



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DETERMINACIÓN DE ADICIÓN DE CAL PARA MEJORAR ESTABILIDAD DE
SUELO COHESIVO CON ALTA ACTIVIDAD, PARA TRÁNSITO INDUSTRIAL EN
LURÍN, LIMA 2024

Línea de investigación:

**Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y
geotecnia**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Arohuilca Huamán, Santiago

Asesor:

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo

ORCID: 0000-0001-8625-3989

Jurado:

Bedía Guillen, Ciro Sergio

García Urrutia-Olavarría, Roque Jesús Leonardo

Tabory Malpartida, Gustavo Augusto

Lima - Perú

2024



“DETERMINACIÓN DE ADICIÓN DE CAL PARA MEJORAR ESTABILIDAD DE SUELO COHESIVO CON ALTA ACTIVIDAD, PARA TRÁNSITO INDUSTRIAL EN LURÍN, LIMA 2024”

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	15%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	kupdf.net Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1%



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**DETERMINACIÓN DE ADICIÓN DE CAL PARA MEJORAR ESTABILIDAD DE
SUELO COHESIVO CON ALTA ACTIVIDAD, PARA TRÁNSITO INDUSTRIAL EN
LURÍN, LIMA 2024**

Línea de investigación:

Desarrollo urbano-rural, Catastro, Prevención de riesgos, Hidráulica y geotecnia

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Arohuilca Huamán, Santiago

Asesor:

Aybar Arriola, Gustavo Adolfo
(ORCID: 0000-0001-8625-3989)

Jurado:

Bedía Guillén, Ciro Sergio
García Urrutia-Olavarría, Roque Jesús Leonardo
Tabory Malpartida, Gustavo Augusto

**Lima – Perú
2024**

Dedicatoria

A Dios todo poderoso por permitirme realizar la presente investigación.

A mis queridos padres Zenobio y Matilde por traerme a este mundo y ser el pilar más importante de mi educación.

A mis queridos hermanos que me brindaron su apoyo y motivación constante durante mi formación universitaria.

A mi querida esposa e hijo por ser mis aliados principales, así como a mi bebé que acaba de llegar a este mundo, a ellos que se convirtieron en el motor y motivación para lograr este anhelado objetivo.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional Federico Villarreal por ser mi alma mater y a todos los docentes quienes han contribuido en mi formación profesional.

Al Ms. Ingeniero Aybar por haberme brindado sus conocimientos técnicos de su especialidad en cada etapa de mi investigación.

A mis amigos y compañeros de la universidad con quienes tuve la oportunidad de compartir los conocimientos y experiencias.

INDICE

RESUMEN	9
ABSTRACT.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Descripción y formulación del problema.....	12
1.1.1 Problema general.....	12
1.1.2 Problema específico	12
1.2 Antecedentes	13
1.2.1 En el ámbito internacional	13
1.2.2 En el ámbito nacional.....	15
1.3 Objetivos.....	16
1.3.1 Objetivo general.....	16
1.3.2 Objetivos específicos	16
1.4 Justificación e importancia	17
1.5 Hipótesis	17
1.5.1 Hipótesis general.....	17
1.5.2 Hipótesis específicas.....	17
II. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Bases teóricas.....	19
III. MÉTODO	22

3.1 Tipo de investigación.....	22
3.2 Ámbito temporal y espacial	22
3.3 Variables	22
3.3.1 Variable independiente	22
3.3.2 Variable dependiente	22
3.4 Población y muestra.....	23
3.4.1 Población.....	23
3.4.2 Muestra	23
IV. RESULTADOS	25
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	56
VI. CONCLUSIONES.....	60
VII. RECOMENDACIONES	62
VIII. REFERENCIAS.....	63
IX. ANEXOS	65

Índice de figuras

Figura 1 <i>Resumen de resultados del contenido del suelo natural</i>	25
Figura 2 <i>Límite líquido</i>	26
Figura 3 <i>Límite plástico</i>	27
Figura 4 <i>Índice de plasticidad</i>	28
Figura 5 <i>Proctor modificado</i>	31
Figura 6 <i>Grafico del CBR</i>	32
Figura 7 <i>Contenido de humedad de la C-01 + Cal</i>	33
Figura 8 <i>Contenido de humedad de la C-3 – Cal</i>	35
Figura 9 <i>Límite líquido de la C-01 + Cal</i>	36
Figura 10 <i>Límite líquido de la C-02 + Cal</i>	37
Figura 8: <i>Contenido de humedad de la C-2 - Cal</i>	36
Figura 9: <i>Contenido de humedad de la C-3 - Cal</i>	37
Figura 10: <i>Límite líquido de la C-01 + Cal</i>	38
Figura 11: <i>Límite líquido de la C-02 + Cal</i>	39
Figura 12: <i>Límite líquido de la C-03 + Cal</i>	40
Figura 13: <i>Límite plástico de la C-01 + Cal</i>	41
Figura 14: <i>Límite plástico de la C-02 + Cal</i>	42
Figura 15: <i>Límite plástico de la C-03 + Cal</i>	43
Figura 16: <i>Índice de plasticidad de la C-01 + Cal</i>	44
Figura 17: <i>Índice de plasticidad de la C-02 + Cal</i>	45
Figura 18: <i>Índice de plasticidad de la C-03 + Cal</i>	46
Figura 19: <i>Proctor modificado de la C-01 + Cal</i>	49
Figura 20: <i>Proctor modificado de la C-02 + Cal</i>	50
Figura 21: <i>Proctor modificado de la C-03 + Cal</i>	51
Figura 22: <i>CBR de la C-01 + Cal</i>	43
Figura 23: <i>CBR de la C-02 + Cal</i>	44
Figura 24: <i>CBR de la C-03 + Cal</i>	45

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Resumen de resultados del contenido del suelo natural</i>	25
Tabla 2 <i>Resumen de resultados del límite líquido</i>	26
Tabla 3 <i>Resumen de resultados del límite plástico</i>	27
Tabla 4 <i>Resumen de resultados del índice de plasticidad</i>	28
Tabla 5 <i>Resumen de resultados de granulometría en suelo natural</i>	29
Tabla 6 <i>Resumen de resultados con el sistema SUCS y AASHTO</i>	30
Tabla 7 <i>Resumen de resultados del proctor modificado</i>	31
Tabla 8 <i>Resumen de resultados del CBR</i>	32
Tabla 9 <i>Resumen de resultado del contenido de humedad de la C-01 + Cal</i>	33
Tabla 10 <i>Resumen de resultado del contenido de humedad de la C-02 + Cal</i>	34
Tabla 11 <i>Resumen de resultado del contenido de humedad de la C-03 + Cal</i>	35
Tabla 12 <i>Resumen de resultado del límite líquido de la C-01 + Cal</i>	36
Tabla 13 <i>Resumen de resultado del límite líquido de la C-02 + Cal</i>	37
Tabla 14 <i>Resumen de resultado del límite líquido de la C-03 + Cal</i>	38
Tabla 15 <i>Resumen de resultado del límite plástico de la C-01 + Cal</i>	39
Tabla 16 <i>Resumen de resultado del límite plástico de la C-02 + Cal</i>	40
Tabla 17 <i>Resumen de resultado del límite plástico de la C-03 + Cal</i>	41
Tabla 18 <i>Resumen de resultado del índice de plasticidad de la C-01 + Cal</i>	42
Tabla 19 <i>Resumen de resultado del índice de plasticidad de la C-02 + Cal</i>	43
Tabla 20 <i>Resumen de resultado del índice de plasticidad de la C-03 + Cal</i>	44
Tabla 21 <i>Resumen de resultado de granulometría de la C-01 + Cal</i>	45
Tabla 22 <i>Resumen de resultado de granulometría de la C-02 + Cal</i>	45
Tabla 23 <i>Resumen de resultado de granulometría de la C-03 + Cal</i>	46

Tabla 24 <i>Resumen de resultado del proctor modificado de la C-01 + Cal</i>	46
Tabla 25 <i>Resumen de resultado del proctor modificado de la C-02 + Cal</i>	47
Tabla 26 <i>Resumen de resultado del proctor modificado de la C-03 + Cal</i>	48
Tabla 27 <i>Resumen de resultado del CBR de la C-01 + Cal</i>	49
Tabla 28 <i>Resumen de resultado del CBR de la C-02 + Cal</i>	50
Tabla 29 <i>Resumen de resultado del CBR de la C-03 + Cal</i>	51
Tabla 30 <i>Resumen general de resultados del estudio de suelo</i>	52
Tabla 31 <i>Estadística básica del contenido de humedad</i>	53
Tabla 32 <i>Estadística básica del límite líquido</i>	53
Tabla 33 <i>Estadística básica de la máxima densidad seca (M.D.S)</i>	54
Tabla 34 <i>Estadística básica del óptimo contenido de humedad (O.C.H)</i>	55
Tabla 35 <i>Estadística básica del CBR</i>	55

RESUMEN

Objetivo: Estabilizar suelos cohesivos con alto índice de actividad frente a la variación de contenidos de humedad que son susceptibles a variaciones volumétricas. **Método:** Tipo de investigación aplicada, se realizó un reconocimiento de campo, se realizaron ensayos de laboratorio. **La población:** La población son todos los suelos que conforman el distrito de Lurín. **Resultados:** Según los resultados obtenidos en esta investigación, se evaluó la estabilización de los suelos cohesivos con agentes estabilizantes para así mejorar las propiedades mecánicas y físicas del suelo, esto se puede constatar con los resultados de los siguientes ensayos: límites de consistencia y CBR. Los cuales muestran los resultados de la muestra patrón, para el límite de consistencia se tiene 19.05% (C-01), 18.91%(C-02) Y 18.90(C-03) y para el CBR se tiene los siguientes resultados 1.6 (C-01), 1.5(C-02) y 1.8(C-03). Con la adición de cal al 1% y 2% se tiene una disminución de límites de consistencia del (18.7%, 18.79% y 18.81%) y (17.79%, 17.84% y 17.56%), respectivamente. Y finalmente el CBR aumenta sus resultados con la adición de cal, los cuales son los siguientes: (11.6, 11.2 y 10.2) y (35.1, 34.5 y 33.9). **Conclusiones:** Se estabilizó los suelos cohesivos con un alto índice de actividad frente a la variación de contenidos de humedad los cuales son susceptibles a variaciones volumétricas.

