**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**
**Universidad del Perú. Decana de América**

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera,
Metalúrgica y Geográfica
Unidad de Posgrado

# Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay

**TESIS**

Para optar el Grado Académico de Magíster en Geología
con mención en Geotecnia

**AUTOR**

Joao Douglas CÓRDOVA IDRUGO

**ASESOR**

Dr. Luis Miguel MORÁN YAÑEZ

Lima, Perú

2026




Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

**Referencia bibliográfica**

---

Córdova, J. (2026). *Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

| | |
|---|---|
| **Datos de autor** | |
| Nombres y apellidos | Joao Douglas Córdova Idrugo |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 74402139 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0009-0000-7880-0786 |
| **Datos de asesor** | |
| Nombres y apellidos | Luis Miguel Morán Yañez |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 06118148 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0000-0003-0695-8829 |
| **Datos del jurado** | |
| **Presidente del jurado** | |
| Nombres y apellidos | Luz Baltazara Ramos Lorenzo |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 09997205 |
| **Miembro del jurado 1** | |
| Nombres y apellidos | Octavio Jose Caya Ramos |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 09237146 |
| **Miembro del jurado 2** | |
| Nombres y apellidos | Jorge Enrique Soto Yen |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 03493146 |
| **Miembro del jurado 3** | |
| Nombres y apellidos | Luis Miguel Moran Yañez |
| Tipo de documento | DNI |

| | |
|---|---|
| Número de documento de identidad | 06118148 |
| **Datos de investigación** | |
| Línea de investigación | No aplica. |
| Grupo de investigación | No aplica. |
| Agencia de financiamiento | Sin financiamiento. |
| Ubicación geográfica de la investigación | Laboratorio Ingeocontrol<br>País: Perú<br>Departamento: Lima<br>Provincia: Lima<br>Distrito: Comas<br>Latitud: -11.94264<br>Longitud: -77.06513 |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación | Octubre 2023 – Diciembre 2023 |
| URL de disciplinas OCDE | Ingeniería civil<br>https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01<br><br>Ingeniería de la construcción<br>https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03 |

Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica
Unidad de Posgrado

# Acta de Sustentación de Tesis

Sustentación Pública

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Lima, a los treinta días del mes de junio del año 2026, siendo las 10:00 horas, se reúnen los suscritos Miembros del Jurado Examinador de Tesis, nombrado mediante Dictamen Nº 000298-2026-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM del 16 de junio de 2026, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

Titulo

**«CALIDAD DE LAS CANTERAS Y EL DESGASTE FRENTE A CICLOS DE HUMEDECIMIENTO - SECADO DEL SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO EN EL TRAMO ACOS HUAYLLAY»**

Que, presenta el Bach. **JOAO DOUGLAS CÓRDOVA IDRUGO,** para optar el grado académico de **MAGISTER** en **GEOLOGÍA** con mención en **GEOTECNIA.**

El Secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente digital Nº UNMSM-20230024805 del 22 de marzo de 2023, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento General de Estudios de Posgrado», aprobado con Resolución Rectoral Nº 04790-R-18 del 08 de agosto del 2018.

Luego de la Sustentación, se procede con la calificación de la Tesis, de acuerdo al procedimiento respectivo y se registra en el acta correspondiente en conformidad al Art. 100 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

BUENO (15)

Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el grado académico de **MAGISTER** en **GEOLOGÍA** con mención en **GEOTECNIA** al Bach. **JOAO DOUGLAS CÓRDOVA IDRUGO.**

Siendo las 11:00 horas, se dio por concluido al acto académico.

DRA. LUZ BALTAZARA RAMOS LORENZO
Presidente

MG. OCTAVIO JOSE CAYA RAMOS
Secretario

DR. JORGE ENRIQUE SOTO YEN
Miembro

DR. LUIS MIGUEL MORAN YAÑEZ
Asesor



Escaneado con CamScanner

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

## Anexo 1
## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, DR. LUIS MIGUEL MORAN YAÑEZ en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen de la UPG N° 000482-2023-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM de la tesis, cuyo título es «CALIDAD DE LAS CANTERAS Y EL DESGASTE FRENTE A CICLOS DE HUMEDECIMIENTO - SECADO DEL SUELO ESTABILIZADO CON CEMENTO EN EL TRAMO ACOS HUAYLLAY», presentado por el bachiller JOAO DOUGLAS CÓRDOVA IDRUGO para optar el Grado Académico de MAGISTER en GEOLOGÍA con mención en GEOTECNIA, CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 14% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado Académico de MAGISTER en GEOLOGÍA con mención en GEOTECNIA.

Lima, 06 de julio de 2026

Firma del Asesor 

Nombres y Apellidos del asesor: LUIS MIGUEL MORAN YAÑEZ

DNI: 06118148

* Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

*La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.*

# DEDICATORIA

Dedicado a mi padres y hermanas, que siempre están conmigo y cada día son la fuente de inspiración y motivación para seguir adelante.

# AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, por permitirme estar bien de salud y darme fuerzas para seguir adelante; así mismo, a mis padres, hermanas, por confiar en mí y con sus consejos enseñarme nunca a rendirme.

A los profesionales que a través de sus enseñanzas ahora nos permiten ser unos grandes profesionales.

A mi asesor, el Dr. Ing. Luis Miguel Moran Yañez, por su apoyo desde el inicio de la elaboración de la presente tesis.

# ÍNDICE GENERAL

Página de aceptación o aprobación de la tesis ..... ii
DEDICATORIA ..... iii
AGRADECIMIENTOS ..... iv
ÍNDICE GENERAL ..... v
ÍNDICE DE FIGURAS ..... viii
ÍNDICE DE TABLAS ..... x
RESUMEN ..... x
ABSTRACT ..... x
I. INTRODUCCIÓN ..... 1
1.1 Situación problemática ..... 1
1.2 Formulación del problema ..... 4
1.2.1 Problema General ..... 4
1.2.2 Problemas Específicos ..... 4
1.3 Justificación ..... 4
1.3.1 Justificación teórica ..... 4
1.3.2 Justificación práctica ..... 5
1.4 Objetivo ..... 7
1.4.1 Objetivo general ..... 7
1.4.2 Objetivos específicos ..... 7
1.5 Hipótesis de Investigación ..... 7
1.5.1. Hipótesis General ..... 7
1.5.2. Hipótesis específicas ..... 7
II. MARCO TEÓRICO ..... 9
2.1 Antecedentes de la investigación ..... 9
2.1.1. Antecedentes Nacionales ..... 9
2.1.2. Antecedentes Internacionales ..... 12
2.2 Bases teóricas ..... 14
2.2.1 Canteras ..... 14
2.2.2 Tipos de Canteras ..... 16
2.2.3 Clasificación de canteras ..... 17
2.2.4 Suelo ..... 19
2.2.5 Caracterización de suelos ..... 20

2.2.6 Clasificación de suelos ..... 21
2.2.7 Propiedades del Suelo ..... 28
2.2.8 Estabilización de suelos ..... 31
2.2.9 Aditivo estabilizador ..... 32
2.2.10 Cemento portland ..... 33
2.2.11 Análisis químico del cemento ..... 35
2.2.12 Suelos estabilizados con cemento ..... 36
2.2.13 Ensayos de mecánica de suelos ..... 37
2.2.14 Diseño mezcla suelo cemento ..... 38
2.2.15 Ensayos de Laboratorio para suelo cemento ..... 38
2.2.16 Mapas geológicos ..... 39
2.2.17 Unidades Litoestratigráficas ..... 40
2.3 Marco conceptual ..... 41
III. METODOLOGÍA ..... 45
3.1. Tipo y diseño de investigación ..... 45
3.1.1. Tipo ..... 45
3.1.2. Diseño de la investigación ..... 46
3.2. Variables de la Investigación ..... 47
3.2.1. Variable Independiente ..... 47
3.2.2. Variable Dependiente ..... 47
3.2.3. Matriz de operacionalización ..... 48
3.3. Unidad de Análisis ..... 49
3.4. Población y Muestra ..... 49
3.4.1. Población ..... 49
3.4.2. Muestra ..... 50
3.4.3. Selección de muestra ..... 50
3.5. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos ..... 51
3.5.1. Técnicas de Investigación ..... 51
3.5.2. Instrumentos de Investigación ..... 52
3.6. Análisis e interpretación de la información ..... 55
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... 56
4.1. Presentación de resultados ..... 56
4.1.1. Unidad litoestratigráfica ..... 56
4.1.2. Ensayos de laboratorio para estudio de canteras ..... 60
4.1.2.1. Clasificación de suelos ..... 60

4.1.2.2. Desgaste por abrasión ..... 65
4.1.2.3. Sulfatos solubles en suelos ..... 66
4.1.3. Ensayos de laboratorio para estudio de mezclas suelo cemento 67
4.1.3.1. Relación humedad densidad suelo cemento ..... 67
4.1.3.2. Resistencia a compresión simple de probetas suelo cemento 71
4.2. Discusión de resultados ..... 79
4.3. Prueba de hipótesis ..... 82
CONCLUSIONES ..... 85
RECOMENDACIONES ..... 87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 88
ANEXOS ..... 93

# ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1.** ..... 23
Clasificación de Suelos AASHTO ..... 23
**Figura 2.** ..... 27
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos ..... 27
**Figura 3.** ..... 28
Gráfico de plasticidad ..... 28
**Figura 4.** ..... 40
Unidades Litoestratigráficas ..... 40
**Figura 5.** ..... 56
Ubicación de Cantera Pacaraos en Mapa Geológico del Cuadrante ..... 57
de Canta ..... 57
**Figura 6.** ..... 57
Cantera Pacaraos ..... 57
**Figura 7.** ..... 57
Rocas volcánicas angulosas y subangulosas en la cantera Pacaraos ..... 57
**Figura 8.** ..... 58
Ubicación de Cantera Francopampa en Mapa Geológico ..... 58
**Figura 9.** ..... 58
Cantera Francopampa ..... 58
**Figura 10.** ..... 59
Clastos angulosos y sin selección uniforme acumulados por gravedad ..... 59
**Figura 11.** ..... 61
Análisis Granulométrico por Tamizado Cantera Pacaraos (Km 79+500) ..... 61
**Figura 12.** ..... 61
Ensayo de granulometría ..... 61
**Figura 13.** ..... 63
Análisis Granulométrico por Tamizado Cantera Francopampa (Km 107+500) ..... 63
**Figura 14.** ..... 65
Ensayo de límites de Atterberg ..... 65
**Figura 14.** ..... 65
Desgaste por abrasión en máquina de Los Ángeles ..... 65
**Figura 16.** ..... 66
Sulfatos solubles en suelos ..... 66
**Figura 17.** ..... 66
Durabilidad en sulfato de magnesio en suelos ..... 66
**Figura 18.** ..... 68
Resultados de Proctor Estándar de Cantera Pacaraos (Km 97+500) ..... 68
**Figura 19.** ..... 69

Ensayo proctor estándar ..... 69
**Figura 20.** ..... 70
Resultados de Proctor Estándar de Cantera Pacaraos (Km 97+500) ..... 70
**Figura 21.** ..... 72
Resultados de ensayos de resistencia a compresión de suelo cemento ..... 72
**Figura 22.** ..... 73
Ensayo de resistencia a compresión simple ..... 73
**Figura 23.** ..... 74
Variación del volumen de la cantera Pacaraos durante los 12 ciclos ..... 74
**Figura 24.** ..... 75
Porcentaje de pérdidas de suelo- cemento combinaciones de 3% 4% 5% y 7% de la cantera Pacaraos ..... 75
**Figura 25.** ..... 76
Ensayo de humedecimiento secado ..... 76
**Figura 26.** ..... 76
Ensayo de humedecimiento secado ..... 76
**Figura 27.** ..... 77
Porcentaje de variación del volumen de la cantera Francopampa durante los 12 ciclos ..... 77
**Figura 28.** ..... 78
Porcentaje de pérdidas de suelo- cemento para las combinaciones de 3% 4% 5% y 7% de la cantera Francopampa ..... 78

# ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1.** ....35
*Composición química del cemento tipo I.* ....35
**Tabla 2.** ....48
*Matriz de operacionalización de las variables*....48
**Tabla 3.** ....50
*Coordenadas geográficas de las canteras en estudio* ....50
**Tabla 4.** ....54
*Ensayos de laboratorio para estudio de canteras*....54
**Tabla 5.** ....54
*Ensayos de laboratorio para estudio de mezclas suelo cemento* ....54
**Tabla 6.** ....60
*Análisis granulométrico por tamizado del material de la cantera Pacaraos* ..60
**Tabla 7.** ....62
*Límites de Atterberg de la Cantera Pacaraos* ....62
**Tabla 8.** ....63
*Análisis granulométrico por tamizado del material de la cantera Francopampa*....63
**Tabla 9.** ....64
*Límites de Atterberg de la Cantera Francopampa* ....64
**Tabla 10.** ....69
*Resultados de la variación del contenido óptimo de humedad según la proporción de adición de cemento para el material de la cantera Pacaraos (km 79+500)*....69
**Tabla 11.** ....70
*Resultados de contenidos óptimos de humedad y densidades máximas secas con adición de cemento en la cantera Francopampa (km 107+500)* ..70
**Tabla 12.** ....71
*Resultados de los ensayos de resistencia a compresión simple de las canteras Pacaraos y Francopampa* ....71
**Tabla 13.** ....74
*Variación de volumen en porcentaje de la Cantera Pacaraos* ....74
**Tabla 14.** ....75
*Perdida de suelo cemento en porcentaje de la Cantera Pacaraos.* ....75

**Tabla 15.** .....77
*Variación de volumen en porcentaje de la Cantera Francopampa.* .....77
**Tabla 16.** .....78
*Pérdida de suelo cemento en porcentaje de la Cantera Francopampa* .....78
**Tabla 17.** .....83
*Resultados de la prueba estadística* .....83
**Tabla 18.** .....83
*Resultados de la prueba estadística por porcentaje de cemento* .....83
**Tabla 18.** .....84
*Resultados de la prueba estadística* .....84

# RESUMEN

La estabilización de suelos con cemento se ha consolidado como una técnica eficiente para mejorar el comportamiento de materiales usados en afirmado de vías, especialmente en zonas rurales donde las condiciones geotécnicas son adversas. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo comparar el comportamiento físico-mecánico de los suelos provenientes de las canteras Pacaraos y Francopampa, empleando cemento como agente estabilizante. La metodología adoptada fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y diseño experimental, evaluando inicialmente las propiedades físicas del suelo natural mediante ensayos de laboratorio como granulometría, límites de Atterberg, densidad seca máxima y humedad óptima. Posteriormente, se estabilizaron las muestras con diferentes porcentajes de cemento (3 %, 4 %, 5 % y 7 %), determinando su resistencia a la compresión simple a los 7 días de curado, y sometiéndolas finalmente a ciclos húmedo-seco para evaluar su durabilidad. Los resultados revelaron que el suelo de Francopampa presenta mejores características físicas, con menor plasticidad y mayor densidad, así como una respuesta mecánica superior frente al incremento del contenido de cemento. En todos los porcentajes evaluados, este material mostró mayores valores de resistencia a la compresión simple, alcanzando un máximo de 31.5 kg/cm² con 7 % de cemento, frente a 18.85 kg/cm² del suelo de Pacaraos. Asimismo, Francopampa mantuvo mejor desempeño frente al desgaste inducido por humedad. Se concluye que el suelo de Francopampa estabilizado con cemento es más adecuado para su uso como afirmado en vías, demostrando una mejora integral en resistencia y durabilidad.

**Palabras clave:** Estabilización de suelos, Cemento, Resistencia a compresión, Durabilidad, Afirmado de vías

# ABSTRACT

Soil stabilization with cement has become a proven and efficient technique to improve the performance of materials used in road base construction, especially in rural areas where geotechnical conditions are unfavorable. In this context, the objective of this study was to compare the physical-mechanical behavior of soils from the Pacaraos and Francopampa quarries, using cement as a stabilizing agent. The methodology was applied in nature, with a quantitative approach and experimental design, initially assessing the physical properties of the natural soil through laboratory tests such as grain size distribution, Atterberg limits, maximum dry density, and optimum moisture content. Subsequently, the samples were stabilized with different cement contents (3%, 4%, 5%, and 7%), and their unconfined compressive strength was evaluated after 7 days of curing. Finally, they were subjected to wet-dry cycles to determine their durability. The results showed that Francopampa soil has better physical characteristics, with lower plasticity and higher density, as well as superior mechanical response with increasing cement content. At all cement percentages, this material achieved higher unconfined compressive strength values, reaching a maximum of 31.5 kg/cm² with 7% cement, compared to 18.85 kg/cm² for Pacaraos soil. Moreover, Francopampa maintained better performance against moisture-induced degradation. It is concluded that Francopampa soil stabilized with cement is more suitable for use as road base material, demonstrating overall improvement in strength and durability.

**Keywords:** Soil stabilization, Cement, Compressive strength, Durability, Road base construction

# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Situación problemática

A nivel mundial, la calidad de las infraestructuras viales se ha convertido en un desafío crítico debido a los efectos adversos del cambio climático y la degradación acelerada de los materiales de construcción utilizados en las carreteras. Según el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2021), fenómenos como las lluvias extremas y las sequías prolongadas están afectando cada vez más la integridad de las infraestructuras viales, especialmente en regiones rurales y en países en desarrollo. Un estudio de Rolt et al. (2020) indica que las carreteras en zonas propensas a variaciones climáticas extremas sufren un deterioro hasta un 30% más rápido que las carreteras construidas con materiales de alta calidad. La estabilización de suelos con cemento ha sido propuesta como una solución efectiva para mejorar la durabilidad de las carreteras, pero la calidad de los agregados utilizados sigue siendo un factor clave que determina el éxito de esta técnica.

Un informe de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020) indica que el 40% de las carreteras rurales en países en vías de desarrollo sufren un deterioro significativo debido a la baja calidad de los materiales utilizados, lo que aumenta los costos de mantenimiento y reduce la vida útil de las infraestructuras. En particular, los ciclos de humedecimiento-secado afectan negativamente a las mezclas de suelo estabilizado con cemento, como se evidenció en un estudio realizado en Chile, donde se observó que las pérdidas

de material estabilizado en condiciones de humedad y sequedad alternadas superaron el 12% después de 20 ciclos (Guerra & Ramírez, 2019).

En Perú, la infraestructura vial enfrenta serios desafíos, especialmente en las zonas rurales y de difícil acceso, donde las carreteras no pavimentadas constituyen más del 60% de la red vial nacional. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2013) reporta que el 35% de las carreteras no pavimentadas en las regiones rurales presentan un desgaste acelerado debido a la calidad insuficiente de los materiales extraídos de las canteras locales. Estos materiales, provenientes de depósitos aluviales y coluviales, no siempre cumplen con los requisitos de resistencia necesarios para soportar el tráfico vehicular y las condiciones climáticas extremas. De acuerdo con Barbieri et al. (2022), un estudio realizado en varias regiones del país encontró que el uso de materiales de canteras locales de baja calidad contribuyó a un aumento del 25% en los costos de mantenimiento de las carreteras, debido a su rápida degradación. Este problema se ve agudizado por la falta de control en las propiedades de los materiales extraídos, lo que afecta directamente la resistencia y durabilidad de las estructuras viales. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2021), la mala calidad de los materiales es una de las principales causas del deterioro acelerado de las infraestructuras viales, especialmente en carreteras ubicadas en zonas de alta humedad, donde los ciclos de humedecimiento-secado afectan la estabilidad de las mezclas de suelo-cemento. El estudio realizado por Sánchez et al (2020) demuestra que, en condiciones de alta humedad, el desgaste de los suelos estabilizados con cemento puede superar el 15% tras 10 ciclos de humedecimiento-secado, lo que pone en evidencia la vulnerabilidad de las infraestructuras viales peruanas.

En el Tramo Acos Huayllay, ubicado en la región andina del Perú, se utilizan materiales extraídos de las canteras locales de Pacaraos y Francopampa para las actividades de conservación de la plataforma vial. Sin embargo, la calidad de estos materiales es variable, ya que provienen de depósitos aluviales y coluviales que no siempre cumplen con los estándares de resistencia y durabilidad necesarios. Según Romero (2022), las

propiedades mecánicas de estos materiales no son homogéneas, lo que genera un desgaste desigual en la infraestructura vial. Los ensayos realizados por González & Castro (2021) han demostrado que los suelos estabilizados con cemento extraídos de estas canteras sufren un aumento de volumen de hasta un 20% cuando se exponen a ciclos de humedecimiento-secado, lo que provoca la formación de grietas y fisuras en las capas de afirmado, reduciendo su capacidad de carga. Este desgaste acelerado se debe a que los ciclos de humedecimiento-secado afectan las propiedades de los suelos estabilizados con cemento, especialmente en su capacidad de resistir la intemperie. En un estudio comparativo realizado en 2020 por Herrera et al., se encontró que los suelos estabilizados con cemento perdían entre un 5% y un 12% de su volumen original después de solo 10 ciclos de humedecimiento-secado. La calidad de las canteras es, por tanto, un factor crucial para determinar la durabilidad de las infraestructuras viales en esta zona, lo que subraya la necesidad de evaluar exhaustivamente las propiedades físicas y mecánicas de los materiales extraídos.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la calidad de los materiales extraídos de las canteras de Pacaraos y Francopampa, situadas en el Tramo Acos Huayllay, y determinar su influencia en el desgaste de los suelos estabilizados con cemento cuando estos son sometidos a los ciclos de humedecimiento-secado. Para ello, se realizarán ensayos de laboratorio que medirán la resistencia de los materiales frente a estos ciclos, lo cual es fundamental para predecir la durabilidad de las infraestructuras viales en la región. A través de estos análisis, se determinará cuál de las canteras ofrece las mejores características en términos de resistencia a la compresión, índice de abrasión y durabilidad frente a la intemperie. Según Sánchez et al. (2020), los materiales estabilizados con cemento provenientes de canteras de baja calidad pueden experimentar una pérdida de hasta un 18% en su resistencia después de 12 ciclos de humedecimiento-secado. Esta investigación proporcionará datos clave que permitirán mejorar la selección de materiales para la conservación de carreteras en áreas rurales de difícil acceso, asegurando que las infraestructuras viales sean más duraderas y resistentes a las condiciones climáticas adversas.

## 1.2 Formulación del problema

### *1.2.1 Problema General*

- ¿En qué medida influye la calidad de las canteras en el desgaste frente a ciclos de humedecimiento secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay?

### *1.2.2 Problemas Específicos*

- ¿Cómo influye el cumplimiento de las propiedades mecánicas al evaluar las canteras según la normativa vigente en el desgaste frente a ciclos de humedecimiento secado del suelo estabilizado con cemento en el tramo Acos Huayllay?
- ¿En qué medida la proporción de cemento influye en el desgaste frente a ciclos de humedecimiento secado del suelo estabilizado con cemento en el tramo Acos Huayllay?

## 1.3 Justificación

### *1.3.1 Justificación teórica*

El estudio de las canteras y la evaluación de sus materiales es de suma importancia para la ingeniería civil, especialmente cuando se busca asegurar la durabilidad y resistencia de las infraestructuras viales a largo plazo. En el caso específico de las carreteras no pavimentadas, el comportamiento del material utilizado, especialmente frente a factores climáticos adversos, es crucial para determinar la viabilidad y la sostenibilidad de la obra. La estabilización de suelos mediante la incorporación de cemento es una de las técnicas más utilizadas para mejorar las propiedades mecánicas del material y garantizar que pueda soportar las cargas de tráfico y las condiciones

de intemperie durante un largo período. Esta investigación se centra en el estudio de dos canteras de diferentes depósitos sedimentarios, Pacaraos y Francopampa, que presentan características físicas y mecánicas distintas, lo que las convierte en un caso ideal para evaluar el impacto de estas diferencias en la durabilidad de las infraestructuras viales.

El análisis de las propiedades mecánicas de estos materiales, especialmente la resistencia a la compresión es esencial, ya que determinará si los suelos estabilizados con cemento pueden cumplir con los estándares establecidos por las normativas vigentes. Este estudio proporciona una justificación teórica robusta sobre la importancia de elegir correctamente los materiales en función de sus propiedades para evitar futuros fallos estructurales. Asimismo, al someter los materiales estabilizados a ciclos de humedecimiento-secado, se simulan las condiciones reales de exposición de las carreteras a factores ambientales, lo que permitirá conocer la capacidad de estos materiales para resistir las variaciones climáticas extremas. Este tipo de estudio no solo contribuye a una mejor comprensión de los materiales utilizados en la construcción de infraestructuras viales, sino que también establece precedentes que pueden ser aplicados en investigaciones futuras, ofreciendo una base sólida para la mejora de las técnicas de estabilización de suelos en regiones con características geológicas similares.

### *1.3.2 Justificación práctica*

La justificación práctica de esta investigación radica en su capacidad para generar información útil y aplicable en el contexto de la construcción y conservación de carreteras no pavimentadas. El adecuado estudio de las canteras locales y la elección de los materiales más adecuados para la estabilización de suelos puede tener un impacto directo en la durabilidad y resistencia de las infraestructuras

viales, lo cual es crucial para optimizar los recursos invertidos en la construcción de carreteras rurales. Las carreteras representan un componente vital para el desarrollo económico de las regiones rurales, ya que mejoran la conectividad, facilitan el comercio y aumentan el acceso a servicios esenciales, como la salud y la educación.

Emplear la cantera que presente los mejores materiales, evaluados según sus propiedades físicas y mecánicas, permitirá garantizar que la carretera estabilizada con cemento sea capaz de resistir las cargas de tráfico y las condiciones climáticas extremas durante un largo período. Además, este estudio proporciona una guía valiosa para la selección de materiales en proyectos viales en el futuro. Una carretera construida con materiales estabilizados con cemento de alta calidad, y que resista adecuadamente los ciclos de humedecimiento-secado, asegura que la superficie de rodadura no se deteriore ni se erosione rápidamente, lo que reduce significativamente los costos de mantenimiento. Este es un factor clave, especialmente en áreas rurales donde los recursos son limitados y la necesidad de optimizar los costos de operación y conservación es fundamental.

A largo plazo, contar con una infraestructura vial durable no solo beneficia a los usuarios al acortar los tiempos de desplazamiento, sino que también tiene un impacto positivo en la reducción de la emisión de polvo, mejorando las condiciones de salud y el bienestar general de los habitantes de las zonas rurales. Además, una carretera en buenas condiciones facilita la movilización de bienes y servicios, favoreciendo el desarrollo económico local y promoviendo la sostenibilidad ambiental al minimizar la necesidad de reparaciones frecuentes, que generan más residuos y contaminación. De este modo, los resultados de esta investigación no solo tienen una aplicabilidad inmediata en la optimización de proyectos viales locales, sino que también ofrecen una perspectiva valiosa para políticas públicas de infraestructura vial en el país y en regiones con características geográficas similares.

## 1.4 Objetivo

### *1.4.1 Objetivo general*

- Determinar la calidad de las canteras y su influencia en el desgaste frente a ciclos de humedecimiento secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay.

### *1.4.2 Objetivos específicos*

- Evaluar el cumplimiento de las propiedades mecánicas de las canteras según la normativa vigente y su influencia en el desgaste frente a ciclos de humedecimiento secado del suelo estabilizado con cemento en el tramo Acos Huayllay.
- Analizar en qué medida la proporción de cemento influye en el desgaste frente a ciclos de humedecimiento secado del suelo estabilizado con cemento en el tramo Acos Huayllay.

## 1.5 Hipótesis de Investigación

### *1.5.1. Hipótesis General*

- La calidad de las canteras influye significativamente en el nivel de desgaste frente a ciclos de humedecimiento secado del suelo estabilizado con cemento en el tramo Acos Huayllay.

### *1.5.2. Hipótesis específicas*

- El cumplimiento de las propiedades mecánicas de las canteras según normativa vigente influye significativamente en el desgaste frente a ciclos de humedecimiento secado del suelo estabilizado con cemento en el tramo Acos Huayllay.

- La proporción de cemento influye significativamente en el desgaste frente a ciclos de humedecimiento secado del suelo estabilizado con cemento en el tramo Acos Huayllay.

# II. MARCO TEÓRICO

## 2.1 Antecedentes de la investigación

### *2.1.1. Antecedentes Nacionales*

Jaillita (2023) en su tesis de pregrado: “ANÁLISIS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO EN CAMINOS VECINALES DEL DISTRITO DE POCOLLAY-TACNA”, presentada para optar el grado de Ingeniero Civil, tuvo como objetivo principal realizar el análisis de la estabilización de suelos mediante la incorporación de cemento, evaluando las características de la mezcla realizada. Para ello, extrajo muestras de suelo en dos calicatas y realizó ensayos de laboratorio. En cuanto a la metodología, la investigación fue de tipo experimental, con un diseño transversal. La población estuvo constituida por las muestras de suelo extraídas de las calicatas y los instrumentos utilizados incluyeron ensayos de resistencia a la compresión y desgaste. Los resultados obtenidos indicaron que la muestra C1 corresponde a una grava pobremente graduada, equivalente a un suelo A-1-a (0) con un índice de plasticidad (LP) no plástico, y alcanzó la resistencia mínima a compresión con un 2.55% de adición de cemento, con un desgaste admisible de 14%. Para la muestra C2, que corresponde a una arena pobremente graduada con arcilla y grava, se determinó que con un 2.15% de adición de cemento se alcanzó la resistencia mínima, con un desgaste de 14%. Conclusión: Ambos materiales cumplen con las especificaciones de resistencia mínima a compresión, siendo el material C2 más adecuado para

estabilización con menor porcentaje de cemento, lo que contribuye a la eficiencia económica en su uso.

Reyes (2023) en su tesis de pregrado: “CARACTERIZACIÓN DE LA DURABILIDAD Y RESISTENCIA DEL SUELO-CEMENTO PARA EL TRAMO DEL KM 4.89 AL KM 8.89 DE LA CARRETERA MAZAMARI - LLAYLLA, DEL DISTRITO DE MAZAMARI - PROVINCIA SATIPO DEPARTAMENTO JUNÍN”, presentada para optar el grado de Ingeniero Civil, desarrolló una investigación experimental descriptiva con el objetivo de determinar los efectos de la adición de cemento en la durabilidad y resistencia de la mezcla suelo-cemento en un tramo de la carretera Mazamari – Llaylla. En la metodología, se utilizó un enfoque experimental con diseño descriptivo. La población fue un tramo específico de la carretera, y los instrumentos incluidos en los ensayos fueron clasificación de suelos, límites de consistencia, prueba de Proctor modificado, CBR y ensayos de humedecimiento-secado. Los resultados mostraron que con un 3% de adición de cemento, se superó la resistencia mínima a compresión de 18 kg/cm² exigida por la normativa vigente. En los ensayos de humedecimiento-secado, a los 12 ciclos, se obtuvo una pérdida de 5.80%, lo que está por debajo del límite máximo permitido para suelos A-7. Conclusión: El 3% de cemento es la proporción óptima para estabilizar el tipo de suelo A-7, mejorando su resistencia y durabilidad frente a los ciclos de humedad y siendo una opción viable para la estabilización de suelos en zonas con condiciones climáticas extremas.

Jimènez (2022) en su tesis de pregrado: “GEOLOGÍA Y GEOTECNIA PARA ESTABILIZAR CON CEMENTO PORTLAND EN EL MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN DEL CORREDOR VIAL ARAPA – SANTA MARÍA TRAMO KM 34+500 AL KM 71+602”, presentada para optar el grado de Ingeniero Geotécnico, tuvo como objetivo principal determinar las características geológicas y geotécnicas para estabilizar con cemento Portland en el mejoramiento y conservación del corredor vial Arapa – Santa María. En cuanto a la metodología, se utilizó un enfoque cuantitativo, descriptivo y analítico. La población estuvo constituida por el material de la cantera “Cáceres” y los instrumentos fueron ensayos de mecánica de suelos

para clasificar el tipo de suelo. Los resultados indicaron que el material de la cantera Cáceres es de origen coluvial y que tanto el cemento Wari como el cemento Yura lograron alcanzar la resistencia mínima requerida. El cemento Yura fue identificado como el más económico para estabilizar el material de la cantera, ya que necesitó un menor porcentaje de cemento para alcanzar la resistencia a compresión en los primeros 7 días. Conclusión: El cemento Yura es la opción más rentable para estabilizar el material de la cantera Cáceres, asegurando la resistencia requerida para la conservación del corredor vial y contribuyendo a la optimización de costos en proyectos viales similares.

Aguila & Màrquez (2021) en su tesis de pregrado: “ANÁLISIS DE ESTABILIZACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA BASE GRANULAR DEL PAVIMENTO”, presentada para optar el grado de Ingeniero Civil, tuvo como objetivo realizar una comparación entre la estabilización de un material natural con cemento Portland y emulsión asfáltica para el mejoramiento de las propiedades mecánicas de la base granular del pavimento. En la metodología, se utilizó un diseño no experimental, transversal y retrospectivo, recopilando datos del expediente técnico de Southern Peru Copper Corporation. Los instrumentos fueron los ensayos de compresión, tracción indirecta, flexión y ensayos de laboratorio previos. Los resultados mostraron que la estabilización con cemento Portland ofreció un mejor comportamiento estructural en términos de resistencia a la carga, presentando valores superiores en comparación con la emulsión asfáltica. Conclusión: El cemento Portland es más efectivo que la emulsión asfáltica para la estabilización de la base granular, con la proporción de cemento dependiendo del tipo de suelo que se utilice, lo que refuerza la necesidad de ajustar las técnicas de estabilización según las características del terreno.

Pezo (2018) en su tesis de pregrado: “MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA VECINAL JUAN GUERRA-BELLO HORIZONTE CON ESTABILIZACIÓN DE SUELO CEMENTO DEL TERRENO DE FUNDACIÓN Y CAPA DE AFIRMADO, DISTRITO DE JUAN

GUERRA, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, REGIÓN SAN MARTÍN", presentó su investigación para optar el grado de Ingeniero Civil. Su objetivo fue estudiar dos canteras cercanas al área de trabajo para determinar la mejor combinación de materiales para estabilización mediante suelo-cemento. La metodología fue experimental con un diseño transversal, realizando pruebas de resistencia a la compresión y permeabilidad. Los resultados mostraron que la combinación de ambos materiales de cantera mejoró las propiedades del material estabilizado, alcanzando la mayor resistencia con un 6% de adición de cemento, con una reducción significativa en la permeabilidad. Conclusión: La estabilización con 6% de cemento de la combinación de ambas canteras es efectiva, mejorando la durabilidad y resistencia de la capa de afirmado, lo que asegura una mayor durabilidad y menos costos de mantenimiento a largo plazo.

