reservorio de Yanama indican que las propiedades del suelo, como la cohesión y el ángulo de fricción interna, son esenciales para evaluar la capacidad de carga de la cimentación. En el contexto de Yanama, que presenta suelos granulares y cohesivos, estos parámetros son cruciales, tal como lo señala Bowles. Los resultados obtenidos muestran que el suelo tiene una resistencia al esfuerzo cortante suficiente para soportar las cargas del reservorio. Sin embargo, es posible que algunos suelos, en función de su cohesión, requieran una cimentación más profunda para garantizar que se minimicen los asentamientos excesivos. Esta comparación valida la importancia del ensayo triaxial en el análisis de la capacidad de carga, tal como se menciona en la obra de Bowles.

##### **2. Según Terzaghi y Peck (1967), "Mecánica de suelos en la práctica de la ingeniería"**

**Resultados relevantes:** Terzaghi y Peck enfatizan la importancia de los estudios geotécnicos, especialmente en áreas rurales o remotas, donde la variabilidad del terreno puede representar desafíos adicionales. Los ensayos

triaxiales permiten una evaluación más precisa del comportamiento del suelo en zonas con alta cohesión o variaciones en los niveles freáticos, como es el caso de las áreas montañosas.

**Discusión en relación con el estudio de Yanama:** El estudio de Yanama se encuentra en una zona montañosa, lo que coincide con las condiciones geográficas descritas por Terzaghi y Peck. Los resultados obtenidos en los ensayos triaxiales muestran una alta cohesión en algunos suelos, lo que es consistente con las características descritas por los autores en su estudio. La presencia de suelos cohesivos y la variabilidad del terreno en Yanama, incluyendo la influencia de los niveles freáticos, son factores importantes que fueron evaluados en esta investigación mediante el ensayo triaxial. Los resultados revelaron que, en algunas zonas, la cohesión es suficiente para mantener la estabilidad de la cimentación, aunque en otras áreas podría ser necesario mejorar la capacidad de carga mediante técnicas de refuerzo del suelo, como la compactación o la inyección de materiales.

### **3. Según Craig (2004), "Mecánica de suelos"**

**Resultados relevantes:** Craig subraya la importancia de un análisis detallado de la interacción suelo-estructura, especialmente en estructuras de gran envergadura como los reservorios. El ensayo triaxial es recomendado como un método estándar para obtener los parámetros de resistencia del suelo, simulando las condiciones de confinamiento bajo las que serán sometidos los suelos.

**Discusión en relación con el estudio de Yanama:** Los resultados del ensayo triaxial en Yanama concuerdan con las recomendaciones de Craig sobre la importancia de simular las condiciones de confinamiento a las que

el suelo se someterá bajo una cimentación de gran tamaño. La interacción suelo-estructura es crítica, y en el caso del reservorio de Yanama, los resultados triaxiales permitieron determinar cómo el suelo responderá bajo las cargas aplicadas por el reservorio. Los parámetros de cohesión y fricción interna obtenidos permitieron realizar una estimación precisa de la capacidad de carga de la cimentación, lo que es fundamental para evitar fallos estructurales y asentamientos indeseados, tal como lo menciona Craig en su obra.

#### **4. Según Navarro y Sánchez (2010), "Geotecnia Aplicada a Obras Hidráulicas en Terrenos Montañosos"**

**Resultados relevantes:** Navarro y Sánchez destacan que los suelos con alta cohesión o con presencia de materiales rocosos requieren un análisis detallado a través de ensayos triaxiales, especialmente en áreas montañosas. Este tipo de estudios es clave para entender cómo estos suelos responden a las cargas de cimentación.

**Discusión en relación con el estudio de Yanama:** El estudio en Yanama tiene gran similitud con las condiciones descritas por Navarro y Sánchez, ya que la zona presenta suelos con alta cohesión y algunos materiales rocosos en ciertas áreas. Los resultados del ensayo triaxial confirmaron la presencia de suelos con alta cohesión, lo que es favorable para la estabilidad de la cimentación. Sin embargo, como señalan Navarro y Sánchez, en áreas con suelos rocosos, se podrían requerir cimentaciones especiales para distribuir de manera eficiente las cargas, y este aspecto fue tenido en cuenta en el diseño de la cimentación del reservorio en Yanama.

**5. Según Martínez et al. (2015), "Capacidad de Carga de Suelos para Grandes Obras Hidráulicas"**

**Resultados relevantes:** Martínez et al. Realizado un análisis de suelos sometidos a altas presiones en grandes proyectos hidráulicos. El ensayo triaxial fue utilizado para evaluar cómo los suelos respondían bajo presiones elevadas, permitiendo ajustar las condiciones de cimentación para prevenir fallos estructurales y asentamientos excesivos.

**Discusión en relación con el estudio de Yanama:** El estudio de Martínez et al. Es muy relevante para el caso de Yanama, ya que el reservorio de agua potable es una gran obra hidráulica que, al igual que los proyectos estudiados por Martínez, está expuesto a cargas elevadas. Los resultados del ensayo triaxial en Yanama permitieron identificar que la capacidad de carga en algunas áreas del terreno es adecuada para soportar el reservorio, pero también señalaron que en áreas con suelos saturados, el riesgo de asentamientos podría ser mayor. Estos hallazgos fueron utilizados para ajustar el diseño de la cimentación, utilizando técnicas recomendadas en el estudio de Martínez, como la mejora del suelo y el uso de cimentaciones más profundas en las zonas con menor capacidad de carga.