Palabras clave: Adición, cal, estabilidad, suelo.

ABSTRACT

Objective: Stabilize cohesive soils with a high activity index against variations in moisture content that are susceptible to volumetric variations. **Method:** Type of applied research, a field survey was carried out, laboratory tests were carried out. **The population:** The population is all the lands that make up the district of Lurín. **Results:** According to the results obtained in this research, the stabilization of cohesive soils with stabilizing agents was evaluated in order to improve the mechanical and physical properties of the soil. This can be verified with the results of the following tests: consistency limits and CBR. Which show the results of the standard sample, for the consistency limit we have 19.05% (C-01), 18.91% (C-02) and 18.90 (C-03) and for the CBR we have the following results 1.6 (C-01), 1.5(C-02) and 1.8(C-03). With the addition of lime at 1% and 2% there is a decrease in consistency limits of (18.7%, 18.79% and 18.81%) and (17.79%, 17.84% and 17.56%), respectively. And finally the CBR increases its results with the addition of lime, which are the following: (11.6, 11.2 and 10.6) and (35.1, 34.5 and 33.9). **Conclusions:** Cohesive soils with a high activity index were stabilized against variations in moisture content, which are susceptible to volumetric variations.

Keywords: Addition, lime, stability, soil.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, en el Ecuador había demasiados caminos sin pavimentar que podrían dañarse si no se les daba el mantenimiento adecuado a lo largo de los años. Cuando el estado de la carretera es malo, es necesario estabilizar el terreno para aumentar la elasticidad de la subrasante. Además, se encontró que el suelo arcilloso era demasiado rico en cohesión y pobre en fricción porque lo que necesita estabilización del suelo con cal, lo que resultó en una mayor capacidad portante, plasticidad y permeabilidad reducida. Se analizaron dos métodos de estabilización para determinar cuál ofrecía mejor tolerancia. Se ha encontrado que el cloruro de sodio se comporta mejor que otras proporciones de 2,5%, que se considera una proporción imbatible, pero no se han considerado parámetros específicos, por lo que no es adecuado como sustrato. La cal, en cambio, se comportó mejor, casi cumpliendo con la mayoría de los parámetros tanto de pH como de límite líquido, acercándose a los valores mínimos y máximos.

Los estudios nacionales atribuyen sus características geológicas a sus diversos suelos, topografía accidentada y clima único creado por la actividad montañosa de los Andes. Los suelos sedimentarios predominantes en esta zona son arcillosos, presentando cambios volumétricos cuando se saturan, lo que lleva a la inestabilidad. Además, no se puede utilizar como capa base de acera debido a su baja capacidad de carga.

Por lo general, hay una serie de inconvenientes cuando se ejecuta un proyecto en una estructura. Una de las razones fue la carencia de terreno adecuado para sustentar las estructuras edificadas sobre él. Si no se atienden los contratiempos de inmediato, la obra sufrirá un deterioro progresivo a lo largo del tiempo. En consecuencia, resulta crucial abordar la situación empleando una variedad de tecnologías, productos o métodos que se encuentren disponibles en el mercado con el fin de mejorar las cualidades y atributos del suelo. En Lurín, la tierra se saturó de agua,

perdió su resistencia y causó una deformación extrema, poniendo en riesgo la seguridad de los habitantes, el entorno natural y las propiedades. Se buscaba incrementar la capacidad de recuperación y firmeza del suelo para que pudiera resistir las presiones generadas por las nuevas iniciativas en desarrollo. Se sugiere emplear cal para aumentar la resistencia de terrenos cohesivos con intenso tráfico industrial en Lurín y así mejorar su estabilidad.

1.1 Descripción y formulación del problema

Durante la ejecución del proyecto en construcción, se toparon con diversos contratiempos y obstáculos en su mayoría. Una de las razones fue la carencia de terreno apropiado para sustentar la estructura edificada sobre él. Si no se solucionan los obstáculos de inmediato, la construcción sufrirá daños con el transcurso del tiempo. En consecuencia, resulta crucial abordar la situación empleando una variedad de tecnologías, productos o métodos que se encuentren disponibles en el mercado con el fin de mejorar las cualidades y atributos del suelo. Por lo tanto, la investigación se centra en determinar la adición de la cal para mejorar la estabilidad del suelo cohesivo con alta actividad para el tránsito industrial en Lurín.

1.1.1 Problema general

¿De qué manera podemos estabilizar suelo cohesivo que presente alto índice de actividad teniendo en cuenta la variación del contenido de humedad?

1.1.2 Problema específico

¿Qué parámetros son necesarios para determinar que el suelo cohesivo tiene alto índice de actividad para que se produzca cambios volumétricos que podrían afectar la subrasante del terreno de fundación?

¿Cómo podemos determinar el agente estabilizante más apropiado para este tipo de suelos de tal forma que se incremente la capacidad soporte del suelo?

¿De qué forma mediante ensayos de laboratorio podemos determinar el porcentaje óptimo de adición del agente estabilizante asimismo la cantidad apropiada de adición de agua para compactar adecuadamente e incrementar el valor soporte CBR?

¿Cuál es la forma correcta del mezclado suelo cohesivo con agente estabilizante para conformar la subrasante soporte del pavimento?

1.2 Antecedentes

1.2.1 En el ámbito internacional

De acuerdo con Larrea y Rivas (2019) en su investigación titulada "Consolidación de terrenos arcillosos mediante la aplicación de cloruro de sodio y cloruro de calcio", su meta es solidificar arcillas con un índice de plasticidad de 16 a 18 utilizando calcio y cloruro de sodio en el proceso de construcción. En el proceso se utilizan agentes estabilizadores para determinar la cantidad correcta, luego se procede a compactar y moldear el exceso de material presente en la obra para crear una estructura sólida. Se llevaron a cabo pruebas con el fin de analizar el desempeño, en las cuales se evaluaron la dimensión de partícula, variación en la medida, nivel de acidez para identificar las características físicas a las que se ha sometido la arcilla, CBR, tamaño de grano, evaluación de humedad, punto de plasticidad de Atterberg, categorizaciones SUCS y AASHTO, determinación de humedad ideal y pruebas de densidad máxima. Tras llevar a cabo comparaciones entre diferentes pruebas con distintas cantidades de calcio y cloruro de sodio (1%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25%), se logró encontrar combinaciones óptimas de las cuatro sustancias estables. Posteriormente, se ajustaron los valores de Proctor, pH según los estándares ASTM, CBR y Atterberg para validar los hallazgos. Una vez analizados estos parámetros, se extraen conclusiones sobre el desempeño del material y su posible aplicación. Tras un exhaustivo análisis, se determinó que el cloruro de sodio fue el compuesto más eficaz en la disminución de la

plasticidad. Aunque el CaCl también afectó la ductilidad, el suelo estabilizado vería comprometida su resistencia a la compresión, lo cual se evidencia en la tasa de expansión y el CBR.

De acuerdo con la investigación de Garzón y Lugo (2019) en su estudio titulado "Exploración geomecánica de materiales granulares tratados con ceniza vegetal y cal para mejorar caminos secundarios desde Caño Chiquito hasta Paz de Ariporo, Casanare". Se propuso examinar la firmeza, equilibrio y resistencia a la erosión del suelo tratado con cal y ceniza vegetal en Paz de Ariporo. Este estudio, clasificado como experimental, implicó la ejecución de diversas actividades metodológicas, técnicas e investigativas para recopilar información y datos variados que posibiliten la evaluación del desempeño del suelo de acuerdo con los estándares establecidos por el Invías. La población de Caño Chiquito, en el municipio de Paz de Ariporo, utiliza la capa superior de los caminos terciarios extraída de la cantera Triturados del Llano para moldear las propiedades químicas, mecánicas y físicas del material. Se llevaron a cabo ensayos para medir la dimensión de las partículas, la resistencia a la compresión y deformación, el índice de soporte CBR, la cantidad de material orgánico, análisis de fluorescencia y compactación con método Proctor modificado. Se determinó que al combinar ceniza vegetal con cal se logró enriquecer el suelo de manera significativa. Esto se reflejó en un aumento del 235% en el CBR, una mejora del 301% en la calidad del suelo, un incremento del 323% en su resistencia, y una reducción del desgaste del 84% al 99%. La porosidad reactiva completó la composición del material analizado. El suelo estabilizado con cenizas vegetales y cal ofrece mejores propiedades mecánicas debido a la reacción puzolana de los aditivos y menor porosidad con cenizas volantes y cal, dando como resultado un suelo más fuerte y estable.