### *2.1.2. Antecedentes Internacionales*

Llano (2021) en su tesis: "EFECTO DEL INTEMPERISMO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, EL DESEMPEÑO Y LA DURABILIDAD DE SUELOS VIALES ADITIVADOS CON ESTABILIZANTES QUÍMICOS", presentada para optar el grado de Doctor en Ingeniería Civil, tuvo como objetivo principal realizar el análisis del efecto del intemperismo sobre las propiedades físicoquímicas, el desempeño y la durabilidad de suelos viales estabilizados con aditivos químicos. La metodología fue cuantitativa, con un diseño experimental. La población consistió en un suelo natural extraído de una vía de baja circulación vehicular. Los instrumentos empleados fueron ensayos de propiedades mecánicas (Índice de Plasticidad, CBR, resistencia a la compresión), y ensayos de humedecimiento-secado para evaluar la durabilidad. Los resultados mostraron que el suelo de estudio es una arcilla magra, con una presencia predominante de caolinita y illita, con un índice de plasticidad de 21, un CBR de 5.0%, y una capacidad de carga de 5.5 MPa. Después de estabilizar el suelo con diferentes aditivos, las combinaciones suelo-cemento y suelo-zeolita/cemento lograron un aumento significativo en la capacidad de carga, alcanzando 47 MPa y 56 MPa, respectivamente, con valores de CBR superiores al 100%. Conclusión: La adición de estabilizantes

como cemento y zeolita mejora sustancialmente las propiedades del suelo, logrando una mayor resistencia y durabilidad, siendo las combinaciones suelo-cemento y suelo-zeolita/cemento las más efectivas.

Guerra (2022) en su trabajo de grado: “EFECTO DEL HUMEDECIMIENTO Y SECADO EN EL COMPORTAMIENTO HIDROMECÁNICO DE UN SUELO ARCILLOSO ESTABILIZADO CON CEMENTO”, presentado para optar el grado de Ingeniero Civil, tuvo como objetivo analizar el efecto de los ciclos de humedecimiento y secado sobre las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso A-6 estabilizado con cemento. En la metodología, se utilizó un enfoque experimental, con un diseño cuantitativo. La población fue un suelo arcilloso estabilizado con varias proporciones de cemento, y los instrumentos incluyeron ensayos de densidad seca, humedad óptima, compresión simple y ciclos de humedecimiento-secado. Los resultados indicaron que la densidad seca aumentó a medida que aumentó la proporción de cemento. Además, el suelo estabilizado con cemento mostró una mejora en su capacidad de resistencia debido a la disminución de poros y la mejora en la plasticidad. Se observó que las mayores pérdidas de suelo-cemento se produjeron con menor adición de cemento, mientras que las menores pérdidas se registraron con mayores porcentajes de cemento. Conclusión: El aumento de la adición de cemento mejora la resistencia y durabilidad del suelo, mientras que las pérdidas por humedecimiento-secado se reducen, especialmente con mayores porcentajes de cemento.

Clemente & Ramírez (2019) en su proyecto de investigación: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DEL MATERIAL DE LA CANTERA ‘LA NEGRITA’ UTILIZANDO CEMENTO, TERRASIL, ZYCOBOND”, presentado para optar el grado de Ingeniero Civil, tuvo como objetivo general realizar un análisis técnico-económico de la estabilización del material de la cantera "La Negrita" ubicada en la vía Punta Carnero del cantón Salinas de la provincia de Santa Elena, utilizando cemento, terrasil y zycobond. En la metodología, la investigación fue experimental con un diseño transversal. Los instrumentos utilizados fueron ensayos de resistencia,

deformabilidad y pruebas de CBR. Los resultados mostraron que el material de la cantera "La Negrita" se clasificó como GW-GM según SUCS y A-2-7 según AASHTO, con un CBR superior al 100%. Para estabilizar este material, se requería una proporción de cemento entre 7% y 9% en peso, lo cual garantizó una mayor capacidad de carga y durabilidad. Conclusión: El uso de 7% a 9% de cemento es el más adecuado para estabilizar los materiales de la cantera "La Negrita", mejorando su capacidad de carga y resistencia, lo que asegura su uso a largo plazo en la construcción de pavimentos.

Alzate (2018) en su proyecto de investigación: “ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL DE LA CANTERA DE COMBIA, UBICADA EN EL CORREGIMIENTO DE COMBIA, PEREIRA-RISARALDA”, presentado para optar el grado de Ingeniero Civil, tuvo como objetivo aprovechar el uso de la cantera de Combia mediante la estabilización del material con cemento. En la metodología, la investigación fue experimental y cuantitativa. Se realizaron ensayos de propiedades mecánicas, como CBR, compresión simple y resistencia a la tracción. Los resultados mostraron que el material de la cantera de Combia, una arcilla de baja plasticidad, experimentó un aumento superior al 15% en los valores de CBR tras la estabilización con cemento. La proporción óptima de cemento para este suelo fue 6.4%, lo que permitió mejorar la capacidad de carga y la durabilidad del material estabilizado. Conclusión: La estabilización con 6.4% de cemento es eficaz para mejorar la resistencia y durabilidad del suelo, haciendo que el material estabilizado sea adecuado para su uso en pavimentación y otras infraestructuras viales.

## 2.2 Bases teóricas

### *2.2.1 Canteras*

Son los lugares en los que se extraen materiales naturales mediante la explotación. Los materiales resultantes son empleados en construcción de diferentes obras de infraestructura. (Herrera & Pía, 2006). En las canteras se pueden extraen variedad de materiales de diferente composición mineralógica. La forma más convencional de extracción se realiza mediante

la construcción de banquetas en zonas de laderas o en terrenos horizontales mediante excavación. Se explotan mayormente en los lugares más cercanos a las obras donde requieren hacer uso de materiales naturales para evitar mayores gastos de transporte.

Las canteras son explotaciones mineras de carácter superficial, desarrolladas generalmente a cielo abierto, en las que se realiza la extracción de materiales pétreos de uso industrial y constructivo. Estos materiales pueden incluir calizas, granitos, mármoles, areniscas, pizarras, entre otros, los cuales se destinan a diferentes fines, tales como la fabricación de cemento, la obtención de agregados para concreto, o su uso como piedra ornamental. Romero destaca que estas explotaciones requieren una planificación técnica detallada, que considere aspectos geológicos, geotécnicos y medioambientales, debido a que su desarrollo impacta directamente sobre la superficie terrestre. Asimismo, subraya que la cercanía a los centros de consumo y la calidad del recurso son factores clave en la viabilidad de una cantera (Romero & Mozo, 2018).

Para Bravo et al. (2020), las canteras son depósitos naturales de materiales pétreos, cuya explotación se lleva a cabo directamente desde la superficie, sin necesidad de túneles ni galerías. Estas operaciones están principalmente enfocadas en la obtención de materiales como roca caliza, andesita, diorita o basalto, esenciales para el desarrollo urbano y de infraestructura. El autor resalta que las canteras, a pesar de su aparente sencillez, requieren una adecuada caracterización geológica y mecánica del macizo rocoso, a fin de diseñar explotaciones seguras, eficientes y sostenibles. Además, plantea que el desarrollo de una cantera debe considerar el contexto social y ambiental, así como los permisos legales y las buenas prácticas operacionales, especialmente cuando se ubican en zonas cercanas a poblaciones o ecosistemas frágiles.

El estudio de las canteras es de gran importancia ya que inicialmente no se tiene conocimiento de las propiedades de los materiales naturales que están constituidos en las canteras. Llevar a cabo el estudio nos va a permitir

determinar si los materiales presentan las condiciones necesarias para poder ser utilizado en las distintas obras de infraestructura que se requieran.

Por ello es necesario someter los materiales a pruebas de laboratorio para determinar sus propiedades y verificar sus características, estos ensayos se realizarán de acuerdo con la estructura que se quiere conformar. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Así mismo, es muy importante realizar estudios geotécnicos de los lugares de extracción de materiales para la construcción de distintas obras de infraestructura vial, con la finalidad de conocer sus características y el comportamiento que puedan presentar estos materiales previos a su uso en las obras. (Guerra & Guerra, 2020).

### *2.2.2 Tipos de Canteras*

#### *2.2.2.1 Canteras aluviales*

Las canteras aluviales reciben esta denominación debido a que se forman a partir de los depósitos dejados por ríos, los cuales actúan como agentes de transporte y sedimentación de materiales. Estos depósitos se acumulan en zonas donde la energía cinética del flujo hídrico disminuye, permitiendo la sedimentación progresiva de partículas. En este tipo de yacimientos es posible encontrar una variedad de materiales como cantos rodados, gravas, arenas, limos e incluso arcillas.

Desde el punto de vista constructivo, los materiales provenientes de canteras aluviales son valorados por su resistencia y durabilidad. Esta calidad se debe a que, durante el proceso de transporte fluvial, los materiales menos competentes tienden a ser erosionados o fragmentados, mientras que los más resistentes permanecen, generando una selección natural que favorece su uso en obras civiles.

Una característica relevante de estas canteras es su capacidad de autoabastecimiento, ya que el flujo constante del río puede renovar los depósitos con nuevos sedimentos, siempre que las condiciones hidrológicas y geomorfológicas lo permitan (Herrera, 2018).

#### *2.2.2.2 Canteras de roca o de peña*

Conocidas también como canteras de peña, este tipo de yacimiento se origina en formaciones geológicas consolidadas, constituidas por rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas. Estas canteras se localizan comúnmente en laderas de cerros o en afloramientos rocosos, donde el material se encuentra in situ, es decir, sin haber sido transportado.

A diferencia de las aluviales, las canteras de roca no cuentan con un mecanismo de autoabastecimiento, lo que implica que su volumen de explotación es limitado y finito. Además, los materiales extraídos requieren procesos de trituración y clasificación para alcanzar los tamaños y calidades requeridos en la construcción, ya que no han pasado por un proceso natural de selección como en el caso de los depósitos fluviales.

En términos generales, aunque las rocas extraídas de estas canteras pueden presentar una resistencia adecuada, su morfología y granulometría no son tan uniformes como las aluviales, lo que puede influir en su procesamiento posterior (Herrera, 2018).

### *2.2.3 Clasificación de canteras*

Las canteras, como unidades de explotación minera de tipo superficial, pueden clasificarse atendiendo a diversos criterios técnicos y funcionales. Esta clasificación es esencial para entender el enfoque operativo, el tipo de recurso explotado y las implicancias ambientales o económicas de su aprovechamiento.

#### *2.2.3.1 Según el tipo de material extraído*

Una de las clasificaciones más comunes se basa en la naturaleza del recurso pétreo extraído. De acuerdo con Hartman y Mutmansky (2002), las canteras pueden ser:

- **Canteras de áridos:** destinadas a la extracción de arena, grava y triturados para concreto.
- **Canteras de piedra ornamental:** como el mármol, granito, ónix, y otras rocas de alto valor estético.
- **Canteras de rocas industriales:** como caliza, dolomita, yeso o arcillas, utilizadas como materia prima para cemento, cerámica o cal agrícola.

#### *2.2.3.2 Según el método de explotación*

Otra clasificación relevante distingue entre:

- **Canteras a cielo abierto:** la forma más habitual de extracción, con bancos horizontales, rampas y taludes estables. Es la más económica y versátil (Romero & Mozo, 2018).
- **Canteras subterráneas:** menos comunes, pero empleadas cuando el valor del material es alto y existe una cobertura rocosa importante. Se usan, por ejemplo, en ciertas canteras de mármol o yeso (Jimeno, Jimeno & Carcedo, 1995).

#### *2.2.3.3 Según el grado de mecanización*

Dependiendo de los recursos tecnológicos utilizados, las canteras pueden ser:

- **Artesanales:** caracterizadas por el uso de herramientas manuales, técnicas rudimentarias y bajo nivel de producción. Común en zonas rurales o de economía informal.
- **Semi-mecanizadas:** donde se combinan procesos manuales con el uso limitado de maquinaria pesada.
- **Mecanizadas:** altamente tecnificadas, con procesos de perforación, carguío, transporte y chancado automatizados (Cortés, 2019).

#### *2.2.3.4 Según el uso del producto final*

Las canteras también se pueden clasificar por el destino industrial de los materiales extraídos:

- Canteras para agregados de construcción
- Canteras para cal y cemento
- Canteras para fines ornamentales
- Canteras para uso agrícola o químico

### *2.2.4 Suelo*

El suelo viene a ser aquella capa de la tierra que se forma por la desintegración de las rocas. Existen diversos agentes que logran desintegrar la roca tales como los cambios de temperatura, la influencia del agua y las plantas y las reacciones producidas por agentes químicos como carbonatación, hidratación e hidrólisis, dando origen a otros materiales que conforman el suelo.

El suelo viene a ser la fuente de materia prima, que brinda los materiales naturales para la producción materiales de construcción que se emplean en los elementos de soporte de las estructuras (Rivera et al., 2020)

El suelo al estar conformado por distintos materiales requiere de un estudio riguroso de los materiales que lo conforman para determinar el uso que se le pueda dar.

Lutenegger (2019) sostiene las partículas que inicialmente se formaron en un lugar y que mediante procesos geológicos se han transportado a otro lugar diferente se les conoce como suelos transportados, siendo los depósitos eólicos, aluviales, marinos, lacustres, glaciales, coluviales y depósito de taludes. Respecto a los suelos residuales, vienen a ser aquellos que se originan por influencia de la meteorización química o física, de alguna formación de roca subyacente, originando así un material con características similares.

El suelo es una capa natural constituida por una mezcla variable de materia orgánica, minerales, agua y aire, formada a lo largo del tiempo por la

interacción de factores como el clima, la topografía, la litología y la actividad biológica. Su estructura y propiedades lo convierten en un recurso esencial para el desarrollo de proyectos de infraestructura, ya que sirve como soporte fundamental para edificaciones, cimentaciones, pavimentos, carreteras y otras obras civiles (Braja, 2014).

Desde el enfoque geotécnico, el comportamiento del suelo influye directamente en la estabilidad, seguridad y durabilidad de las estructuras. Por esta razón, su adecuado tratamiento y preparación constituyen pasos críticos durante la ejecución de cualquier proyecto de construcción.

### *2.2.5 Caracterización de suelos*

La caracterización de suelos es una etapa fundamental en la ingeniería geotécnica, ya que permite identificar las propiedades físicas y mecánicas que influyen en su comportamiento frente a cargas estructurales, variaciones de humedad y procesos de deformación. Entre los principales parámetros evaluados se encuentran:

**a) Granulometría**

La granulometría es uno de los parámetros clave en el estudio de suelos, ya que describe la distribución de tamaños de partículas que lo componen. De acuerdo con la granulometría, los suelos se pueden clasificar en:

- **Suelos granulares**, formados por partículas gruesas como gravas y arenas, que presentan buena capacidad de drenaje y escasa plasticidad.
- **Suelos cohesivos**, integrados por partículas finas como limos y arcillas, caracterizados por una mayor retención de humedad, cohesión interna y plasticidad.

La evaluación granulométrica permite determinar si un suelo está bien graduado (distribución uniforme de varios tamaños de partículas) o mal graduado (predominio de tamaños específicos, con deficiencia de ciertas

fracciones). Esta característica tiene implicancia directa en la compactabilidad, permeabilidad y resistencia del suelo (Ulbrich et al., 2023).

**b) Plasticidad**

La plasticidad del suelo hace referencia a su capacidad de deformarse sin romperse cuando se somete a esfuerzos externos. Este comportamiento está directamente relacionado con el contenido de arcillas y agua en el suelo. Cuando el suelo se hidrata, puede transitar entre estado sólido, plástico o líquido, lo que afecta su resistencia al corte y estabilidad.

Los límites de Atterberg (límites líquido y plástico) permiten cuantificar este comportamiento y predecir la respuesta del suelo frente a variaciones de humedad. La plasticidad es especialmente crítica en obras donde el cambio volumétrico puede causar asentamientos diferenciales o fallas estructurales (Ulbrich et al., 2023).

**c) Mineralogía**

La mineralogía del suelo se refiere al tipo y proporción de minerales presentes en su estructura. Esta composición define propiedades como resistencia mecánica, reactividad química, expansión, contracción y sensibilidad al agua. Por ejemplo, minerales como la montmorillonita tienen alta capacidad de expansión, mientras que la caolinita presenta menor plasticidad.

Comprender la mineralogía es esencial para diseñar soluciones constructivas adecuadas y seleccionar técnicas de mejora del suelo en función de su comportamiento previsto (Ulbrich et al., 2023).

### *2.2.6 Clasificación de suelos*

La clasificación de suelos tiene como objetivo agruparlos en categorías que compartan propiedades físicas y mecánicas similares, facilitando su análisis y la toma de decisiones en proyectos de ingeniería. Esta clasificación

se basa principalmente en los resultados obtenidos de ensayos de laboratorio, como análisis granulométrico, límites de consistencia y peso específico.

Existen diversos sistemas de clasificación; sin embargo, los más empleados a nivel internacional son:

**a) Sistema AASHTO**

El sistema AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) es ampliamente utilizado en el diseño y control de calidad de obras de infraestructura vial. Este sistema clasifica los suelos en siete grupos principales (A-1 a A-7), con subdivisiones internas, en función de:

- El porcentaje de material fino (pasa tamiz N.º 200).
- Los límites de consistencia (límite líquido y límite plástico).
- El índice de grupo (IG), que permite cuantificar la calidad del suelo como subrasante.

Este índice considera que cuanto mayor sea su valor, peor es la calidad del suelo para ser empleado en pavimentos (Das, 2012). En términos generales, los suelos del grupo A-1 presentan las mejores condiciones de soporte, mientras que los A-7, formados por arcillas de alta plasticidad, ofrecen menor capacidad portante.

**Figura 1.**

Clasificación de Suelos AASHTO

| Clasificación general | Materiales granulares (35% o menos de la muestra total pasa la malla núm. 200) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A-1 | | | A-2 | | | |
| Clasificación de grupo | A-1-a | A-1-b | A-3 | A-2-4 | A-2-5 | A-2-6 | A-2-7 |
| Análisis por mallas (% que pasa) | | | | | | | |
| Malla núm. 10 | 50 máx | | | | | | |
| Malla núm. 40 | 30 máx | 50 máx | 51 mín | | | | |
| Malla núm. 200 | 15 máx | 25 máx | 10 máx | 35 máx | 35 máx | 35 máx | 35 máx |
| Para la fracción que pasa Malla núm. 40 | | | | | | | |
| Límite líquido (LL) | | | | 40 máx | 41 mín | 40 máx | 41 mín |
| Índice de plasticidad (IP) | 6 máx | | No plástico | 10 máx | 10 máx | 11 mín | 11 mín |
| Tipo usual de material | Fragmentos de roca, grava y arena | | Arena fina | Grava y arena limosa o arcillosa | | | |
| Clasificación de la capa | Excelente a buena | | | | | | |

| Clasificación general | Materiales de limo y arcilla (más de 35% de la muestra total pasa la malla núm. 200) | | | |
|---|---|---|---|---|
| Clasificación de grupo | A-4 | A-5 | A-6 | A-7 |
| | | | | A-7-5[a] A-7-6[b] |
| Análisis por mallas (% que pasa) | | | | |
| Malla núm. 10 | | | | |
| Malla núm. 40 | | | | |
| Malla núm. 200 | 36 mín | 36 mín | 36 mín | 36 mín |
| Para la fracción que pasa Malla núm. 40 | | | | |
| Límite líquido (LL) | 40 máx | 41 mín | 40 máx | 41 mín |
| Índice de plasticidad (IP) | 10 máx | 10 máx | 11 mín | 11 mín |
| Tipo usual de material | Principalmente suelos limosos | | Principalmente suelos arcillosos | |
| Calificación subrasante | Regular a malo | | | |

[a]Si IP ≤ LL − 30, la clasificación es A-7-5.
[b]Si IP > LL − 30, la clasificación es A-7-6.

Nota: Divide el suelo en dos grupos principales, según el porcentaje de material que pasa la malla n° 200, así mismo, los divide en 7 grupos de A-1 a A-7 y a los grupos A-1, A-2 y A-7, los clasifica en subgrupos, todo en función al porcentaje de material pasante en las mallas n° 10, n° 40 y n° 200 y el índice de consistencia. Define la calidad de excelente a buena y regular a malo, según la tipología del material. (Das, 2012).

### b) Sistema SUCS (Unified Soil Classification System)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es uno de los sistemas más utilizados a nivel mundial en obras civiles, geotécnicas y ambientales. A diferencia del sistema AASHTO, que se emplea principalmente en infraestructura vial, el SUCS es aplicado en todo tipo de proyectos de

ingeniería, ya que permite una clasificación detallada de los suelos con base en sus propiedades físicas fundamentales (Das, 2012).

Este sistema considera tres parámetros principales para la clasificación:

- La distribución granulométrica, es decir, el tamaño y proporción de partículas.
- Los límites de consistencia, incluyendo el límite líquido (LL) y el límite plástico (PL), que permiten evaluar la plasticidad.
- El contenido de materia orgánica o material alterado, que puede afectar la estabilidad y resistencia del suelo.

**a) Símbolos básicos del SUCS**

Los suelos se identifican mediante siglas en inglés, en función del tipo y comportamiento del material:

- G (Gravel – Grava)
- S (Sand – Arena)
- M (Silt – Limo)
- C (Clay – Arcilla)
- O (Organic – Orgánico)
- Pt (Peat – Turba)

A estas letras se les añaden subíndices o calificadores para indicar características adicionales del suelo:

- W (Well-graded – Bien graduado)
- P (Poorly graded – Mal graduado)
- L (Low plasticity – Baja plasticidad)
- H (High plasticity – Alta plasticidad)

Por ejemplo, un suelo clasificado como GW indica una grava bien graduada, mientras que un CL representa una arcilla de baja plasticidad.

- **Criterios de clasificación**

El SUCS utiliza el porcentaje que pasa por ciertos tamices normalizados para distinguir entre suelos gruesos y suelos finos:

- Si más del 50 % del suelo queda retenido en el tamiz N.º 200, se considera suelo grueso (grava o arena).
  - Si el 30 % o más queda retenido en el tamiz N.º 4, el suelo es grava.
  - Si el 30 % o más pasa el tamiz N.º 4 pero queda retenido en el N.º 200, es arena.
- Si más del 50 % del material pasa el tamiz N.º 200, el suelo se clasifica como fino, y su plasticidad se evalúa mediante los límites de Atterberg.

Además, se consideran curvas granulométricas para evaluar si el suelo está bien o mal graduado. Una curva continua y uniforme indica un suelo bien graduado (W), mientras que una curva discontinua o con deficiencia de ciertas fracciones revela un suelo mal graduado (P).

- **Aplicaciones del SUCS**

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) es una herramienta indispensable para ingenieros civiles, geotécnicos, estructurales y ambientales, ya que permite predecir con mayor precisión el comportamiento del suelo frente a diversos esfuerzos e influencias externas. Su correcta aplicación en el estudio del terreno facilita la toma de decisiones desde las primeras fases de diseño hasta la ejecución de obras.

Entre las principales aplicaciones del SUCS se destacan:

- Diseño de cimentaciones superficiales y profundas: conocer si un suelo es granular o cohesivo ayuda a definir el tipo de cimentación adecuada (zapatas, losas, pilotes, etc.). Por ejemplo, las gravas bien graduadas (GW) son ideales para

cimentaciones someras, mientras que arcillas de alta plasticidad (CH) requieren estudios adicionales por su potencial de expansión o compresibilidad.

- Estabilidad de taludes y cortes en terreno natural: el tipo de suelo influye directamente en la estabilidad de pendientes. Suelos como limos orgánicos (OL) o arcillas blandas (CL) pueden presentar fallas por deslizamiento si no se toman medidas preventivas.
- Construcción de carreteras y terraplenes: permite seleccionar y controlar el tipo de material para la subrasante, base y subbase. Los suelos bien graduados (GW, SW) son preferibles por su capacidad de compactación y resistencia. En cambio, suelos con alta plasticidad (MH, CH) tienden a deformarse y no son adecuados sin estabilización previa.
- Obras hidráulicas y control de infiltraciones: suelos finos con alta plasticidad como las arcillas (CL, CH) son aprovechados como material de núcleo en presas de tierra debido a su baja permeabilidad, mientras que suelos granulares se utilizan en filtros y drenes.
- Estudios ambientales y gestión de residuos: en proyectos de rellenos sanitarios o confinamiento de residuos peligrosos, el SUCS permite identificar suelos de baja permeabilidad (como CH) que impiden la migración de contaminantes. Asimismo, ayuda a determinar si un suelo debe ser estabilizado o reemplazado.
- Control de calidad en obras de ingeniería: el sistema facilita la verificación de especificaciones técnicas de los suelos durante la construcción, así como la interpretación de ensayos de laboratorio y de campo (Proctor, CBR, corte directo, etc.).
- Estabilización y mejoramiento de suelos: mediante la clasificación SUCS se puede decidir el tratamiento más adecuado para suelos problemáticos, como el uso de cal,

cemento, geotextiles o columnas de grava, dependiendo del tipo y comportamiento del suelo.

**Figura 2.**

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

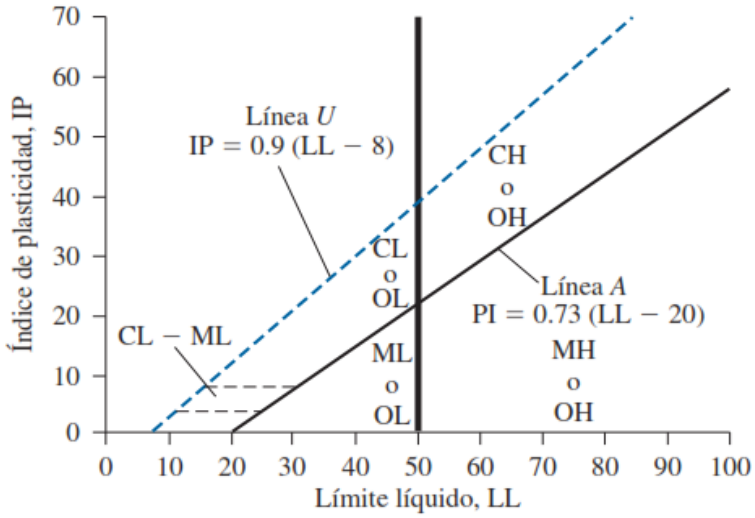
| | Criterios para asignar símbolos y nombres de grupo utilizando pruebas de laboratorio[a] | | | Clasificación del suelo: Símbolo de grupo | Clasificación del suelo: Nombre de grupo[b] |
|---|---|---|---|---|---|
| **Suelos de grano grueso** Más de 50% retenido en la malla núm. 200 | Gravas Más de 50% de la fracción gruesa retenida en la malla núm. 4 | Gravas limpias Menos de 5% finos[c] | $C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$[e] | GW | Grava bien graduada[f] |
| | | | $C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$[e] | GP | Grava mal graduada[f] |
| | | Gravas con finos Más de 12% finos[c] | Los finos se clasifican como ML o MH | GM | Grava limosa[f, g, h] |
| | | | Los finos se clasifican como CL o CH | GC | Grava arcillosa[f, g, h] |
| | Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla núm. 4 | Arenas limpias Menos de 5% finos[d] | $C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$[e] | SW | Arena bien graduada[i] |
| | | | $C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$[e] | SP | Arena mal graduada[i] |
| | | Arena con finos Más de 12% finos[d] | Los finos se clasifican como ML o MH | SM | Arena limosa[g, h, i] |
| | | | Los finos se clasifican como CL o CH | SC | Arena arcillosa[g, h, i] |
| **Suelos de grano fino** 50% o más pasa la malla núm. 200 | Limos y arcillas Límite líquido menor que 50 | Inorgánicos | IP > 7 y se encuentra en o arriba de la línea "A"[j] | CL | Arcilla de baja compresibilidad[k, l, m] |
| | | | IP < 4 o se encuentra debajo de la línea "A"[j] | ML | Limo de baja compresibilidad[k, l, m] |
| | | Orgánicos | $\frac{\text{Límite líquido—secado en horno}}{\text{Límite líquido—no secado}} < 0.75$ | OL | Arcilla orgánica[k, l, m, n] / Limo orgánico[k, l, m, o] |
| | Limos y arcillas Límite líquido 50 o mayor | Inorgánicos | IP se encuentra en o arriba de la línea "A" | CH | Arcilla de alta compresibilidad[k, l, m, n] |
| | | | IP se encuentra debajo de la línea "A" | MH | Limo de alta compresibilidad[k, l, m, n] |
| | | Orgánicos | $\frac{\text{Límite líquido—secado en horno}}{\text{Límite líquido—no secado}} < 0.75$ | OH | Arcilla orgánica[k, l, m, p] / Limo orgánico[k, l, m, q] |
| **Suelos altamente orgánicos** | Principalmente materia orgánica, de color oscuro y olor orgánico | | | PT | Turba |

[a] Con base en el material que pasa la malla de 75 mm (3 in).
[b] Si la muestra de campo contenía cantos rodados o piedra bola, o ambos, agregue "con cantos rodados o piedra bola, o ambos" al nombre de grupo.
[c] Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: grava bien graduada con limo, GW-GM; grava bien graduada con arcilla, GW-GC; grava mal graduada con limo, GP-GM; grava mal graduada con arcilla, GP-GC.
[d] Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: arena bien graduada con limo SW-SM; arena bien graduada con arcilla SW-SC; arena mal graduada con limo SP-SM; arena mal graduada con arcilla SP-SC.
[e] $C_u = D_{60}/D_{10}$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$
[f] Si el suelo contiene ≥ 15% de arena, agregue "con arena" al nombre de grupo.
[g] Si los finos se clasifican como CL-ML, utilice el símbolo doble GC-GM o SC-SM.
[h] Si los finos son orgánicos, agregue "con finos orgánicos" al nombre de grupo.
[i] Si el suelo contiene ≥ 15% de grava, agregue "con grava" al nombre de grupo.
[j] Si los límites de Atterberg se encuentran en el área sombreada, el suelo es una arcilla limosa, CL-ML.
[k] Si el suelo contiene 15 a 29% más la malla núm. 200, agregue "con arena" o "con grava," lo que predomine.
[l] Si el suelo contiene ≥ 30% más la malla núm. 200, predominantemente arena, agregue "arenoso" al nombre de grupo.
[m] Si el suelo contiene ≥ 30% más la malla núm. 200, predominantemente grava, agregue "gravoso" al nombre de grupo.
[n] Si IP ≥ 4 y se encuentra en o arriba de la línea "A."
[o] Si IP < 4 o se encuentra debajo de la línea "A."
[p] Si IP se encuentra en o arriba de la línea "A."
[q] Si IP se encuentra debajo de la línea "A."

Fuente: (Das, 2012)

**Figura 3.**

Gráfico de plasticidad




Nota: Se emplea para definir el grupo al que corresponde el suelo. El procedimiento se muestra en la Figura N° 02. (Das, 2012)

Los suelos granulares se forman a través de la meteorización física que sufren las rocas. La forma característica de sus partículas puede llegar a ser redonda o angular. Presentan baja plasticidad o algunos materiales no la presentan. La resistencia se logra a través del rozamiento interno. Las partículas que predominan son las calizas o silíceas, pudiendo ser también de origen volcánico. (Kraemer et al., 2004)

Los suelos cohesivos están constituidos por minerales arcillosos que contienen silicatos hidratados de aluminio, hierro, magnesio entre otros con cationes metálicos como sodio, potasio y calcio. Estos se forman mediante procesos de meteorización química. Debido a la capacidad que poseen para absorber agua, estos se pueden contraer o expandir, lo que se refleja en la pérdida de resistencia. (Kraemer et al., 2004).

### *2.2.7 Propiedades del Suelo*

El comportamiento de los suelos en obras de ingeniería está determinado por una serie de propiedades físicas y mecánicas. Estas propiedades definen su aptitud como material de fundación, relleno o

estructura de soporte, y pueden ser modificadas mediante diversas técnicas de estabilización, tales como la compactación, el tratamiento químico, térmico o el uso de refuerzos geosintéticos.

#### *2.2.7.1 Estabilidad volumétrica*

La estabilidad volumétrica del suelo hace referencia a su capacidad de mantener su volumen frente a variaciones de humedad. Suelos con alto contenido de arcillas, como los expansivos, presentan un comportamiento crítico: al absorber agua se hinchan, y al perderla, se contraen. Este fenómeno puede generar asentamientos diferenciales, afectando cimientos, muros y otras estructuras.

Factores como la precipitación, escorrentía y variaciones del nivel freático son determinantes en este comportamiento. Según Montejo et al. (2018), la estabilización mediante tratamientos químicos o térmicos permite reducir estas variaciones. Mientras los productos químicos actúan eficazmente en la superficie, los métodos térmicos resultan más apropiados para capas profundas. Es vital controlar el espesor tratado y manejar adecuadamente las presiones internas de expansión para evitar daños estructurales.

#### *2.2.7.2 Resistencia*

La resistencia al corte es una propiedad esencial que indica la capacidad del suelo para soportar esfuerzos sin fallar. Depende de factores como el tipo de partículas, la cohesión, la fricción interna y las condiciones de humedad. Esta propiedad es determinante en el diseño de cimientos, muros de contención, taludes y estructuras viales.

Montejo et al. (2018) señalan que la compactación es uno de los métodos más usados para incrementar la resistencia mecánica del suelo, aunque en suelos con alto contenido de materia orgánica, esta mejora es limitada. En estos casos, puede ser necesario recurrir a geomallas, columnas de grava o estabilizadores químicos para mejorar la capacidad portante.

#### *2.2.7.3 Permeabilidad*

La permeabilidad define la capacidad del suelo para permitir el paso del agua a través de sus poros. Suelos arenosos poseen alta permeabilidad y permiten buen drenaje, mientras que los arcillosos retienen el agua por más tiempo. Esta característica es crucial en proyectos donde la infiltración, escurrimiento y saturación afectan la estabilidad y durabilidad de las estructuras.