## CONCLUSIONES

1. El ensayo triaxial permitió obtener los siguientes parámetros de suelo usados para realizar los análisis geotécnicos: Cohesión 0.14 kg/cm<sup>2</sup>, ángulo de fricción 17.35°, Módulo de elasticidad del suelo 7.0 Mpa y coeficiente poisson 0,40.
2. Se determinó mediante los cálculos realizados que la capacidad de carga admisible de la cimentación obtenida es de 92.1 kPa, valor que se considera bajo para garantizar la estabilidad estructural de un reservorio de agua potable.
3. El resultado inferior de la capacidad de carga admisible evidencia la necesidad de considerar mejoras en el suelo de fundación o el rediseño de la cimentación a fin de asegurar el desempeño seguro y eficiente de la estructura.
4. Con base en los resultados obtenidos en la Tabla 6, donde se presentan los valores de asentamiento correspondientes a la carga por capacidad admisible, carga por asentamiento y carga de servicio, se determinó técnicamente que una profundidad de cimentación de 1.50 m resulta adecuada.
5. Los parámetros geotécnicos obtenidos a partir del ensayo triaxial, específicamente la cohesión y el ángulo de fricción interna, han demostrado ser factores fundamentales en el diseño de la cimentación. Su correcta determinación ha permitido evaluar con mayor precisión la capacidad de carga del suelo, contribuyendo así a garantizar la estabilidad y seguridad estructural del reservorio de agua potable.
6. Los resultados obtenidos permiten tomar decisiones informadas para asegurar la estabilidad y seguridad del reservorio de agua potable, minimizando riesgos de fallos estructurales y asentamientos excesivos.

## **RECOMENDACIONES**

1. Se recomienda establecer, como profundidad mínima de cimentación ( $D_f$ ), un valor de 1.50 m, a fin de garantizar una distribución adecuada de las cargas, mejorar la estabilidad del sistema estructural y reducir los efectos negativos asociados al asentamiento del suelo.
2. Se recomienda que, previo a la colocación del solado para la zapata, el terreno de fundación sea debidamente apisonado o compactado, a fin de garantizar una base uniforme y estable
3. Se debe de considerar los parámetros geotécnicos obtenidos del ensayo triaxial, tales como la cohesión, el ángulo de fricción interna y el módulo de elasticidad, como insumos fundamentales en el diseño y evaluación de cimentaciones.
4. Se recomienda que los materiales empleados para la mejora del suelo cumplan estrictamente con los controles de calidad, las especificaciones técnicas y los husos granulométricos aprobados por un ingeniero geotécnico o ingeniero supervisor responsable del proyecto a fin de garantizar la eficacia del proceso de mejora del terreno.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bowles, J. E. (1996). Foundation Analysis and Design. McGraw-Hill.
- Condori, J. (2022). Relación entre la resistencia drenada, obtenida del ensayo de corte directo, y resistencia no drenada, obtenida del ensayo de compresión triaxial de un suelo cohesivo [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Altiplano Puno]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Altiplano Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18004>
- Consoli, N. C., Schnaid, F., & Milititsky, J. (1998). Interpretation of Plate Load Tests on Residual Soil Site. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(1998\)124:9\(857\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(1998)124:9(857))
- Craig, R. F. (2004). Soil Mechanics. Spon Press.
- Das, B. M. (Ed.). (2011). Geotechnical engineering handbook. Ross.
- Das, B. M. (2012). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones (Séptima edición). Cengage Learning.
- E 0.50. (2018). Norma Técnica E.050, Suelos y Cimentaciones (01 diciembre del 2018). <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normasdel-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Guirales, Y. B., Brand, M. B., & Ángel, Á. M. (2013). Variación de las Propiedades Mecánicas de Arcillas Alófanas en Colombia al Variar el Grado de Saturación.
- Jaramillo, M. (2019). Capacidad admisible mediante los métodos de Terzagui y Meyerhof para diseño de cimentaciones, Recuay-Ancash [Tesis de Grado, Universidad San Pedro]. Repositorio Institucional de la Universidad San Pedro. <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/14321>



- Jave Díaz, M. A. (2022). Modelado y diseño de una presa de relaves (colas) en el distrito de Morococha – Yauli – Junín [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Privada del Norte].
- Lade, P. V. (2016). Triaxial Testing of Soils (First). John Wiley & Sons.
- Laura, S. (2016). Evaluación de la Capacidad Predictiva de los Métodos de Estimación del Comportamiento Mecánico de los Suelos Lacustres de la Bahía de Puno, para Cimentaciones Superficiales [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Altiplano Puno]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Altiplano Puno. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/2158>
- Lipiński, M., & Wdowska, M. (2010). Saturation criteria for heavy overconsolidated cohesive soils. Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Land Reclamation, 42(2). <https://doi.org/10.2478/v10060-008-0087-1>
- Martínez, J., Pérez, L., & Gómez, F. (2015). Capacidad de carga de suelos para grandes obras hidráulicas. Ingeniería Geotécnica y Estructural.
- McCarthy, D. F. (2014). Essentials of Soil Mechanics and Foundations: Basic Geotechnics. Pearson.
- Navarro, M. & Sánchez, F. (2010). Geotecnia aplicada a obras hidráulicas en zonas montañosas. Revista Internacional de Ingeniería Civil.
- NTP 339.128. (2019). SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico. 1ª Edición (D.S. 011-2006-VIVIENDA (2006-05-08) Reglamento Nacional de Edificaciones).
- NTP 339.129. (2019). SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos. 1a Edición (D.S. 011-2006-VIVIENDA (2006-05-08) Reglamento Nacional de Edificaciones).