1.2.2 En el ámbito nacional

De acuerdo con Fernández (2016) en su investigación titulada "Mejora de terrenos arcillosos mediante la incorporación de cloruro de sodio (NaCl) con fines viales". Buscaba establecer la cantidad precisa de sal de mesa necesaria para mantener estable la arcilla amazónica, en un estudio en el que se enfocó. El grupo de estudio está conformado por arcillas que se encuentran en la exuberante selva peruana, específicamente en la región Chachapoyas de Pucacruz. Se recolectaron muestras de suelo de esta zona y se sometieron a una variedad de pruebas para aumentar diferentes concentraciones. Se pueden encontrar sales de sodio en distintas concentraciones, tales como 2%, 5%, 10%, 20%, 30% y otras más. Dentro de las herramientas mencionadas se incluyen limitaciones en el flujo de líquidos y plásticos alterados. Tras realizar el experimento, se observaron cambios significativos: el índice de plasticidad se redujo a 9.4 al emplear una solución de cloruro de sodio al 50%, en comparación con el valor inicial de 38.2 sin aditivos. Al añadir un 5% de sal al suelo con CBC, el índice de plasticidad se situó en 4.1%, lo que representa una disminución de 1.8%. Resulta excelente para trabajar con arcilla. Esto implica que el suelo de prueba puede soportar hasta un 5% de cloruro de sodio, lo que potencia diversas características como su fuerza, unión, capacidad de repeler agua y firmeza.

De acuerdo con el estudio de Mamani y Yataco (2017) titulado "Mejora de suelos arcillosos a través de la adición de cenizas de madera provenientes de hornos tradicionales de ladrillos en Ayacucho". Se buscó destacar la influencia de la ceniza de madera de los hornos tradicionales de ladrillos en la consolidación de arcillas en Ayacucho. Esta investigación sigue un enfoque cuantitativo, ya que se basa en datos numéricos obtenidos en laboratorio. Su alcance es descriptivo, detallando el desarrollo de cada experimento llevado a cabo en el laboratorio. El área de investigación se ubicó en el distrito de Pacaicasa, en la provincia de Ayacucho. Se identificaron

como la muestra de estudio los talleres artesanales que elaboran ladrillos en dicho distrito, así como los que trabajan con barro en el kilómetro 17 de la zona de Huamanga. La arcilla (tierra natural) y el clinker se consideran en herramientas, donde se realizan diferentes combinaciones en diferentes proporciones. En resumen, cuando la ceniza se une para pruebas mecánicas de acuerdo con la norma ASTM D3080 y se cura durante 7 a 14 días, los parámetros de resistencia como el ángulo de fricción interna y la fuerza de adhesión, el esfuerzo cortante y el esfuerzo aumentan, lo que demuestra que el uso de estos residuos es eficaz.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Estabilizar suelos cohesivos con alto índice de actividad frente a la variación de contenidos de humedad que son susceptibles a variaciones volumétricas.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar cómo varía la actividad del suelo cohesivo, hinchamiento y contracción frente a cambios de humedad.
- Realizar ensayos de laboratorio que demuestre que el suelo cohesivo tiene alta actividad y determinar el agente estabilizante apropiado para mejorar el suelo y también hallar el valor de CBR.
- Encontrar mediante ensayos de laboratorio los parámetros de máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad, para hallar el valor de CBR al 95% de grado de compactación.
- Dar la fórmula de mezclado agente estabilizante cal con suelo cohesivo para determinar en campo el correcto procedimiento de mezclado y controlar la compactación resultante y el valor soporte de esta estabilización.

1.4 Justificación e importancia

La razón de llevar a cabo esta investigación se fundamenta en la necesidad social de estabilizar el suelo y potenciar sus características físicas, como la resistencia, la dureza y la plasticidad óptima. Esto permitirá mejorar las condiciones para quienes transitan por la zona industrial de Lurín, incrementando la eficiencia de los vehículos y cumpliendo con las normativas técnicas vigentes. En la investigación, se pretende justificar el uso de la cal para aumentar la resistencia del suelo cohesivo, centrándose en fortalecer la base con gran capacidad de soportar el tráfico industrial en Lurín. La fundamentación técnica de este proyecto de investigación nos ayudará a comprender cómo la cal afecta la firmeza del suelo. Al llevar a cabo las pruebas pertinentes, obtendremos información precisa que revelará si se logra alcanzar el CBR ideal mediante la utilización de este aditivo, creado para potenciar las características mecánicas del suelo.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

Estabilizando suelos cohesivos con alto índice de actividad con agentes estabilizantes apropiados para este, frente al contenido de humedad se mejorará el suelo incrementando adicionalmente el valor soporte de este.

1.5.2 Hipótesis específicas

- Determinando como varía la actividad del suelo cohesivo frente a cambios de humedad podremos determinar el tipo de adición correcto para evitar hinchamientos y contracciones volumétricas.

- Realizando ensayos de laboratorio podemos encontrar el valor del índice de actividad del suelo cohesivo y determinar el valor soporte del suelo CBR.
- Determinando los parámetros que se obtienen del ensayo de Proctor modificado, máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad se podrá compactar adecuadamente para disminuir el índice de actividad del suelo cohesivo.
- Detallando la formula optima de mezclado del agente estabilizante en nuestro caso CAL con el suelo cohesivo de alta actividad se logrará la compactación adecuada con vlores de grado de compactación normados por las especificaciones técnicas del MTC.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas

Cal

De acuerdo con Altamirano y Diaz (2015), el concepto de "Cal" abarca todas las posibles formas físicas que contienen óxido de calcio (CaO) e hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$. La elegancia de la cal se destaca principalmente por su intervención en la acumulación, propagación y fusión con el suelo. Cuando se mezcla la cal viva con agua, se obtiene cal hidratada, la cual se convierte en una fina pulverización.

Subrasante con cal

Según Manual de estabilización de suelo tratado con cal (2014), la cal puede estabilizar a largo plazo suelos finos utilizados como pavimentos o pavimentos, para crear una capa de valor estructural significativo en el sistema de pavimento. El suelo a tratar puede ser material local (suelo base) o suelo prestado. La estabilización del suelo suele implicar la mezcla in situ y normalmente requiere la adición de cal al 3-6% del peso del suelo seco.

Bases con cal

De acuerdo con las directrices del Manual de estabilización de suelos tratados con cal del (2014), se menciona que la cal tiene la capacidad de estabilizar de forma duradera materiales que no poseen las propiedades necesarias para funcionar como sustrato, como la grava arcillosa, la grava con impurezas o sustratos contaminados en general, los cuales presentan deficiencias. Como mínimo, la mitad de los elementos básicos se conservan en el suelo. El proceso de estabilización del suelo se emplea en la creación de nuevas vías y en la restauración de vías deterioradas, usualmente necesitando la incorporación de un 2-4% de cal en relación al peso seco del suelo.

Frecuentemente se recurre a las combinaciones selectivas para fortalecer el cimiento, pero también es factible emplearlas para otros propósitos. El yeso también se emplea para potenciar las características de los terrenos y las combinaciones de piedras en la técnica de "reciclaje completo de pavimentos".

Estabilización de suelos con cal

De acuerdo con el Manual de Mejora de Suelos con Cal (2014), la modificación del suelo transforma radicalmente sus características, generando una resistencia y estabilidad perdurable a largo plazo, sobre todo frente a los efectos del agua. La cal, ya sea sola o mezclada con otros elementos, es útil para mejorar diferentes tipos de suelos. La composición mineral del suelo influirá en su respuesta a la cal y en la resistencia final de las capas estabilizadoras que se formarán. Por lo general, se consideran excelentes opciones para la estabilización aquellas arcillas con partículas muy pequeñas (con al menos un 25% que atraviesa el tamiz de 200-75 μm y un índice plástico mayor a 10). Los terrenos con altas concentraciones de materia orgánica (superiores al 1 %) o sulfatos (más del 0,3 %) podrían necesitar la incorporación de cal y/o técnicas constructivas particulares.

Estudio de tráfico

Según INGARTEK (2019) El estudio del tráfico en la vía se realiza a través de puntos de control. Todo ello se distribuye a lo largo de diferentes vías, tanto en las vías principales como en las vías secundarias o urbanas. De ella se extrae información relevante como el número de vehículos que circulan con frecuencia, la velocidad a la que se desplazan o si son vehículos ligeros o pesados.

Transitabilidad

Según el MTC (2018) La accesibilidad peatonal es un servicio que proporciona a los usuarios una forma de moverse mediante un medio de transporte en un momento determinado.

Propiedades físicas y mecánicas

Según el MTC (2018), se recomienda potenciar las características mecánicas y físicas de las capas del suelo a través de la aplicación conjunta de métodos químicos y mecánicos. La estabilización se lleva a cabo utilizando suelos de baja calidad o inexistentes, como la piedra caliza, el asfalto, el cemento y otros materiales para lograr la estabilización. Cuando se llevan a cabo proyectos de construcción de carreteras, es imprescindible emplear la maquinaria apropiada para asegurar la protección completa.

Diseño de infraestructura vial

Según Aguilar y Mestanza (2018) Se puede definir que la infraestructura vial está formada por elementos físicos asociados a normas y métodos de diseño que facilitarán el viaje cómodo y seguro de los usuarios.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

De acuerdo con Baena (2017), la investigación aplicada se caracteriza por su enfoque en las circunstancias desfavorables que impulsan a la acción, con el propósito de generar nuevos descubrimientos. Por consiguiente, se considera que esta evidencia constituye información novedosa y cuantificable que aporta valor a la investigación.