Técnicas como la compactación, el uso de floculantes, emulsiones y otros tratamientos químicos pueden modificar esta propiedad. No obstante, tales intervenciones pueden comprometer otras características, como la resistencia al corte, por lo que es fundamental evaluar cuidadosamente sus efectos colaterales (Montejo et al., 2018).

#### *2.2.7.4 Compresibilidad*

La compresibilidad es la tendencia del suelo a disminuir su volumen bajo cargas. Este comportamiento se traduce en asentamientos, los cuales pueden afectar el nivelado, la estabilidad y el funcionamiento de una estructura. La compactación es el método más común para reducir la compresibilidad, densificando el suelo y disminuyendo el aire intersticial entre partículas.

Este proceso es esencial en la construcción de vías, plataformas aeroportuarias y fundaciones, ya que garantiza una superficie estable, minimizando el riesgo de fallos prematuros. Además, la maquinaria de compactación —como rodillos lisos, pata de cabra o vibratorios— contribuye a mejorar la capacidad de carga del terreno (Montejo et al., 2018).

#### *2.2.7.5 Durabilidad*

La durabilidad del suelo se refiere a su resistencia frente a la intemperie, abrasión y erosión, aspectos clave en proyectos sometidos a condiciones climáticas variables o tráfico pesado. Una compactación deficiente o una mala elección del tipo de suelo puede generar una estructura demasiado rígida o débil, propensa a deteriorarse con el tiempo.

Montejo et al. (2018) advierten que, si bien los suelos estabilizados pueden mostrar mejoras en la resistencia mecánica, en muchos casos son menos duraderos frente a condiciones ambientales extremas. Por ello, es fundamental asegurar una estructura porosa adecuada, buena retención de humedad y control de escurrimientos para maximizar la vida útil de infraestructuras viales y civiles.

### *2.2.8 Estabilización de suelos*

La estabilización de suelos es una técnica fundamental en la ingeniería civil y geotécnica que busca mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, con el propósito de incrementar su capacidad portante, reducir su plasticidad, minimizar los efectos de la humedad y controlar fenómenos como la expansión, contracción o erosión. Este proceso transforma el suelo natural en un material más estable y resistente, apto para servir como subrasante o base estructural en obras civiles.

Se realiza cuando las propiedades del material que lo conforman no cumplen con las condiciones mínimas para ser empleado en las obras en general. El suelo de mala calidad se ve reflejado cuando se deteriora en corto tiempo al estar sometido a cargas. La estabilización del suelo es un proceso mediante el cual se logra mejorar las propiedades de los suelos, logrando que presenten mayor resistencia y durabilidad.

Rivera et al. (2020) nos indica que los suelos son estables cuando a pesar de estar expuesto a distintas variaciones de temperatura o sujeto a distintos factores estos no se deforman, por lo que posee la resistencia suficiente para ser útil durante mucho tiempo. Por otra parte, indica que existen distintos métodos de estabilización de suelos.

La estabilización física se logra mediante la adición de geosintéticos, geomembranas, geocompuestos y geomallas y la estabilización biológica mediante la adición de enzimas biológicas. (Rivera et al., 2020)

“La estabilización química incluye el uso de aglutinantes convencionales como cal y cemento y aglutinantes no convencionales como

cenizas volantes, cenizas de cascarilla de arroz, escoria de alto horno granulada molida (GGBS) y humo de sílice" (Khanday et al., 2021)

La estabilización de forma mecánica se realiza mediante la aplicación de cargas externas con el uso de compactadores de forma continua hacia el suelo con una determinada humedad para incrementar sus propiedades mecánicas. (Bada, 2016).

### *2.2.9 Aditivo estabilizador*

Los aditivos estabilizadores representan una solución eficaz en la mejora del comportamiento mecánico de suelos con características geotécnicas deficientes, especialmente aquellos con alta presencia de materia orgánica o granulometría fina, como los encontrados en selvas tropicales, zonas de alta pluviosidad o terrenos pantanosos. Su aplicación permite optimizar la capacidad portante, reducir la plasticidad y mejorar la resistencia de estos suelos, haciéndolos aptos para ser utilizados como subrasantes o capas estructurales en obras de infraestructura. Para garantizar su efectividad, estos aditivos deben cumplir rigurosamente con las normas internacionales de calidad, como las certificaciones ISO, y con las especificaciones técnicas indicadas por el fabricante. Es fundamental que se integren de forma homogénea en la matriz del suelo, especialmente durante el proceso de curado, para lograr una estabilización estable y duradera.

Previo a la aplicación de cualquier técnica de estabilización, es imprescindible realizar ensayos de laboratorio y pruebas de campo, validadas por profesionales calificados y con la participación de los proveedores de los aditivos. Esta fase de control técnico permite seleccionar el producto adecuado y ajustar su dosificación en función del tipo de suelo y de las condiciones ambientales del lugar. La presencia de huecos, cavidades o vacíos en estructuras como carreteras puede comprometer gravemente su integridad, dado que debilitan el soporte estructural y favorecen procesos de erosión interna, acumulación de humedad, cambios de temperatura y fallos por pérdida de cohesión. En este sentido, suelos blandos como los limos, suelos orgánicos y turbas arcillosas requieren tratamientos específicos, ya

que su alta porosidad, baja cohesión y elevado contenido de agua dificultan su uso directo en ingeniería sin un proceso de estabilización previo.

La estabilización mediante aditivos mejora significativamente las características del material tratado, siempre que se seleccione adecuadamente el tipo de ligante, considerando variables como el tipo de intervención requerida (subrasante, granular, ligeramente ligada, totalmente ligada) y las propiedades inherentes del suelo. No existe un procedimiento universal; por ello, los aditivos empleados pueden variar considerablemente en función del contexto geotécnico, ambiental y estructural. La consolidación de carreteras o plataformas de infraestructura exige el análisis y control de parámetros críticos como la resistencia al corte, compresibilidad, permeabilidad, estabilidad volumétrica y durabilidad del suelo. Dada la heterogeneidad de los suelos en campo, resulta necesario extraer y analizar muestras representativas que permitan determinar estas propiedades, así como su posible impacto ambiental frente al uso de aditivos estabilizantes. Una vez obtenida esta información, se selecciona el producto más adecuado, se aplica sobre la muestra, y se realiza una validación posterior para confirmar la mejora efectiva del comportamiento del suelo.

### *2.2.10 Cemento portland*

Joseph Aspdin, un constructor inglés, se le atribuye la invención del cemento Portland en 1824. Se dice que Aspdin pudo haber nombrado su invención en honor a la isla de Portland en el condado de Dorset, Inglaterra, debido a la semejanza en apariencia entre el cemento que producía y las rocas encontradas en esa isla. Además, se especula que Aspdin pudo haber utilizado este nombre para asociar su producto con la "alta calidad" de las calizas de esa región en el mercado de elementos de construcción. (Vergara, 2018).

El cemento Portland es un componente esencial como aglutinante principal en la fabricación de concreto, que se utiliza ampliamente en la construcción de una variedad de estructuras, como edificios, puentes, presas y carreteras. La notable resistencia a la compresión del concreto hecho con

cemento Portland permite a las estructuras soportar cargas pesadas y mantener una estabilidad duradera.

Cuando se combina con áridos, agua y fibras de acero discretas y discontinuas, el cemento Portland, también llamado cemento hidráulico, tiene la capacidad de formar hormigón, un material pétreo, eficiente y duradero. Este material es fundamental en la construcción, funcionando como un agente aglutinante clave en la producción de hormigón, conocido en algunas regiones de América Latina simplemente como cemento. Como cemento hidráulico, tiene la capacidad de reaccionar químicamente con el agua para fraguar y endurecerse, resultando en una sustancia con una notable capacidad de unión.

Para lograr la combinación completa de CaO, se añade cuidadosamente una porción de arcilla que representa aproximadamente el 20 por ciento del total de la mezcla (con una dosificación estricta) a la combinación de caliza y arcilla artificial, la cual se ha homogeneizado y tiene una granulometría que varía entre 0 y 150 µ. El proceso de calcinación tiene lugar a una temperatura adecuada para la clinkerización, que oscila entre 1400°C y 1650°C, y en algunos casos, se permite la adición especial de CaO. En este proceso, aproximadamente un tercio del peso del material se convierte en una fase líquida. El enfriamiento posterior produce Clinker de cemento Portland, que está compuesto principalmente por silicatos y aluminatos, junto con una pequeña cantidad de CaO, alrededor del 1% del total (Leones y Hernández, 2023).

Según la norma europea UNE-EN 197-1:2011, los cementos se definen como conglomerantes hidráulicos. Estos son materiales artificiales de origen inorgánico y mineral, que se muelen finamente y se mezclan con agua para formar pastas. Estas pastas fraguan y se endurecen debido a las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus 50 componentes, produciendo productos hidratados que son mecánicamente resistentes y estables en ambientes tanto aéreos como acuáticos (Dutta et al.,2017).

### *2.2.11 Análisis químico del cemento*

El análisis químico del cemento tipo I revela que su composición está dominada por óxidos de silicio ($SiO_2$), calcio (CaO), y alúmina ($Al_2O_3$), lo que le confiere una naturaleza silico-cálcica, fundamental para las reacciones de hidratación. En particular, el cemento CEM I 42,5 R presenta los siguientes valores representativos:

**Tabla 1.**

*Composición química del cemento tipo I.*

| Composición (%) | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $SO_3$ | $Na_2O$ | $K_2O$ | P.F |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CEM I 42,5 R | 18,86 | 5,50 | 3,29 | 62,52 | 2,17 | 2,34 | 0,15 | 0,90 | 3,28 |

Tiene una naturaleza silico-cálcica y CaO como componentes principales.

#### *2.2.11.1 Tipos de cemento portland*

- **Tipo I.** Destinado a proyectos generales donde el hormigón no requiere propiedades específicas.
- **Tipo IA.** Similar al Tipo I, pero con la inclusión de aire.
- **Tipo II.** Diseñado para proyectos que requieren una moderada generación de calor durante la hidratación y una exposición moderada a sulfatos.
- **Tipo IIA.** Similar al Tipo II, pero con la adición de un inlclusor de aire.
- **Tipo III.** Proporciona altas resistencias iniciales.
- **Tipo IIIA.** Variante del Tipo III con inclusión de aire.
- **Tipo IV.** Desarrolla resistencia principalmente por el calor generado durante la hidratación.
- **Tipo V.** Ofrece una alta resistencia a la presencia de sulfatos.

**NOTA 1**— Algunos cementos se presentan como adecuados para su uso en una variedad de situaciones y se identifican con clasificaciones de tipos combinados.

**NOTA 2**— En ciertas ubicaciones, puede resultar difícil encontrar cemento que cumpla con todas las especificaciones para los distintos tipos. Antes de optar por un cemento que no sea del Tipo especificado, asegúrese de verificar la disponibilidad del cemento sugerido.

### *2.2.12 Suelos estabilizados con cemento*

Viene a ser la mezcla del suelo natural con adición de cemento y agua, que sometido a procesos de compactación se logra obtener un suelo con mejores características.

El cemento es un producto químico constituido por cal, sílice, alumina y óxidos de hierro, estos minerales se encuentran en materiales de piedra caliza y arcilla o caliza y la marga. (Duda, 1977)

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) indica que el suelo cemento viene a ser la mezcla de un material natural combinado con cemento y agua, que luego de pasar por un proceso de consolidación mediante compactación y curado, el material deja de estar suelto para formar un material con más dureza y con mejor resistencia.

Generalmente los suelos naturales se encuentran conformados por materiales granulares. Estos materiales al entrar en combinación con el cemento cambian sus propiedades. La resistencia que presente va a depender de la cantidad de cemento empleado, la densidad que se alcanza y el tiempo de la mezcla. (Kraemer et al., 2004)

Para lograr la estabilización del suelo se tienen que tener en cuenta ciertas consideraciones. Los suelos pueden ser de los grupos A-1 al A-7, con tamaño máximo de las partículas de 2”, con LL < 40 y un IP < 18%, sin presentar desgaste mayor al 50%, la proporción máxima de sulfatos 0.2% y cuando son empleados por encima de los ≥3.000 m.s.n.m las pérdidas en

sulfato de magnesio no deben ser mayores al 18% y para materiales finos superiores al 15%. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

### *2.2.13 Ensayos de mecánica de suelos*

La mecánica de suelos se centra principalmente en el comportamiento que presenta el suelo frente a los esfuerzos que se generan entre el suelo y la estructura. Razón por la cual se interesa en conocer las diferentes propiedades intrínsecas que presenta el suelo mediante el análisis en pruebas de laboratorio.

Existen diferentes ensayos que se realizan con la finalidad de conocer las propiedades de los suelos. Estos ensayos se realizan según el tipo de estructura que se pretende construir.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014) establece la relación de ensayos a los que deben someterse los suelos para su uso del suelo como material de afirmado.

Análisis Granulométrico por Tamizado. Este método se basa en cuantificar la cantidad de material según el tamaño de las partículas. El análisis se logra mediante el empleo de un juego de tamices que se separan según la apertura cuadrangular de cada tamiz que van de 3” a 3/8”, y la separación se logra realizando el zarandeo del material en los tamices que se disponen uno sobre otro. (ASTM D6913-04, 2009)

Límite Líquido y Limite Plástico Malla N° 40. Se basa en determinar la consistencia del suelo según su contenido de humedad. El límite líquido corresponde a la humedad que presenta el suelo entre en estado líquido y plástico. El límite plástico corresponde a la humedad entre en estado plástico y sólido. A la diferencia del límite líquido con el límite plástico se le conoce como índice de plasticidad. (ASTM D4318-17e1, 2017)

Ensayo de Abrasión Los Ángeles. Permite determinar el porcentaje de desgaste que presentan los suelos. El material a evaluar se ingresa a un tambor giratorio y se somete a un proceso erosivo generado por esferas de acero al girar a una determinada revolución. El resultado que se obtiene viene

a ser degradación del material representada en porcentaje de perdida. (ASTM C131 - 20, 2020)

Proctor Modificado. El resultado permite determinar el contenido óptimo de agua necesario, para que un suelo se compacte de la mejor manera y logre la resistencia requerida. (ASTM D1557-12, 2021)

Contenido Sales Solubles Totales. Este ensayo permite determinar el contenido de cloruros y sulfatos de los agregados. Los materiales no deberán superar el porcentaje establecido según el mejoramiento que se desea dar al suelo. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

### *2.2.14 Diseño mezcla suelo cemento*

Se realiza según el método del Portland Cement Association. En los parámetros a considerar se deberá tener en cuenta que en el ensayo de resistencia a compresión simple se debe llegar como mínimo al 1.8 Mpa, y en los ensayos de humedecimiento secado para los suelos A-1; A-2-4; A-2-5; A-3, la perdida máxima no deberá ser mayor al 14%, en suelos clasificados como A-2-6; A-2-7; A-4; A-5 no será superior al 10% y en suelos A-6; A-7 no deberá ser mayor al 7%. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

### *2.2.15 Ensayos de Laboratorio para suelo cemento*

La (PCA, 1992) indica que el suelo se endurece cuando se adiciona cemento, generando un material resistente y duradero para uso en carreteras de bajo costo. Así mismo, menciona que no todos los suelos presentan las mismas características, por lo que la manera en que reacciona no va a ser el mismo para todos. Para determinar el comportamiento de los suelos es necesario realizar ensayos de laboratorio, los cuales se emplean para determinar la proporción de cemento, la cantidad de agua a emplear y la densidad de compactación para obtener una buena mezcla.

- Prueba de relación de humedad – densidad de mezclas suelo cemento. Se emplea para definir el la cantidad óptima de humedad y la máxima densidad seca de las muestras previo a la hidratación.
- Prueba de humedecimiento – secado de mezclas suelo – cemento compactado. Se emplea para definir la cantidad mínima de cemento necesaria para garantizar la durabilidad frente a las condiciones de intemperismo en campo. Mediante su aplicación se determina la variación en volumen, cantidad de agua, y los porcentajes de perdida de las muestras compactadas.
- Prueba de congelamiento – descongelamiento de mezclas suelo cemento. Su aplicación de igual manera permite determinar los cambios de volumen, variaciones de contenido de agua y las pérdidas de suelo cemento mediante ciclos de congelamiento y descongelamiento.
- Resistencia a compresión de probetas suelo – cemento. Se emplea para determinar la resistencia a compresión simple de las probetas de suelo cemento después de 7 días de curado húmedo.

### *2.2.16 Mapas geológicos*

Los mapas geológicos vienen a ser la representación documental en dos dimensiones de las formaciones geológicas que están presentes en las regiones, estos se realizan según lo que se encuentra en la naturaleza. Mediante ellos se puede llegar a conocer cómo es que se encuentran encajadas las rocas en la superficie de la tierra, y los contactos que estas puedan presentar, así mismo muestra las características y las agrupa en cada zona según la similitud que puedan presentar. (Robador & Mancebo, 2020)

Los mapas geológicos se utilizan para representar la variedad de rocas, suelos y estructuras geológicas que están presentes en la superficie de la tierra. Su aplicación es de gran interés ya que permite ubicar depósitos de minerales, aguas subterráneas entre otros, además de ser de gran apoyo hacia la inversión de las distintas obras de infraestructura civil y/o vial que se

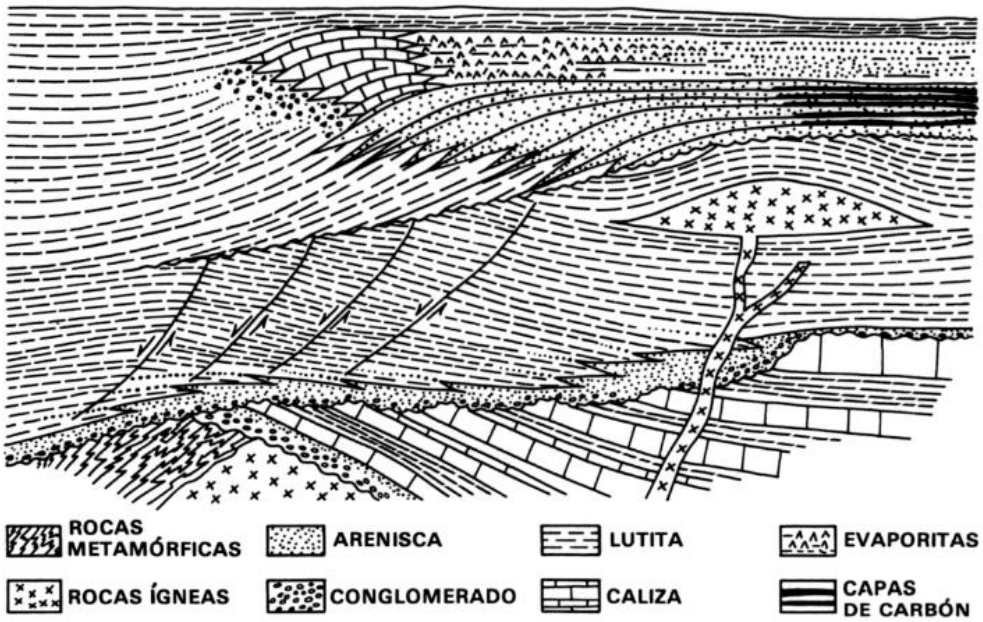
realizan. Para su actualización se requiere realizar investigaciones en todas las ramas de la geología. (INGEMMET, 2022)

### *2.2.17 Unidades Litoestratigráficas*

Se forman por la agrupación de un conjunto de estratos que presentan características litológicas similares, pudiendo estar conformado por rocas metamórficas, ígneas, o sedimentarias, o la combinación de ambos. Se pueden encontrar de forma consolidada o no consolidada. Para su reconocimiento basta con solo realizar la observación de las características físicas y no necesariamente mediante la interpretación de la historia geológica o su origen. (ISSC, 1980).

**Figura 4.**

Unidades Litoestratigráficas




Nota: Conjunto de estratos constituidos por rocas con características similares. (ISSC, 1980)

## 2.3 Marco conceptual

***Cantera***

Yacimiento superficial de donde se extraen materiales pétreos, naturales o transformados, para ser utilizados en la construcción, infraestructura o elaboración de productos manufacturados (Herrera, 2019).

***Cantera aluvial***

Tipo de cantera formada por la acción de los ríos, donde se depositan materiales como arenas, gravas y cantos rodados debido a la disminución de la energía cinética del agua (Herrera, 2018).

***Cantera de roca***

También denominada cantera de peña; está constituida por afloramientos de rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas que se extraen directamente de la montaña mediante métodos mecánicos o explosivos (Herrera, 2018).

***Áridos***

Materiales granulares como arena, grava o piedra triturada utilizados en la fabricación de concretos, asfaltos y otras estructuras civiles. Deben ser sólidos, inertes y cumplir con criterios de granulometría y forma (Herrera, 2019).

***Materia prima manufacturada***

Material rocoso que es transformado industrialmente para fabricar productos como cemento, ladrillos, cerámicos o vidrio, a través de procesos térmicos o químicos (Herrera, 2019).

***Granulometría***

Distribución de tamaños de partículas en un suelo o agregado. Es clave para determinar su clasificación, comportamiento mecánico y uso en obras civiles (Ulbrich et al., 2023).

***Plasticidad del suelo***

Capacidad de un suelo para cambiar de forma sin romperse, influenciada por su contenido de agua. Los límites de plasticidad definen su comportamiento en distintos estados (Ulbrich et al., 2023).

***Mineralogía del suelo***

Conjunto de minerales que componen el suelo, los cuales determinan sus propiedades físicas y mecánicas como la resistencia, cohesión y durabilidad (Ulbrich et al., 2023).

***Clasificación AASHTO***

Sistema que clasifica los suelos con base en su granulometría y límites de consistencia, orientado a obras viales. Determina su calidad como material de subrasante o base (Das, 2012).

***Clasificación SUCS***

Sistema unificado de clasificación de suelos usado en ingeniería civil. Evalúa el tipo de suelo según su composición granulométrica, plasticidad y contenido orgánico (Das, 2012).

***Compactación***

Proceso mecánico que reduce el volumen de aire entre partículas del suelo, aumentando su densidad, resistencia y capacidad de soporte de carga (Braja M., 2014).

***Estabilidad volumétrica***

Propiedad que indica la capacidad del suelo para mantener su volumen ante cambios de humedad. Suelos arcillosos pueden hincharse o contraerse afectando estructuras (Montejo et al., 2018).

***Resistencia al corte***

Capacidad del suelo para resistir esfuerzos tangenciales sin deformarse. Es crucial en el diseño de cimentaciones, muros de contención y taludes (Montejo et al., 2018).

***Permeabilidad***

Facultad del suelo para permitir el paso del agua a través de sus poros. Afecta el drenaje, la estabilidad y el diseño de obras hidráulicas (Montejo et al., 2018).

***Durabilidad del suelo***

Capacidad del suelo para resistir la intemperie, abrasión, erosión y ciclos climáticos, manteniendo sus propiedades mecánicas a largo plazo (Montejo et al., 2018).

***Estabilización de suelos***

Conjunto de técnicas para mejorar las propiedades físicas del suelo, como la resistencia o plasticidad, mediante aditivos químicos, compactación o mezclas (MTC, 2014).

***Aditivo estabilizador***

Sustancia química o natural que se incorpora al suelo para mejorar su comportamiento mecánico, control del polvo o resistencia a la humedad. Puede ser líquido o en polvo (MTC, 2014).

***Subrasante***

Capa inferior del terreno sobre la cual se apoyan las capas estructurales de una vía. Su calidad condiciona la durabilidad de la estructura vial y debe ser estabilizada si presenta debilidades (MTC, 2014).

# III. METODOLOGÍA

## 3.1. Tipo y diseño de investigación

### *3.1.1. Tipo*

La presente investigación se enmarca en el tipo aplicada, la cual se caracteriza por su orientación hacia la solución de problemas concretos a través de la utilización del conocimiento teórico en contextos reales. Según Cívicos y Hernández (2007), “la investigación aplicada o práctica se caracteriza por la forma en que analiza la realidad social y aplica sus descubrimientos en la mejora de estrategias y actuaciones concretas, en el desarrollo y mejoramiento de éstas, lo que, además, permite desarrollar la creatividad e innovar” (p. 25). En la misma línea, Valderrama (2013) sostiene que este tipo de investigación tiene un enfoque funcional, orientado a transformar la realidad mediante intervenciones basadas en hallazgos previos, estableciendo así un puente efectivo entre la teoría científica y la práctica profesional.

En el contexto de este estudio, la elección del enfoque aplicado resulta pertinente, ya que se busca abordar un problema técnico específico en el campo de la ingeniería civil: la mejora de las propiedades físico-mecánicas de los suelos estabilizados con cemento en un tramo vial determinado. Este objetivo demanda la puesta en práctica de conocimientos científicos previamente validados, orientados a generar soluciones concretas con beneficios tangibles para la infraestructura vial. Además, al evaluar la

eficiencia de materiales locales y analizar su desempeño bajo condiciones reales, el estudio no solo propone alternativas de estabilización más efectivas y económicas, sino que también promueve la innovación en el diseño y ejecución de obras civiles, contribuyendo directamente al desarrollo sostenible de proyectos de pavimentación.

### *3.1.2. Diseño de la investigación*

El diseño de esta investigación es experimental, lo que implica la manipulación deliberada de variables independientes para observar su efecto sobre una o más variables dependientes bajo condiciones controladas. Según Carrasco (2017), el diseño experimental se distingue por su rigurosidad metodológica, ya que “permite establecer relaciones de causalidad entre las variables manipuladas y los resultados observados, bajo estrictas condiciones de control” (p. 70). Por su parte, Sampieri, Collado y Lucio (2014) afirman que este diseño busca generar evidencia empírica sólida a través de la comparación sistemática de diferentes tratamientos o condiciones experimentales.

En esta investigación, las canteras representan las fuentes de extracción de los materiales que serán evaluados. Estos materiales se combinarán con cemento en proporciones específicas para elaborar moldes de suelo-cemento, los cuales serán sometidos a ensayos de resistencia a compresión simple y ciclos de humedecimiento-secado, con el fin de determinar su comportamiento estructural y durabilidad.

La elección del diseño experimental es idónea, dado que permite observar y analizar de forma controlada el desempeño de los suelos estabilizados con cemento frente a factores críticos como la humedad, que son comunes en condiciones de campo. Esta estrategia metodológica posibilita comparar el rendimiento de diferentes combinaciones de suelo y cemento, así como identificar las formulaciones óptimas para la estabilización del tramo vial Acos–Huayllay. Además, los datos obtenidos bajo este enfoque proporcionan evidencia objetiva para validar la aplicabilidad de los materiales

locales, reduciendo incertidumbres y aumentando la confiabilidad en futuras aplicaciones en obras civiles.

## 3.2. Variables de la Investigación

### *3.2.1. Variable Independiente*

- Calidad de las canteras

### *3.2.2. Variable Dependiente*

- Desgaste frente a los ciclos de humedecimiento – secado del suelo estabilizado con cemento

### *3.2.3. Matriz de operacionalización*

**Tabla 2.**

*Matriz de operacionalización de las variables*

| Variable | Definición Conceptual | Definición Operacional | Dimensión | Indicadores | Instrumento de Medición |
|---|---|---|---|---|---|
| **Calidad de las Canteras** | Hace referencia a las propiedades físicas y mecánicas de los materiales extraídos de las canteras, que determinarán su idoneidad para ser utilizados en la construcción vial. | Se evaluará la calidad de las canteras según las características como granulometría, plasticidad, abrasión y sulfatos. | Propiedades físicas y mecánicas del material | Granulometría, índice de plasticidad, desgaste por abrasión, sulfatos solubles. | Ensayos de clasificación de suelos (ASTM D2487, ASTM C131, NTP 339.178) |
| **Desgaste frente a los ciclos de humedecimiento-secado** | Se refiere a la resistencia de un material estabilizado con cemento frente a los efectos de los ciclos de humedecimiento y secado, que simulan condiciones climáticas adversas. | Se medirá la pérdida de volumen y la variación de resistencia a compresión en las probetas de mezcla suelo-cemento tras los ciclos de humedecimiento y secado. | Comportamiento físico del material estabilizado | Pérdida de volumen, resistencia a compresión. | Ensayos de humedecimiento-secado (ASTM D559), resistencia a compresión (ASTM D1633) |

## 3.3. Unidad de Análisis

La unidad de análisis en una investigación hace referencia al elemento fundamental sobre el cual se centran las observaciones y se recolectan los datos. Según Sampieri, Collado y Lucio (2014), la unidad de análisis puede estar constituida por personas, objetos, instituciones, eventos o comunidades, dependiendo del enfoque del estudio y del problema de investigación planteado (p. 273). En el caso de la presente tesis, la unidad de análisis está constituida por el material constituyente de las canteras Pacaraos y Francopampa del Tramo Acos Huayllay.

La unidad de análisis seleccionada es clave para abordar el problema central de la tesis, que es la evaluación de los materiales provenientes de las canteras locales y su comportamiento al ser estabilizados con cemento. Estudiar los materiales constituyentes de las canteras permite entender cómo sus características geomecánicas influyen en la durabilidad de las infraestructuras viales en la región, específicamente en el Tramo Acos Huayllay. Al centrarse en estos materiales, la investigación se enfoca directamente en los factores determinantes de la resistencia y estabilidad de los suelos estabilizados con cemento, lo que constituye el corazón del problema de investigación.

## 3.4. Población y Muestra

### *3.4.1. Población*

En el contexto metodológico, la población de estudio se refiere al conjunto total de unidades de análisis que comparten características comunes y que pertenecen al ámbito definido para una investigación determinada. Según Carrasco (2017), la población está conformada por todos los elementos u observaciones que pertenecen al espacio físico o conceptual en el que se desarrolla el estudio, y sobre los cuales se pretende obtener conclusiones científicas (p. 237).

En la presente investigación, la población está conformada por todas las canteras que se encuentran ubicadas a lo largo del Tramo Acos Huayllay.

### *3.4.2. Muestra*

La muestra se define como un subconjunto representativo de la población total, que posee las mismas características esenciales y sobre el cual se realiza el estudio para obtener inferencias válidas. Según Ñaupas et al. (2014), la muestra es un conjunto limitado de elementos seleccionados de una población, con la finalidad de estudiar y generalizar los resultados a todo el universo investigado (p. 246).

En la presente investigación la muestra la constituyen las dos canteras más empleadas como material de afirmado en las actividades de conservación de plataforma del Tramo Acos Huayllay.

**Tabla 3.**
*Coordenadas geográficas de las canteras en estudio*

| N° | Nombre | Progresiva | Coordenada | Altitud |
|---|---|---|---|---|
| 1 | PACARAOS | 79+500 | E: 319203.75<br>N: 8760133.77 | 2897.50 |
| 2 | FRANCOPAMPA | 107+500 | E: 329494.19<br>N: 8776434.97 | 4427.80 |

Fuente: Elaboración propia

### *3.4.3. Selección de muestra*

La presente investigación empleó un muestreo no probabilístico por criterio del investigador, una técnica que, según Hernández Sampieri et al. (2014), se basa en la decisión intencionada del investigador para seleccionar los elementos que más se ajustan a las características del estudio, considerando su relevancia, accesibilidad o representatividad dentro del fenómeno investigado.

La elección de este tipo de muestreo responde a la necesidad de seleccionar canteras que ofrecieran condiciones logísticas y técnicas adecuadas para el desarrollo de los ensayos experimentales. En ese sentido, la selección de las canteras se realizó considerando criterios como: la facilidad de acceso, la disponibilidad suficiente y continua de materiales, y el tipo de material granular predominante, determinado por el origen y tipo de depósito sedimentario presente en cada fuente.

Para el desarrollo de los ensayos de estabilización y evaluación del desgaste frente a ciclos de humedecimiento-secado, se recolectaron 300 kg de material granular por cada cantera seleccionada, permitiendo una caracterización completa de sus propiedades y la elaboración de probetas estandarizadas de suelo cemento. Esta estrategia permitió garantizar un enfoque práctico y representativo de las condiciones reales del Tramo Acos Huayllay, aportando datos relevantes para evaluar la calidad técnica de las canteras involucradas.

## 3.5. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

### *3.5.1. Técnicas de Investigación*

Para el desarrollo de la presente investigación se aplicaron dos técnicas principales de recolección de datos: la observación directa y la revisión bibliográfica, ambas fundamentales para el abordaje experimental del estudio.

#### *Observación directa*

La observación es una técnica básica en el trabajo de campo y laboratorio, que consiste en registrar sistemáticamente fenómenos tal como ocurren en su entorno natural o en condiciones controladas. Según Carrasco (2017), la observación permite identificar características relevantes del objeto de estudio mediante la percepción directa, lo que facilita la formulación de inferencias y análisis posteriores (p. 198).

En esta investigación, se utilizó la observación para describir las características físicas de los materiales extraídos de las canteras seleccionadas, distinguiendo si estos están compuestos por partículas gruesas o finas, así como para identificar la presencia de rocas meteorizadas. Además, la observación fue esencial para analizar el comportamiento de los materiales durante los ensayos de laboratorio, tales como los ciclos de humedecimiento-secado y la resistencia a la compresión simple de los moldes de suelo-cemento. Esta técnica permitió contrastar visual y técnicamente las diferencias entre los materiales provenientes de distintas canteras, brindando una comprensión detallada de su desempeño frente a condiciones críticas.

***Revisión bibliográfica***

La revisión bibliográfica es una técnica de carácter documental que consiste en recopilar, analizar e interpretar información proveniente de fuentes científicas y normativas. Según Ñaupas et al. (2014), esta técnica permite contextualizar el estudio dentro del conocimiento existente y sustentar teóricamente las decisiones metodológicas (p. 134).

En este estudio, la revisión bibliográfica tuvo como propósito identificar los requisitos normativos y propiedades técnicas mínimas que deben cumplir los materiales de cantera y las mezclas estabilizadas con cemento, de acuerdo con los estándares nacionales e internacionales aplicables a obras de ingeniería vial. Asimismo, permitió reconocer los tipos de depósitos sedimentarios presentes en las zonas de estudio, lo cual fue útil para clasificar las rocas meteorizadas según su origen y composición. Esta técnica fortaleció el sustento teórico del análisis experimental y proporcionó criterios técnicos sólidos para la evaluación comparativa de las muestras.