- NTP 339.131. (2019). SUELOS. Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo. 1a Edición (D.S. 011-2006-VIVIENDA (2006-05-08) Reglamento Nacional de Edificaciones).
- OM Ingeniería y Laboratorio SRL (2012). Informe de ensayo de compresión triaxial consolidado–drenado (CD), Calicata C-3 (Proyecto: Presa Lauracocha, Distrito de Yauli, Provincia de Yauli, Dpto. Junín). Este documento
- Patel, A. (2019). Geotechnical investigation. En *Geotechnical Investigations and Improvement of Ground Conditions* (pp. 87-155). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817048-9.00009-3>
- Paula, D. C. de, Aguiar, M. F. P. de, Mendes, G. C. de M., & Oliveira, F. H. L. de.(2018). Análise Comparativa de Resultados de Provas de Carga em Placa em Solo Colapsível Brasileiro em Condições Natural e Inundada. 10.
- Peck, R. B., & Bryant, F. G. (1953). The Bearing-Capacity Failure Of The Transcona Elevator. *Géotechnique*, 3(5), 201-208.  
<https://doi.org/10.1680/geot.1953.3.5.201>
- Salome, E. (2022). Análisis Comparativo de las Teorías de Capacidad de Carga en Cimentaciones Superficiales, Cullpa Alta El Tambo – Huancayo 2021 [Tesis de Grado, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio Institucional de la Universidad Peruana Los Andes. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/4121>
- Sarmiento, W. (2017). Determinacion Indirecta de la Permeabilidad del Suelo mediante el ensayo Edometrico [Tesis de Grado, Universidad del Azuay]. Repositorio Institucional de la Universidad del Azuay.  
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7333>
- Siesquen, K. (2022). Análisis de la variación de la capacidad de carga mediante ensayos geotécnicos de corte directo y Triaxial, en la Urb. Monterrico VI Etapa, distrito

de Chiclayo. [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional de la Universidad Tecnológica del Perú.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12867/6605>

Skempton, A. W., & MacDonald, D. H. (1956). The allowable settlements of buildings. ICE Proceedings.

Steward, E. (2011). Manual de Operacion de Equipo Triaxial marca ELE DS7.

Sultana, P., & Dey, A. K. (2019). Estimation of Ultimate Bearing Capacity of Footings on Soft Clay from Plate Load Test Data Considering Variability. Indian Geotechnical Journal, 49(2), 170-183. <https://doi.org/10.1007/s40098-018-0311-9>

Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons.

## **ANEXOS**

Anexo 1: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Perfil estratigráfico del suelo

| PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL SUELO |               |  |  |                                |  |   |  |                         |  |
|---------------------------------|---------------|--|--|--------------------------------|--|---|--|-------------------------|--|
| SOLICITANTE                     |               | MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE EL CARMEN   |  |                                |  |   |  | PERFORACION<br>c - 01   |  |
| <del>PROYECTO</del>             |               | *CREACION DEL RESERVORIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR DE YANAMA DE LA LOCALIDAD DE YAUJI DEL DISTRITO DE YAUJI - PROVINCIA DE YAUJI DEPARTAMENTO DE JUNIN* |  |                                |  |   |  |                         |  |
| ATENCION                        |               | MUNICIPALIDAD DISTRITAL YAUJI  |  |                                |  |   |  |                         |  |
| UBICACIÓN                       |               | YAUJI - YAUJI - YAUJI - JUNIN  |  |                                |  | ELABORADO POR.  |  | J.R.M                   |  |
| TIPO DE EXCAVACION              |               | Manual   |  | CALICATA                       |  | PROGRESIVA  |  | E 380659.42 N 8709249.0 |  |
|                                 |               |  |  |                                |  | PROFUNDIDAD FINAL   |  | 2.00 m.                 |  |
|                                 |               |  |  |                                |  | NIVEL FREATICO  |  |                         |  |
| FECHA                           |               | 15/06/2024   |  |                                |  |   |  | NO PRESENTA             |  |
| PROFUNDIDAD<br>(m)              | CLASIFICACION |  |  | CONTENIDO<br>DE HUMEDAD<br>(%) | DENSIDAD<br>SECA (gr/cm <sup>3</sup> ) | DESCRIPCION Y CLASIFICACION DEL MATERIAL. COLOR, HUMEDAD NATURAL, PLASTICIDAD, ESTADO NATURAL DE COMPACTACION, FORMA DE LAS PARTICULAS, TAMAÑO MAXIMO DE PIEDRAS, PRESENCIA DE MATERIA ORGANICA, ETC. |  |                         |  |
|                                 | SÍMBOLOS      | O  |  |                                |  |   |  |                         |  |
| 0.5                             | MH            |  |  | 26.18                          |  | GRAVA LIMOSA DE MEDIA PLASTICIDAD, COLOR PARDO OSCURO DE COMPACTACION MEDIA CON PRESENCIA DE PIEDRA DE 2.5" EN 15%.   |  |                         |  |
| 1.0                             |               |  |  |                                |  |   |  |                         |  |
| 1.5                             |               |  |  |                                |  |   |  |                         |  |
| 2.0                             |               |  |  |                                |  |   |  |                         |  |
| IDENTIFICACION DE MUESTRAS      |               |  |  |                                |  |   |  |                         |  |
| Material Natural                |               |  |  |                                |  |   |  |                         |  |
| SIM.                            |               | Sin muestra  |  |                                |  |   |  |                         |  |