Se está empleando un enfoque aplicado en la investigación, que consistirá en la aplicación de un método de recolección de datos, pruebas y resultados para validar las hipótesis. Se utilizarán estudios de autores tanto nacionales como internacionales con el propósito de demostrar cómo la adición de cal puede mejorar la estabilidad de un suelo cohesivo altamente transitado por vehículos en Lurín.

3.2 Ámbito temporal y espacial

La investigación se centrará en enriquecer el suelo mediante la incorporación de cal para fortalecer su estabilidad. Este suelo cohesivo, altamente activo debido al intenso tráfico industrial en la zona de Lurín, será el foco de estudio.

3.3 Variables

3.3.1 *Variable independiente*

Adición de cal en porcentaje.

3.3.2 *Variable dependiente*

Estabilidad de suelo cohesivo con alta actividad de expansión o compresión.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La población está compuesta por todos los terrenos que integran el distrito de Lurín. De acuerdo con Hernández et al. (2014), la población específica de la cual se obtendrán datos es un conjunto completo de casos que siguen ciertas reglas. Por lo tanto, se sugiere identificar deliberadamente las características de esta población, de la cual se seleccionará la muestra, y este subgrupo debe formar parte integral del conjunto total de la población delimitada.

3.4.2 Muestra

La muestra se ubica en la avenida Manuel Valle en el distrito de Lurín en Lima. Según Arias (2012) Una muestra es parte de un conjunto definido o definida de la población o también se define como un subconjunto de componentes que se identifican al interior conjunto definido.

3.5 Instrumentos

Los elementos utilizados para llevar a cabo este estudio resultaron fundamentales, tales como las pruebas de laboratorio, la creación de planos en AUTOCAD y la guía del MTC. De acuerdo con Useche et al. (2019), se señala que los instrumentos se obtienen mediante la "recolección de datos, la cual consiste en adquirir y organizar la información relacionada con las variables, sucesos, entornos y clasificaciones involucradas en el proyecto con exactitud y verificación.

3.6 Procedimientos

Es primordial identificar el lugar de interés, en el caso de esta investigación en la avenida Manuel Valle en el distrito de Lurín, después se procederá a realizar ensayos de laboratorio el cual nos indicara el tipo de suelo que tiene la vía, se emplearon instrumentos válidos para obtener resultados confiables, se realizaran planos los cuales podrán servir para proporcionar al usuario

tráfico rodado, peatonal en condiciones de conducción aceptables, con la consiguiente seguridad, comodidad y saneamiento básico.

3.7 Análisis de datos

Según Valderrama (2019) Después de recibir los datos, los datos deben procesarse en el método seleccionado. El método de análisis es de carácter metodológico, ya que utilizaremos datos de la ficha de observación, en un futuro los materiales se envían al laboratorio para la evaluación de la prueba, donde obtendremos el comportamiento de los materiales en la avenida.

IV. RESULTADOS

Contenido de humedad

A través de este ensayo, podemos calcular el porcentaje de humedad presente en el suelo específico.

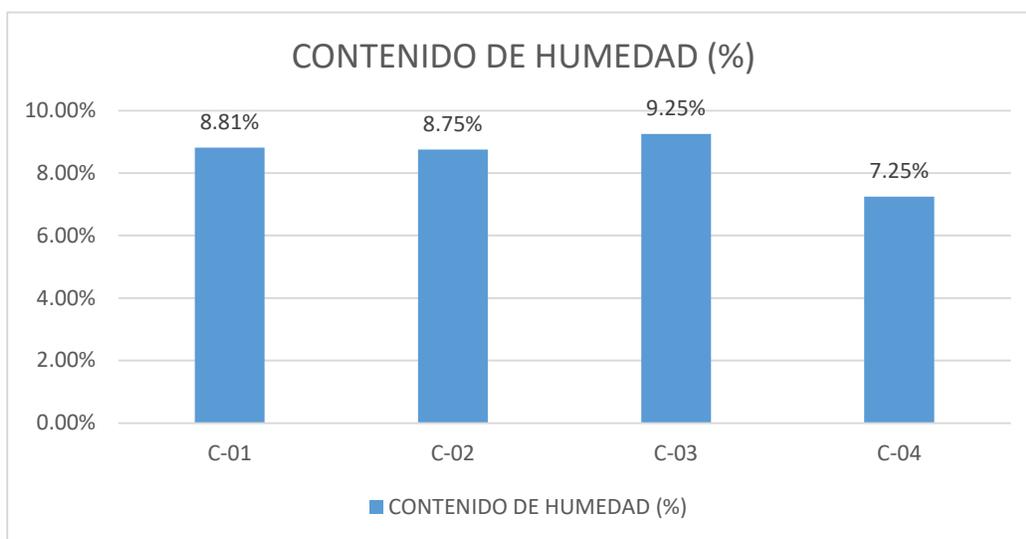
Tabla 1

Resumen de resultados del contenido del suelo natural

CALICATA	MARGEN	ALTURA (m.)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
C - 01	Derecho	0.30 – 1.50	8.81
C - 02	Izquierdo	0.25 – 1.50	8.75
C - 03	Derecho	0.35 – 1.50	9.25
C - 04	Izquierdo	0.25 – 1.50	7.25

Figura 1

Resumen de resultados del contenido del suelo natural



Es evidente que las tres primeras calicatas son las que tienen más humedad, destacando la tercera con un 9.25% de humedad adicional, mientras que la cuarta calicata tiene un 2% menos que el valor máximo de humedad de las calicatas previas.

LÍMITE LÍQUIDO

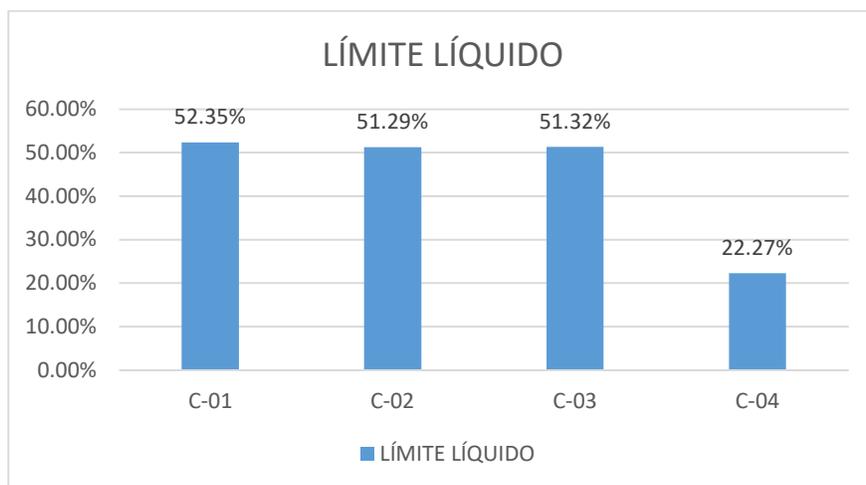
Tabla 2

Resumen de resultados del límite líquido

CALICATA	MARGEN	ALTURA (m.)	LÍMITE LÍQUIDO (%)
C-01	Derecho	0.30 – 1.50	52.35
C-02	Izquierdo	0.25 – 1.50	51.29
C-03	Derecho	0.35 – 1.50	51.32
C-04	Izquierdo	0.25 – 1.50	22.27

Figura 2

Límite líquido



Se observa que las calicatas 01, 02 y 03 presentan un límite líquido superior al 50%, lo cual indica que son suelos con alto contenido de limos o arcillas, superando el valor mínimo del 41%. Por otro lado, la calicata 04 muestra un límite líquido por debajo del 40%, según las normas del MTC, lo que sugiere que se trata de un suelo arenoso o con presencia de limo.

LÍMITE PLÁSTICO

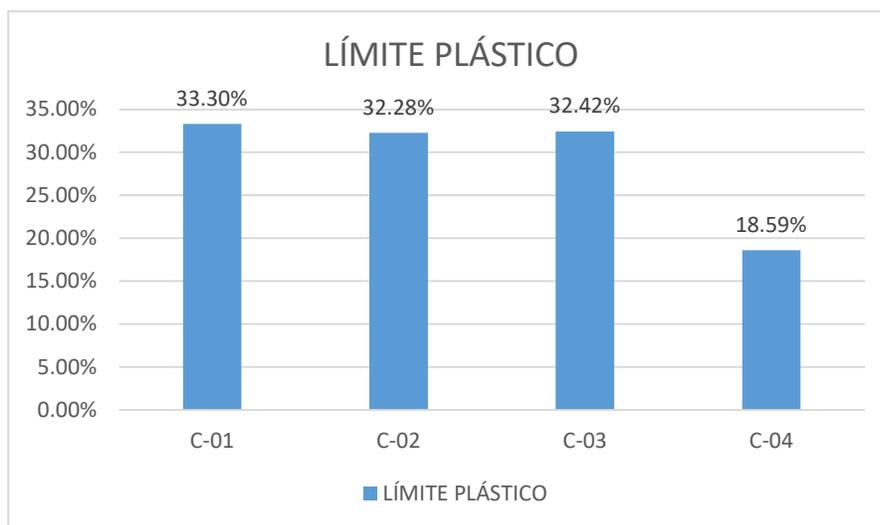
Tabla 3

Resumen de resultados del límite plástico

CALICATA	MARGEN	ALTURA (m.)	LÍMITE PLÁSTICO (%)
C - 01	Derecho	0.30 - 1.50	33.3
C - 02	Izquierdo	0.25 - 1.50	32.38
C - 03	Derecho	0.35 - 1.50	32.42
C - 04	Izquierdo	0.25 - 1.50	18.59

Figura 3

Límite plástico



Es evidente que las calicatas 01, 02 y 03 mantienen un límite plástico elevado con una mínima variación centesimal, mientras que la calicata 04 está por debajo del 20% de límite plástico.