### *3.5.2. Instrumentos de Investigación*

Los instrumentos de investigación son herramientas fundamentales que permiten registrar, sistematizar y organizar la información obtenida a lo largo del proceso investigativo. Según Niror (2011), los instrumentos deben diseñarse de acuerdo con los objetivos específicos del estudio y responder a

criterios de validez, confiabilidad y precisión en la medición de variables relevantes.

En el presente estudio se emplearon fichas técnicas de recolección de datos, diseñadas específicamente para registrar los resultados obtenidos de los ensayos estándar de laboratorio. Estos ensayos fueron aplicados tanto a los materiales extraídos de las canteras como a las muestras de suelo estabilizado con cemento, de acuerdo con los procedimientos establecidos por la normativa técnica vigente (normas ASTM y MTC).

Las fichas incluyeron campos detallados para anotar:

- Datos de identificación de la muestra (nombre de la cantera, tipo de suelo, ubicación).
- Resultados numéricos obtenidos de los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, contenido de humedad y densidad.
- Valores de resistencia a la compresión simple en moldes de suelo-cemento curados.
- Observaciones cualitativas relacionadas al comportamiento del material durante los ciclos de humedecimiento y secado.
- Cumplimiento o incumplimiento de los requisitos normativos de calidad.

Estas fichas fueron aplicadas de forma sistemática por el equipo de laboratorio, bajo condiciones controladas y utilizando equipos calibrados, lo cual garantizó la confiabilidad de los datos recopilados. La adecuada estructuración del instrumento permitió una recolección precisa y eficiente de la información necesaria para el análisis comparativo y la validación de los resultados experimentales.

**Tabla 4.**

*Ensayos de laboratorio para estudio de canteras*

| Estudio de Canteras |
| --- |
| Clasificación de los suelos SUCS - ASTM D2487 |
| Gravedad específica y absorción del agregado grueso - ASTM C127 |
| Ensayo de compactación proctor modificado - ASTM D1557 |
| Desgaste por abrasión - ASTM C131 |
| Sulfatos solubles totales en suelo o roca - NTP 339.178 |
| Durabilidad en agregados con sulfato de magnesio – ASTM C88 |

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013)

**Tabla 5.**

*Ensayos de laboratorio para estudio de mezclas suelo cemento*

| Estudio de mezclas suelo cemento |
| --- |
| Relaciones Humedad-densidad (suelo-cemento) - ASTM D558 |
| Preparación en el laboratorio de probetas de suelo – cemento - ASTM D1632 |
| Resistencia a la compresión de probetas suelo-cemento - ASTM D1633 |
| Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento - ASTM D559 |

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013)

- Mapas Geológicos. Se empleará el mapa geológico del cuadrángulo de Canta elaborado por INGEMMET, para ubicar las canteras según sus coordenadas geográficas y mediante la memoria las descriptiva se identificarán unidades litoestratigráficas presente en cada una de las canteras.

- Hojas de datos. Se realizará la observación en campo, y se realizará la descripción de los materiales presentes y se registrarán para su procesamiento.

## 3.6. Análisis e interpretación de la información

- Los valores obtenidos en los ensayos se plasmarán en hojas de Excel mediante la elaboración cuadros estadísticos. Se realizarán gráficos para comparar los valores obtenidos, y se realizará el análisis e interpretación para determinar cuál de los materiales presentes en las canteras presenta las mejores propiedades.
- Las unidades litoestratigráficas nos permitirán describir las rocas que mediante procesos de meteorización se han sedimentado en depósitos coluviales y aluviales.

# IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 4.1. Presentación de resultados

### *4.1.1. Unidad litoestratigráfica*

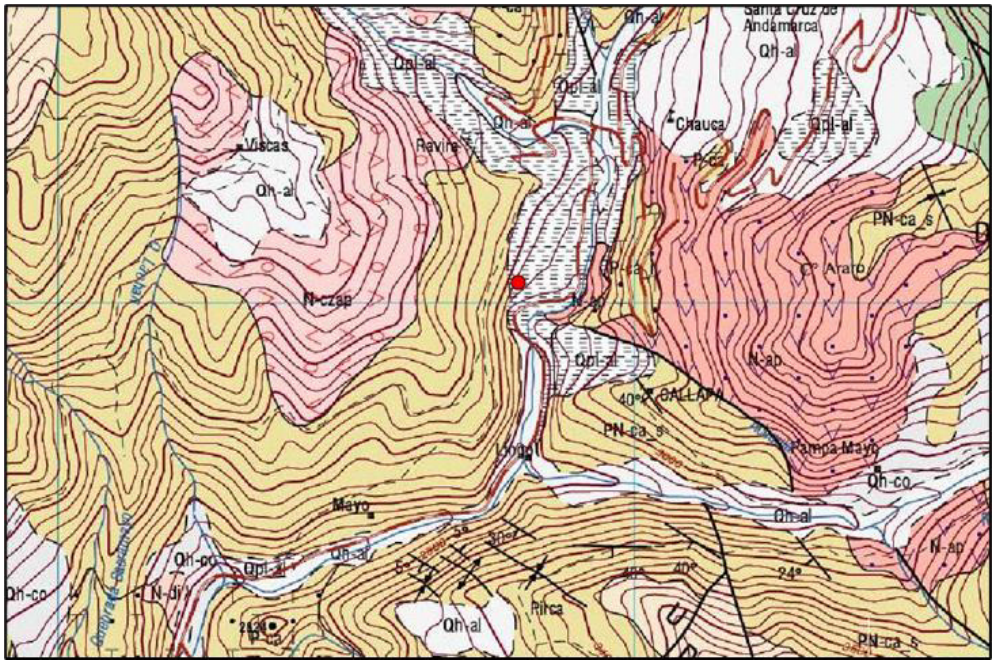
El análisis geológico realizado mediante la interpretación del Mapa Geológico del Cuadrángulo de Canta (23-J), elaborado por INGEMMET (2003), ha permitido ubicar geológicamente la cantera Pacaraos, identificándola dentro de un depósito aluvial correspondiente al Pleistoceno del periodo Cuaternario, perteneciente a la era Cenozoica.

Estos depósitos aluviales se caracterizan por estar compuestos por materiales heterométricos de origen volcánico, predominantemente andesitas, que se han acumulado de forma natural en los flancos de los valles. La disposición geomorfológica del terreno ha favorecido la formación de terrazas aluviales, utilizadas actualmente como tierras de cultivo, lo que evidencia la estabilidad y regularidad topográfica del área.

Asimismo, la presencia de materiales aluviales de origen volcánico permite anticipar una variabilidad mineralógica que influye directamente en las propiedades mecánicas del suelo, especialmente en su comportamiento frente a fenómenos de humedecimiento y secado. Estos factores geológicos resultan clave para la evaluación de la calidad del material y su desempeño en procesos de estabilización con cemento.

**Figura 5.**

Ubicación de Cantera Pacaraos en Mapa Geológico del Cuadrante de Canta




Fuente: Adaptado de INGEMMET (2003).

**Figura 6.**
Cantera Pacaraos



Fuente: Elaboración propia.

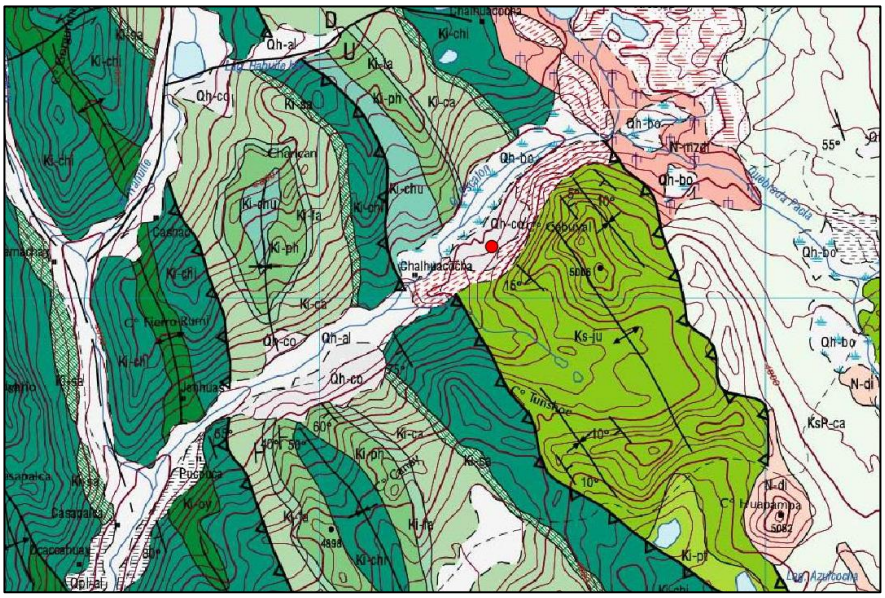
**Figura 7.**
Rocas volcánicas angulosas y subangulosas en la cantera Pacaraos



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 8.**

Ubicación de Cantera Francopampa en Mapa Geológico del Cuadrángulo de canta




Fuente: Adaptado de INGEMMET (2003).

**Figura 9.**

Cantera Francopampa



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 10.**

Clastos angulosos y sin selección uniforme acumulados por gravedad



Fuente: Elaboración propia.

El mapa geológico del cuadrángulo de canta (23-J), nos permite ubicar a la cantera Francopampa en un depósito coluvial formado en la etapa del holoceno del periodo cuaternario correspondiente a la era cenozoica.

El suelo de la cantera está constituido por clastos de roca volcánica de morfología angulosa a subangulosa, lo que sugiere un transporte de corta distancia desde su fuente original. Esta característica es relevante desde el punto de vista geotécnico, ya que la angularidad de los agregados mejora el entrelazamiento mecánico en las mezclas suelo-cemento, contribuyendo a una mayor resistencia al corte y menor deformabilidad.

### *4.1.2. Ensayos de laboratorio para estudio de canteras*

#### *4.1.2.1. Clasificación de suelos*

La Tabla 6 muestra los resultados del ensayo de granulometría por tamizado del material extraído de la cantera Pacaraos. Este análisis permite identificar la distribución de tamaños de partículas y, con ello, clasificar el suelo según los sistemas AASHTO y SUCS, y evaluar su aptitud para su uso como material estabilizado con cemento.

**Tabla 6.**

*Análisis granulométrico por tamizado del material de la cantera Pacaraos*

| Malla | Abertura | % que pasa |
|---|---|---|
| 3 | 76.200 | 100 |
| 2 | 50.800 | 100 |
| 1 1/2 | 38.100 | 95.7 |
| 1 | 25.400 | 92.2 |
| 3/4 | 19.000 | 82.1 |
| 3/8 | 9.500 | 79.8 |
| N° 4 | 4.750 | 56.5 |
| N° 10 | 2.000 | 39.9 |
| N° 20 | 0.840 | 29.5 |
| N° 60 | 0.425 | 23.9 |
| N° 100 | 0.250 | 20.4 |
| N° 140 | 0.150 | 17.4 |
| N° 140 | 0.106 | 16.3 |
| N° 200 | 0.075 | 15.3 |

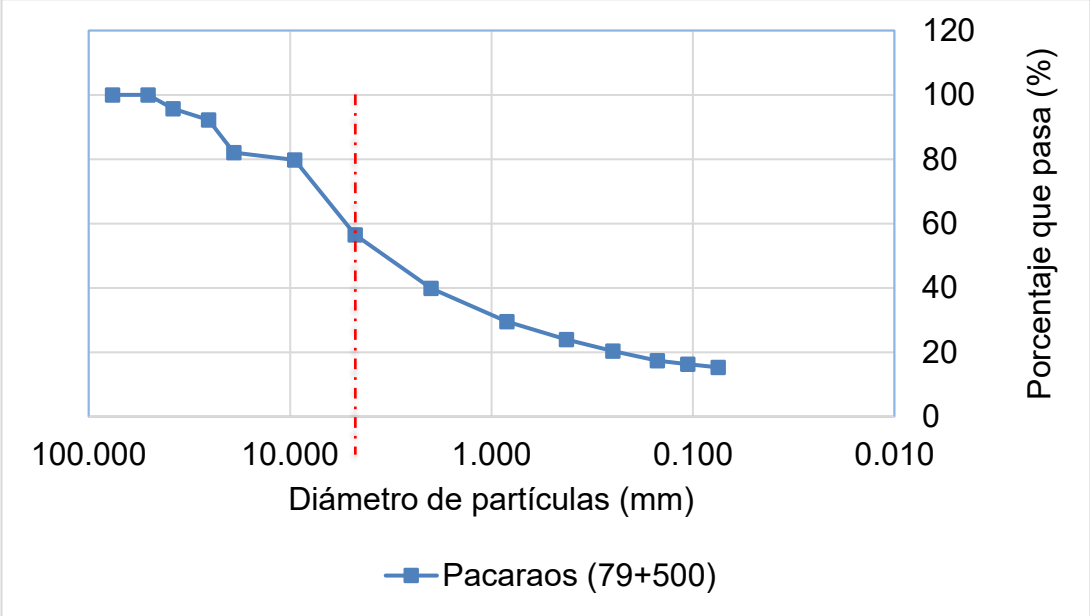
Fuente: Elaboración propia

El análisis granulométrico del material de la cantera Pacaraos muestra una distribución mayoritaria de partículas gruesas, con un 15.3 % de finos que

permite clasificarlo como un suelo granular con contenido moderado de partículas finas. Esta característica sugiere un comportamiento mecánico aceptable para afirmado, aunque con gradación deficiente en algunos tramos, lo que puede limitar su compactibilidad natural. No obstante, su origen aluvial con clastos volcánicos angulosos favorece la fricción interna y, con estabilización adecuada mediante cemento, se mejora significativamente su desempeño estructural frente a ciclos de humedecimiento y secado.

**Figura 11.**

Análisis Granulométrico por Tamizado Cantera Pacaraos (Km 79+500)




Fuente: Elaboración propia.

**Figura 12.**

Ensayo de granulometría




Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los índices de consistencia para el suelo natural de la cantera Pacaraos se muestran a continuación:

**Tabla 7.**

*Límites de Atterberg de la Cantera Pacaraos*

| **Cantera Pacaraos (Km 79+500)** | |
|---|---|
| Límite Líquido | 33 |
| Límite Plástico | 11 |
| Índice de Plasticidad | 22 |

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos del ensayo de límites de Atterberg indican que el material de la cantera Pacaraos presenta un límite líquido de 33 % y un límite plástico de 11 %, lo que da como resultado un índice de plasticidad (IP) de 22 %. Este valor refleja una plasticidad media a alta, lo que sugiere la presencia de fracción fina de tipo arcilloso. Según la clasificación del sistema SUCS, este comportamiento es típico de una arena limosa o grava arcillosa con finos plásticos (posiblemente clasificada como SM o SC, según la granulometría). En el sistema AASHTO, con un contenido de finos menor al 35 % y un IP entre 10 % y 35 %, el material se clasifica como un suelo A-2-4, que corresponde a un suelo granular con finos plásticos, aceptable para

estabilización con cemento, aunque con precauciones respecto a su comportamiento frente a la humedad.

**Tabla 8.**

*Análisis granulométrico por tamizado del material de la cantera Francopampa*

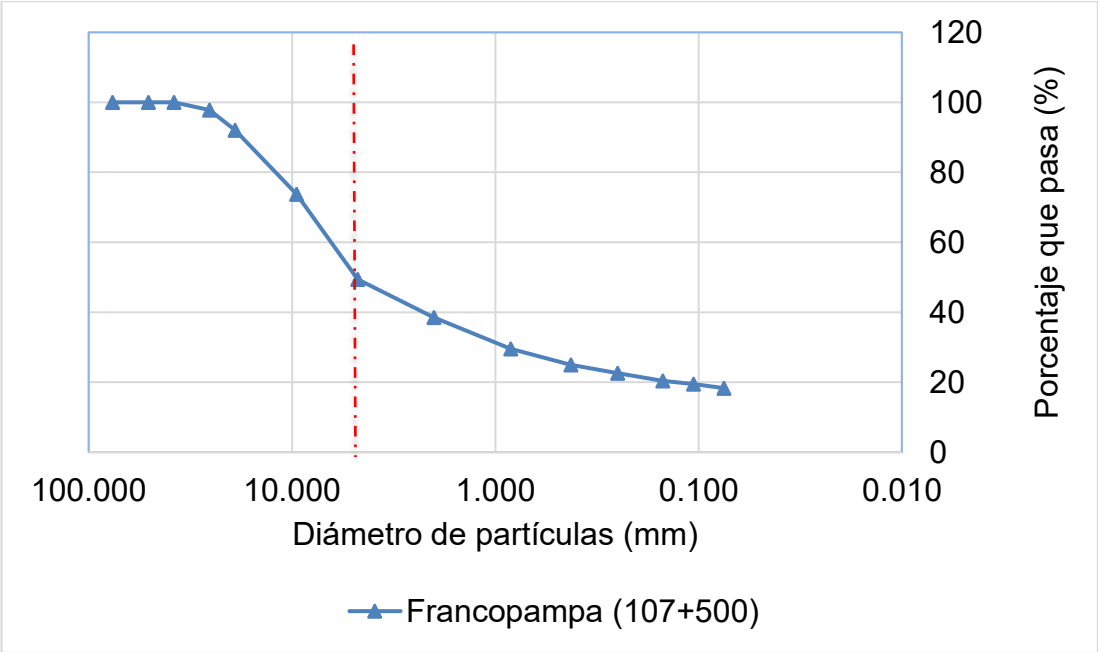
| Malla | Abertura | % que pasa |
|---|---|---|
| 3 | 76.2 | 100 |
| 2 | 50.8 | 100 |
| 1 1/2 | 38.1 | 100 |
| 1 | 25.4 | 97.8 |
| 3/4 | 19 | 92 |
| 3/8 | 9.5 | 73.7 |
| N° 4 | 4.75 | 49.4 |
| N° 10 | 2 | 38.5 |
| N° 20 | 0.84 | 29.5 |
| N° 60 | 0.425 | 25 |
| N° 100 | 0.25 | 22.6 |
| N° 140 | 0.15 | 20.4 |
| N° 140 | 0.106 | 19.5 |
| N° 200 | 0.075 | 18.3 |

Fuente: Elaboración propia.

El análisis granulométrico del material proveniente de la cantera Francopampa muestra un comportamiento similar al de un suelo granular con presencia moderada de finos. El porcentaje que pasa por la malla N.º 200 es de 18.3 %, lo cual indica que el material se mantiene dentro del rango permitido para ser considerado un suelo granular según la clasificación AASHTO. El 49.4 % del material pasa por la malla N.º 4 (4.75 mm), lo que sugiere una mezcla equilibrada de gravas y arenas. Este tipo de suelo puede clasificarse como A-2-4 o A-2-5, dependiendo de los límites de plasticidad, y según SUCS, probablemente corresponda a una arena limosa o grava con finos plásticos. Aunque no es un material óptimo en estado natural, puede ser mejorado eficazmente mediante estabilización con cemento, especialmente para aplicaciones en afirmados de carreteras.

**Figura 13.**

Análisis Granulométrico por Tamizado Cantera Francopampa (Km 107+500)




Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9.**

*Límites de Atterberg de la Cantera Francopampa*

| **Cantera Francopampa (Km 107+500)** | |
|---|---|
| Límite Líquido | 19 |
| Límite Plástico | 17 |
| Índice de Plasticidad | 2 |

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del ensayo de límites de Atterberg del material de la cantera Francopampa indican un límite líquido de 19 %, un límite plástico de 17 % y un índice de plasticidad (IP) de solo 2 %. Este valor extremadamente bajo sugiere que el suelo posee una plasticidad casi nula, siendo el comportamiento más cercano al de un material granular con finos no plásticos. En ese sentido, según la clasificación SUCS, este tipo de suelo podría corresponder a una arena mal graduada con finos (SP-SM), mientras que según AASHTO, con un 18.3 % de finos (ver Tabla 8) y bajo IP, se clasifica como A-2-4, es decir, un suelo granular con comportamiento favorable para estabilización. Esta baja plasticidad es ventajosa para procesos de compactación y mejora la estabilidad frente a ciclos de humedecimiento y

secado, lo que lo convierte en un material apto para ser tratado con cemento en aplicaciones de infraestructura vial.

**Figura 14.**

Ensayo de límites de Atterberg

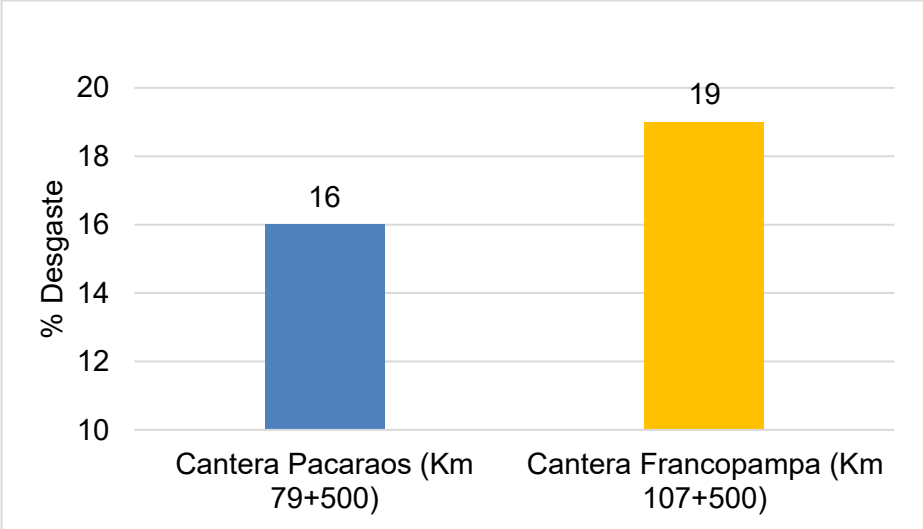



Fuente: Elaboración propia.

### *4.1.2.2. Desgaste por abrasión*

**Figura 15.**

Desgaste por abrasión en máquina de Los Ángeles



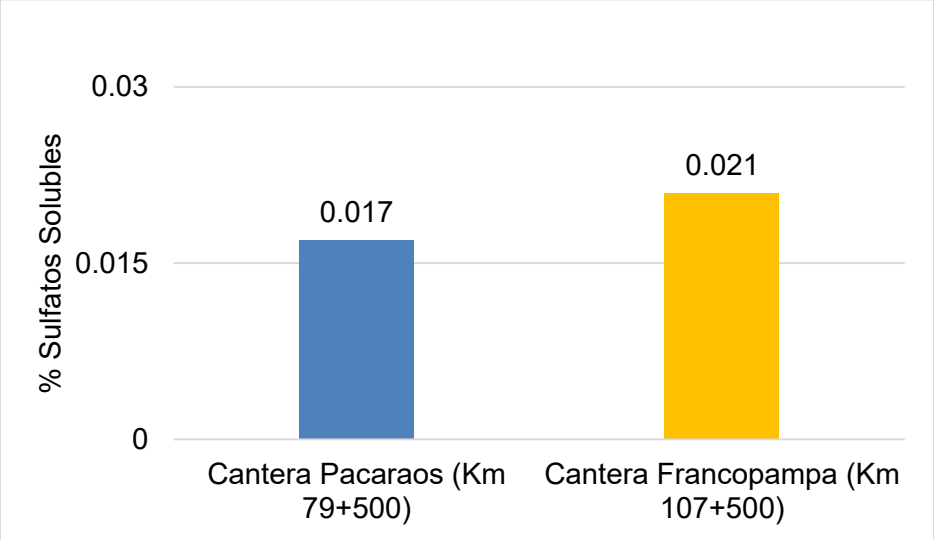

Fuente: Elaboración propia.

La Figura N° 15, se aprecia los porcentajes de desgaste para las canteras Pacaraos y Francopampa respectivamente. Estos valores son inferiores al porcentaje máximo (50%) que establece la normativa vigente para uso de las canteras para ser estabilizadas con cemento.

#### *4.1.2.3. Sulfatos solubles en suelos*

**Figura 16.**

Sulfatos solubles en suelos

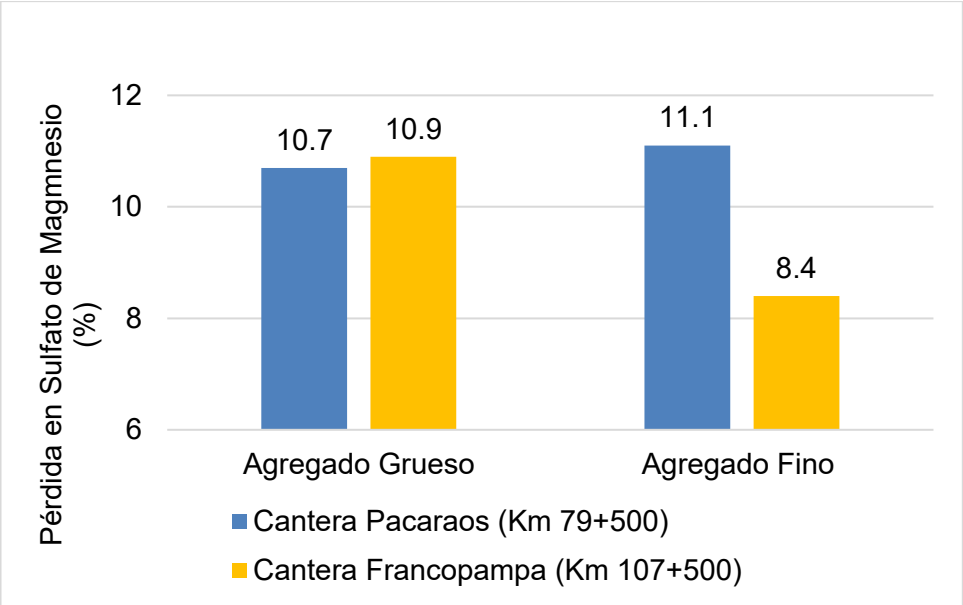



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N° 16 se aprecia los porcentajes de sulfatos solubles de los suelos extraídos siendo 0.017% y 0.021% para las canteras Pacaraos y Francopampa respectivamente. Estos valores se encuentran debajo del porcentaje máximo (0.2%) que establece la normativa vigente para uso de las canteras para ser estabilizadas con cemento.

**Figura 17.**

Durabilidad en sulfato de magnesio en suelos




Fuente: Elaboración propia.

La Figura N° 17 muestra los valores obtenidos de pérdidas en sulfatos de magnesio los cuales están por debajo de los límites máximos permisibles para ambas canteras, siendo 18% para el agregado grueso de y 15% para materiales finos.

### *4.1.3. Ensayos de laboratorio para estudio de mezclas suelo cemento*

Para la elaboración de las probetas se realizó la incorporación de 3%, 4%, 5% y 7% en peso de cemento Sol, tomando como referencia la clasificación de suelos y los porcentajes referenciales indicados por el PCA (1992).

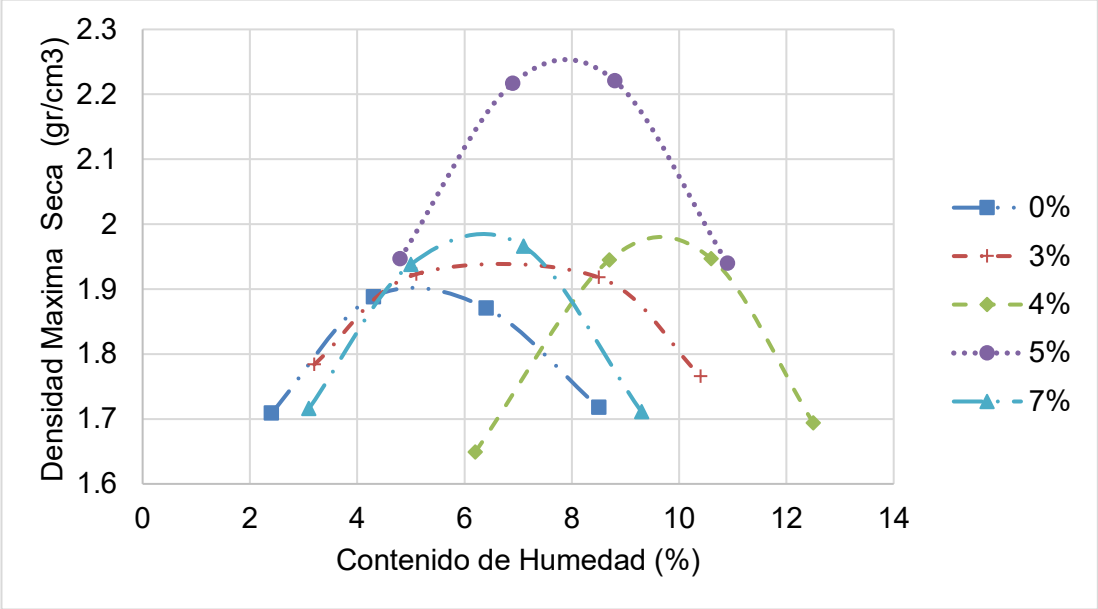
#### *4.1.3.1. Relación humedad densidad suelo cemento*

Uno de los aspectos fundamentales para garantizar el buen desempeño del suelo estabilizado con cemento es determinar el contenido óptimo de humedad y la densidad máxima seca que se puede alcanzar durante el proceso de compactación. Estas propiedades influyen directamente en la resistencia y durabilidad del material estabilizado, especialmente frente a la acción de ciclos de humedecimiento y secado. Para ello, se empleó el ensayo Proctor Estándar, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D698, aplicando distintas dosificaciones de cemento (3 %, 4 %, 5 % y 7 % en peso), además de una muestra patrón sin adición de cemento (0 %). Esta

metodología permite evaluar cómo varía la densidad del suelo en función del contenido de humedad para cada mezcla, y así identificar la combinación más eficiente desde el punto de vista técnico y económico. Los resultados obtenidos se presentan a continuación en la Figura 18.

**Figura 18.**

Resultados de Proctor Estándar de Cantera Pacaraos (Km 97+500)




Fuente: Elaboración propia.

El gráfico de la Figura 18 muestra la relación entre el contenido de humedad y la densidad máxima seca del material de la cantera Pacaraos con distintas proporciones de adición de cemento (0 %, 3 %, 4 %, 5 % y 7 %). Se observa que, conforme aumenta la proporción de cemento hasta un 5 %, la densidad máxima seca también se incrementa, alcanzando un valor pico aproximado de 2.21 g/cm³ con un contenido óptimo de humedad cercano al 8 %. Este comportamiento indica una mejora en la compactibilidad del material debido al efecto aglomerante del cemento, el cual favorece la reducción de vacíos y el incremento de la cohesión entre partículas. Sin embargo, con una adición de 7 % de cemento, se evidencia una disminución en la densidad máxima seca, probablemente debido a un exceso de ligante que interfiere en la estructura granular del suelo, aumentando la porosidad y dificultando una compactación eficiente. Estos resultados sugieren que una dosificación óptima de entre 4 % y 5 % de cemento proporciona las mejores condiciones

de compactación para el suelo evaluado, lo cual es crucial para garantizar su desempeño mecánico y durabilidad cuando es expuesto a condiciones climáticas variables.

**Figura 19.**

Ensayo proctor estándar




Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10.**

*Resultados de la variación del contenido óptimo de humedad según la proporción de adición de cemento para el material de la cantera Pacaraos (km 79+500)*

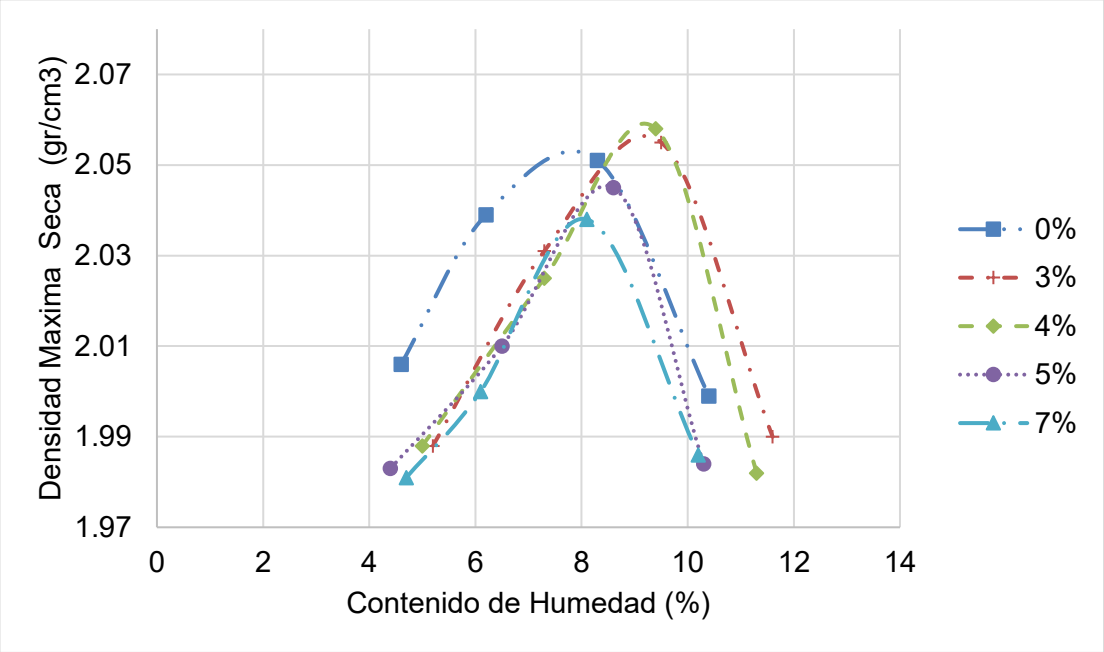
| % de cemento | Humedad Óptima | Densidad seca máxima |
|---|---|---|
| 0 | 5.1 | 1.903 |
| 3 | 6.7 | 1.963 |
| 4 | 9.7 | 1.975 |
| 5 | 7.9 | 2.250 |
| 7 | 6.3 | 1.986 |

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados obtenidos de la relación humedad densidad seca de las muestras suelo cemento para el material de la cantera Pacaraos, se puede apreciar adición hasta el 4% de cemento produce el incremento del contenido óptimo de humedad y a partir del del 5% de adición de cemento disminuye el contenido óptimo de humedad de igual manera con la densidad seca máxima.

**Figura 20.**

Resultados de Proctor Estándar de Cantera Pacaraos (Km 97+500)




Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 11.**

*Resultados de contenidos óptimos de humedad y densidades máximas secas con adición de cemento en la cantera Francopampa (km 107+500)*

| % de cemento | Humedad Óptima | Densidad seca máxima |
|---|---|---|
| 0 | 7.8 | 2.054 |
| 3 | 9.2 | 2.056 |
| 4 | 9.3 | 2.059 |
| 5 | 8.5 | 2.045 |
| 7 | 8.4 | 2.040 |

Fuente: Elaboración propia.