## Anexo 2: Resultado del Análisis granulométrico



Estudio Geotécnico con fines de Cimentación

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

DSD0056015062021

INFORME N°-DSD0056015062024

Peticionario

Proyecto/Obra

Atención

Fecha de recepción

Fecha de emisión

MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YAULI  
CREACION DEL RESERVORIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR DE YANAMA  
DE LA LOCALIDAD DE YAULI DEL DISTRITO DE YAULI - PROVINCIA DE  
YAULI - DEPARTAMENTO DE JUNIN  
MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YAULI  
sábado, 05 de junio de 2024  
martes, 15 de junio de 2024

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NTP 339.128 - ASTM D422

Código ASTM D422-63(2007)e2

Título Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils  
(Withdrawn 2016)

Código NTP 339.128:1999 (revisada el 2014)

Título SUELOS. Método de ensayo para el análisis  
granulométrico. 1ª Edición. Reemplaza a la NTP

LIMITES DE CONSISTENCIA NTP 339.129 - ASTM D4318

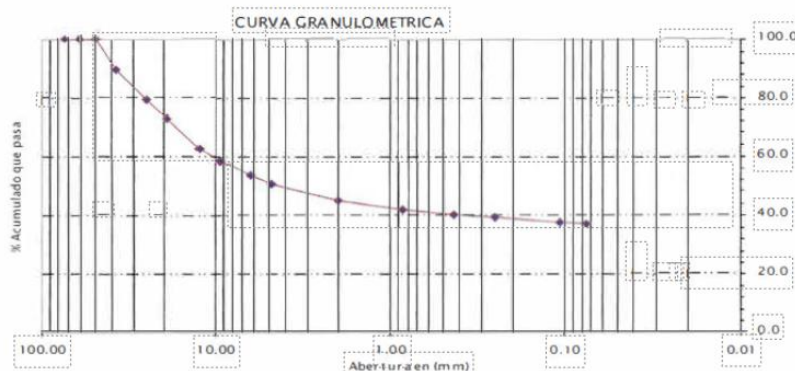
Código ASTM D4318 - 10e1

Título Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and  
Plasticity Index of Soils

NTP 339.129:1999 (revisada el 2014)

SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido,  
límite plástico e índice de plasticidad de suelos: 1ª Edición.  
Reemplaza a la NTP 339.129:1999 NTP 339.130:1999 (revisada el

| Tamiz  | Apertura | % Acum. |
|--------|----------|---------|
| 3"     | 75.00    | 100.0   |
| 2 1/2" | 62.00    | 100.0   |
| 2"     | 50.00    | 100.0   |
| 1 1/2" | 37.50    | 89.3    |
| 1"     | 25.00    | 79.3    |
| 3/4"   | 19.00    | 72.8    |
| 1/2"   | 12.50    | 62.8    |
| 3/8"   | 9.50     | 58.6    |
| 1/4"   | 6.30     | 53.5    |
| Nº 4   | 4.75     | 50.5    |
| Nº 10  | 2.00     | 45.0    |
| Nº 20  | 0.85     | 41.9    |
| Nº 40  | 0.43     | 40.3    |
| Nº 60  | 0.25     | 39.2    |
| Nº 140 | 0.10     | 37.7    |
| Nº 200 | 0.075    | 37.2    |



Lim. Líquido

Nº GOL

39

30

21

13

53.40

55.14

57.46

59.45

Lim. Plástico

30.26 %

30.21 %

%GRAVA 49.47  
%ARENA 13.29  
% FINO 37.24



|                   |                            |
|-------------------|----------------------------|
| LÍMITE LÍQUIDO    | 56.00 %                    |
| LÍMITE PLÁSTICO   | 30.24 %                    |
| ÍNDICE PLÁSTICO   | 25.77 %                    |
| CLASIF. SUCS      | GM                         |
| GRAYA LIMOSA      |                            |
| CLASIF. AASHTO    | A-7.5 (-0)                 |
| CONT. HUMEDAD (%) | 16.18                      |
| Lugar             | COLEGIO                    |
| Muestra           | C-01                       |
| Progresiva        | 0+000                      |
| Profundidad (m)   | 0.60 m                     |
| Coordenadas       | N 8709249.0<br>E 380659.42 |