Índice de plasticidad

Al restar el límite plástico del límite líquido, se calcula el índice de plasticidad, el cual se utiliza para categorizar el suelo según los sistemas SUCS y AASHTO.

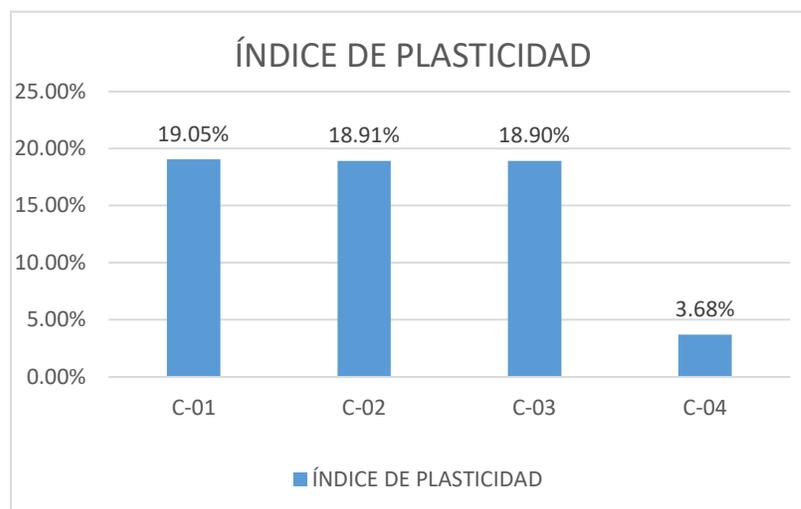
Tabla 4

Resumen de resultados del índice de plasticidad

CALICATA	MARGEN	ALTURA (m.)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
C - 01	Derecho	0.30 - 1.50	19.05
C - 02	Izquierdo	0.25 - 1.50	18.91
C - 03	Derecho	0.35 - 1.50	18.90
C - 04	Izquierdo	0.25 - 1.50	3.68

Figura 4

Índice de plasticidad



Se observa que el índice de plasticidad de las cuatro excavaciones es mayor al 3%, lo que sugiere, de acuerdo con la clasificación AASHTO, que van desde un terreno arenoso hasta uno arcilloso.

Granulometria

A través de este ensayo, es posible organizar la muestra en diferentes categorías según su tamaño utilizando tamices, y así identificar la clasificación del suelo según su comportamiento, ya sea por su nivel de granulometría o por su capacidad de deformación.

Tabla 5

Resumen de resultados de granulometría en suelo natural

TAMIZ		CALICATA 01		CALICATA 02		CALICATA 03		CALICATA 04	
ASTM	mm.	% Retenida	% Pasante						
1/2"	12.500	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.6	99.4
N°4	4.750	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.3	99.2
N°10	2.000	0.1	99.9	0.1	99.9	0.2	99.8	3.8	95.3
N°20	0.850	0.4	99.5	0.5	99.4	0.4	99.4	16.0	79.3
N°40	0.425	0.7	98.8	0.8	98.6	0.6	98.9	16.8	62.5
N°100	0.150	4.2	94.7	4.2	94.4	4.4	94.5	18.0	44.5
N°200	0.075	3.6	91.0	3.6	90.9	4.1	90.4	13.7	30.9

La distribución de las muestras a través de los tamices revela que en las calicatas 01, 02 y 03, la mayoría de las muestras que pasan por el tamiz N°200 son suelo fino en comparación con el suelo grueso. Sin embargo, en la calicata 04, la proporción de muestras que pasan por el tamiz N°200 es menor al 50%, pero mayor al 50% en el tamiz N°4, lo que indica la presencia de arena o una combinación con algo de suelo fino según la clasificación de suelos AASHTO.

Clasificación de suelos con los sistemas SUCS y AASHTO

Tabla 6

Resumen de resultados con el sistema SUCS y AASHTO

CALICATA	% DE GRAVA	% DE ARENA	% DE FINOS	LL (%)	LP (%)	IP (%)	CLASIFICACIÓN DE SUELOS	
							SUCS	AASHTO
							C-01	0.0
C-02	0.0	9.10	90.90	51.29	32.38	18.91	MH	A-7-5
C-03	0.0	9.60	90.40	51.32	32.42	18.9	MH	A-7-5
C-04	0.8	68.30	30.90	22.27	18.59	3.68	SM	A-2-4

La clasificación del suelo se puede apreciar a través de los sistemas SUCS y AASHTO. Según los resultados anteriores, las tres primeras muestras se identificaron como limos altamente plásticos, destacando su naturaleza cohesiva debido a su finura, ya sea limosa o arcillosa, determinada por su índice de plasticidad. En contraste, la cuarta muestra de la calicata no se consideraría un suelo cohesivo, ya que su calidad para cimentación se clasifica de regular a pobre. Un suelo cohesivo con ciertas características físicas específicas, determinadas en pruebas de laboratorio, puede ser mejorado mediante la adición de sustancias estabilizantes. Según la figura, si el índice de plasticidad es igual o superior al 18% y la clasificación del suelo es A-7 o superior, se recomienda utilizar cal para estabilizarlo. Sin embargo, es imprescindible tener en cuenta las propiedades mecánicas del suelo, centrándose únicamente en los más críticos, es decir, los suelos cohesivos.

Proctor modificado

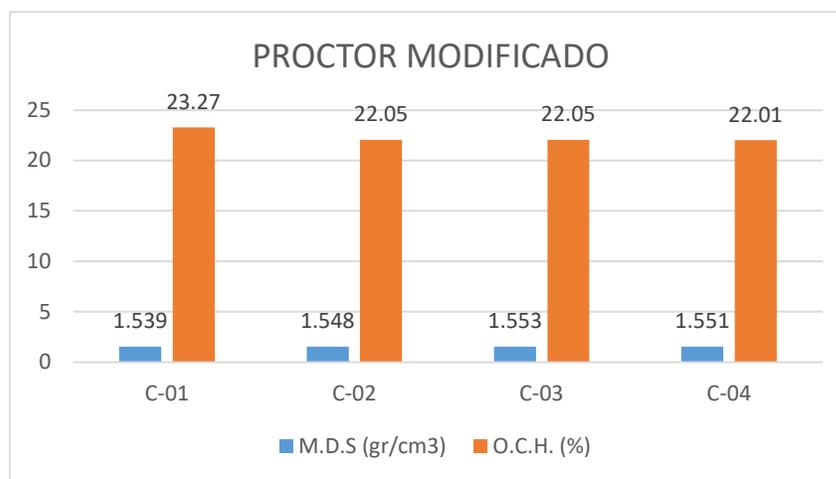
Tabla 7

Resumen de resultados del proctor modiciados

CALICATA	MARGEN	ALTURA (m.)	PROCTOR	
			M.D.S. (gr/cm ³)	O.C.H. (%)
C - 01	Derecho	0.30 - 1.50	1.539	23.27
C - 02	Izquierdo	0.25 - 1.50	1.548	22.16
C - 03	Derecho	0.35 - 1.50	1.553	22.05
C - 04	Izquierdo	0.40 - 1.50	1.551	22.01

Figura 5

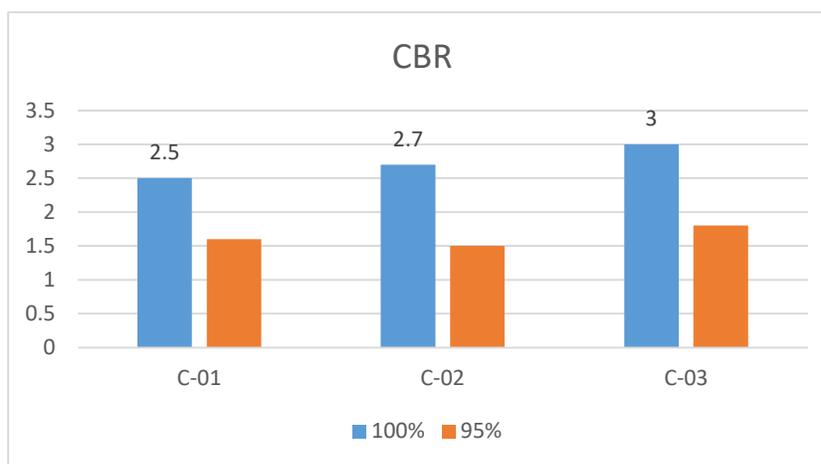
Proctor modificado



En la calicata 01 se destaca por tener el menor índice de diversidad de especies y el mayor contenido de humedad orgánica, mientras que en la calicata 04 ocurre lo opuesto: presenta el mayor índice de diversidad de especies y el menor contenido de humedad orgánica en comparación con las otras muestras de suelo.