Para la Cantera Francopampa, los resultados muestran un comportamiento similar a los obtenidos en la Cantera Pacaraos, se puede apreciar que el contenido óptimo de humedad y densidad seca máxima incrementan hasta el 4% de adición de cemento y a partir del 5% ambos valores empiezan a disminuir.

#### *4.1.3.2. Resistencia a compresión simple de probetas suelo cemento*

Con el objetivo de evaluar el comportamiento mecánico del suelo estabilizado frente a esfuerzos uniaxiales, se realizaron ensayos de resistencia a compresión simple sobre probetas elaboradas con distintas proporciones de cemento sol (3 %, 4 %, 5 % y 7 %) para cada una de las canteras estudiadas. Estos ensayos permiten determinar la capacidad del suelo-cemento para soportar cargas sin presentar deformaciones plásticas o fallos estructurales, lo cual es fundamental en el diseño de capas de afirmado en infraestructura vial. Las pruebas fueron realizadas siguiendo los parámetros del método PCA (1992), y los resultados obtenidos se presentan a continuación en la Tabla 12.

**Tabla 12.**

*Resultados de los ensayos de resistencia a compresión simple de las canteras Pacaraos y Francopampa*

| Proporción cemento (%) | Cantera Pacaraos | Cantera Francopampa |
|---|---|---|
| 3 | 10.55 | 21.55 |
| 4 | 11.85 | 22.95 |
| 5 | 18.65 | 24.70 |
| 7 | 18.85 | 31.50 |

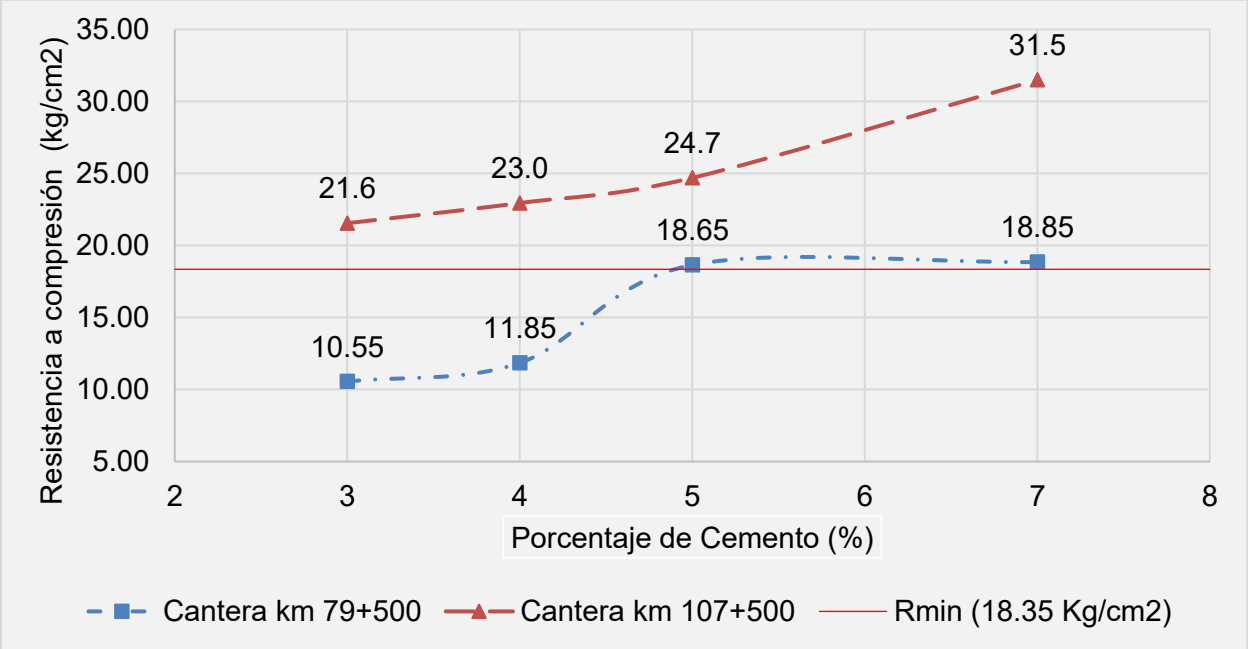
Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran un comportamiento creciente de la resistencia a compresión simple conforme se incrementa la proporción de cemento en ambas canteras. En el caso de Pacaraos, la resistencia aumenta desde 10.55 kg/cm² con 3 % de cemento, hasta alcanzar 18.85 kg/cm² con 7 %, evidenciando una mejora gradual pero menos pronunciada en comparación

con la cantera Francopampa, donde los valores van desde 21.55 kg/cm² hasta 31.50 kg/cm². Esta diferencia significativa se explica por las mejores condiciones físicas del material base de Francopampa, el cual presenta menor plasticidad y mayor calidad granulométrica, lo que favorece una mejor reacción puzolánica y una estructura más compacta y cohesionada. Es importante destacar que, en todos los casos, los valores de resistencia superan ampliamente el mínimo de 1.8 MPa (18 kg/cm²) exigido por el PCA para suelos estabilizados. Esto indica que ambas canteras son técnicamente viables para ser empleadas en estabilización, siendo Francopampa la opción más eficiente en términos de respuesta mecánica frente a cargas uniaxiales.

**Figura 21.**

Resultados de ensayos de resistencia a compresión de las probetas suelo cemento



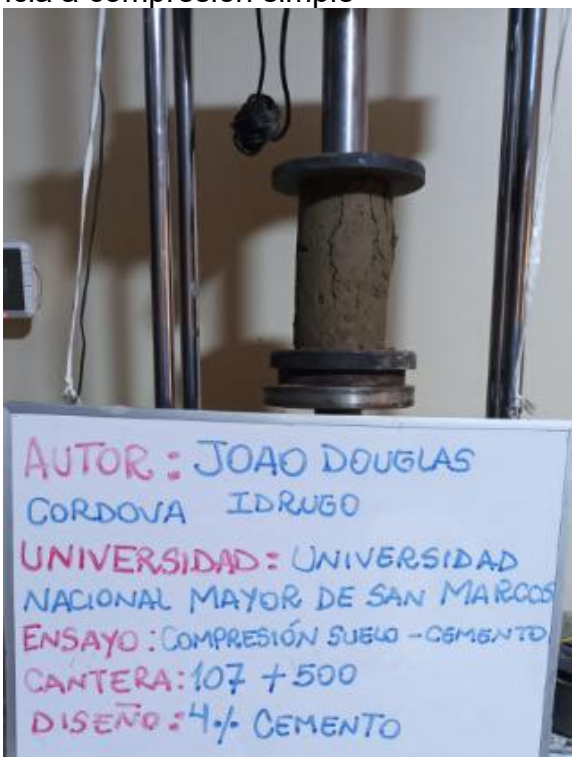

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 21 muestra que, para ambos materiales, la resistencia a compresión simple aumenta con el incremento del porcentaje de cemento. En el caso de la cantera Francopampa (Km 107+500), se observa una tendencia ascendente continua que supera ampliamente el umbral mínimo de 18.35 kg/cm² establecido por el PCA, alcanzando una resistencia máxima de 31.5 kg/cm² con 7 % de cemento. Por su parte, la cantera Pacaraos (Km 79+500)

presenta una mejora progresiva hasta alcanzar una meseta entre los 5 % y 7 %, donde la resistencia se estabiliza alrededor de los 18.85 kg/cm², apenas por encima del valor mínimo exigido. Esto sugiere que el suelo de Francopampa no solo responde mejor al proceso de estabilización, sino que además permite alcanzar mayores resistencias con menor esfuerzo de compactación, lo cual representa una ventaja técnica y económica para su aplicación en obras viales.

**Figura 22.**

Ensayo de resistencia a compresión simple




Fuente: Elaboración propia

La Figura N° 21, se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión simple a los 7 días de curado húmedo, donde se puede apreciar que la resistencia a compresión mínima (18.35 kg/cm2) en la cantera Pacaraos se obtiene con el 4.95% de adición de cemento, por otra parte, en la cantera Francopampa el porcentaje de cemento se encuentra por debajo del 3%, siendo esta última la más favorable ya que con requiere menor proporción de cemento para lograr alcanzar la resistencia según la normativa vigente.

### 4.1.3.3. Humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento

**Tabla 13.**

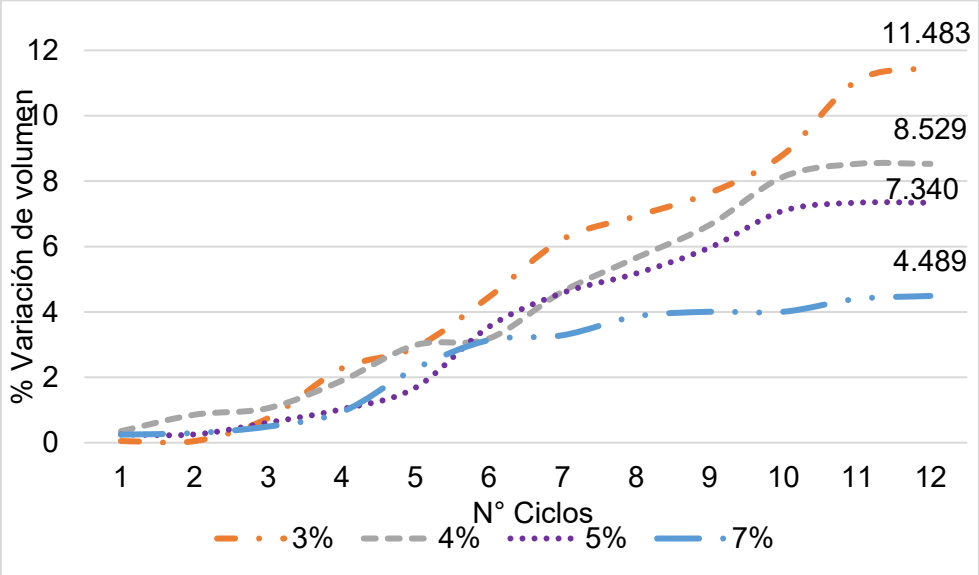
*Variación de volumen en porcentaje de la Cantera Pacaraos*

| Ciclo | Variación en volumen (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 3% | 4% | 5% | 7% |
| 1 | 0.050 | 0.353 | 0.253 | 0.246 |
| 2 | 0.050 | 0.857 | 0.253 | 0.296 |
| 3 | 0.752 | 1.058 | 0.615 | 0.494 |
| 4 | 2.272 | 1.895 | 1.025 | 0.941 |
| 5 | 2.911 | 2.984 | 1.680 | 2.262 |
| 6 | 4.457 | 3.186 | 3.544 | 3.137 |
| 7 | 6.220 | 4.621 | 4.582 | 3.286 |
| 8 | 6.929 | 5.653 | 5.176 | 3.863 |
| 9 | 7.638 | 6.660 | 5.967 | 4.005 |
| 10 | 8.813 | 8.133 | 7.094 | 4.005 |
| 11 | 11.067 | 8.529 | 7.340 | 4.396 |
| 12 | 11.483 | 8.529 | 7.340 | 4.489 |

**Nota:** El porcentaje de variación en volumen del espécimen N° 1 se produce a los 12 ciclos del ensayo de humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento.

**Figura 23.**

Variación del volumen de la cantera Pacaraos durante los 12 ciclos




Fuente: Elaboración propia.

La figura n° 23, muestra la relación que existe entre el número de ciclos y el porcentaje de variación de volumen que se presenta en el espécimen n° 1 de las mezclas de suelo cemento con adición de 3%, 4%, 5% y 7%; Los resultados demuestran que el porcentaje de variación de volumen máximo es menor cuando existe mayor cantidad de cemento en la mezcla; así mismo en la tabla n° 13 se evidencia que el porcentaje de variación en volumen incrementa a medida que aumenta el número de ciclos.

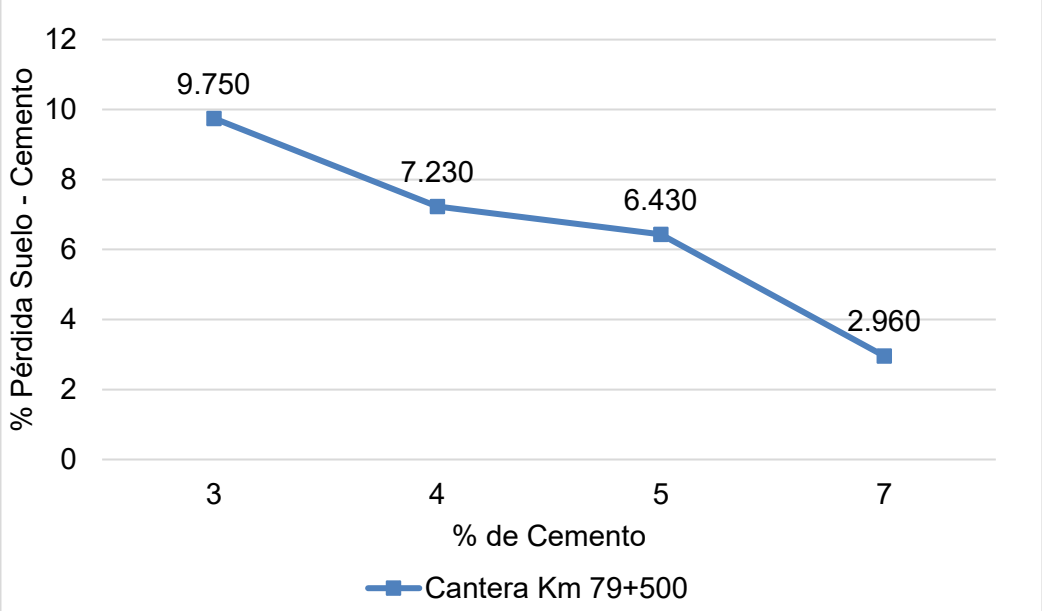
**Tabla 14.**
*Perdida de suelo cemento en porcentaje de la Cantera Pacaraos.*

| Proporción cemento (%) | Pérdida suelo cemento (%) |
|---|---|
| 3 | 9.750 |
| 4 | 7.230 |
| 5 | 6.430 |
| 7 | 2.960 |

Fuente: Elaboración propia

**Figura 24.**

Porcentaje de pérdidas de suelo- cemento para las combinaciones de 3% 4% 5% y 7% de la cantera Pacaraos




Fuente: Elaboración propia.

El material extraído de la cantera Pacaraos según la clasificación AASHTO corresponde a un suelo A-2-6; Los resultados obtenidos que se muestran en la tabla n°12, demuestran que las pérdidas de suelo cemento de

las combinaciones de los especímenes n°2 con suelo cemento con adición de 3%, 4% 5% y 7%, se encuentran con valores inferiores a la pérdida máxima del 14% que se considera la normativa vigente.

**Figura 25.**

Ensayo de humedecimiento secado



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 26.**

Ensayo de humedecimiento secado



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15.**

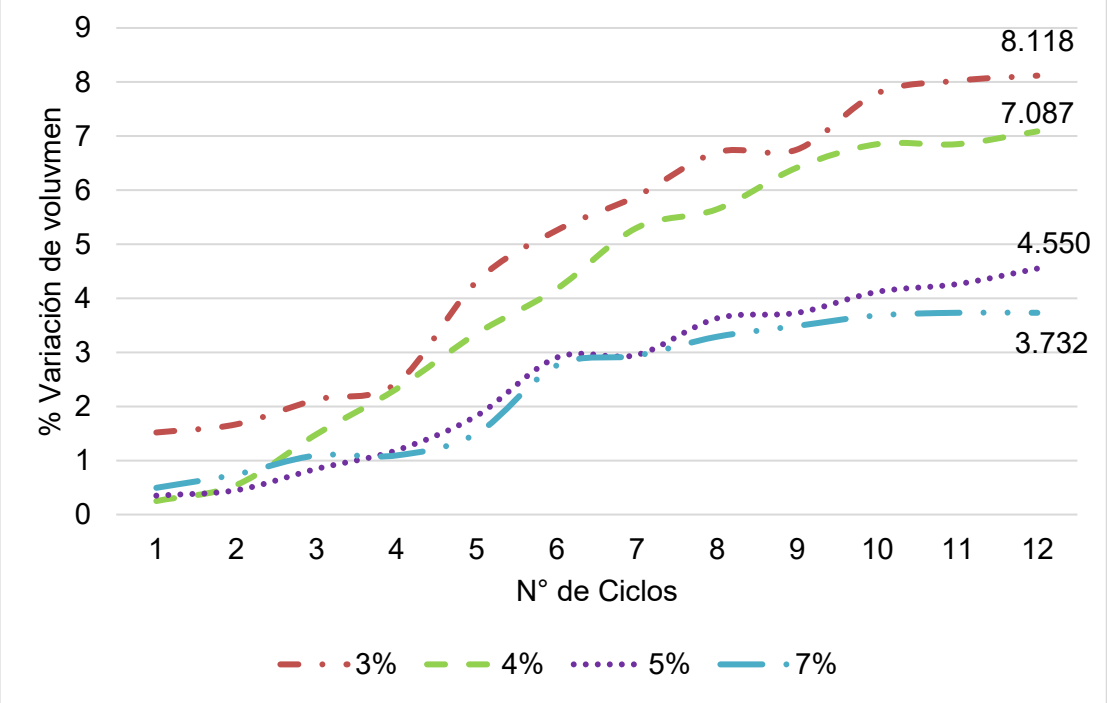
*Variación de volumen en porcentaje de la Cantera Francopampa.*

| Ciclo | Variación en volumen (%) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 3% | 4% | 5% | 7% |
| 1 | 1.518 | 0.25 | 0.35 | 0.495 |
| 2 | 1.669 | 0.548 | 0.451 | 0.744 |
| 3 | 2.127 | 1.486 | 0.845 | 1.094 |
| 4 | 2.428 | 2.324 | 1.189 | 1.094 |
| 5 | 4.31 | 3.349 | 1.828 | 1.499 |
| 6 | 5.257 | 4.175 | 2.904 | 2.759 |
| 7 | 5.891 | 5.305 | 2.954 | 2.94 |
| 8 | 6.7 | 5.647 | 3.63 | 3.289 |
| 9 | 6.751 | 6.417 | 3.731 | 3.489 |
| 10 | 7.792 | 6.851 | 4.119 | 3.682 |
| 11 | 8.024 | 6.851 | 4.263 | 3.732 |
| 12 | 8.118 | 7.087 | 4.55 | 3.732 |

**Nota:** La pérdida máxima del espécimen N° 1 se produce a los 12 ciclos del ensayo de humedecimiento y secado de mezclas de suelo-cemento.

**Figura 27.**

Porcentaje de variación del volumen de la cantera Francopampa durante los 12 ciclos




Fuente: Elaboración propia.

La figura n° 27, muestra la relación que existe entre el número de ciclos y el porcentaje de variación de volumen que se presenta en el espécimen n° 1 de las mezclas de suelo cemento con adición de 3%, 4%, 5% y 7%; se puede apreciar que con adición de 5% y 7% existe una variación uniforme del porcentaje de volumen; así mismo en la tabla n° 15 se evidencia que el porcentaje de variación en volumen incrementa a medida que aumenta el número de ciclos.

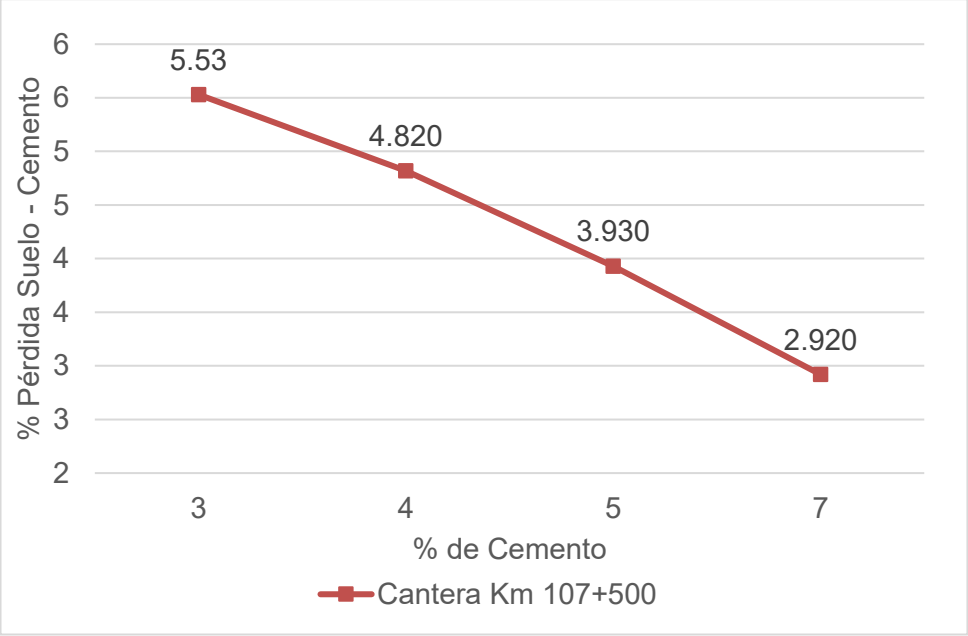
**Tabla 16.**
*Pérdida de suelo cemento en porcentaje de la Cantera Francopampa*

| Proporción cemento (%) | Pérdida suelo - cemento (%) |
|---|---|
| 3 | 5.53 |
| 4 | 4.82 |
| 5 | 3.93 |
| 7 | 2.92 |

Fuente: Elaboración propia

**Figura 28.**

Porcentaje de pérdidas de suelo- cemento para las combinaciones de 3% 4% 5% y 7% de la cantera Francopampa




Fuente: Elaboración propia

El material extraído de la cantera Francopampa según la clasificación AASHTO corresponde a un suelo A-2-4; Los resultados obtenidos que se muestran en la tabla n°16, demuestran que las pérdidas de suelo cemento de las combinaciones de los especímenes n°2 con suelo cemento con adición de 3%, 4% 5% y 7%, se encuentran con valores inferiores a la pérdida máxima del 10% que se considera la normativa vigente.

En el estudio realizado por Guerra (2022), realizaron la estabilización de un suelo arcillo A-6, donde se demostró que mediante la adición del cemento la máxima densidad seca tiende a aumentar y el contenido óptimo de humedad aumenta y vuelve a disminuir y que la resistencia a compresión es mejor con la adición de cemento y que las pérdidas de suelo cemento se producen con menor adición de cemento y el máximo cambio volumétrico se producen en el ciclo 12; en comparación con nuestro estudio; existe difencia en la máxima densidad seca y el contenido óptimo de humedad ya que ambos inicialmente aumentan y posteriormente ambos empiezan a disminuir para los materiales de las canteras Pacaraos y Francopampa siendo suelos A-2-6 y A-2-4 respectivamente, sin embargo existe similitud en el comportamiento de los ensayos de resistencia a compresión simple y humedecimiento secado al ser similares.

## 4.2. Discusión de resultados

En esta investigación se evidenció diferencias claras entre los materiales analizados, especialmente en su comportamiento mecánico y en su durabilidad frente a los ciclos de humedecimiento–secado. El material con mejores propiedades iniciales mostró mayor resistencia, menor desgaste y un comportamiento más estable a lo largo de los ensayos. Este patrón coincide con lo reportado por Jaillita (2023) y Reyes (2023), quienes identificaron que los suelos de baja plasticidad responden mejor al cemento y mantienen su integridad estructural. Asimismo, los resultados se relacionan con las conclusiones de Jiménez (2022), quien señala que los suelos de origen coluvial presentan variabilidad y menor uniformidad. Lo encontrado también guarda coherencia con Aguila y Márquez (2021) y con Llano (2021), quienes

sostienen que el cemento es más efectivo cuando el material base posee propiedades geotécnicas favorables. De esta manera, el estudio confirma que la calidad geológica y física del material influye directamente en el desempeño del suelo-cemento.

Los resultados demostraron que la plasticidad y la granulometría ejercen una influencia determinante en la respuesta del material estabilizado frente a los ciclos húmedo–seco. Los suelos con mayor contenido de finos y mayor plasticidad registraron pérdidas superiores y un desgaste más acelerado. Esta tendencia es coherente con los hallazgos de Jaillita (2023), quien comprobó que los suelos no plásticos alcanzan mejor desempeño estructural con cantidades moderadas de cemento. De igual manera, Reyes (2023) señala que la durabilidad depende de las propiedades iniciales del suelo. Jiménez (2022) también advierte que la naturaleza del depósito influye en la calidad de la estabilización. Por su parte, los estudios de Llano (2021) y Guerra (2022) refuerzan la idea de que la mineralogía y la densidad del suelo son factores decisivos. En conjunto, los resultados se integran de forma consistente con la evidencia previa, reafirmando el rol crítico de la plasticidad y la granulometría.

Los ensayos de resistencia a la compresión simple evidenciaron que el aumento del contenido de cemento mejora de manera significativa el comportamiento estructural del suelo estabilizado. Esta tendencia coincide con lo presentado por Reyes (2023), quien determinó que un contenido óptimo de cemento permite alcanzar valores superiores a los requerimientos normativos. Asimismo, Guerra (2022) concluye que la resistencia del suelo-cemento aumenta debido a la reducción de los vacíos y al fortalecimiento de la estructura interna. Asimismo, Aguila y Márquez (2021) y Pezo (2018) documentan incrementos sostenidos en la resistencia cuando el cemento se emplea como estabilizante. Los estudios de Clemente y Ramírez (2019) y Alzate (2018) también muestran que la magnitud del incremento depende de la calidad del suelo base. Por tanto, los resultados se alinean con la literatura y corroboran que la resistencia depende tanto de la cantidad de cemento como de las características intrínsecas del material.

El análisis de los ciclos de humedecimiento–secado mostró que el desgaste del material disminuye conforme aumenta la proporción de cemento, aunque esta mejora varía según la calidad del suelo. Los suelos con mayores contenidos de finos y menor uniformidad presentaron mayores pérdidas y degradación superficial. Este comportamiento coincide con lo registrado por Reyes (2023), quien observó que suelos con mejores propiedades iniciales presentan pérdidas inferiores. Del mismo modo, los resultados se alinean con los de Guerra (2022), quien identificó que la disminución del desgaste depende directamente de una proporción suficiente de cemento. Llano (2021) también enfatiza que la durabilidad está asociada a la mineralogía y a la estructura interna del suelo. Estudios como los de Pezo (2018) y Clemente y Ramírez (2019) confirman que la pérdida por ciclos es menor cuando el material posee una estructura granular estable. De este modo, los resultados corroboran la evidencia existente en la literatura.

Al contrastar los resultados con estudios realizados en otras canteras, se observa un comportamiento coherente con Jiménez (2022) que reportó que los suelos provenientes de la cantera Cáceres lograron un mejor desempeño estructural debido a su origen geológico homogéneo, situación similar a la observada en el material de mejor calidad evaluado en esta investigación. De manera comparable, Clemente y Ramírez (2019) describen suelos A-2-7 con altos valores de CBR y buena respuesta al cemento. En contraste, Alzate (2018) halló porcentajes óptimos más bajos debido a la mineralogía del suelo. Esta comparación demuestra que la variabilidad entre canteras es un factor común y que la estabilización no depende exclusivamente del cemento. Los resultados del presente estudio se integran adecuadamente dentro de esta tendencia general, reafirmando que la naturaleza del suelo es determinante en su comportamiento.

El estudio permitió identificar que la naturaleza geológica del material es uno de los factores más importantes en el desempeño del suelo-cemento. Los suelos provenientes de depósitos más uniformes presentaron una estructura más estable y mejor resistencia durante los ensayos. Este hallazgo

coincide con las conclusiones de Llano (2021), quien resalta que la mineralogía condiciona la durabilidad frente al intemperismo. De igual forma, Guerra (2022) establece que la adición de cemento es más efectiva cuando el suelo base posee una estructura interna favorable. Las observaciones de Jiménez (2022) sobre la variabilidad de los suelos coluviales también se reflejan en este estudio. Además, Pezo (2018) demostró diferencias considerables entre materiales de canteras cercanas, lo que refuerza la importancia del origen geológico. En síntesis, el comportamiento observado es coherente con lo documentado por múltiples autores y confirma la relevancia de caracterizar adecuadamente la cantera antes de definir un proceso de estabilización.

Los resultados obtenidos permiten concluir que la estabilización con cemento debe abordarse considerando cuidadosamente la calidad del material disponible, ya que no todos los suelos responden de la misma manera. Este planteamiento coincide con lo reportado por Reyes (2023), Pezo (2018) y Aguila y Márquez (2021), quienes enfatizan que la eficacia del cemento está condicionada por la naturaleza del suelo base. Asimismo, los hallazgos son consistentes con las observaciones de Llano (2021), quien destaca la necesidad de evaluar el comportamiento frente al intemperismo en aplicaciones viales. A partir de esta comparación, se reafirma que la estabilización no puede aplicarse de forma uniforme, sino que requiere un análisis detallado de la cantera y de la proporción de cemento. Los resultados contribuyen a fortalecer criterios técnicos clave para asegurar la durabilidad y el desempeño mecánico en proyectos de infraestructura vial, especialmente en zonas expuestas a variabilidad climática.

## 4.3. Prueba de hipótesis

### *Prueba de hipótesis específica 1*

- H0: No existen diferencias significativas en las propiedades físicas entre los suelos de las canteras Pacaraos y Francopampa.

- H1: Existen diferencias significativas en las propiedades físicas entre los suelos de las canteras Pacaraos y Francopampa.

Variable: Índice de Plasticidad (IP), Densidad Seca Máxima (DSM), Humedad Óptima (HO)

Nivel de significancia: 5% (α = 0.05)

Prueba Estadística: U de Mann-Whitney

**Tabla 17.**

*Resultados de la prueba estadística*

| Variable | U calculado | p-valor | Decisión |
|---|---|---|---|
| Índice de Plasticidad | 0.0 | 0.002 | Rechazar H0 |
| Densidad Seca Máxima | 10.0 | 0.047 | Rechazar H0 |
| Humedad Óptima | 15.0 | 0.046 | Rechazar H0 |

**Conclusión:** Se evidencia diferencia significativa en el índice de plasticidad, la densidad seca máxima y la humedad óptima entre los suelos de las canteras, favoreciendo a Francopampa.

***Prueba de hipótesis específica 2***

- H0: No hay diferencias significativas en el comportamiento físico-mecánico del suelo estabilizado con cemento entre Pacaraos y Francopampa.
- H1: Sí hay diferencias significativas en el comportamiento físico-mecánico entre ambos suelos estabilizados.

Variable: Resistencia a Compresión Simple (RCS)

Nivel de significancia: 5% (α= 0.05)

Prueba Estadística: U de Mann-Whitney

**Tabla 18.**

*Resultados de la prueba estadística por porcentaje de cemento*

| % de Cemento | U calculado | p-valor | Decisión |
|---|---|---|---|
| 3 % | 0.0 | 0.004 | Rechazar H0 |
| 4 % | 0.0 | 0.003 | Rechazar H0 |
| 5 % | 0.0 | 0.002 | Rechazar H0 |
| 7 % | 1.0 | 0.006 | Rechazar H0 |

**Conclusión:** La resistencia a compresión simple mostró diferencias estadísticas significativas para todos los porcentajes de cemento, siendo el suelo de Francopampa el que alcanza mayores valores de resistencia.

***Prueba de hipótesis específica 3***

- H0: No existe diferencia significativa en el desempeño frente a ciclos de humedecimiento y secado entre Pacaraos y Francopampa.
- H1: Sí existe diferencia significativa en el desempeño frente a dichos ciclos entre ambas canteras.

Variable: Resistencia a Compresión después del ciclo húmedo-seco

Nivel de significancia: 5% (α = 0.05)

Prueba Estadística: U de Mann-Whitney

**Tabla 19.**

*Resultados de la prueba estadística*

| Cantera | Rango Promedio | RCS Post-Ciclo (kg/cm²) | p-valor |
|---|---|---|---|
| Pacaraos | 10.0 | 12.8 | 0.018 |
| Francopampa | 14.0 | 26.9 | |

**Conclusión:** Se evidencia una diferencia estadísticamente significativa en la resistencia a compresión posterior a los ciclos húmedo-seco, lo que demuestra que el suelo de Francopampa posee mejor durabilidad estructural frente a condiciones ambientales variables.

# CONCLUSIONES

- La presente investigación demostró que es técnicamente viable y eficaz estabilizar suelos de las canteras Pacaraos y Francopampa mediante la adición de cemento, permitiendo mejorar significativamente sus propiedades físicas y mecánicas para su uso en afirmado vial. Se comprobó que el comportamiento de ambos materiales frente a los procesos de humedecimiento y secado es favorable, especialmente en el caso de Francopampa, cuya baja plasticidad y mejor gradación contribuyen a alcanzar mayores resistencias con menor proporción de cemento, cumpliendo así con los criterios establecidos por el PCA (1992) para suelos estabilizados.
- El análisis granulométrico, junto con los límites de Atterberg, permitió establecer que los materiales extraídos de las canteras presentan características geotécnicas adecuadas para ser estabilizados. Pacaraos mostró una textura más arcillosa y plasticidad media-alta (IP = 22 %), mientras que Francopampa evidenció una plasticidad muy baja (IP = 2 %), lo que se traduce en una mejor respuesta frente a procesos de compactación y estabilización. Ambos suelos se clasifican como materiales granulares según AASHTO.
- Los ensayos Proctor demostraron que la adición de cemento mejora la densidad seca máxima del suelo hasta alcanzar un valor óptimo con 5 % y 4% de cemento, mientras que los ensayos de compresión simple revelaron que el incremento del contenido de cemento se traduce en mayores resistencias mecánicas. Francopampa logró valores superiores (hasta 31.5 kg/cm²) respecto a Pacaraos (18.85 kg/cm²), debido a su menor plasticidad y mejor estructura granular, cumpliendo ambos con los requisitos del PCA, pero siendo Francopampa más eficiente técnicamente.
- La comparación del desempeño entre ambas canteras reveló que el suelo de Francopampa supera en calidad técnica al de Pacaraos, tanto en compactación como en resistencia a compresión. Si bien ambos son aptos para su estabilización, Francopampa requiere menor contenido

de cemento para alcanzar los valores exigidos por normativa, lo que representa una ventaja económica y operativa. Por tanto, se concluye que Francopampa es el material más adecuado para ser empleado en obras viales que demanden afirmados durables y resistentes a ciclos ambientales.