### OBSERVACIONES

Muestras provista e identificada por el interesado

El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio salvo que la reproducción sea en su totalidad. (GUÍA PERUANA INDECOPI: GP 004: 1993)

### EQUIPO UTILIZADO:

Tamices ESTANDAR TEST SIEVE ASTM E-11 ESPECIFICATION (FORNEY)

Cazuela de casagrande con contador de golpes, Marca Forney LA-3715, Serie Nº 119

Estufa utilizada: Modelo STHX-2A-120°C, Serie 13018 -Calibrada por METROTEC (Certificado de Calibración N°MT - LF - 170 - 2021)

Balanza OHAUS SPJ6001, Nº Serie B411400997 - 6000gr. Calibrada por METROTEC (Certificado de Calibración N°MT - LM - 261- 2021)

**Anexo 3: Resultados del ensayo de compresión triaxial (uu), espécimen 01**

|  |   |                                |       |      |      |
|--|---|--------------------------------|-------|------|------|
| Estudio Geotécnico con fines de Cimentación  |   |                                |       |      |      |
| LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES<br>MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO  |   |                                |       |      |      |
| DSD0056015062021   |   |                                |       |      |      |
| INFORME N° DSD0056015062024  |   |                                |       |      |      |
| Peticionario   | MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YAULI  |                                |       |      |      |
| Proyecto/Obra  | CREACION DEL RESERVORIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR DE YAÑAMA DE LA LOCALIDAD DE YAULI DEL DISTRITO DE YAULI - PROVINCIA DE YAULI - DEPARTAMENTO DE JULIÁN |                                |       |      |      |
| Atencion   | MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YAULI  |                                |       |      |      |
| Fecha de recepción   | sábado, 05 de junio de 2024   |                                |       |      |      |
| Fecha de emisión   | martes, 15 de junio de 2024   |                                |       |      |      |
| ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL<br>UU - NTP 339,164 - ASTM D2850   |   |                                |       |      |      |
| Código   | ASTM D2850 - 15   |                                |       |      |      |
| Título   | Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils   |                                |       |      |      |
| Código   | NTP 339.164:2001 (revisada el 2016)   |                                |       |      |      |
| Título   | SUELOS Método de ensayo normalizado de compresión triaxial no consolidado no drenado para suelos  |                                |       |      |      |
| Calicata   | C-1   | Velocidad de ensayo (mm/min)   | 0.50  |      |      |
| Altura (cm)  | 14.21   | Presión de Celda (kg/cm2)      | 0.50  |      |      |
| Diametro (cm)  | 7.11  | CALICATA N°02 - MUESTRA M-01   |       |      |      |
| Peso de la Muestra (gr)  | 1102.0  | Prof. De La Excavación: 1.60 m |       |      |      |
| Humedad (%)  | 31.99   |                                |       |      |      |
| Densidad Seca (gr/cm³)   | 1.855   |                                |       |      |      |
| Estado   | Remoldeado  |                                |       |      |      |
| Deformación (%)  |   | Deformación (%)                |       |      |      |
| Esf. Desviador (kPa)   |   | Esf. Desviador (kPa)           |       |      |      |
| (σ₁) (kPa)   |   | (σ₁) (kPa)                     |       |      |      |
| 0.03   | 0.15  | 0.65                           | 5.62  | 1.31 | 1.81 |
| 0.21   | 0.13  | 0.93                           | 5.82  | 1.32 | 1.82 |
| 0.40   | 0.59  | 1.09                           | 6.11  | 1.34 | 1.84 |
| 0.61   | 0.70  | 1.20                           | 6.30  | 1.34 | 1.84 |
| 0.78   | 0.79  | 1.29                           | 6.53  | 1.35 | 1.85 |
| 0.97   | 0.85  | 1.35                           | 6.76  | 1.36 | 1.86 |
| 1.28   | 0.91  | 1.41                           | 6.99  | 1.37 | 1.87 |
| 1.60   | 0.96  | 1.46                           | 7.17  | 1.38 | 1.88 |
| 1.71   | 1.00  | 1.50                           | 7.13  | 1.38 | 1.88 |
| 1.88   | 1.03  | 1.53                           | 7.66  | 1.30 | 1.89 |
| 2.12   | 1.07  | 1.57                           | 7.95  | 1.30 | 1.89 |
| 2.38   | 1.09  | 1.59                           | 8.19  | 1.40 | 1.90 |
| 2.69   | 1.12  | 1.62                           | 8.41  | 1.40 | 1.90 |
| 2.88   | 1.14  | 1.64                           | 8.58  | 1.40 | 1.90 |
| 3.04   | 1.16  | 1.66                           | 8.82  | 1.41 | 1.91 |
| 3.28   | 1.18  | 1.68                           | 9.08  | 1.41 | 1.91 |
| 3.50   | 1.20  | 1.70                           | 9.30  | 1.41 | 1.91 |
| 3.72   | 1.22  | 1.72                           | 9.56  | 1.42 | 1.92 |
| 3.90   | 1.23  | 1.73                           | 9.77  | 1.42 | 1.92 |
| 4.13   | 1.25  | 1.75                           | 9.95  | 1.42 | 1.92 |
| 4.37   | 1.26  | 1.76                           | 10.25 | 1.43 | 1.93 |
| 4.60   | 1.27  | 1.77                           | 10.27 | 1.43 | 1.93 |
| 4.83   | 1.28  | 1.78                           | 10.74 | 1.43 | 1.93 |
| 5.17   | 1.29  | 1.79                           | 11.03 | 1.43 | 1.93 |
| 5.37   | 1.30  | 1.80                           | 11.20 | 1.44 | 1.94 |
| Observaciones:   |   |                                |       |      |      |
| * MUESTRA PROVIENE Y IDENTIFICADA POR EL PETICIONARIO EN OBRA  |   |                                |       |      |      |
| * EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBE SER REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO. SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD (GUÍA PERUANA INDECOPI GP064 - 1993) |   |                                |       |      |      |
| * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA. EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.   |   |                                |       |      |      |