CBR**Tabla 8***Resumen de resultados del CBR*

CALICATA	MARGEN	ALTURA (m.)	CBR	
			100%	95%
C-01	Derecho	0.30 - 1.50	2.5	1.6
C-02	Izquierdo	0.25 - 1.50	2.7	1.5
C-03	Derecho	0.35 - 1.50	3.0	1.8

Figura 6*Grafico del CBR*

Se nota que las muestras de suelo extraídas de cada calicata presentan un CBR inferior al 3%, ya sea considerado al 100% o al 95%. Según las normativas del MTC en la sección de suelos y pavimentos, cuando el CBR es menor al 3%, se clasifica como suelo de baja calidad y necesita ser tratado con aditivos estabilizantes, como la cal, para aumentar su resistencia y reducir su plasticidad.

Ensayos de Laboratorio de la Muestra Patrón (M.P.) + Aditivos Estabilizantes (Cal)

Contenido de humedad + Cal

Tabla 9

Resumen de resultado del contenido de humedad de la C-01 + Cal

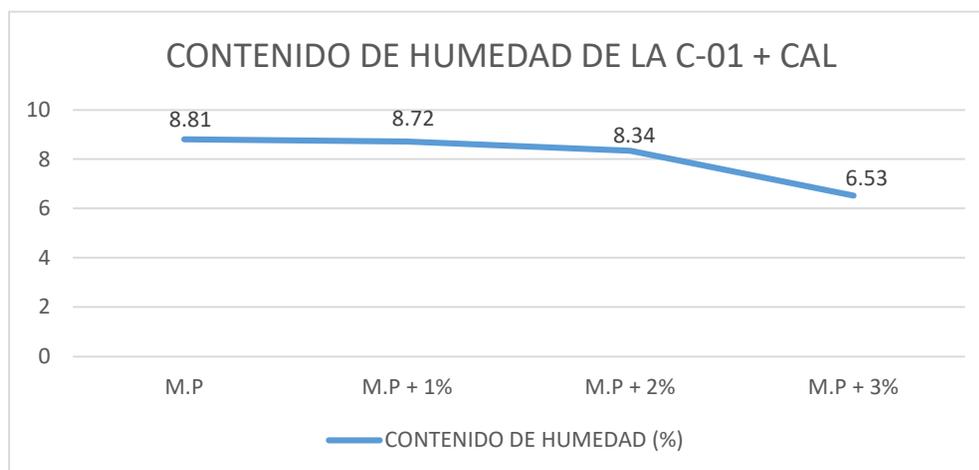
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
C - 01	Derecho	Muestra Patrón (M.P.)	8.81
C - 01	Derecho	Muestra Patrón + 1% (cal)	8.72
C - 01	Derecho	Muestra Patrón + 2% (cal)	8.34
C - 01	Derecho	Muestra Patrón + 3% (cal)	6.53

Especificaciones de la dosificación con cal:

- El 1% (cal)
- El 2% (cal)
- El 3% (cal)

Figura 7

Contenido de humedad de la C-01 + Cal



Se observa cómo el contenido de humedad en la calicata 01, al ser mezclado con cal, disminuye de forma no uniforme. Al aumentar la cantidad de estos aditivos, se espera una mayor reducción en la humedad del suelo.

Tabla 10

Resumen de resultado del contenido de humedad de la C-02 + Cal

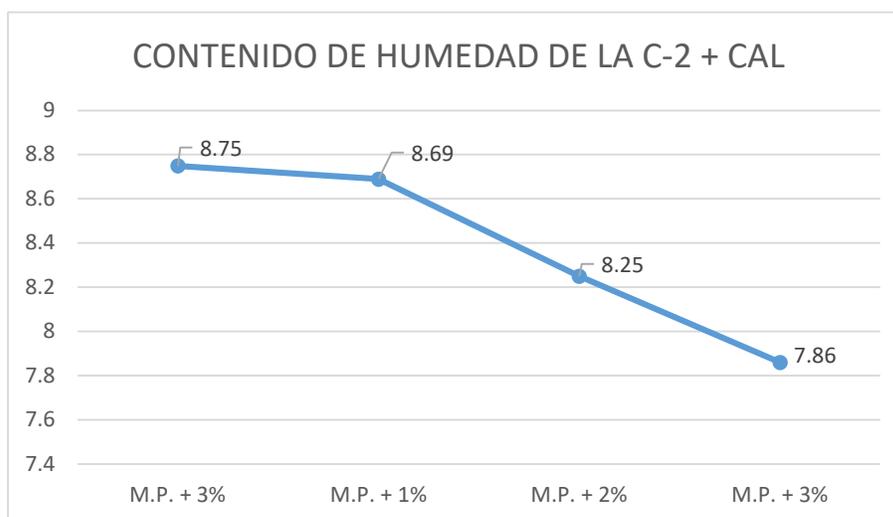
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón (M.P.)	8.75
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón + 1% (cal)	8.69
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón + 2% (cal)	8.25
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón + 3% (cal)	7.86

Especificaciones de la dosificación con cal:

- El 1% (cal)
- El 2% (cal)
- El 3% (cal)

Figura 8

Contenido de humedad de la C-2 - Cal



Se observa cómo el contenido de humedad en la calicata 02, al ser mezclado con cal, disminuye de forma no uniforme. Se prevé que al aumentar la cantidad de cal, la humedad del suelo disminuirá aún más de manera significativa.

Tabla 11

Resumen de resultado del contenido de humedad de la C-03 + Cal

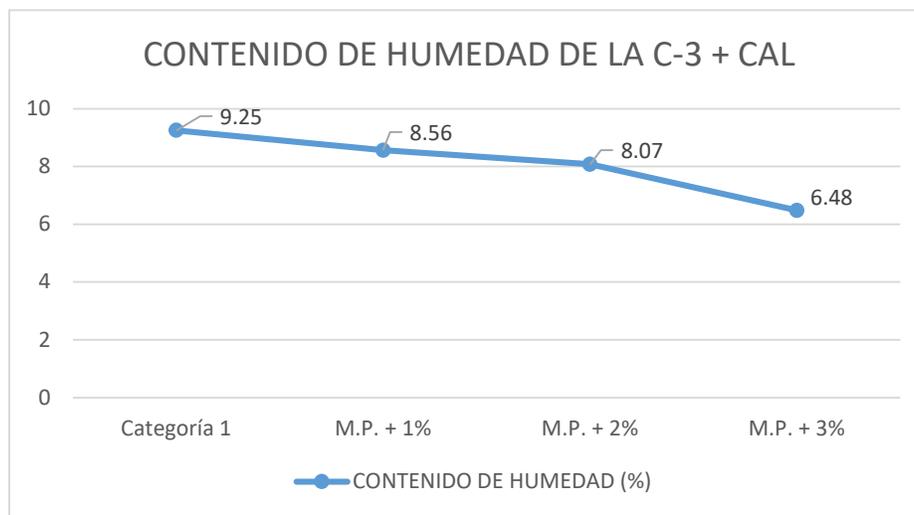
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CONTENIDO DE
			HUMEDAD (%)
C - 03	Derecho	Muestra Patrón (M.P.)	9.25
C - 03	Derecho	Muestra Patrón + 1% (cal)	8.56
C - 03	Derecho	Muestra Patrón + 2% (cal)	8.07
C - 03	Derecho	Muestra Patrón + 3% (cal)	6.48

Especificaciones de la dosificación con cal:

- El 1% (cal)
- El 2% (cal)
- El 3% (cal)

Figura 8

Contenido de humedad de la C-3 – Cal



La observación del nivel de humedad en la muestra de suelo de la excavación 03 tratada con cal revela una disminución no uniforme en su contenido de agua. Se prevé que al aumentar la cantidad de estos elementos, se logrará una mayor reducción en la humedad del suelo.

Límite líquido + Cal

Tabla 12

Resumen de resultado del límite líquido de la C-01 + Cal

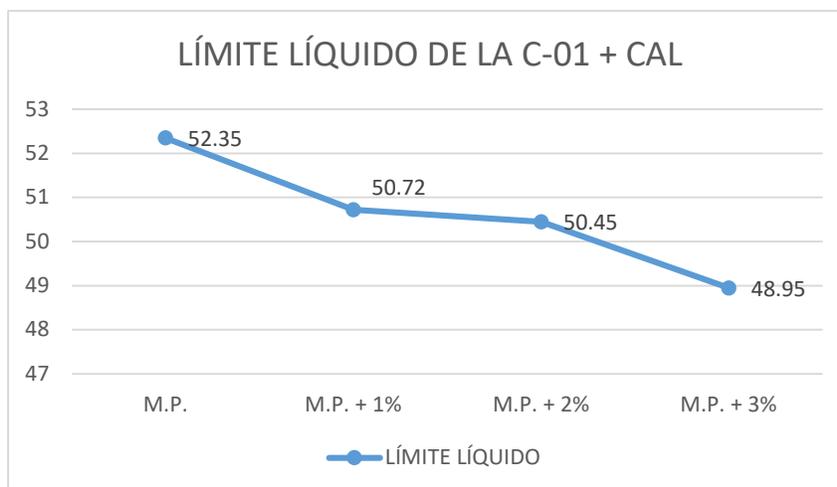
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	LÍMITE LÍQUIDO (%)
C - 01	Derecho	Muestra Patrón (M.P.)	52.35
C - 01	Derecho	Muestra Patrón + 1% (cal)	50.72
C - 01	Derecho	Muestra Patrón + 2% (cal)	50.45
C - 01	Derecho	Muestra Patrón + 3% (cal)	48.95

Especificaciones de la dosificación con cal:

- El 1% (cal)
- El 2% (cal)
- El 3% (cal)

Figura 9

Límite líquido de la C-01 + Cal



Se aprecia los resultados de la muestra de la calicata 01 mejorada con cal que va reduciendo de manera mínima y escalada que depende a las dosificaciones proporcionales de cal, que por ello afecta posteriormente en el resultado del índice de plasticidad.