# RECOMENDACIONES

- Dado que ambos materiales son técnicamente viables para estabilización con cemento, se recomienda fomentar el uso de suelos locales estabilizados como alternativa sostenible en proyectos viales de bajo y mediano tránsito, promoviendo así el aprovechamiento de recursos disponibles en la región, reduciendo costos de transporte y el impacto ambiental asociado al uso de materiales convencionales.
- Se recomienda realizar una caracterización geotécnica previa en futuras canteras de extracción para determinar la viabilidad de estabilización con cemento, priorizando aquellas con baja plasticidad y adecuada distribución granulométrica, como Francopampa, lo cual optimiza los resultados técnicos y reduce la demanda de ligantes estabilizantes.
- Se sugiere adoptar una dosificación óptima de cemento del 4 % al 5 % para materiales similares a Francopampa, y del 5 % al 7 % para materiales como Pacaraos, con el fin de garantizar un equilibrio técnico-económico en términos de resistencia, durabilidad y eficiencia constructiva. Además, debe considerarse un control riguroso de la humedad óptima durante la compactación.
- Se recomienda priorizar el uso del material de la cantera Francopampa para obras de afirmado estabilizado en tramos críticos de la vía, debido a su mejor desempeño mecánico y menor requerimiento de cemento. En el caso de Pacaraos, se sugiere evaluar mezclas con suelos de mejor calidad o aplicar tratamientos complementarios para mejorar su desempeño estructural.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


AGUILA, A., & MÀRQUEZ, P. (2021). *ANÁLISIS DE ESTABILIZACIÓN CON EMULSIÓN ASFÁLTICA Y CON CEMENTO PORTLAND PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA BASE GRANULAR DEL PAVIMENTO* [Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD RICARDO PALMA]. https://hdl.handle.net/20.500.14138/4650

Alzate, A. (2018). *ESTABILIZACIÓN QUÍMICA DEL MATERIAL DE LA CANTERA DE COMBIA, UBICADA EN EL CORREGIMIENTO DE COMBIA, PEREIRA- RISARALDA*. https://hdl.handle.net/10901/17050

ASTM C131 - 20. (2020). *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. https://doi.org/10.1520/C0131_C0131M-20

ASTM D1557-12. (2021). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft3 (2,700 kN-m/m3))*. https://doi.org/10.1520/D1557-12R21

ASTM D4318-17e1. (2017). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. https://doi.org/10.1520/D4318-17E01

ASTM D6913-04. (2009). *Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*. https://doi.org/10.1520/D6913-04R09E01

Bada, D. F. (2016). *Aplicacion del Aditivo Químico Conaid para Atenuar la Plasticidad del Material Granular del Tramo de la Carretera Tauca – Bambas (km73 + 514 – km132 + 537) de la Ruta Nacional pe – 3na.* [Tesis de Maestría, UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO]. https://hdl.handle.net/20.500.12759/2530

Barbieri, D. M., Lou, B., Dyke, R. J., Chen, H., Wang, F., Dongmo-Engeland, B., Tingle, J. S., & Hoff, I. (2022). Stabilization of Coarse Aggregates with Traditional and Nontraditional Additives. *Journal of Materials in Civil Engineering*, *34*(9). https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0004406

Bravo Parrales, D. L., & Lumbi Tasgacho, W. J. (2020). Análisis de la estabilidad de talud en la carretera Guanujo – Echeandía en el sector Agua Blanca (Trabajo de titulación, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas, Carrera de Ingeniería Civil). Repositorio Institucional Universidad de Guayaquil. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/49577

Carrasco Díaz, S. (2017). Metodología de la investigación científica: Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación (2ª ed.). Editorial San Marcos.

https://es.scribd.com/document/575484795/CARRASCO-DIAZ-S-Metodologia-de-La-Investigacion-Cientifica-OCR-Por-Ganz1912

Clemente, L. N., & Ramírez, J. O. (2019). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ESTABILIZACIÓN DEL MATERIAL DE LA CANTERA "LA NEGRITA" UTILIZANDO CEMENTO, TERRASIL, ZYCOBOND* [PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE PREGRADO, UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA]. https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/4763

Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (7th ed.). Cengage Learning.

Duda, W. H. (1977). Cement-Data-Book / Manual tecnológico del cemento (traducción de Antonio Sarabia González). Bauverlag / Editorial Reverté. https://www.scribd.com/document/578875835/Cement-Data-Book-Duda-English

Dutta, S., Ramach, A., Murthy, R., Kim, D., & Samui, P. (2017). Prediction of compressive strength of self-compacting concrete using intelligent computational modeling. Computers, Materials & Continua, 53(2), 157–174. https://doi.org/10.3970/cmc.2017.053.167

González, L., & Castro, J. (2021). Impacto de los ciclos de humedecimiento-secado en la durabilidad de los suelos estabilizados con cemento. Revista Internacional de Geotecnia, 47(6), 225-237.

Guerra, M. (2022). *Efecto del humedecimiento y secado en el comportamiento hidromecánico de un suelo arcilloso estabilizado con cemento* [Trabajo de grado - Pregrado, Universidad de La Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/979

Guerra, P., & Guerra, C. (2020). Diseño de un pavimento rígido permeable como sistema urbano de drenaje sostenible. *Fides et Ratio - Revista de Difusión Cultural y Científica de La Universidad La Salle En Bolivia*, *20*(20), 121–140. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-081X2020000200008

Hartman, H. L., & Mutmansky, J. M. (2002). Introductory mining engineering (2.ª ed.). John Wiley & Sons.

Herrera, J., & Pía, F. (2006). Métodos de Minería a Cielo Abierto. In *Métodos de Minería a Cielo Abierto*. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. https://doi.org/10.20868/upm.book.10675

Herrera, J. (2018). Canteras de áridos y de minerales industriales. Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/70228/3/CANTERAS_ARIDOS_Y_MINERALES_INDUSTRIALES_LM1B3T2_R0-20181022.pdf

Herrera, J. M. (2019). Evaluación del efecto de la cal y cemento sobre las propiedades mecánicas de suelos arcillosos (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Católica de Santa María. https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12849/3157

Herrera, R., González, D., & Ramírez, L. (2020). Evaluación de la estabilidad de suelos estabilizados con cemento frente a ciclos de humedad y sequedad. Revista de Ingeniería Vial, 18(2), 12-25.

INEI. (2021). Compendio estadístico (Tomo 1) https://www.gob.pe/institucion/inei/informes-publicaciones/3000248-compendio-estadistico-peru-2021

IMT. (2021). Resumen boletines - Instituto Mexicano del Transporte. Instituto Mexicano del Transporte.

INGEMMET. (2003). *Mapa Geológico del Cuadrángulo de Canta (Sector I - Hoja 23-j-1)*.

INGEMMET. (2022). *ATLAS Catastral, Geològico, Minero y Metalùrgico* (M. Pàliza, Ed.; 1era ed.). https://hdl.handle.net/20.500.12544/4273

INVIAS. (2013). Estudio del comportamiento de las condiciones mecánicas del suelo-cemento sometido a ciclos de humedecimiento y secado. Instituto Nacional de Vías.

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis – Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Informe completo y resúmenes]. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/

ISSC. (1980). *Guía estratigráfica internacional: guía para la clasificación, terminología y procedimientos estratigráficos* (REVERTÉ. S.A). https://www.google.com.pe/books/edition/Gu%C3%ADa_estratigr%C3%A1fica_internacional/U0UM6XC38K0C?hl=es&gbpv=0&kptab=overview

Jaillita, F. (2023). *ANÁLISIS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO EN CAMINOS VECINALES DEL DISTRITO DE POCOLLAY-TACNA*. UNIVE RSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN .

JIMÈNEZ, I. (2022). *GEOLOGÍA Y GEOTECNIA PARA ESTABILIZAR CON CEMENTO PORTLAND EN EL MEJORAMIENTO Y CONSERVACIÓN DEL CORREDOR VIAL ARAPA - SANTA MARÍA TRAMO KM 34+500 AL KM 71+602* [Tèsis de Pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO]. http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18379

Khanday, S. A., Hussain, M., & Das, A. K. (2021). A Review on Chemical Stabilization of Peat. In *Geotechnical and Geological Engineering* (Vol. 39, Issue 8, pp. 5429–5443). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. https://doi.org/10.1007/s10706-021-01857-1

Kraemer, C., Pardillo, J. M., Rocci, S., Romana, M., Sànchez, V., & Del Val, M. (2004). *Ingenierìa de Carreteras: Vol. II* (C. Fernàndez, Ed.; 1ª Ediciòn).

Llano, E. (2021). *EFECTO DEL INTEMPERISMO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, EL DESEMPEÑO Y LA DURABILIDAD DE SUELOS VIALES ADITIVADOS CON ESTABILIZANTES QUÍMICOS* [Tesis Doctoral, UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA]. https://hdl.handle.net/10495/22113

Lutenegger, A. J. (2019). *Soils and Geotechnology in Construction* (1ª ed.). Prensa CRC. https://doi.bibliotecaupn.elogim.com/10.1201/9781315380643

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013). *MANUAL DE CARRETERAS: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCIÓN*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *MANUAL DE CARRETERAS SUELOS, GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS SECCIÓN SUELOS Y PAVIMENTOS*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual Ensayo de Materiales*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

Montejo, A., Montejo, A., & Montejo, A. (2018). Estabilización de suelos. Ediciones de la U. https://1library.co/document/yd7wdj2l-estabilizacion-suelos-alfonso-montejo-fonseca.html

Ñaupas Paitán, H., Mejía Mejía, E., Novoa Ramírez, E., & Villagómez Páucar, A. (2014). Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis (4ª ed.). Ediciones de la U. https://www.biblioteca.cij.gob.mx/archivos/materiales_de_consulta/drogas_de_abuso/articulos/metodologiainvestigacionnaupas.pdf

PCA. (1992). *Soil-Cement Laboratory Handbook* (pp. 1–59).

Pezo, F. G. P. (2018). *MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA CARRETERA VECINAL JUAN GUERRA-BELLO HORIZONTE CON ESTABILIZACIÓN DE SUELO CEMENTO DEL TERRENO DE FUNDACIÓN Y CAPA DE AFIRMADO, DISTRITO DE JUAN GUERRA, PROVINCIA DE SAN MARTÍN, REGIÓN SAN MARTÍN* [Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO]. http://hdl.handle.net/11458/2910

Reyes, K. (2023). *CARACTERIZACIÓN DE LA DURABILIDAD Y RESISTENCIA DEL SUELO - CEMENTO PARA EL TRAMO DEL KM 4.89 AL KM 8.89 DE LA CARRETERA MAZAMARI - LLAYLLA, DEL DISTRITO DE MAZAMARI - PROVINCIA SATIPO DEPARTAMENTO JUNÍN* [Universidad San Ignacio de Loyola]. https://hdl.handle.net/20.500.14005/13800

Rivera, J. F., Aguirre-Guerrero, A., Mejía de Gutiérrez, R., & Orobio, A. (2020). Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente (revisión). *Informador Técnico*, *84*(2), 43–67. https://doi.org/10.23850/22565035.2530

Robador, A., & Mancebo, M. J. (2020). El mapa geológico, del papel al objeto tridimensional. *REVISTA MAPPING*, *29*(200), 110–111. https://asociaciongeocientificadeburgos.com/2020/09/11/el-mapa-geologico-del-papel-al-objeto-tridimensional/

Rolt, J., Mukura, K., & Otto, A. (2020). Development of a simplified agency life-cycle costing tool for gravel roads. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(11). https://doi.org/10.3390/su12114512

Rolt, M., Sánchez, A., & Gómez, F. (2020). Impacto del cambio climático en las infraestructuras viales: Un estudio global. Earth's Future, 8(12), 1200-1210.

Romero, J. (2022). Evaluación de materiales para la estabilización de suelos en carreteras no pavimentadas en Perú. Revista de Ingeniería Geotécnica, 35(4), 47-58.

Romero, C. Mozo E. (2018). Evaluación del material de afirmado, de las canteras Pampa La Colina–Guadalupito y San Pedrito–Samanco, con fines de pavimentación: Propuesta de mejoramiento – Ancash [Tesis de pregrado]. https://hdl.handle.net/20.500.12692/23760

Sampieri, R. Collado, C. & Lucio M. (2014) Metodología de la Investigación (6th ed.). McGRAW-HILL

Sánchez, P., Rodríguez, C., & Pérez, E. (2020). Estudio comparativo del desgaste de los suelos estabilizados con cemento en condiciones de humedecimiento-secado. Revista de Ingeniería Civil, 38(4), 115-128.

Ulbrich, H. H. G. J., Madureira Filho, J. B. de, Del Lama, E. A., & Dehira, L. K. (2023). *Geologia basica para engenheiros*. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. https://doi.org/10.11606/9786586403053

Vergara Polo, B. D. (2018). Influencia de los aditivos plastificantes tipo A sobre la compresión, peso unitario y asentamiento en el concreto estructural [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional UNITRU. https://dspace.unitru.edu.pe/bitstreams/7f176fcc-1ffe-4f2d-ba83-323a90d13771/download

# ANEXOS

| | INFORME DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-S02 |
|---|---|---|---|
| | Práctica estándar para la clasificación de suelos con fines de ingeniería (Sistema unificado de clasificación de suelos) | Versión | 2 |
| | | Fecha | 21/09/2022 |
| | ASTM ASTM D2487-17e1 | Página | 1 de 1 |

INFORME N° : L23-137-01 — Fecha de Emisión: 2/11/2023
SOLICITANTE : Joao Cordova Idrugo — Fecha de Recepción: 30/10/2023
DIRECCIÓN : ---
CLIENTE : Joao Cordova Idrugo
PROYECTO : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay

CÓDIGO DE PROYECTO : ---
UBICACIÓN : Km 79+500 - CANTERA PACARAOS

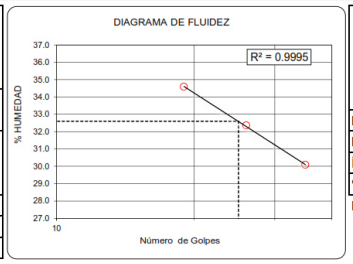
Nro. DE DE ORDEN 1

| IDENTIFICACIÓN | 79+500 | MUESTRA | M-1 | PROFUNDIDAD | 1.50 m | TAMAÑO MÁXIMO | 2 in. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D6913)**

| Malla | Abertura (mm) | Masa retenida g | PORCENTAJE QUE PASA |
|---|---|---|---|
| 3 in. | 76.200 | --- | 100.0 |
| 2 in. | 50.800 | 0.0 | 100.0 |
| 1 1/2 in. | 38.100 | 156.8 | 95.7 |
| 1 in. | 25.400 | 126.4 | 92.2 |
| 3/4 in. | 19.000 | 365.3 | 82.1 |
| 3/8 in. | 9.500 | 85.2 | 79.8 |
| No. 4 | 4.750 | 847.5 | 56.5 |
| No.10 | 2.000 | 601.2 | 39.9 |
| No. 20 | 0.840 | 376.4 | 29.5 |
| No. 40 | 0.425 | 203.4 | 23.9 |
| No. 60 | 0.250 | 129.7 | 20.4 |
| No. 100 | 0.150 | 106.2 | 17.4 |
| No. 140 | 0.106 | 42.0 | 16.3 |
| No. 200 | 0.075 | 36.4 | 15.3 |
| % Grava | % GG | 17.9 | 43.5 |
| | % GF | 25.7 | |
| % Arena | % AG | 16.6 | 41.2 |
| | % AM | 16.0 | |
| | % AF | 8.7 | |
| % Finos | | | 15.3 |

| Método ASTM D6913/D6913M | |
|---|---|
| Tipo Tamizado | Tam. compuesto |
| Tamiz separador | No. 4 |
| COEFICIENTES | |
| Cu | 260.4 |
| Cc | 7.1 |

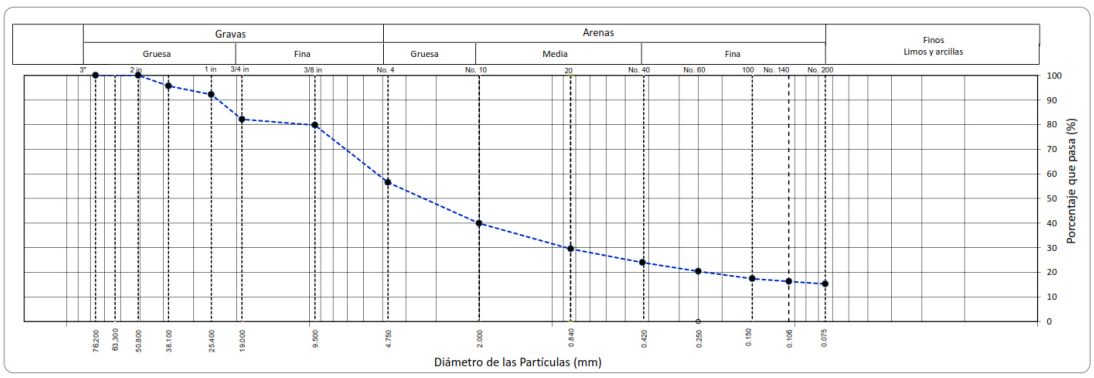



**Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad (ASTM D4318)**

| | |
|---|---|
| Límite Líquido | 33 |
| Límite Plástico | 11 |
| Índice Plástico | 22 |
| % Ret. No. 40 | 76.1 |

NP, (No Plástico)

| Método de Ensayo (ASTM D2216) | | Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS |
|---|---|---|
| Método de ensayo | B | |
| (g) Masa de tara | 210.9 | GC |
| (g) Masa de t. + muestra húmeda | 13453.9 | |
| (g) Masa de t. + muestra seca | 12549.3 | |
| **Contenido de Humedad (%)** | **7.3** | **Nombre de Grupo** |
| Cantidad de muestra cumple con el ensayo | SI | Grava arcillosa con arena |
| Más de un tipo de material en la muestra | NO | |
| **Observaciones:** | Muestra provista e identificada por el solicitante. | |




**Referencias:**

| | |
|---|---|
| ASTM D2216-19 | Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass |
| ASTM D4318-17e1 | Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils |
| ASTM D6913/D6913-17 | Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis |
| ASTM D2487-17 | Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) |

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Los resultados solo están relacionados con la muestra ensayada. La muestra ha sido identificada y entregada en el laboratorio por el solicitante.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de INGEOCONTROL S.A.C.

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y del Gerente técnico

Prohibida la reproducción total o parcial, excepto con autorización previa y por escrito de INGEOCONTROL S.A.C.

Código:INGEO-LAB-F-S02, Versión: 3, Fecha: 12/12/2022.

JEFE DE LABORATORIO

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

GERENTE TÉCNICO

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-S02 |
|---|---|---|---|
| | **Práctica estándar para la clasificación de suelos con fines de ingeniería (Sistema unificado de clasificación de suelos)** | Versión | 2 |
| | | Fecha | 21/09/2022 |
| | **ASTM ASTM D2487-17e1** | Página | 1 de 1 |

INFORME N° : L23-137-02
SOLICITANTE : Joao Cordova Idrugo
DIRECCIÓN : ---
CLIENTE : Joao Cordova Idrugo
PROYECTO : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay

Fecha de Emisión: 2/11/2023
Fecha de Recepción: 30/10/2023

CÓDIGO DE PROYECTO : ---
UBICACIÓN : Km 107+500 CANTERA FRANCOPAMPA

Nro. DE DE ORDEN 1

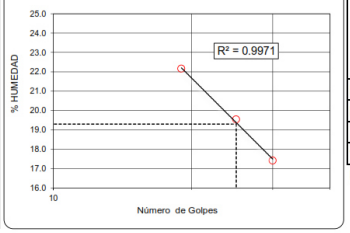
| IDENTIFICACIÓN | 107+500 | MUESTRA | M-1 | PROFUNDIDAD | 1.50 m | TAMAÑO MÁXIMO | 1 1 / 2 in. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D6913)**

| Malla | Abertura (mm) | Masa retenida g | PORCENTAJE QUE PASA |
|---|---|---|---|
| 3 in. | 76.200 | --- | 100.0 |
| 2 in. | 50.800 | 0.0 | 100.0 |
| 1 1/2 in. | 38.100 | 0.0 | 100.0 |
| 1 in. | 25.400 | 88.2 | 97.8 |
| 3/4 in. | 19.000 | 233.3 | 92.0 |
| 3/8 in. | 9.500 | 740.7 | 73.7 |
| No. 4 | 4.750 | 982.4 | 49.4 |
| No.10 | 2.000 | 440.3 | 38.5 |
| No. 20 | 0.840 | 363.5 | 29.5 |
| No. 40 | 0.425 | 183.7 | 25.0 |
| No. 60 | 0.250 | 97.0 | 22.6 |
| No. 100 | 0.150 | 86.7 | 20.4 |
| No. 140 | 0.106 | 37.2 | 19.5 |
| No. 200 | 0.075 | 47.1 | 18.3 |
| % Grava | % GG | 8.0 | 50.6 |
| | % GF | 42.6 | |
| % Arena | % AG | 10.9 | 31.1 |
| | % AM | 13.5 | |
| | % AF | 6.6 | |
| % Finos | | | 18.3 |

| Método ASTM D6913/D6913M | |
|---|---|
| Tipo Tamizado | Tam. compuesto |
| Tamiz separador | No. 4 |
| COEFICIENTES | |
| Cu | 1589.7 |
| Cc | 29.7 |

DIAGRAMA DE FLUIDEZ

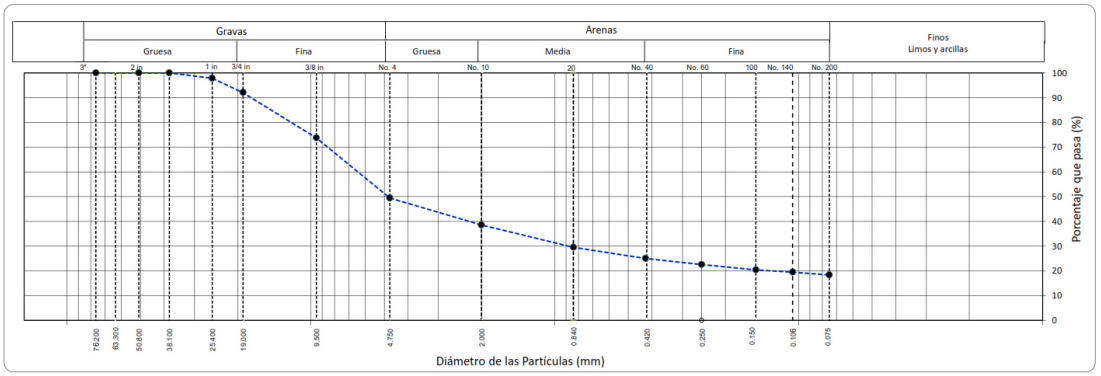



**Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad (ASTM D4318)**

| | |
|---|---|
| Límite Líquido | 19 |
| Límite Plástico | 17 |
| Índice Plástico | 2 |
| % Ret. No. 40 | 75.0 |

NP, (No Plástico)

| Método de Ensayo (ASTM D2216) | | Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS |
|---|---|---|
| Método de ensayo | B | |
| (g) Masa de tara | 230.2 | GM |
| (g) Masa de t. + muestra húmeda | 8259.4 | |
| (g) Masa de t. + muestra seca | 7865.3 | |
| **Contenido de Humedad (%)** | **5.2** | **Nombre de Grupo** |
| Cantidad de muestra cumple con el ensayo | SI | Grava limosa con arena |
| Más de un tipo de material en la muestra | NO | |
| **Observaciones:** | Muestra provista e identificada por el solicitante. | |




**Referencias:**

| | |
|---|---|
| ASTM D2216-19 | Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass |
| ASTM D4318-17e1 | Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils |
| ASTM D6913/D6913-17 | Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis |
| ASTM D2487-17 | Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) |

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Los resultados solo están relacionados con la muestra ensayada. La muestra ha sido identificada y entregada en el laboratorio por el solicitante.

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de INGEOCONTROL S.A.C.

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y del Gerente técnico

Prohibida la reproducción total o parcial, excepto con autorización previa y por escrito de INGEOCONTROL S.A.C.

Código:INGEO-LAB-F-S02, Versión: 3, Fecha: 12/12/2022.

| JEFE DE LABORATORIO | GERENTE TÉCNICO |
|---|---|
| Nombre y firma: | Nombre y firma: |
| Luis Melgar Angeles<br>JEFE DE LABORATORIO<br>INGEOCONTROL S.A.C. | Arnaldo Perez Ccoscco<br>CIP: 190140<br>Gerente Técnico |

| | REPORTE DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-AG09 |
|---|---|---|---|
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y LA ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS ASTM C127-15 | Versión | 03 |
| | | Fecha | 27/01/2023 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | **L23-137-03** |
| Solicitante | : Joao Cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Atención | : Joao Cordova Idrugo | Ensayado por : | R. leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de Ensayo: | 6/11/2023 |
| Material | : Terreno Natural | Turno: | Diurno |

| | |
|---|---|
| Código de Muestra | : --- |
| Procedencia | : 79+500 |
| N° de Muestra | : --- |
| Progresiva | : --- |

| | DATOS | A | B |
|---|---|---|---|
| 1 | Masa de la muestra sss | 2651.3 | 2804.4 |
| 2 | Masa de la muestra sss sumergida | 1615.4 | 1710.6 |
| 3 | Masa de la muestra secada al horno | 2610.3 | 2760.8 |

| RESULTADOS | 1 | 2 | **PROMEDIO** |
|---|---|---|---|
| Gravedad Específica de Masa | 2.520 | 2.524 | **2.522** |
| Gravedad Específica de Masa S.S.S | 2.559 | 2.564 | **2.562** |
| Gravedad Específica de Aparente | 2.624 | 2.629 | **2.626** |
| Porcentaje de Absorción (%) | 1.57 | 1.58 | **1.6** |

El presente documento reemplaz al doc. AE-FO-78 , ver. 1 del 30/04/2018.

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Ángeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | REPORTE DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-AG09 |
|---|---|---|---|
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y LA ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS ASTM C127-15 | Versión | 03 |
| | | Fecha | 27/01/2023 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | **L23-137-04** |
| Solicitante | : Joao Cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Atención | : Joao Cordova Idrugo | Ensayado por : | R. leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Francopampa | Fecha de Ensayo: | 6/11/2023 |
| Material | : Terreno Natural | Turno: | Diurno |

| | |
|---|---|
| Código de Muestra | : --- |
| Procedencia | : 107+500 |
| N° de Muestra | : --- |
| Progresiva | : --- |

| DATOS | | A | B |
|---|---|---|---|
| 1 | Masa de la muestra sss | 1768.3 | 1786.6 |
| 2 | Masa de la muestra sss sumergida | 1102.5 | 1114.4 |
| 3 | Masa de la muestra secada al horno | 1731.7 | 1750.2 |

| RESULTADOS | 1 | 2 | **PROMEDIO** |
|---|---|---|---|
| Gravedad Específica de Masa | 2.601 | 2.604 | **2.602** |
| Gravedad Específica de Masa S.S.S | 2.656 | 2.658 | **2.657** |
| Gravedad Específica de Aparente | 2.752 | 2.753 | **2.752** |
| Porcentaje de Absorción (%) | 2.11 | 2.08 | **2.1** |

El presente documento reemplaz al doc. AE-FO-78 , ver. 1 del 30/04/2018.

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME DE RESULTADOS | Código | INGEO-LAB-F-S04 |
|---|---|---|---|
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO ESTANDAR | Versión | 02 |
| | | Fecha | 20/09/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-05 |
| Cliente | : Joao Cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Solicitante | : Joao Cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación del Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de ensayo : | 7/11/2023 |
| Material | : Terreno Natural | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Sondaje / Calicata | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 79+500 | Cota: | --- |

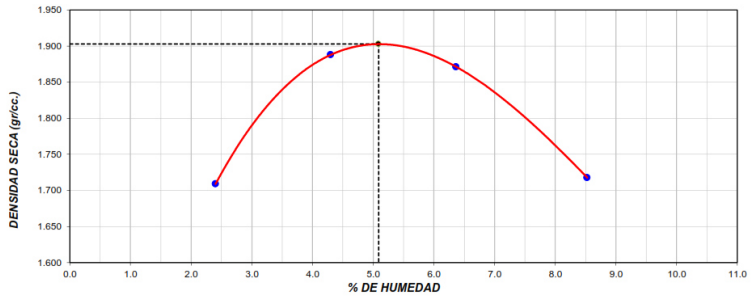
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR ESTANDAR**
**ASTM D698**

| | | |
|---|---|---|
| MÉTODO DE ENSAYO | C | |
| Volumen Molde | 2330.7 | $cm^3$ |
| Peso Molde | 16251 | g |

| NUMERO DE ENSAYOS | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso Volumetrico Humedo | gr. | 1.750 | 1.969 | 1.990 | 1.864 |
| Contenido de agua | % | 2.4 | 4.3 | 6.4 | 8.5 |
| Densidad Seca | gr/cc | 1.709 | 1.888 | 1.871 | 1.718 |

***Densidad Máxima Seca:*** ***1.903 gr/cm³.*** ***Contenido Humedad Optima:*** ***5.1 %***

***RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA***




**OBSERVACIONES:**

* Muestra tomada en campo por el SOLICITANTE
* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL
* El presente documento reemplaza al documento AE-FO-11. version 1 del 30/04/2018

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME DE RESULTADOS | Código | INGEO-LAB-F-S04 |
|---|---|---|---|
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO ESTANDAR | Versión | 02 |
| | | Fecha | 20/09/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-06 |
| Cliente | : Joao Cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Solicitante | : Joao Cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación del Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de ensayo : | 7/11/2023 |
| Material | : Terreno Natural + 3% de cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | Profundidad: | |
| Sondaje / Calicata | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 79+500 | Cota: | --- |

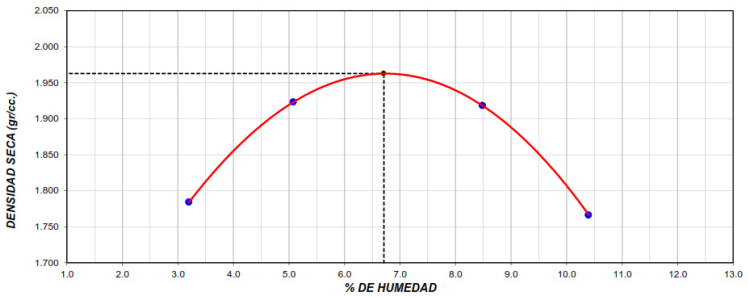
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR ESTANDAR**
**ASTM D698**

| | | |
|---|---|---|
| MÉTODO DE ENSAYO | C | |
| Volumen Molde | 2330.7 | $cm^3$ |
| Peso Molde | 16251 | g |

| NUMERO DE ENSAYOS | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso Volumetrico Humedo | gr. | 1.841 | 2.021 | 2.081 | 1.950 |
| Contenido de agua | % | 3.2 | 5.1 | 8.5 | 10.4 |
| Densidad Seca | gr/cc | 1.784 | 1.923 | 1.918 | 1.766 |

***Densidad Máxima Seca:*** ***1.963*** ***$gr/cm^3$.*** ***Contenido Humedad Optima:*** ***6.7 %***

***RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA***




**OBSERVACIONES:**

* Muestra tomada en campo por el SOLICITANTE
* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL
* El presente documento reemplaza al documento AE-FO-11. version 1 del 30/04/2018

INGEOCONTROL SAC

| AVISO DE CONFIDENCIALIDAD: | REVISADO POR | AUTORIZADO POR |
|---|---|---|
| Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.<br>Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.<br>La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante. | Nombre y firma:<br>Luis Melgar Angeles<br>JEFE DE LABORATORIO<br>INGEOCONTROL S.A.C. | Nombre y firma:<br>Arnaldo Perez Ccoscco<br>CIP: 190140<br>Gerente Técnico |

| | INFORME DE RESULTADOS | Código | INGEO-LAB-F-S04 |
|---|---|---|---|
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO ESTANDAR | Versión | 02 |
| | | Fecha | 20/09/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-07 |
| Cliente | : Joao Cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Solicitante | : Joao Cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación del Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de ensayo : | 7/11/2023 |
| Material | : Terreno Natural + 4% Cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Sondaje / Calicata | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 79+500 | Cota: | --- |

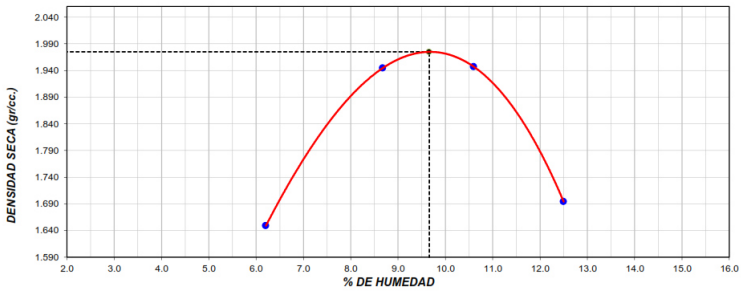
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR ESTANDAR**
**ASTM D698**

| | | |
|---|---|---|
| MÉTODO DE ENSAYO | C | |
| Volumen Molde | 2330.7 | $cm^3$ |
| Peso Molde | 16251 | g |

| NUMERO DE ENSAYOS | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso Volumetrico Humedo | gr. | 1.751 | 2.114 | 2.153 | 1.906 |
| Contenido de agua | % | 6.2 | 8.7 | 10.6 | 12.5 |
| Densidad Seca | gr/cc | 1.649 | 1.945 | 1.947 | 1.694 |

***Densidad Máxima Seca:*** ***1.975*** ***gr/cm³.*** ***Contenido Humedad Optima:*** ***9.7 %***

***RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA***




**OBSERVACIONES:**

* Muestra tomada en campo por el SOLICITANTE
* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL
* El presente documento reemplaza al documento AE-FO-11. version 1 del 30/04/2018