## Anexo 4: Resultados del ensayo de compresión triaxial (uu), espécimen 02



### Estudio Geotécnico con fines de Cimentación

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES  
MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

DSD0056015062024

**INFORME N° DSD0056015062024**

Peticionario: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YAULI  
Proyecto/Obra: CREACION DEL RESERVORIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR DE YANAMA DE LA LOCALIDAD DE YAULI DEL DISTRITO DE YAULI - PROVINCIA DE YAULI - DEPARTAMENTO DE JUNIN  
Atencion: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YAULI  
Fecha de recepción: sábado, 05 de junio de 2021  
Fecha de emisión: martes, 15 de junio de 2021

**ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL  
UU - NTP 339,164 - ASTM D2850**

Código: **ASTM D2850 - 15**  
Título: Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils  
Código: **NTP 339.164:2001 (revisada el 2015)**  
Título: SUELOS Método de ensayo normalizado de compresión triaxial no consolidado - no drenado para suelos

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| Calicata                            | C-1        |
| Altura (cm)                         | 14.21      |
| Diametro (cm)                       | 7.11       |
| Peso de la Muestra (gr)             | 1402.0     |
| Humedad (%)                         | 33.99      |
| Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.855      |
| Estado                              | Remoldeado |

|  |      |
|--|------|
| Velocidad de ensayo (mm/min)           | 0.50 |
| Presión de Celda (kg/cm <sup>2</sup> ) | 1.00 |

**CALICATA N°02 - MUESTRA M-01**

Prof. De La Excavación: 1.60 m

| Deformación (%) | Esf. Desviador (kPa) | ( $\sigma_1$ ) (kPa) |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| 0.09            | 0.46                 | 1.46                 |
| 0.33            | 0.91                 | 1.91                 |
| 0.57            | 1.08                 | 2.08                 |
| 0.79            | 1.21                 | 2.21                 |
| 1.01            | 1.32                 | 2.32                 |
| 1.25            | 1.42                 | 2.42                 |
| 1.45            | 1.51                 | 2.51                 |
| 1.71            | 1.59                 | 2.59                 |
| 1.92            | 1.66                 | 2.66                 |
| 2.14            | 1.72                 | 2.72                 |
| 2.36            | 1.78                 | 2.78                 |
| 2.60            | 1.83                 | 2.83                 |
| 2.83            | 1.88                 | 2.88                 |
| 3.06            | 1.92                 | 2.92                 |
| 3.30            | 1.96                 | 2.96                 |
| 3.51            | 2.00                 | 3.00                 |
| 3.75            | 2.03                 | 3.03                 |
| 4.00            | 2.06                 | 3.06                 |
| 4.19            | 2.09                 | 3.09                 |
| 4.44            | 2.12                 | 3.12                 |
| 4.64            | 2.14                 | 3.14                 |
| 4.90            | 2.16                 | 3.16                 |
| 5.15            | 2.18                 | 3.18                 |
| 5.37            | 2.20                 | 3.20                 |
| 5.59            | 2.22                 | 3.22                 |

ESPECIMEN N°02

| Deformación (%) | Esf. Desviador (kPa) | ( $\sigma_1$ ) (kPa) |
|-----------------|----------------------|----------------------|
| 5.81            | 2.23                 | 3.23                 |
| 6.08            | 2.25                 | 3.25                 |
| 6.33            | 2.27                 | 3.27                 |
| 6.51            | 2.28                 | 3.28                 |
| 6.76            | 2.29                 | 3.29                 |
| 6.98            | 2.31                 | 3.31                 |
| 7.21            | 2.32                 | 3.32                 |
| 7.45            | 2.34                 | 3.34                 |
| 7.70            | 2.35                 | 3.35                 |
| 7.93            | 2.36                 | 3.36                 |
| 8.15            | 2.38                 | 3.38                 |
| 8.41            | 2.39                 | 3.39                 |
| 8.62            | 2.40                 | 3.40                 |
| 8.84            | 2.42                 | 3.42                 |
| 9.11            | 2.43                 | 3.43                 |
| 9.30            | 2.45                 | 3.45                 |
| 9.53            | 2.46                 | 3.46                 |
| 9.74            | 2.48                 | 3.48                 |
| 9.97            | 2.49                 | 3.49                 |
| 10.24           | 2.51                 | 3.51                 |
| 10.48           | 2.52                 | 3.52                 |
| 10.50           | 2.52                 | 3.52                 |
| 10.94           | 2.55                 | 3.55                 |
| 11.16           | 2.56                 | 3.56                 |
| 11.39           | 2.57                 | 3.57                 |

#### Observaciones:

Muestra provista e identificada por el peticionario en obra.

EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERA REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACION ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCION SEA EN SU TOTALIDAD (GUÍA PERUANA INDECOPI, GP004, 1993).

LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA, EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.



## Anexo 5: Resultado obtenido del ensayo de corte directo de la calicata

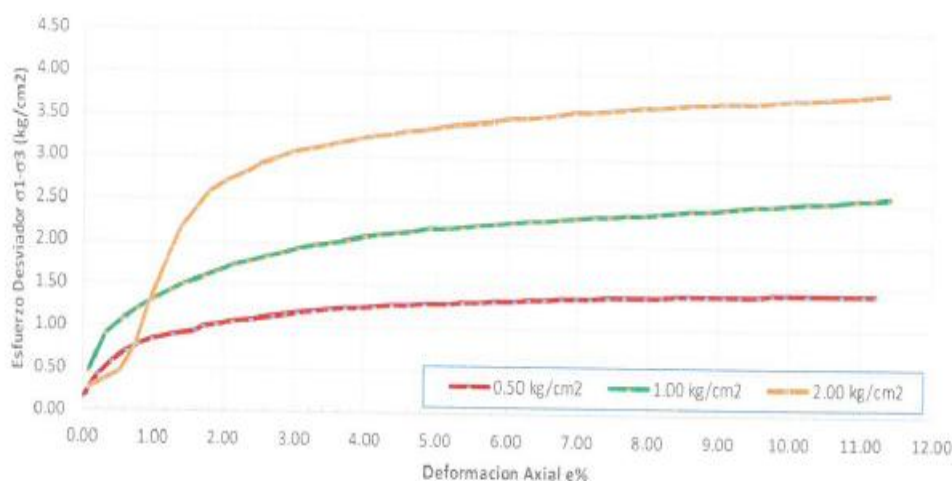
### LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

DSD0056015062021

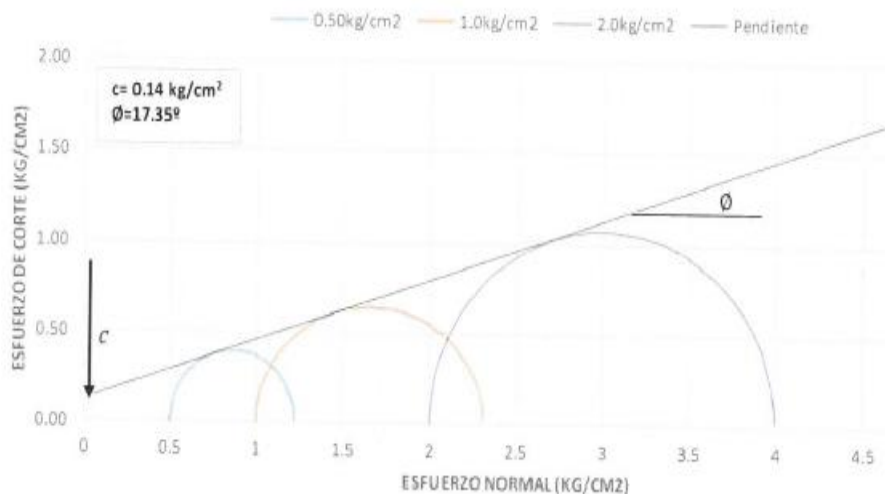
#### INFORME N° DSD0056015062021

|                    |   |
|--------------------|---|
| Peticionario       | MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YAULI  |
| Proyecto/Obra      | CREACION DEL RESERVOIRIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR DE YANAMA<br>DE LA LOCALIDAD DE YAULI DEL DISTRITO DE YAULI - PROVINCIA DE YAULI<br>- DEPARTAMENTO DE JUNIN |
| Atencion           | MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YAULI  |
| Fecha de recepción | sábado, 05 de junio de 2024   |
| Fecha de emisión   | martes, 15 de junio de 2024   |

Esfuerzo vs Deformacion



Circulo de Mohr



#### OBSERVACION:

\* EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.  
\* LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA. EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.

## Anexo 5: Datos generales de la cimentación del Reservorio

|             |  |   |            |
|-------------|--|---|------------|
|             |  | <b>ZONA DE EDIFICACIÓN</b><br><b>Zapata 2,0m x 2,0m</b> |            |
| Proyecto :  | CREACIÓN DEL RESERVORIO DE AGUA POTABLE EN EL SECTOR DE YANAMA DE LA LOCALIDAD DE YAULI DEL DISTRITO DE YAULI - PROVINCIA DE YAULI - DEPARTAMENTO DE JUNIN | Ejecutado por :   | J.R.M.     |
| Ubicación : | YAULI - YAULI - YAULI - JUNIN  | Revisado por :  |            |
|             |  | Fecha :   | JUNIO 2024 |