Tabla 13

Resumen de resultado del límite líquido de la C-02 + Cal

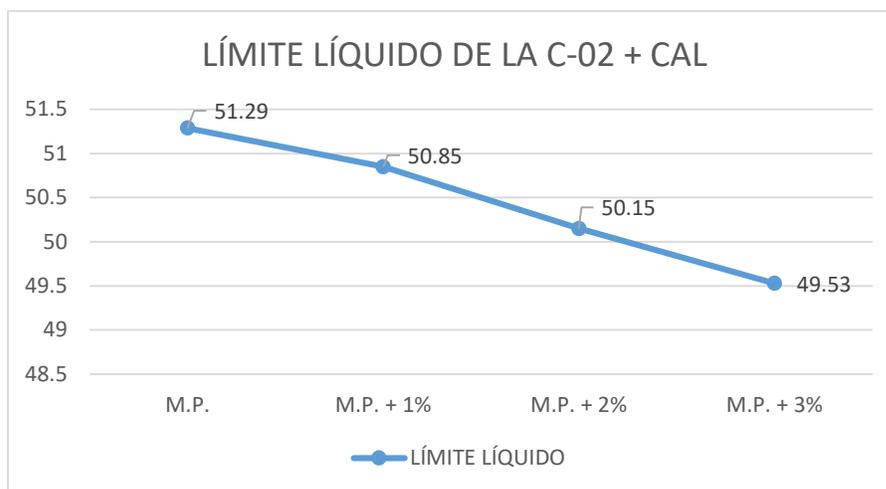
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	LÍMITE LÍQUIDO (%)
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón (M.P.)	51.29
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón + 1% (cal)	50.85
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón + 2% (cal)	50.15
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón + 3% (cal)	49.53

Especificaciones de la dosificación con cal:

- El 1% (cal)
- El 2% (cal)
- El 3% (cal)

Figura 10

Límite líquido de la C-02 + Cal



Los efectos de la cal en la calicata 02 se hacen evidentes a medida que se reduce gradualmente, en proporciones específicas, lo que influye en el índice de plasticidad en etapas posteriores.

Tabla 14

Resumen de resultado del límite líquido de la C-03 + Cal

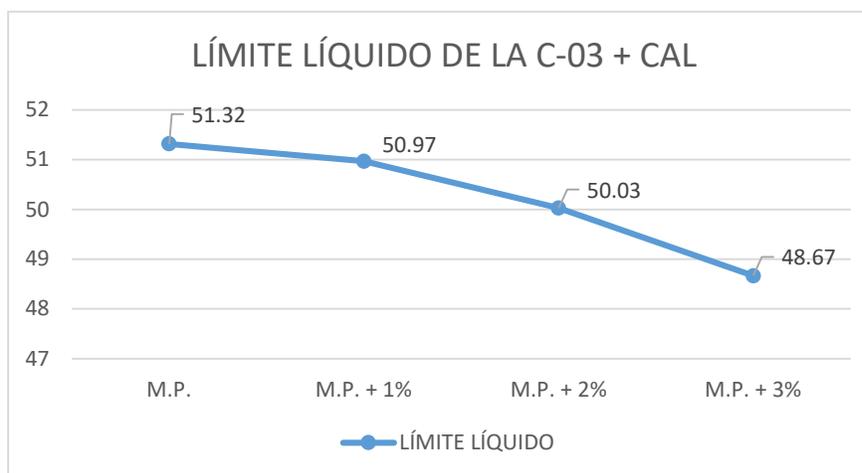
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	LÍMITE LÍQUIDO (%)
C - 03	Derecho	Muestra Patrón (M.P.)	51.32
C - 03	Derecho	Muestra Patrón + 1% (cal)	50.97
C - 03	Derecho	Muestra Patrón + 2% (cal)	50.03
C - 03	Derecho	Muestra Patrón + 3% (cal)	48.67

Especificaciones de la dosificación con cal y cemento:

- El 1% (cal)
- El 2% (cal)
- El 3% (cal)

Figura 12

Límite líquido de la C-03 + Cal



Los efectos de la muestra de la calicata 03 tratada con cal se pueden observar gradualmente, ya que disminuye de forma leve y progresiva, lo cual está directamente relacionado con las cantidades proporcionales de cal utilizadas, lo que a su vez influye en el índice de plasticidad final.

Límite plástico + Cal

Tabla 15

Resumen de resultado del limite plástico de la C-01 + Cal

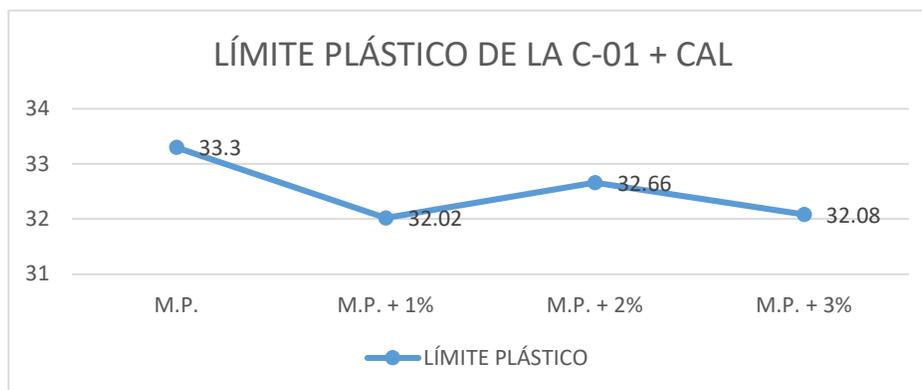
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	LÍMITE PLÁSTICO (%)
C - 01	Derecho	Muestra Patrón (M.P.)	33.30
C - 01	Derecho	Muestra Patrón + 1% (cal)	32.02
C - 01	Derecho	Muestra Patrón + 2% (cal)	32.66
C - 01	Derecho	Muestra Patrón + 3% (cal)	32.08

Especificaciones de la dosificación con cal y cemento:

- El 1% (cal)
- El 2% (cal)
- El 3% (cal)

Figura 13

Límite plástico de la C-01 + Cal



Se aprecia el efecto de la muestra de la excavación 01 mejorada con diferentes cantidades de cal, donde se observaron ligeras variaciones en la disminución del límite plástico al agregar un 2% de cal, mientras que se notó una reducción más significativa al emplear 1% y 3% de estos aditivos. Por lo tanto, se podría inferir que el valor se mantendría dentro de ese rango obtenido al incorporar proporciones de 1%, 2% y 3% de cal y cemento al suelo.

Tabla 16

Resumen de resultado del límite plástico de la C-02 + Cal

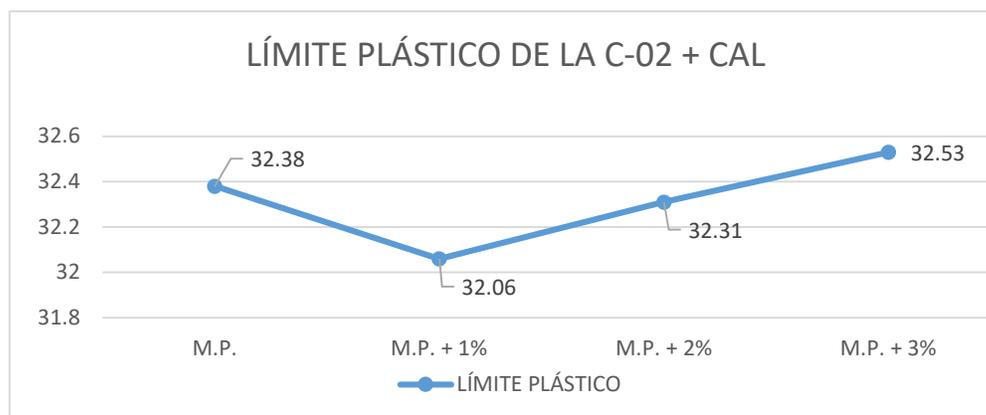
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	LÍMITE PLÁSTICO (%)
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón (M.P.)	32.38
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón + 1% (cal)	32.06
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón + 2% (cal)	32.31
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón + 3% (cal)	32.53

Especificaciones de la dosificación con cal:

- El 1% (cal)
- El 2% (cal)
- El 3% (cal)

Figura 14

Límite plástico de la C-02 + Cal



Se aprecia el efecto de la muestra de la excavación 02 mejorada con distintas cantidades de cal, donde se observaron cambios mínimos en la reducción del límite plástico al agregar un 1% y un 2% de cal, así como un aumento significativo del límite plástico al añadir un 3% de cal al suelo. Esto sugiere que el valor del límite plástico disminuye con la primera dosis, pero aumenta al incrementar la cantidad de cal en el suelo tratado.