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME DE RESULTADOS | Código | INGEO-LAB-F-S04 |
|---|---|---|---|
| LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES INGEOCONTROL | MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO ESTANDAR | Versión | 02 |
| | | Fecha | 20/09/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-08 |
| Cliente | : Joao Cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Solicitante | : Joao Cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación del Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de ensayo : | 7/11/2023 |
| Material | : Terreno Natural + 5% Cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Sondaje / Calicata | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 79+500 | Cota: | --- |

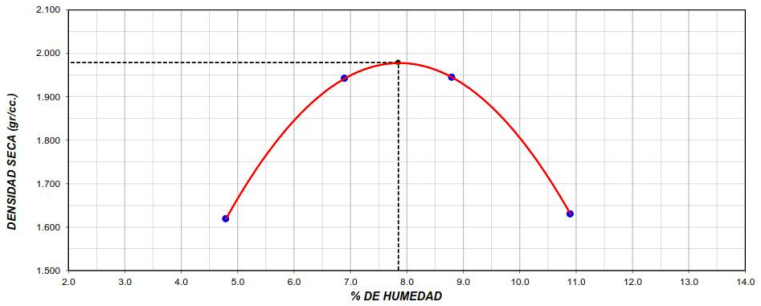
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR ESTANDAR**
**ASTM D698**

| | | |
|---|---|---|
| MÉTODO DE ENSAYO | C | |
| Volumen Molde | 2330.7 | $cm^3$ |
| Peso Molde | 16251 | g |

| NUMERO DE ENSAYOS | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso Volumetrico Humedo | gr. | 1.697 | 2.076 | 2.116 | 1.808 |
| Contenido de agua | % | 4.8 | 6.9 | 8.8 | 10.9 |
| Densidad Seca | gr/cc | 1.619 | 1.942 | 1.945 | 1.630 |

***Densidad Máxima Seca:*** ***1.979 gr/cm³.*** ***Contenido Humedad Optima:*** ***7.9 %***

***RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA***




**OBSERVACIONES:**

* Muestra tomada en campo por el SOLICITANTE
* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL
* El presente documento reemplaza al documento AE-FO-11. version 1 del 30/04/2018

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME DE RESULTADOS | Código | INGEO-LAB-F-S04 |
|---|---|---|---|
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO ESTANDAR | Versión | 02 |
| | | Fecha | 20/09/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L2-137-09 |
| Cliente | : Joao Cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Solicitante | : Joao Cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación del Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de ensayo : | 7/11/2023 |
| Material | : Terreno Natural + 7% Cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Sondaje / Calicata | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 79+500 | Cota: | --- |

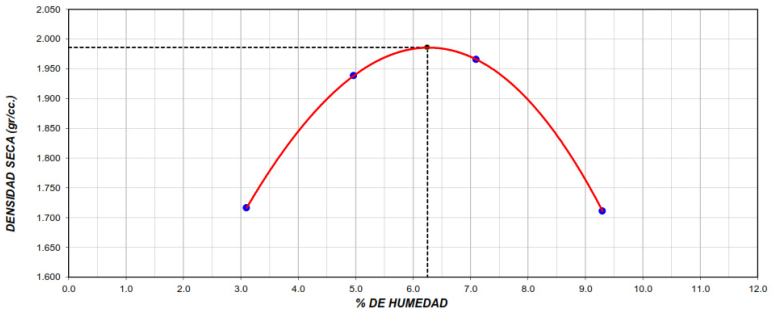
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR ESTANDAR**
**ASTM D698**

| | | |
|---|---|---|
| MÉTODO DE ENSAYO | C | |
| Volumen Molde | 2330.7 | $cm^3$ |
| Peso Molde | 16251 | g |

| NUMERO DE ENSAYOS | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso Volumetrico Humedo | gr. | 1.769 | 2.035 | 2.105 | 1.870 |
| Contenido de agua | % | 3.1 | 5.0 | 7.1 | 9.3 |
| Densidad Seca | gr/cc | 1.716 | 1.938 | 1.966 | 1.711 |

***Densidad Máxima Seca:*** ***1.986 gr/cm³.*** ***Contenido Humedad Optima:*** ***6.3 %***

***RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA***




**OBSERVACIONES:**

* Muestra tomada en campo por el SOLICITANTE
* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL
* El presente documento reemplaza al documento AE-FO-11. version 1 del 30/04/2018

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME DE RESULTADOS | Código | INGEO-LAB-F-S04 |
|---|---|---|---|
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO ESTANDAR | Versión | 02 |
| | | Fecha | 20/09/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-10 |
| Cliente | : Joao Cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Solicitante | : Joao Cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación del Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de ensayo : | 7/11/2023 |
| Material | : Terreno Natural | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Sondaje / Calicata | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 107+500 | Cota: | --- |

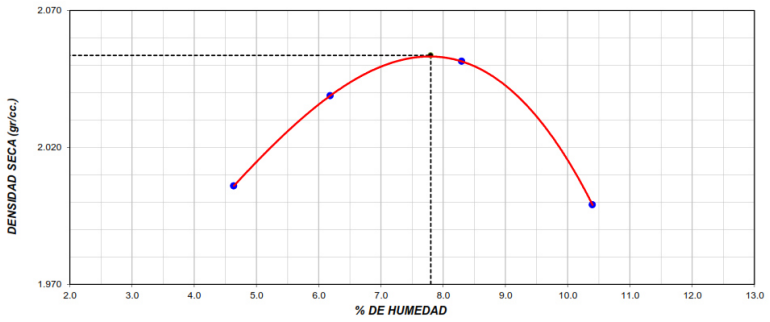
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR ESTANDAR**
**ASTM D698**

| | | |
|---|---|---|
| MÉTODO DE ENSAYO | C | |
| Volumen Molde | 2330.7 | $cm^3$ |
| Peso Molde | 16251 | g |

| NUMERO DE ENSAYOS | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso Volumetrico Humedo | gr. | 2.099 | 2.165 | 2.222 | 2.207 |
| Contenido de agua | % | 4.6 | 6.2 | 8.3 | 10.4 |
| Densidad Seca | gr/cc | 2.006 | 2.039 | 2.051 | 1.999 |

***Densidad Máxima Seca:*** ***2.054 gr/cm³.*** ***Contenido Humedad Optima:*** ***7.8 %***

***RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA***




**OBSERVACIONES:**

* Muestra tomada en campo por el SOLICITANTE
* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL
* El presente documento reemplaza al documento AE-FO-11. version 1 del 30/04/2018

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Ángeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME DE RESULTADOS | Código | INGEO-LAB-F-S04 |
|---|---|---|---|
| LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES INGEOCONTROL | MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO ESTANDAR | Versión | 02 |
| | | Fecha | 20/09/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-11 |
| Cliente | : Joao Cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Solicitante | : Joao Cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación del Proyecto | : Cantera Francopampa | Fecha de ensayo : | 7/11/2023 |
| Material | : Terreno Natural + 3% Cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Sondaje / Calicata | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 107+500 | Cota: | --- |

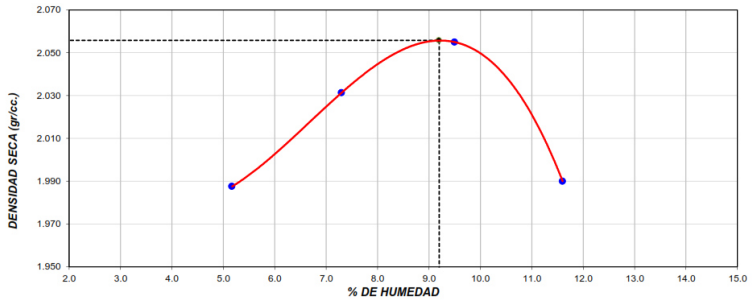
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR ESTANDAR**
**ASTM D698**

| | | |
|---|---|---|
| MÉTODO DE ENSAYO | C | |
| Volumen Molde | 2330.7 | $cm^3$ |
| Peso Molde | 16251 | g |

| NUMERO DE ENSAYOS | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso Volumetrico Humedo | gr. | 2.090 | 2.180 | 2.250 | 2.221 |
| Contenido de agua | % | 5.2 | 7.3 | 9.5 | 11.6 |
| Densidad Seca | gr/cc | 1.988 | 2.031 | 2.055 | 1.990 |

***Densidad Máxima Seca:*** ***2.056*** ***gr/cm³.*** ***Contenido Humedad Optima:*** ***9.2 %***

***RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA***




**OBSERVACIONES:**

* Muestra tomada en campo por el SOLICITANTE
* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL
* El presente documento reemplaza al documento AE-FO-11. version 1 del 30/04/2018

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME DE RESULTADOS | Código | INGEO-LAB-F-S04 |
|---|---|---|---|
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO ESTANDAR | Versión | 02 |
| | | Fecha | 20/09/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-12 |
| Cliente | : Joao Cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Solicitante | : Joao Cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación del Proyecto | : Cantera Francopampa | Fecha de ensayo : | 7/11/2023 |
| Material | : Terreno Natural + 4% Cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Sondaje / Calicata | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 107+500 | Cota: | --- |

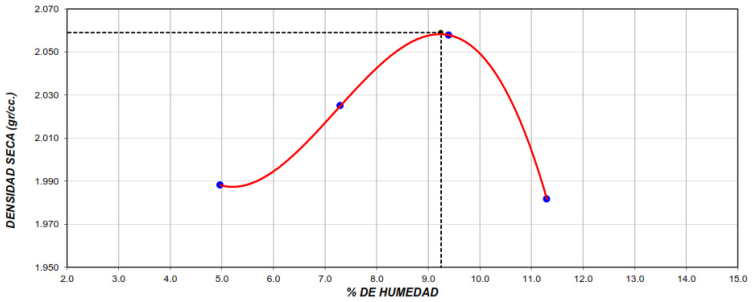
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR ESTANDAR**
**ASTM D698**

| | | |
|---|---|---|
| MÉTODO DE ENSAYO | C | |
| Volumen Molde | 2330.7 | $cm^3$ |
| Peso Molde | 16251 | g |

| NUMERO DE ENSAYOS | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso Volumetrico Humedo | gr. | 2.087 | 2.173 | 2.251 | 2.206 |
| Contenido de agua | % | 5.0 | 7.3 | 9.4 | 11.3 |
| Densidad Seca | gr/cc | 1.988 | 2.025 | 2.058 | 1.982 |

***Densidad Máxima Seca:*** ***2.059*** ***gr/cm³.*** ***Contenido Humedad Optima:*** ***9.3 %***

***RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA***




**OBSERVACIONES:**

* Muestra tomada en campo por el SOLICITANTE
* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL
* El presente documento reemplaza al documento AE-FO-11. version 1 del 30/04/2018

INGEOCONTROL SAC

| AVISO DE CONFIDENCIALIDAD: | REVISADO POR | AUTORIZADO POR |
|---|---|---|
| Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.<br>Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.<br>La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante. | Nombre y firma:<br>Luis Melgar Angeles<br>JEFE DE LABORATORIO<br>INGEOCONTROL S.A.C. | Nombre y firma:<br>Arnaldo Perez Ccoscco<br>CIP: 190140<br>Gerente Técnico |

| | INFORME DE RESULTADOS | Código | INGEO-LAB-F-S04 |
|---|---|---|---|
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO ESTANDAR | Versión | 02 |
| | | Fecha | 20/09/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-13 |
| Cliente | : Joao Cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Solicitante | : Joao Cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación del Proyecto | : Cantera Francopampa | Fecha de ensayo : | 7/11/2023 |
| Material | : Terreno Natural + 5% Cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Sondaje / Calicata | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 107+500 | Cota: | --- |

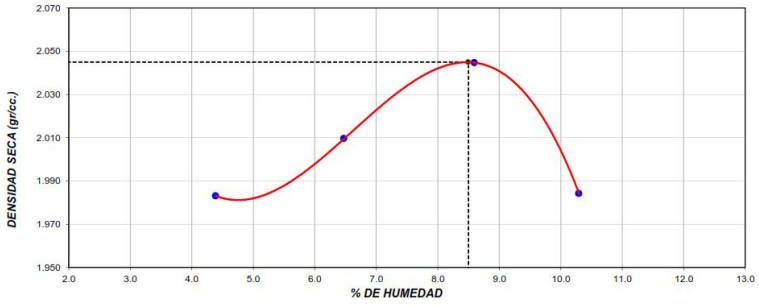
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR ESTANDAR**
**ASTM D698**

| | | |
|---|---|---|
| MÉTODO DE ENSAYO | C | |
| Volumen Molde | 2330.7 | $cm^3$ |
| Peso Molde | 16251 | g |

| NUMERO DE ENSAYOS | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso Volumetrico Humedo | gr. | 2.070 | 2.140 | 2.221 | 2.188 |
| Contenido de agua | % | 4.4 | 6.5 | 8.6 | 10.3 |
| Densidad Seca | gr/cc | 1.983 | 2.010 | 2.045 | 1.984 |

***Densidad Máxima Seca:*** ***2.045 gr/cm³.*** ***Contenido Humedad Optima:*** ***8.5 %***

***RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA***




**OBSERVACIONES:**

* Muestra tomada en campo por el SOLICITANTE
* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL
* El presente documento reemplaza al documento AE-FO-11. version 1 del 30/04/2018

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME DE RESULTADOS | Código | INGEO-LAB-F-S04 |
|---|---|---|---|
| | MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA LAS CARACTERISTICAS DE COMPACTACIÓN EN LABORATORIO DE SUELOS UTILIZANDO ESFUERZO ESTANDAR | Versión | 02 |
| | | Fecha | 20/09/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-14 |
| Cliente | : Joao Cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Solicitante | : Joao Cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación del Proyecto | : Cantera Francopampa | Fecha de ensayo : | 7/11/2023 |
| Material | : Terreno Natural + 7% Cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Sondaje / Calicata | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 107+500 | Cota: | --- |

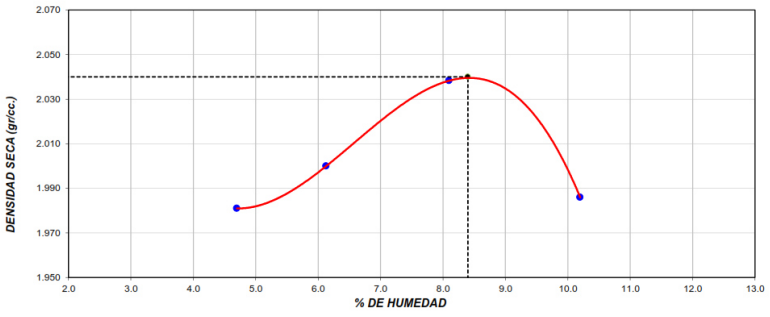
**ENSAYO DE COMPACTACIÓN - PROCTOR ESTANDAR**
**ASTM D698**

| | | |
|---|---|---|
| MÉTODO DE ENSAYO | C | |
| Volumen Molde | 2330.7 | $cm^3$ |
| Peso Molde | 16251 | g |

| NUMERO DE ENSAYOS | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|---|
| Peso Volumetrico Humedo | gr. | 2.074 | 2.123 | 2.203 | 2.188 |
| Contenido de agua | % | 4.7 | 6.1 | 8.1 | 10.2 |
| Densidad Seca | gr/cc | 1.981 | 2.000 | 2.038 | 1.986 |

***Densidad Máxima Seca:*** ***2.040*** ***$gr/cm^3$.*** ***Contenido Humedad Optima:*** ***8.4 %***

***RELACION HUMEDAD - DENSIDAD SECA***




**OBSERVACIONES:**

* Muestra tomada en campo por el SOLICITANTE
* Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de INGEOCONTROL
* El presente documento reemplaza al documento AE-FO-11. version 1 del 30/04/2018

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | REPORTE DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-AG03 |
|---|---|---|---|
| | **DESGASTE POR ABRASIÓN ASTM C131/C131M-14** | Versión | 02 |
| | | Fecha | 23/09/2019 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | **L23-137-15** |
| Solicitante | : Joao Cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao Cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | | Fecha de Ensayo: | 6/11/2023 |
| Material | : Suelo natural | Turno: | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Procedencia | : 79+500 | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : --- | Cota: | --- |

***DATOS***

| PI | P100 | P400 | U | ABRASION |
|---|---|---|---|---|
| 5000.0 | 4823.0 | 4195 | 0.22 | 16 |

| DETALLE | RESULTADO |
|---|---|
| Uniformidad | **0.22** |
| Abrasión | **16%** |

(*)El presente documento reemplaza al doc. AE-FO-68, versión 1 , del 30/04/2018

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Ángeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | REPORTE DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-AG03 |
|---|---|---|---|
| | **DESGASTE POR ABRASIÓN ASTM C131/C131M-14** | Versión | 02 |
| | | Fecha | 23/09/2019 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | **L23-137-16** |
| Solicitante | : Joao Cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao Cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Francopampa | Fecha de Ensayo: | 6/11/2023 |
| Material | : Suelo natural | Turno: | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Procedencia | : 107+500 | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : --- | Cota: | --- |

***DATOS***

| PI | P100 | P400 | U | ABRASION |
|---|---|---|---|---|
| 5000.0 | 4800.5 | 4050 | 0.21 | 19 |

| DETALLE | RESULTADO |
|---|---|
| Uniformidad | **0.21** |
| Abrasión | **19%** |

(*)El presente documento reemplaza al doc. AE-FO-68, versión 1 , del 30/04/2018

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

| REVISADO POR | AUTORIZADO POR |
|---|---|
| Nombre y firma: | Nombre y firma: |
| Luis Melgar Angeles<br>JEFE DE LABORATORIO<br>INGEOCONTROL S.A.C. | Arnaldo Perez Ccoscco<br>CIP: 190140<br>Gerente Técnico |

| | REPORTE DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-S021 |
|---|---|---|---|
| | ENSAYOS QUÍMICOS EN SUELOS, ROCAS Y AGUA | Versión | 02 |
| | | Fecha | 28-09-2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-17 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | R. Leyva |
| Atención | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | L. Melgar |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de Ensayo: | 7/11/2023 |
| Material | : Terreno Natural. | Turno: | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Sondaje / Calicata | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 79+500 | Cota: | --- |

| | | |
|---|---|---|
| SALES SOLUBLES TOTALES (NTP 339.152 / BS 1377-Part 3) | 783 | p.p.m. |
| | 0.078 | % |

| | | |
|---|---|---|
| SULFATOS SOLUBLES (NTP 339.178 / AASHTO T290) | 174 | p.p.m. |
| | 0.017 | % |

| | | |
|---|---|---|
| CONTENIDO DE CLORUROS SOLUBLES (NTP 339.177 / AASHTO T291) | 535 | p.p.m. |
| | 0.053 | % |

**OBSERVACIONES:**

* Muestra provista e edintificada por el solicitante

(") El presente documento reemplaza al doc. AE-FO-118, ver. 1 del 07/05/2018.

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Verificador:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | REPORTE DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-S021 |
|---|---|---|---|
| | ENSAYOS QUÍMICOS EN SUELOS, ROCAS Y AGUA | Versión | 02 |
| | | Fecha | 28-09-2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-18 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | R. Leyva |
| Atención | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | L. Melgar |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Francopampa | Fecha de Ensayo: | 7/11/2023 |
| Material | : Terreno Natural. | Turno: | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Sondaje / Calicata | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 107+500 | Cota: | --- |

| | | |
|---|---|---|
| SALES SOLUBLES TOTALES (NTP 339.152 / BS 1377-Part 3) | 660 | p.p.m. |
| | 0.066 | % |

| | | |
|---|---|---|
| SULFATOS SOLUBLES (NTP 339.178 / AASHTO T290) | 205 | p.p.m. |
| | 0.021 | % |

| | | |
|---|---|---|
| CONTENIDO DE CLORUROS SOLUBLES (NTP 339.177 / AASHTO T291) | 434 | p.p.m. |
| | 0.043 | % |

**OBSERVACIONES:**

* Muestra provista e edintificada por el solicitante

(") El presente documento reemplaza al doc. AE-FO-118, ver. 1 del 07/05/2018.

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Verificador:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Jefe de Laboratorio:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-AG05 |
|---|---|---|---|
| | ENSAYO DE DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS | Versión | 02 |
| | | Fecha | 23/09/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| PROYECTO | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | REGISTRO N°: | L23-137-19 |
| SOLICITANTE | : Joao cordova Idrugo | REALIZADO POR : | R. leyva |
| ATENCIÓN | : Joao cordova Idrugo | REVISADO POR : | J. Gutiérrez |
| UBICACIÓN DE PROYECTO | : Cantera Pacaraos | FECHA DE ENSAYO : | 7/11/2023 |
| | | TURNO : | Diurno |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tipo de muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Cantera | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 79+500 | Cota: | --- |

**DURABILIDAD EN SULFATO DE MAGNESIO [AGREGADO GRUESO ]**
**ASTM C88 / MTC E 209**

**Examen cuantitativo**

| Tamaño del Agregado | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pasa Tamiz | Retiene Tamiz | % Retenido | P.INIC. | P.FIN. | PERD. PESO | %PERD. | % Pérdida |
| 2 1/2" | 1 1/2" | 6.2 | 4998.3 | 4711.3 | 287.0 | 5.7 | 0.36 |
| 1 1/2" | 3/4" | 9.2 | 1508.1 | 1122.3 | 385.8 | 25.6 | 2.35 |
| 3/4" | 3/8" | 17.8 | 1005.8 | 762.6 | 243.2 | 24.2 | 4.30 |
| 3/8" | N° 4 | 11.7 | 302.0 | 206.6 | 95.4 | 31.6 | 3.70 |
| Perdida Total ( ΣE ) = | | | | | | | **10.7%** |

**Examen cualitativo**

| Tamaño del Agregado | | Rajadas | | Desmoronadas | | Fracturadas | | Astilladas | | N° de Partículas Iniciales |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pasa Tamiz | Retiene Tamiz | N° | % | N° | % | N° | % | N° | % | |
| 2 1/2" | 1 1/2" | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 14 |
| 1 1/2" | 3/4" | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 4 | 1 | 2 | 51 |
| 3/4" | 3/8" | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 182 |
| 3/8" | N°4" | 0 | 0 | 9 | 4 | 6 | 3 | 5 | 2 | 231 |

(*) Este documento reemplaza al doc. AE-FO-76, versión 1 del 30/04/2018.

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME | Código | INGEO-LAB-F-AG04 |
|---|---|---|---|
| | **ENSAYO DE DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS ASTM C88** | Versión | 02 |
| | | Fecha | 23/09/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| PROYECTO | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | REGISTRO N°: | **L23-137-20** |
| SOLICITANTE | : Joao cordova Idrugo | REALIZADO POR : | R. Leyva |
| CÓDIGO DE PROYECTO | : Joao cordova Idrugo | REVISADO POR : | J. Gutiérrez |
| UBICACIÓN DE PROYECTO | : Cantera Pacaraos | FECHA DE ENSAYO : | 7/10/2023 |
| | | TURNO : | Diurno |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tipo de muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Cantera | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 79+500 | Cota: | --- |

**DURABILIDAD EN SULFATO DE MAGNESIO [AGREGADO FINO]**
**ASTM C88 / MTC E 209**

**Examen cuantitativo**

| Tamaño del Agregado | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pasa Tamiz | Retiene Tamiz | % RETENIDO | PESO INICIAL g | PESO FINAL g | DIF. | %PERD. | % Pérdida |
| 3/8" | N° 4 | 11.7 | 100 | 50.3 | 49.7 | 49.7 | 5.81 |
| N° 4 | N° 8 | 12.4 | 100 | 75.8 | 24.2 | 24.2 | 3.00 |
| N° 8 | N° 16 | 7.8 | 100 | 81.3 | 18.7 | 18.7 | 1.46 |
| N° 16 | N° 30 | 4.2 | 100 | 90.9 | 9.1 | 9.1 | 0.38 |
| N° 30 | N° 50 | 2.7 | 100 | 84.9 | 15.1 | 15.1 | 0.41 |

| | |
|---|---|
| Perdida Total ( ΣE ) = | **11.1%** |

(*) Este documento reemplaza al doc- AE-FO75, version 1 del 23/09/2020

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante

| REVISADO POR | AUTORIZADO POR |
|---|---|
| Nombre y firma: | Nombre y firma: |

| | INFORME DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-AG05 |
|---|---|---|---|
| | ENSAYO DE DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS | Versión | 02 |
| | | Fecha | 23/09/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| PROYECTO | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | REGISTRO N°: | L23-137-21 |
| SOLICITANTE | : Joao cordova Idrugo | REALIZADO POR : | R. leyva |
| ATENCIÓN | : Joao cordova Idrugo | REVISADO POR : | J. Gutiérrez |
| UBICACIÓN DE PROYECTO | : Cantera Francopampa | FECHA DE ENSAYO : | 7/11/2023 |
| | | TURNO : | Diurno |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tipo de muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Cantera | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 107+500 | Cota: | --- |

**DURABILIDAD EN SULFATO DE MAGNESIO [AGREGADO GRUESO ]**
**ASTM C88 / MTC E 209**

**Examen cuantitativo**

| Tamaño del Agregado | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pasa Tamiz | Retiene Tamiz | % Retenido | P.INIC. | P.FIN. | PERD. PESO | %PERD. | % Pérdida |
| 2 1/2" | 1 1/2" | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| 1 1/2" | 3/4" | 5.4 | 1457.1 | 1078.6 | 378.5 | 26.0 | 1.40 |
| 3/4" | 3/8" | 27.0 | 1004.2 | 782.4 | 221.8 | 22.1 | 5.96 |
| 3/8" | N° 4 | 22.7 | 301.5 | 254.1 | 47.4 | 15.7 | 3.57 |
| Perdida Total ( ΣE ) = | | | | | | | **10.9%** |

**Examen cualitativo**

| Tamaño del Agregado | | Rajadas | | Desmoronadas | | Fracturadas | | Astilladas | | N° de Partículas Iniciales |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pasa Tamiz | Retiene Tamiz | N° | % | N° | % | N° | % | N° | % | |
| 2 1/2" | 1 1/2" | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 1/2" | 3/4" | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 0 | 40 |
| 3/4" | 3/8" | 1 | 1 | 6 | 6 | 4 | 4 | 1 | 1 | 109 |
| 3/8" | N°4" | 1 | 0 | 8 | 3 | 3 | 1 | 4 | 2 | 241 |

(*) Este documento reemplaza al doc. AE-FO-76, versión 1 del 30/04/2018.

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME | Código | INGEO-LAB-F-AG04 |
|---|---|---|---|
| | **ENSAYO DE DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS ASTM C88** | Versión | 02 |
| | | Fecha | 23/09/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| PROYECTO | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | REGISTRO N°: | **L23-137-22** |
| SOLICITANTE | : Joao cordova Idrugo | REALIZADO POR : | R. Leyva |
| CÓDIGO DE PROYECTO | : Joao cordova Idrugo | REVISADO POR : | J. Gutiérrez |
| UBICACIÓN DE PROYECTO | : Cantera Framcopampa | FECHA DE ENSAYO : | 7/10/2023 |
| | | TURNO : | Diurno |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tipo de muestra | : --- | Profundidad: | --- |
| Cantera | : --- | Norte: | --- |
| N° de Muestra | : --- | Este: | --- |
| Progresiva | : 107+500 | Cota: | --- |

**DURABILIDAD EN SULFATO DE MAGNESIO [AGREGADO FINO]**
**ASTM C88 / MTC E 209**

**Examen cuantitativo**

| Tamaño del Agregado | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pasa Tamiz | Retiene Tamiz | % RETENIDO | PESO INICIAL g | PESO FINAL g | DIF. | %PERD. | % Pérdida |
| 3/8" | N° 4 | 22.7 | 100 | 84.9 | 15.1 | 15.1 | 3.43 |
| N° 4 | N° 8 | 9.5 | 100 | 72.9 | 27.1 | 27.1 | 2.57 |
| N° 8 | N° 16 | 7.8 | 100 | 78.1 | 21.9 | 21.9 | 1.71 |
| N° 16 | N° 30 | 3.9 | 100 | 87.9 | 12.1 | 12.1 | 0.47 |
| N° 30 | N° 50 | 2.1 | 100 | 91.1 | 8.9 | 8.9 | 0.19 |

| | |
|---|---|
| Perdida Total ( ΣE ) = | **8.4%** |

(*) Este documento reemplaza al doc- AE-FO75, version 1 del 23/09/2020

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | REPORTE DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-CO08 |
|---|---|---|---|
| | **Métodos de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de cilindros de cemento de suelo moldeados** | Versión | 02 |
| | | Fecha | 10/10/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-23 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de Ensayo : | 7/11/2023 |
| Fecha de emisión | : 07/12/2023 | Turno : | Diurno |

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra | : Suelo Natural + 3% Cemento |
| Presentación | : Especímenes cilíndricos 4" x 8" |
| Progresiva | : 79+500 |

**Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders**
**ASTM D1633-17**

| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | TIPO DE FALLA | RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO | FUERZA MÁXIMA (kg) | ESFUERZO | ESFUERZO | % F'c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3% CEMENTO M-1 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.12 | 19.85 | --- | 1.96 | 836.5 | 10.40 kg/cm2 | 1.0 Mpa | --- |
| 3% CEMENTO M-2 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.09 | 19.86 | --- | 1.97 | 855.6 | 10.70 kg/cm2 | 1.0 Mpa | --- |
| 3% CEMENTO M-3 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.06 | 19.87 | 0 | 1.98 | 838.6 | 10.55 kg/cm2 | 1.0 Mpa | --- |

**OBSERVACIONES:**

* Muestras elaboradas y curadas por el personal de INGEOCONTROL
* En caso que las muestras no cumplan con la relación altura / diámetro, se utilizara el factor de corrección de esfuerzo

El presente documento reemplaza al doc. AE-FO-101, ver. 1, del 19/04/2020

INGEOCONTROL SAC

| AVISO DE CONFIDENCIALIDAD: | REVISADO POR | AUTORIZADO POR |
|---|---|---|
| Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.<br>Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.<br>La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante. | Nombre y firma:<br>Luis Melgar Angeles<br>JEFE DE LABORATORIO<br>INGEOCONTROL S.A.C. | Nombre y firma:<br>Arnaldo Perez Ccoscco<br>CIP: 190140<br>Gerente Técnico |

| | REPORTE DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-CO08 |
|---|---|---|---|
| | **Métodos de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de cilindros de cemento de suelo moldeados** | Versión | 02 |
| | | Fecha | 10/10/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-24 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de Ensayo : | 7/11/2023 |
| Fecha de emisión | : 07/12/2023 | Turno : | Diurno |

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra | : Suelo Natural + 4% Cemento |
| Presentación | : Especímenes cilíndricos 4" x 8" |
| Progresiva | : 79+500 |

**Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders**
**ASTM D1633-17**

| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | TIPO DE FALLA | RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO | FUERZA MÁXIMA (kg) | ESFUERZO | ESFUERZO | % F'c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4% CEMENTO M-1 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.10 | 19.96 | --- | 1.98 | 937.4 | 11.70 kg/cm2 | 1.15 Mpa | --- |
| 4% CEMENTO M-2 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.06 | 19.89 | --- | 1.98 | 953.8 | 12.00 kg/cm2 | 1.18 Mpa | --- |
| 4% CEMENTO M-3 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.14 | 19.98 | --- | 1.97 | 956.9 | 11.85 kg/cm2 | 1.16 Mpa | --- |

**OBSERVACIONES:**

* Muestras elaboradas y curadas por el personal de INGEOCONTROL
* En caso que las muestras no cumplan con la relación altura / diámetro, se utilizara el factor de corrección de esfuerzo

El presente documento reemplaza al doc. AE-FO-101, ver. 1, del 19/04/2020

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | REPORTE DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-CO08 |
|---|---|---|---|
| | **Métodos de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de cilindros de cemento de suelo moldeados** | Versión | 02 |
| | | Fecha | 10/10/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-25 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de Ensayo : | 7/11/2023 |
| Fecha de emisión | : 07/12/2023 | Turno : | Diurno |

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra | : Suelo Natural + 5% Cemento |
| Presentación | : Especímenes cilíndricos 4" x 8" |
| Progresiva | : 79+500 |

**Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders**
**ASTM D1633-17**

| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | TIPO DE FALLA | RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO | FUERZA MÁXIMA (kg) | ESFUERZO | ESFUERZO | % F'c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5% CEMENTO M-1 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.08 | 19.96 | --- | 1.98 | 1464.6 | 18.35 kg/cm2 | 1.80 Mpa | --- |
| 5% CEMENTO M-2 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.05 | 19.86 | --- | 1.98 | 1497.6 | 18.88 kg/cm2 | 1.85 Mpa | --- |
| 5% CEMENTO M-3 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.12 | 19.97 | --- | 1.97 | 1500.1 | 18.65 kg/cm2 | 1.83 Mpa | --- |

**OBSERVACIONES:**

* Muestras elaboradas y curadas por el personal de INGEOCONTROL
* En caso que las muestras no cumplan con la relación altura / diámetro, se utilizara el factor de corrección de esfuerzo

El presente documento reemplaza al doc. AE-FO-101, ver. 1, del 19/04/2020

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | REPORTE DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-CO08 |
|---|---|---|---|
| | **Métodos de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de cilindros de cemento de suelo moldeados** | Versión | 02 |
| | | Fecha | 10/10/2022 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-26 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de Ensayo : | 7/11/2023 |
| Fecha de emisión | : 07/12/2023 | Turno : | Diurno |

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra | : Suelo Natural + 7% Cemento |
| Presentación | : Especímenes cilíndricos 4" x 8" |
| Progresiva | : 79+500 |

**Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders**
**ASTM D1633-17**

| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | TIPO DE FALLA | RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO | FUERZA MÁXIMA (kg) | ESFUERZO | ESFUERZO | % F'c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7% CEMENTO M-1 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.15 | 19.87 | --- | 1.96 | 1488.8 | 18.40 kg/cm2 | 1.8 Mpa | --- |
| 7% CEMENTO M-2 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.09 | 19.95 | --- | 1.98 | 1543.2 | 19.30 kg/cm2 | 1.9 Mpa | --- |
| 7% CEMENTO M-3 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.09 | 19.93 | --- | 1.98 | 1507.2 | 18.85 kg/cm2 | 1.8 Mpa | --- |

**OBSERVACIONES:**

* Muestras elaboradas y curadas por el personal de INGEOCONTROL
* En caso que las muestras no cumplan con la relación altura / diámetro, se utilizara el factor de corrección de esfuerzo