### 1.0 DATOS GENERALES

|                                      |   |       |                   |
|--------------------------------------|---|-------|-------------------|
| Tipo de cimentación                  | Cuadrada <input checked="" type="checkbox"/> Circular <input type="checkbox"/> Rectangular <input type="checkbox"/> |       |                   |
| Ángulo de fricción del macizo rocoso | $\phi$ :  | 17.35 | °                 |
| Cohesión del macizo rocoso           | $C$ :   | 13.73 | kPa               |
| Peso Específico húmedo (1)           | $\gamma$ :  | 18.19 | kN/m <sup>3</sup> |
| Ancho de la cimentación              | $B$ :   | 2.00  | m                 |
| Largo de la cimentación              | $L$ :   | 2.00  | m                 |
| Relación                             | $L/B$ :   | 1.00  |                   |
| Nivel freático                       | NF :  | 0.00  | m                 |
| Profundidad de la cime               | Dr :  | 1.50  | m                 |
| Excentricidad                        | $e$ :   | 0.00  |                   |
| Factor de seguridad                  | F.S. :  | 3.00  |                   |

### 2.0 FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA

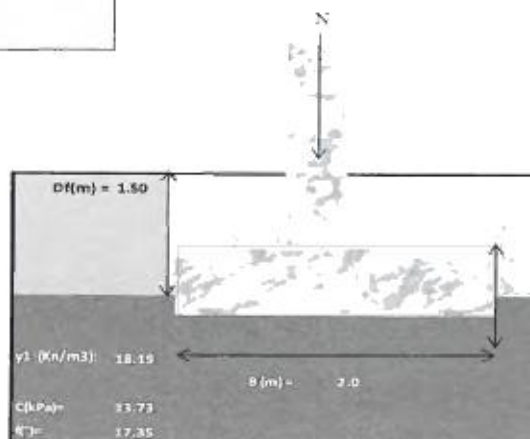
| Carga          | Forma       | Excentricidad |
|----------------|-------------|---------------|
| $N\phi = 1.85$ | $Cc = 1.25$ | $B' = 2.00$   |
| $Nc = 7.75$    | $Cy = 0.85$ |               |
| $Ny = 3.29$    |             |               |
| $Nq = 3.42$    |             |               |

### 3.0 CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA

|                       |           |      |                    |
|-----------------------|-----------|------|--------------------|
| $q_{ult} = 277.3$ kPa | $\approx$ | 2.83 | kg/cm <sup>2</sup> |
| $q_{adm} = 92.4$ kPa  | $\approx$ | 0.94 | kg/cm <sup>2</sup> |

### 4.0 CÁLCULO DE ASENTAMIENTO

$$S_e = \frac{1.12 \cdot B \cdot q \cdot (1 - \nu_n^2)}{E_n} \times \sqrt{L/B}$$



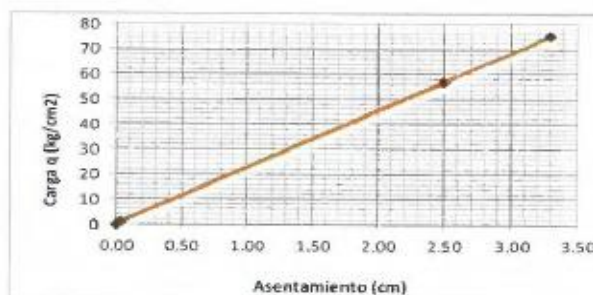
| Type                             | = | Cuadrada |      |       |      |
|----------------------------------|---|----------|------|-------|------|
| $\Delta q$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | = | 28.39    | 0.94 | 75.00 | 0.07 |
| $B$ (cm)                         | = | 200      | 200  | 200   | 200  |
| $B$ (cm)                         | = | 200      | 200  | 200   | 200  |
| $Df$ (cm)                        | = | 150      | 150  | 150   | 150  |
| $E$ (kg/cm <sup>2</sup> )        | = | 2344     | 2344 | 2344  | 2344 |
| $\nu$                            | = | 0.28     | 0.28 | 0.28  | 0.28 |

|           |   |       |      |       |      |
|-----------|---|-------|------|-------|------|
| $Se$ (cm) | = | 2.50  | 0.08 | 6.61  | 0.03 |
| $Se$ (mm) | = | 25.00 | 0.83 | 66.05 | 0.07 |

|                       |                   |      |                    |
|-----------------------|-------------------|------|--------------------|
| $Q_{adm} = 92.45$ kPa | $\Leftrightarrow$ | 0.94 | kg/cm <sup>2</sup> |
| $Se = 0.083$ cm       |                   |      |                    |

|                       |                   |      |                    |
|-----------------------|-------------------|------|--------------------|
| $Q_{serv} = 7.36$ kPa | $\Leftrightarrow$ | 0.07 | kg/cm <sup>2</sup> |
| $Se = 0.007$ cm       |                   |      |                    |

|                          |                   |      |                    |
|--------------------------|-------------------|------|--------------------|
| $Q_{asent} = 2784.7$ kPa | $\Leftrightarrow$ | 28.4 | kg/cm <sup>2</sup> |
| $Se = 2.500$ cm          |                   |      |                    |



**Anexo 5:** Resultado obtenido del ensayo de corte directo de la calicata