El presente documento reemplaza al doc. AE-FO-101, ver. 1, del 19/04/2020

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| REPORTE DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-CO08 |
|---|---|---|
| **Métodos de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de cilindros de cemento de suelo moldeados** | Versión | 02 |
| | Fecha | 10/10/2022 |
| | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-27 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Francopampa | Fecha de Ensayo : | 7/11/2023 |
| Fecha de emisión | : 07/12/2023 | Turno : | Diurno |

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra | : Suelo Natural + 3% Cemento |
| Presentación | : Especímenes cilíndricos 4" x 8" |
| Progresiva | : 107+500 |

**Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders**
**ASTM D1633-17**

| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | TIPO DE FALLA | RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO | FUERZA MÁXIMA (kg) | ESFUERZO | ESFUERZO | % F'c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3% CEMENTO M-1 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.15 | 19.78 | --- | 1.95 | 1772.0 | 21.90 kg/cm2 | 2.1 Mpa | --- |
| 3% CEMENTO M-2 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.09 | 19.95 | --- | 1.98 | 1695.1 | 21.20 kg/cm2 | 2.1 Mpa | --- |
| 3% CEMENTO M-3 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.13 | 19.85 | --- | 1.96 | 1736.8 | 21.55 kg/cm2 | 2.1 Mpa | --- |

**OBSERVACIONES:**

* Muestras elaboradas y curadas por el personal de INGEOCONTROL
* En caso que las muestras no cumplan con la relación altura / diámetro, se utilizara el factor de corrección de esfuerzo

El presente documento reemplaza al doc. AE-FO-101, ver. 1, del 19/04/2020

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| REPORTE DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-CO08 |
|---|---|---|
| **Métodos de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de cilindros de cemento de suelo moldeados** | Versión | 02 |
| | Fecha | 10/10/2022 |
| | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-28 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Framcopampa | Fecha de Ensayo : | 7/11/2023 |
| Fecha de emisión | : 07/12/2023 | Turno : | Diurno |

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra | : Suelo Natural + 4% Cemento |
| Presentación | : Especímenes cilíndricos 4" x 8" |
| Progresiva | : 107+500 |

**Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders**
**ASTM D1633-17**

| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | TIPO DE FALLA | RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO | FUERZA MÁXIMA (kg) | ESFUERZO | F'c | % F'c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4% CEMENTO M-1 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.09 | 19.95 | --- | 1.98 | 1863.1 | 23.30 kg/cm2 | 2.3 Mpa | --- |
| 4% CEMENTO M-2 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.11 | 19.93 | --- | 1.97 | 1814.3 | 22.60 kg/cm2 | 2.2 Mpa | --- |
| 4% CEMENTO M-3 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.10 | 19.99 | --- | 1.98 | 1838.7 | 22.95 kg/cm2 | 2.3 Mpa | --- |

**OBSERVACIONES:**

* Muestras elaboradas y curadas por el personal de INGEOCONTROL
* En caso que las muestras no cumplan con la relación altura / diámetro, se utilizara el factor de corrección de esfuerzo

El presente documento reemplaza al doc. AE-FO-101, ver. 1, del 19/04/2020

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| REPORTE DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-CO08 |
|---|---|---|
| **Métodos de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de cilindros de cemento de suelo moldeados** | Versión | 02 |
| | Fecha | 10/10/2022 |
| | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-29 |
| Solicitante | : Joao cordova idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Francopampa | Fecha de Ensayo : | 7/11/2023 |
| Fecha de emisión | : 07/12/2023 | Turno : | Diurno |

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra | : Suelo Natural + 5% Cemento |
| Presentación | : Especímenes cilíndricos 4" x 8" |
| Progresiva | : 107+500 |

**Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders**
**ASTM D1633-17**

| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | TIPO DE FALLA | RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO | FUERZA MÁXIMA (kg) | ESFUERZO | ESFUERZO | % F'c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5% CEMENTO M-1 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.09 | 19.96 | --- | 1.98 | 1991.0 | 24.90 kg/cm2 | 2.4 Mpa | --- |
| 5% CEMENTO M-2 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.13 | 19.93 | --- | 1.97 | 1974.6 | 24.50 kg/cm2 | 2.4 Mpa | --- |
| 5% CEMENTO M-3 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.07 | 19.99 | --- | 1.99 | 1967.2 | 24.70 kg/cm2 | 2.4 Mpa | --- |

**OBSERVACIONES:**

* Muestras elaboradas y curadas por el personal de INGEOCONTROL
* En caso que las muestras no cumplan con la relación altura / diámetro, se utilizara el factor de corrección de esfuerzo

El presente documento reemplaza al doc. AE-FO-101, ver. 1, del 19/04/2020

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| REPORTE DE ENSAYO | Código | INGEO-LAB-F-CO08 |
|---|---|---|
| **Métodos de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de cilindros de cemento de suelo moldeados** | Versión | 02 |
| | Fecha | 10/10/2022 |
| | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-30 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Francopampa | Fecha de Ensayo : | 7/11/2023 |
| Fecha de emisión | : 07/12/2023 | Turno : | Diurno |

| | |
|---|---|
| Tipo de muestra | : Suelo Natural + 7% Cemento |
| Presentación | : Especímenes cilíndricos 4" x 8" |
| Progresiva | : 107+500 |

**Standard Test Methods for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders**
**ASTM D1633-17**

| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE VACIADO | FECHA DE ROTURA | EDAD (días) | DIÁMETRO (cm) | ALTURA (cm) | TIPO DE FALLA | RELACIÓN ALTURA / DIÁMETRO | FUERZA MÁXIMA (kg) | ESFUERZO | ESFUERZO | % F'c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7% CEMENTO M-1 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.09 | 19.96 | --- | 1.98 | 2542.7 | 31.80 kg/cm2 | 3.1 Mpa | --- |
| 7% CEMENTO M-2 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.12 | 19.95 | --- | 1.97 | 2509.6 | 31.20 kg/cm2 | 3.1 Mpa | --- |
| 7% CEMENTO M-3 | 30/11/2023 | 7/12/2023 | 7 | 10.09 | 19.93 | --- | 1.98 | 2518.7 | 31.50 kg/cm2 | 3.1 Mpa | --- |

**OBSERVACIONES:**

* Muestras elaboradas y curadas por el personal de INGEOCONTROL
* En caso que las muestras no cumplan con la relación altura / diámetro, se utilizara el factor de corrección de esfuerzo

El presente documento reemplaza al doc. AE-FO-101, ver. 1, del 19/04/2020

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME | Código | AE-FO-67 |
|---|---|---|---|
| | HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO - CEMENTO COMPACTADO ASTM D-559 | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-31 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de Ensayo : | 7/12/2023 |
| Material | : Suelo + 3% Cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | | |
| Procedencia | : --- | | |
| Progresiva | : 79+500 | | |

## HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS ASTM D-559

| Método | | A |
|---|---|---|
| Densidad Máxima Seca | g/cm3 | 1.963 |
| Óptimo Contenido de Humedad | % | 6.7 |
| Contenido de cemento | % | 3 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Diámetro | cm | 10.15 | 10.16 |
| Altura | cm | 19.35 | 19.3 |
| Área | cm2 | 80.91 | 81.07 |
| Volumen Inicial | cm3 | 1566 | 1568 |
| Masa original del especimen | g | 3279.3 | 3284.1 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Densidad Humeda | g/cm3 | 2.094 | 2.095 |
| Contenido de Humedad | % | 6.70 | 6.70 |
| Contenido de Humedad Promedio | % | 6.70 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Densidad Seca del Especimen | g/cm3 | 1.963 | 1.963 |
| Masa original del suelo seco a 110 °C | % | 3073.4 | 3077.9 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Masa seco Final | g | 2785.3 | 2777.8 |
| Masa Humedo | g | 2970.3 | 2963.8 |
| Masa seco corregido | g | 2785.3 | 2777.8 |
| Contenido de Humedad | % | 10.3 | 10.8 |
| Pérdida de suelo cemento del especimen N° 2 | % | --- | 9.75 |

| Ciclo | Fecha | Ø (cm) | h (cm) | Masa (g) | Volumen (cm3) | Diferencia de Volumen % | W% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 9/12/2023 | 10.15 | 19.34 | 3062.3 | 1564.9 | 0.050 | 9.9 |
| 2 | 11/12/2023 | 10.15 | 19.34 | 3025.9 | 1564.9 | 0.050 | 9.8 |
| 3 | 13/12/2023 | 10.13 | 19.28 | 2995.6 | 1553.9 | 0.752 | 9.9 |
| 4 | 15/12/2023 | 10.06 | 19.25 | 2912.4 | 1530.1 | 2.272 | 10.3 |
| 5 | 17/12/2023 | 10.04 | 19.2 | 2849.8 | 1520.1 | 2.911 | 10.4 |
| 6 | 19/12/2023 | 9.96 | 19.2 | 2843 | 1495.9 | 4.457 | 10.4 |
| 7 | 21/12/2023 | 9.93 | 18.96 | 2827.8 | 1468.3 | 6.220 | 10.4 |
| 8 | 23/12/2023 | 9.9 | 18.93 | 2826.4 | 1457.2 | 6.929 | 10.6 |
| 9 | 25/12/2023 | 9.87 | 18.9 | 2820.3 | 1446.1 | 7.638 | 10.6 |
| 10 | 27/12/2023 | 9.82 | 18.85 | 2786.6 | 1427.7 | 8.813 | 10.6 |
| 11 | 29/12/2023 | 9.75 | 18.65 | 2759.6 | 1392.4 | 11.067 | 10.5 |
| 12 | 31/12/2023 | 9.74 | 18.6 | 2745.3 | 1385.9 | 11.483 | 10.5 |

| Especimen | Cambio de Volumen Máximo % |
|---|---|
| 1 | 11.48 |

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME | Código | AE-FO-67 |
|---|---|---|---|
| | HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO - CEMENTO COMPACTADO ASTM D-559 | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-32 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de Ensayo : | 7/12/2023 |
| Material | : Suelo +4% Cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | | |
| Procedencia | : --- | | |
| Progresiva | : 79+500 | | |

## HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS ASTM D-559

| Método | | A |
|---|---|---|
| Densidad Máxima Seca | g/cm3 | 1.975 |
| Óptimo Contenido de Humedad | % | 9.7 |
| Contenido de cemento | % | 4 |

| Diámetro | cm | 10.23 | 10.23 |
|---|---|---|---|
| Altura | cm | 19.33 | 19.3 |
| Área | cm2 | 82.19 | 82.19 |
| Volumen Inicial | cm3 | 1589 | 1589 |
| Masa inical del especimen | g | 3442.3 | 3442.1 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Densidad Humeda | g/cm3 | 2.167 | 2.166 |
| Contenido de Humedad | % | 9.70 | 9.70 |
| Contenido de Humedad Promedio | % | 9.70 | |

| Densidad Seca del Especimen | g/cm3 | 1.975 | 1.975 |
|---|---|---|---|
| Masa del suelo seco Estimado | % | 3137.9 | 3137.7 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Masa seco Final | g | 2911.3 | 2910.9 |
| Masa Humedo | g | 3201.3 | 3256.6 |
| Masa seco corregido | g | 2911.3 | 2910.9 |
| Contenido de Humedad | % | 7.784 | 7.793 |
| Pérdida de suelo cemento del especimen N° 2 | % | --- | 7.23 |

| Ciclo | Fecha | Ø (cm) | h (cm) | Masa (g) | Volumen (cm3) | Diferencia de Volumen % | W% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 9/12/2023 | 10.22 | 19.3 | 3134.7 | 1583.2 | 0.353 | 6.9 |
| 2 | 11/12/2023 | 10.21 | 19.24 | 3124.6 | 1575.2 | 0.857 | 7.1 |
| 3 | 13/12/2023 | 10.21 | 19.2 | 3112.4 | 1572 | 1.058 | 7.1 |
| 4 | 15/12/2023 | 10.18 | 19.15 | 3106.1 | 1558.7 | 1.895 | 7.1 |
| 5 | 17/12/2023 | 10.15 | 19.05 | 3066.3 | 1541.4 | 2.984 | 7.3 |
| 6 | 19/12/2023 | 10.15 | 19.01 | 3059.9 | 1538.2 | 3.186 | 7.3 |
| 7 | 21/12/2023 | 10.12 | 18.84 | 3029.9 | 1515.4 | 4.621 | 7.4 |
| 8 | 23/12/2023 | 10.1 | 18.71 | 3000.3 | 1499 | 5.653 | 7.0 |
| 9 | 25/12/2023 | 10.1 | 18.51 | 2985.9 | 1483 | 6.660 | 7.2 |
| 10 | 27/12/2023 | 10.05 | 18.4 | 2963.6 | 1459.6 | 8.133 | 7.4 |
| 11 | 29/12/2023 | 10.05 | 18.32 | 2944.5 | 1453.3 | 8.529 | 7.6 |
| 12 | 31/12/2023 | 10.05 | 18.32 | 2893.6 | 1453.3 | 8.529 | 7.5 |

| Especimen | Cambio de Volumen Máximo % |
|---|---|
| 1 | 8.53 |

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME | Código | AE-FO-67 |
|---|---|---|---|
| LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES INGEOCONTROL | HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO - CEMENTO COMPACTADO ASTM D-559 | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-33 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de Ensayo : | 7/11/2023 |
| Material | : Suelo + 5% Cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | | |
| Procedencia | : --- | | |
| Progresiva | : 79+500 | | |

## HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS ASTM D-559

| Método | | A |
|---|---|---|
| Densidad Máxima Seca | g/cm3 | 1.98 |
| Óptimo Contenido de Humedad | % | 7.90 |
| Contenido de cemento | % | 5.00 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Diámetro | cm | 9.73 | 9.73 |
| Altura | cm | 19.70 | 19.72 |
| Área | cm2 | 74.36 | 74.36 |
| Volumen Inicial | cm3 | 1464.81 | 1466.30 |
| Masa inical del especimen | g | 3127.87 | 3131.04 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Densidad Humeda | g/cm3 | 2.14 | 2.14 |
| Contenido de Humedad | % | 7.90 | 7.90 |
| Contenido de Humedad Promedio | % | 7.90 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Densidad Seca del Especimen | g/cm3 | 1.98 | 1.98 |
| Masa del suelo seco Estimado | % | 2898.86 | 2901.80 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Masa seco Final | g | 2740.10 | 2715.30 |
| Masa Humedo | g | 2970.3 | 2963.8 |
| Masa seco corregido | g | 2740.1 | 2715.3 |
| Contenido de Humedad | % | 5.794 | 6.868 |
| Pérdida de suelo cemento del especimen N° 2 | % | --- | 6.43 |

| Ciclo | Fecha | Ø (cm) | h (cm) | Masa (g) | Volumen (cm3) | Diferencia de Volumen % | W% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 9/11/2023 | 9.72 | 19.69 | 2788.70 | 1461.10 | 0.253 | 5.0 |
| 2 | 11/11/2023 | 9.72 | 19.69 | 2785.60 | 1461.10 | 0.253 | 5.2 |
| 3 | 13/11/2023 | 9.70 | 19.7 | 2659.80 | 1455.80 | 0.615 | 5.2 |
| 4 | 15/11/2023 | 9.68 | 19.7 | 2652.00 | 1449.80 | 1.025 | 5.2 |
| 5 | 17/11/2023 | 9.67 | 19.61 | 2633.10 | 1440.20 | 1.680 | 5.3 |
| 6 | 19/11/2023 | 9.60 | 19.52 | 2632.60 | 1412.90 | 3.544 | 5.5 |
| 7 | 21/11/2023 | 9.58 | 19.39 | 2615.30 | 1397.70 | 4.582 | 5.3 |
| 8 | 23/11/2023 | 9.56 | 19.35 | 2604.90 | 1389.00 | 5.176 | 5.5 |
| 9 | 25/11/2023 | 9.52 | 19.35 | 2585.30 | 1377.40 | 5.967 | 5.5 |
| 10 | 27/11/2023 | 9.49 | 19.24 | 2562.50 | 1360.90 | 7.094 | 5.6 |
| 11 | 29/11/2023 | 9.48 | 19.23 | 2552.60 | 1357.30 | 7.340 | 5.5 |
| 12 | 1/12/2023 | 9.48 | 19.23 | 2540.10 | 1357.30 | 7.340 | 5.5 |

| Especimen | Cambio de Volumen Máximo % |
|---|---|
| 1 | 7.34 |

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME | Código | AE-FO-67 |
|---|---|---|---|
| | HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO - CEMENTO COMPACTADO ASTM D-559 | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-34 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Pacaraos | Fecha de Ensayo : | 9/12/2023 |
| Material | : Suelo + 7% Cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | | |
| Procedencia | : --- | | |
| Progresiva | : 79+500 | | |

## HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS ASTM D-559

| Método | | A |
|---|---|---|
| Densidad Máxima Seca | g/cm3 | 1.986 |
| Óptimo Contenido de Humedad | % | 6.3 |
| Contenido de cemento | % | 7 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Diámetro | cm | 10.11 | 10.11 |
| Altura | cm | 20.08 | 20.1 |
| Área | cm2 | 80.28 | 80.28 |
| Volumen Inicial | cm3 | 1612 | 1612 |
| Masa inical del especimen | g | 3403.8 | 3403.7 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Densidad Humeda | g/cm3 | 2.112 | 2.112 |
| Contenido de Humedad | % | 6.30 | 6.30 |
| Contenido de Humedad Promedio | % | 6.30 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Densidad Seca del Especimen | g/cm3 | 1.986 | 1.986 |
| Masa del suelo seco Estimado | % | 3202.1 | 3202.0 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Masa seco Final | g | 3104.4 | 3107.2 |
| Masa Humedo | g | 3304.3 | 3302.6 |
| Masa seco corregido | g | 3104.4 | 3107.2 |
| Contenido de Humedad | % | 3.146 | 3.050 |
| Pérdida de suelo cemento del especimen N° 2 | % | --- | 2.96 |

| Ciclo | Fecha | Ø (cm) | h (cm) | Masa (g) | Volumen (cm3) | Diferencia de Volumen % | W% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 11/12/2023 | 10.1 | 20.07 | 3201.6 | 1608 | 0.246 | 2.7 |
| 2 | 13/12/2023 | 10.1 | 20.06 | 3199.8 | 1607.2 | 0.296 | 2.7 |
| 3 | 15/12/2023 | 10.09 | 20.06 | 3199.4 | 1604 | 0.494 | 2.8 |
| 4 | 17/12/2023 | 10.08 | 20.01 | 3198.1 | 1596.8 | 0.941 | 2.7 |
| 5 | 19/12/2023 | 10.02 | 19.98 | 3189.8 | 1575.5 | 2.262 | 2.9 |
| 6 | 21/12/2023 | 9.98 | 19.96 | 3170.8 | 1561.4 | 3.137 | 2.7 |
| 7 | 23/12/2023 | 9.98 | 19.93 | 3149 | 1559 | 3.286 | 2.8 |
| 8 | 25/12/2023 | 9.95 | 19.93 | 3140.2 | 1549.7 | 3.863 | 3.1 |
| 9 | 27/12/2023 | 9.95 | 19.9 | 3134.6 | 1547.4 | 4.005 | 3.1 |
| 10 | 29/12/2023 | 9.95 | 19.9 | 3125.6 | 1547.4 | 4.005 | 2.9 |
| 11 | 31/12/2023 | 9.93 | 19.9 | 3110.9 | 1541.1 | 4.396 | 2.9 |
| 12 | 2/01/2024 | 9.93 | 19.88 | 3104.4 | 1539.6 | 4.489 | 2.9 |

| Especimen | Cambio de Volumen Máximo % |
|---|---|
| 1 | 4.49 |

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME | Código | AE-FO-67 |
|---|---|---|---|
| | HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO - CEMENTO COMPACTADO ASTM D-559 | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-35 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Francopampa | Fecha de Ensayo : | 7/12/2023 |
| Material | : Suelo + 3% Cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | | |
| Procedencia | : --- | | |
| Progresiva | : 107+500 | | |

## HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS ASTM D-559

| Método | | A |
|---|---|---|
| Densidad Máxima Seca | g/cm3 | 2.056 |
| Óptimo Contenido de Humedad | % | 9.2 |
| Contenido de cemento | % | 3 |

| Diámetro | cm | 10.16 | 10.16 |
|---|---|---|---|
| Altura | cm | 19.66 | 19.7 |
| Área | cm2 | 81.07 | 81.07 |
| Volumen Inicial | cm3 | 1594 | 1594 |
| Masa inical del especimen | g | 3578.5 | 3580.4 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Densidad Humeda | g/cm3 | 2.245 | 2.246 |
| Contenido de Humedad | % | 9.20 | 9.20 |
| Contenido de Humedad Promedio | % | 9.20 | |

| Densidad Seca del Especimen | g/cm3 | 2.056 | 2.057 |
|---|---|---|---|
| Masa del suelo seco Estimado | % | 3277.1 | 3278.8 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Masa seco Final | g | 3097.3 | 3097.54 |
| Masa Humedo | g | 3382.4 | 3380.2 |
| Masa seco corregido | g | 3097.3 | 3097.5 |
| Contenido de Humedad | % | 5.803 | 5.850 |
| Pérdida de suelo cemento del especimen N° 2 | % | --- | 5.53 |

| Ciclo | Fecha | Ø (cm) | h (cm) | Masa (g) | Volumen (cm3) | Diferencia de Volumen % | W% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 9/12/2023 | 10.15 | 19.4 | 3276.8 | 1569.7 | 1.518 | 4.6 |
| 2 | 11/12/2023 | 10.15 | 19.37 | 3275.4 | 1567.3 | 1.669 | 4.6 |
| 3 | 13/12/2023 | 10.15 | 19.28 | 3275.2 | 1560 | 2.127 | 4.6 |
| 4 | 15/12/2023 | 10.15 | 19.22 | 3274.1 | 1555.2 | 2.428 | 4.6 |
| 5 | 17/12/2023 | 10.07 | 19.15 | 3238.2 | 1525.2 | 4.310 | 4.9 |
| 6 | 19/12/2023 | 10.02 | 19.15 | 3234.2 | 1510.1 | 5.257 | 5.4 |
| 7 | 21/12/2023 | 10.01 | 19.06 | 3230.2 | 1500 | 5.891 | 5.2 |
| 8 | 23/12/2023 | 9.98 | 19.01 | 3218.6 | 1487.1 | 6.700 | 5.4 |
| 9 | 25/12/2023 | 9.98 | 19 | 3205.1 | 1486.3 | 6.751 | 5.4 |
| 10 | 27/12/2023 | 9.94 | 18.94 | 3175.6 | 1469.7 | 7.792 | 5.2 |
| 11 | 29/12/2023 | 9.93 | 18.93 | 3126.3 | 1466 | 8.024 | 5.4 |
| 12 | 31/12/2023 | 9.93 | 18.91 | 3097.3 | 1464.5 | 8.118 | 5.4 |

| Especimen | Cambio de Volumen Máximo % |
|---|---|
| 1 | 8.12 |

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME | Código | AE-FO-67 |
|---|---|---|---|
| LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES INGEOCONTROL | HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO - CEMENTO COMPACTADO ASTM D-559 | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-36 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Francopampa | Fecha de Ensayo : | 7/12/2023 |
| Material | : Suelo + 4% Cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | | |
| Procedencia | : --- | | |
| Progresiva | : 107+500 | | |

## HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS ASTM D-559

| Método | | A |
|---|---|---|
| Densidad Máxima Seca | g/cm3 | 2.059 |
| Óptimo Contenido de Humedad | % | 9.3 |
| Contenido de cemento | % | 4 |

| Diámetro | cm | 10.12 | 10.12 |
|---|---|---|---|
| Altura | cm | 20.02 | 19.7 |
| Área | cm2 | 80.44 | 80.44 |
| Volumen Inicial | cm3 | 1610 | 1582 |
| Masa inical del especimen | g | 3624.0 | 3563.2 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Densidad Humeda | g/cm3 | 2.250 | 2.252 |
| Contenido de Humedad | % | 9.30 | 9.30 |
| Contenido de Humedad Promedio | % | 9.30 | |

| Densidad Seca del Especimen | g/cm3 | 2.059 | 2.060 |
|---|---|---|---|
| Masa del suelo seco Estimado | % | 3315.6 | 3260.0 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Masa seco Final | g | 3123.6 | 3103 |
| Masa Humedo | g | 3414.6 | 3416.6 |
| Masa seco corregido | g | 3123.6 | 3103.0 |
| Contenido de Humedad | % | 6.148 | 5.060 |
| Pérdida de suelo cemento del especimen N° 2 | % | --- | 4.82 |

| Ciclo | Fecha | Ø (cm) | h (cm) | Masa (g) | Volumen (cm3) | Diferencia de Volumen % | W% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 9/12/2023 | 10.11 | 20.01 | 3305.3 | 1606.3 | 0.250 | 4.4 |
| 2 | 11/12/2023 | 10.11 | 19.95 | 3301.5 | 1601.5 | 0.548 | 4.5 |
| 3 | 13/12/2023 | 10.09 | 19.84 | 3295.6 | 1586.4 | 1.486 | 4.5 |
| 4 | 15/12/2023 | 10.08 | 19.71 | 3195.6 | 1572.9 | 2.324 | 4.5 |
| 5 | 17/12/2023 | 10.05 | 19.62 | 3190.6 | 1556.4 | 3.349 | 4.7 |
| 6 | 19/12/2023 | 10.03 | 19.53 | 3185.6 | 1543.1 | 4.175 | 4.7 |
| 7 | 21/12/2023 | 10.03 | 19.3 | 3180.5 | 1524.9 | 5.305 | 4.5 |
| 8 | 23/12/2023 | 10.03 | 19.23 | 3175.1 | 1519.4 | 5.647 | 4.9 |
| 9 | 25/12/2023 | 10.01 | 19.15 | 3165.3 | 1507 | 6.417 | 4.9 |
| 10 | 27/12/2023 | 10.01 | 19.06 | 3142.8 | 1500 | 6.851 | 4.9 |
| 11 | 29/12/2023 | 10.01 | 19.06 | 3135.7 | 1500 | 6.851 | 4.8 |
| 12 | 31/12/2023 | 10 | 19.05 | 3103.6 | 1496.2 | 7.087 | 4.8 |

| Especimen | Cambio de Volumen Máximo % |
|---|---|
| 1 | 7.09 |

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME | Código | AE-FO-67 |
|---|---|---|---|
| | HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO - CEMENTO COMPACTADO ASTM D-559 | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-37 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Francopampa | Fecha de Ensayo : | 7/12/2023 |
| Material | : Suelo + 5% Cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | | |
| Procedencia | : --- | | |
| Progresiva | : 107+500 | | |

## HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS ASTM D-559

| Método | | A |
|---|---|---|
| Densidad Máxima Seca | g/cm3 | 2.045 |
| Óptimo Contenido de Humedad | % | 8.5 |
| Contenido de cemento | % | 5 |

| Diámetro | cm | 10.09 | 10.09 |
|---|---|---|---|
| Altura | cm | 19.98 | 20.0 |
| Área | cm2 | 79.96 | 79.96 |
| Volumen Inicial | cm3 | 1598 | 1597 |
| Masa inical del especimen | g | 3547.0 | 3546.7 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Densidad Humeda | g/cm3 | 2.220 | 2.221 |
| Contenido de Humedad | % | 8.50 | 8.50 |
| Contenido de Humedad Promedio | % | 8.50 | |

| Densidad Seca del Especimen | g/cm3 | 2.046 | 2.047 |
|---|---|---|---|
| Masa del suelo seco Estimado | % | 3269.1 | 3268.8 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Masa seco Final | g | 3170.5 | 3140.51 |
| Masa Humedo | g | 3304.3 | 3302.6 |
| Masa seco corregido | g | 3170.5 | 3140.5 |
| Contenido de Humedad | % | 3.111 | 4.087 |
| Pérdida de suelo cemento del especimen N° 2 | % | --- | 3.93 |

| Ciclo | Fecha | Ø (cm) | h (cm) | Masa (g) | Volumen (cm3) | Diferencia de Volumen % | W% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 9/12/2023 | 10.08 | 19.95 | 3264.3 | 1592 | 0.350 | 3.2 |
| 2 | 11/12/2023 | 10.08 | 19.93 | 3260.8 | 1590.4 | 0.451 | 3.2 |
| 3 | 13/12/2023 | 10.06 | 19.93 | 3259.3 | 1584.1 | 0.845 | 3.1 |
| 4 | 15/12/2023 | 10.05 | 19.9 | 3236.8 | 1578.6 | 1.189 | 3.3 |
| 5 | 17/12/2023 | 10.03 | 19.85 | 3228.6 | 1568.4 | 1.828 | 3.2 |
| 6 | 19/12/2023 | 9.98 | 19.83 | 3210.5 | 1551.2 | 2.904 | 3.0 |
| 7 | 21/12/2023 | 9.98 | 19.82 | 3209.8 | 1550.4 | 2.954 | 3.0 |
| 8 | 23/12/2023 | 9.95 | 19.8 | 3201.6 | 1539.6 | 3.630 | 3.0 |
| 9 | 25/12/2023 | 9.95 | 19.78 | 3200.8 | 1538 | 3.731 | 3.1 |
| 10 | 27/12/2023 | 9.93 | 19.78 | 3185.4 | 1531.8 | 4.119 | 3.2 |
| 11 | 29/12/2023 | 9.93 | 19.75 | 3180.5 | 1529.5 | 4.263 | 3.3 |
| 12 | 31/12/2023 | 9.92 | 19.73 | 3174.6 | 1524.9 | 4.550 | 3.3 |

| Especimen | Cambio de Volumen Máximo % |
|---|---|
| 1 | 4.55 |

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico

| | INFORME | Código | AE-FO-67 |
|---|---|---|---|
| | HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO - CEMENTO COMPACTADO ASTM D-559 | Versión | 01 |
| | | Fecha | 30-04-2018 |
| | | Página | 1 de 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Proyecto | : Calidad de las canteras y el desgaste frente a ciclos de humedecimiento - secado del suelo estabilizado con cemento en el Tramo Acos Huayllay | Registro N°: | L23-137-38 |
| Solicitante | : Joao cordova Idrugo | Muestreado por : | Solicitante |
| Cliente | : Joao cordova Idrugo | Ensayado por : | R. Leyva |
| Ubicación de Proyecto | : Cantera Francopampa | Fecha de Ensayo : | 7/12/2023 |
| Material | : Suelo + 7% Cemento | Turno : | Diurno |
| Código de Muestra | : --- | | |
| Procedencia | : --- | | |
| Progresiva | : 107+500 | | |

## HUMEDECIMIENTO Y SECADO DE MEZCLAS DE SUELO CEMENTO COMPACTADAS ASTM D-559

| Método | | A |
|---|---|---|
| Densidad Máxima Seca | g/cm3 | 2.040 |
| Óptimo Contenido de Humedad | % | 8.4 |
| Contenido de cemento | % | 7 |

| Diámetro | cm | 10.18 | 10.18 |
|---|---|---|---|
| Altura | cm | 19.7 | 19.7 |
| Área | cm2 | 81.39 | 81.39 |
| Volumen Inicial | cm3 | 1603 | 1604 |
| Masa inical del especimen | g | 3546.0 | 3546.1 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Densidad Humeda | g/cm3 | 2.212 | 2.210 |
| Contenido de Humedad | % | 8.40 | 8.40 |
| Contenido de Humedad Promedio | % | 8.40 | |

| Densidad Seca del Especimen | g/cm3 | 2.040 | 2.039 |
|---|---|---|---|
| Masa del suelo seco Estimado | % | 3271.2 | 3271.3 |

| Especimen | | 1 | 2 |
|---|---|---|---|
| Masa seco Final | g | 3135.1 | 3175.7 |
| Masa Humedo | g | 3399.5 | 3396.8 |
| Masa seco corregido | g | 3135.1 | 3175.7 |
| Contenido de Humedad | % | 4.342 | 3.011 |
| Pérdida de suelo cemento del especimen N° 2 | % | --- | 2.92 |

| Ciclo | Fecha | Ø (cm) | h (cm) | Masa (g) | Volumen (cm3) | Diferencia de Volumen % | W% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 9/12/2023 | 10.16 | 19.68 | 3270.6 | 1595.5 | 0.495 | 2.9 |
| 2 | 11/12/2023 | 10.16 | 19.63 | 3268.8 | 1591.5 | 0.744 | 2.9 |
| 3 | 13/12/2023 | 10.15 | 19.6 | 3265.1 | 1585.9 | 1.094 | 2.8 |
| 4 | 15/12/2023 | 10.15 | 19.6 | 3261.5 | 1585.9 | 1.094 | 2.8 |
| 5 | 17/12/2023 | 10.15 | 19.52 | 3261.1 | 1579.4 | 1.499 | 3.0 |
| 6 | 19/12/2023 | 10.09 | 19.5 | 3257.5 | 1559.2 | 2.759 | 3.0 |
| 7 | 21/12/2023 | 10.08 | 19.502 | 3250.6 | 1556.3 | 2.940 | 2.8 |
| 8 | 23/12/2023 | 10.07 | 19.47 | 3140.6 | 1550.7 | 3.289 | 2.8 |
| 9 | 25/12/2023 | 10.07 | 19.43 | 3135.6 | 1547.5 | 3.489 | 2.9 |
| 10 | 27/12/2023 | 10.06 | 19.43 | 3135.2 | 1544.4 | 3.682 | 2.9 |
| 11 | 29/12/2023 | 10.06 | 19.42 | 3135 | 1543.6 | 3.732 | 2.7 |
| 12 | 31/12/2023 | 10.06 | 19.42 | 3134.8 | 1543.6 | 3.732 | 2.8 |

| Especimen | Cambio de Volumen Máximo % |
|---|---|
| 1 | 3.73 |

INGEOCONTROL SAC

AVISO DE CONFIDENCIALIDAD:

Este documento no tiene validez sin firma y sello del Jefe de Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM-INGEOCONTROL) y Jefe de Aseguramiento de la Calidad.

Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento, toda copia y distribución del mismo fuera de nuestra organización, será considerada como COPIA NO CONTROLADA.

La interpretación y uso de los resultados emitidos queda a entera responsabilidad del usuario solicitante.

REVISADO POR

Nombre y firma:

Luis Melgar Angeles
JEFE DE LABORATORIO
INGEOCONTROL S.A.C.

AUTORIZADO POR

Nombre y firma:

Arnaldo Perez Ccoscco
CIP: 190140
Gerente Técnico