Tabla 17

Resumen de resultado del límite plástico de la C-03 + Cal

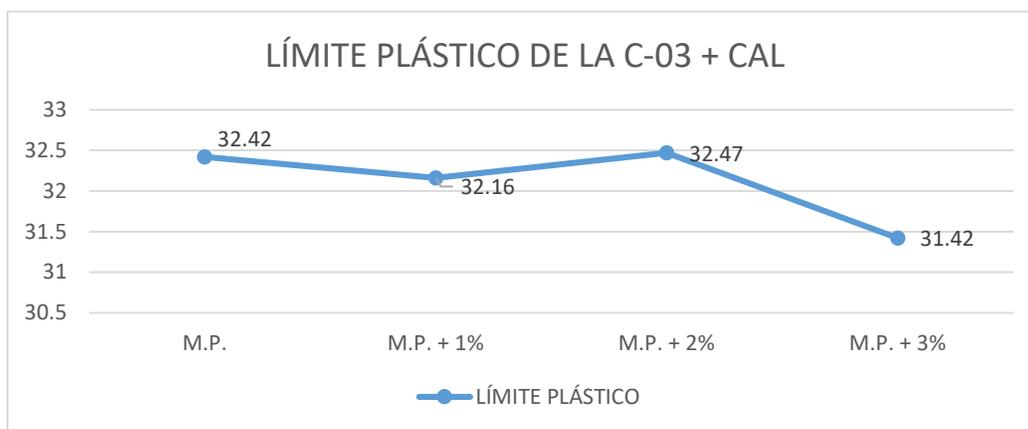
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	LÍMITE PLÁSTICO (%)
C - 03	Derecho	Muestra Patrón (M.P.)	32.42
C - 03	Derecho	Muestra Patrón + 1% (cal)	32.16
C - 03	Derecho	Muestra Patrón + 2% (cal)	32.47
C - 03	Derecho	Muestra Patrón + 3% (cal)	31.42

Especificaciones de la dosificación con cal:

- E1 1% (cal)
- E1 2% (cal)
- E1 3% (cal)

Figura 15

Límite plástico de la C-03 + Cal



Se aprecia el efecto de la muestra de la excavación 03 mejorada con diferentes cantidades de cal. Se registraron cambios mínimos en la reducción del límite plástico al agregar 1% y 3% de cal. Además, se observó un ligero aumento del 0.05% en el límite plástico al añadir un 2% de cal al suelo. Esto sugiere que el valor del límite plástico disminuye con la primera dosis, pero aumenta al incrementar la cantidad de cal y en el suelo tratado.

Índice de Plásticidad + CAL

Tabla 18

Resumen de resultado del índice de plásticidad de la C-01 + Cal

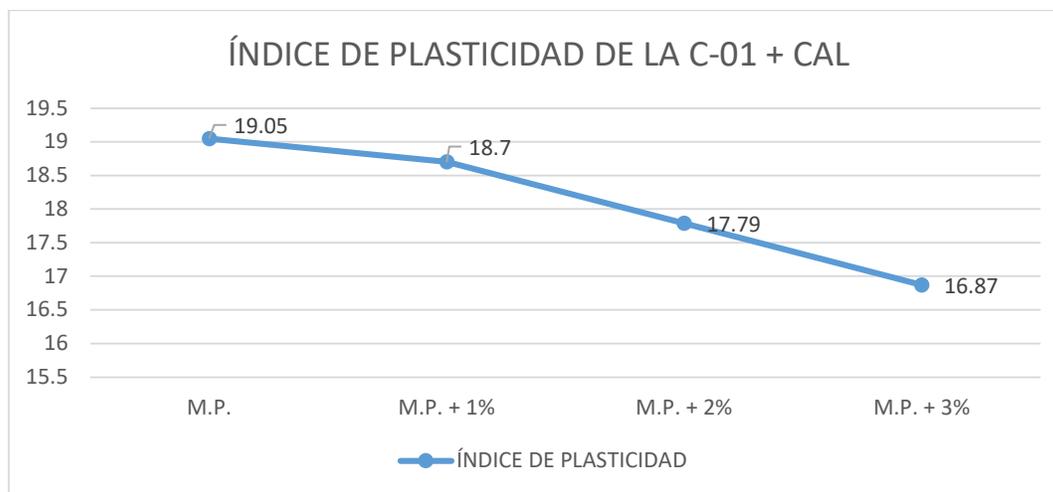
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
C - 01	Derecho	Muestra Patrón (M.P.)	19.05
C - 01	Derecho	Muestra Patrón + 1% (cal)	18.70
C - 01	Derecho	Muestra Patrón + 2% (cal)	17.79
C - 01	Derecho	Muestra Patrón + 3% (cal)	16.87

Especificaciones de la dosificación con cal:

- El 1% (cal)
- El 2% (cal)
- El 3% (cal)

Figura 16

Índice de plásticidad de la C-01 + Cal



La mejora en la calicata 01 con la adición de cal ha dado como resultado una reducción significativa en el índice de plasticidad, pasando de 0.35% a alrededor de 2.5%. Al añadir diferentes proporciones de cal (1%, 2% y 3%), el suelo reacciona reduciendo su plasticidad de forma gradual. Esto conlleva a un suelo menos maleable pero más fuerte.

Tabla 19

Resumen de resultado del índice de plásticidad de la C-02 + Cal

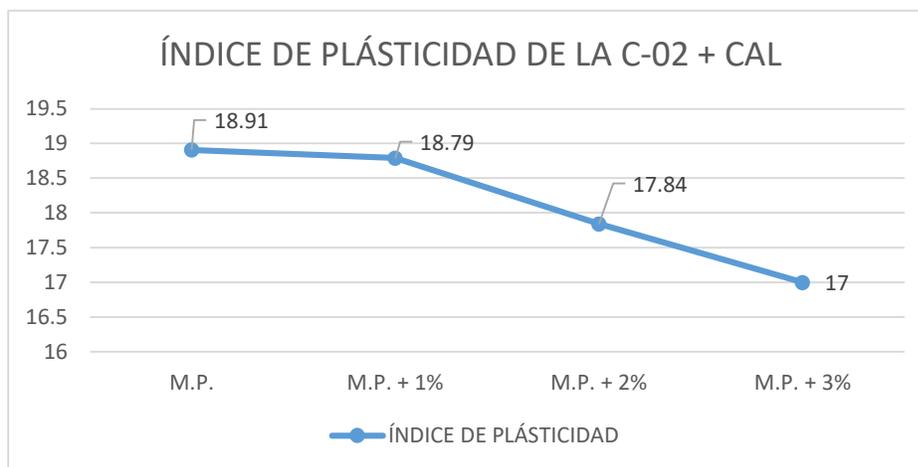
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón (M.P.)	18.91
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón + 1% (cal)	18.79
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón + 2% (cal)	17.84
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón + 3% (cal)	17.00

Especificaciones de la dosificación con cal:

- El 1% (cal)
- El 2% (cal)
- El 3% (cal)

Figura 17

Índice de plásticidad de la C-02 + Cal



Se puede apreciar la mejora en la excavación 02 al notar que al incorporar distintas cantidades de cal, se consiguió disminuir de manera notable el índice de plasticidad. Cuando se incorpora cal al suelo en la cantidad adecuada, se produce una reacción que reduce gradualmente su plasticidad, lo que da como resultado un suelo menos moldeable pero más resistente.

Tabla 20

Resumen de resultado del índice de plásticidad de la C-03 + Cal

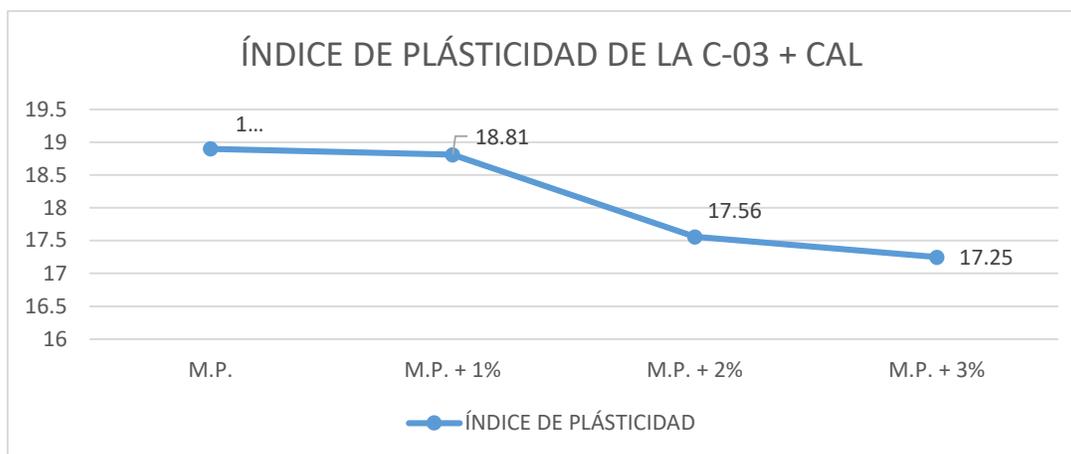
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
C - 03	Derecho	Muestra Patrón (M.P.)	18.90
C - 03	Derecho	Muestra Patrón + 1% (cal)	18.81
C - 03	Derecho	Muestra Patrón + 2% (cal)	17.56
C - 03	Derecho	Muestra Patrón + 3% (cal)	17.25

Especificaciones de la dosificación con cal y cemento:

- El 1% (cal)
- El 2% (cal)
- El 3% (cal)

Figura 18

Índice de plásticidad de la C-03 + Cal



La mejora de la calicata 03 con proporciones de cal ha dado como resultado una reducción significativa en el índice de plasticidad, pasando de aproximadamente 0.1% a 2%. Al añadir 1%, 2% y 3% de cal, se observa una disminución progresiva en la plasticidad del suelo, lo que lo hace menos moldeable pero más fuerte.

Granulometría + CAL

Tabla 21

Resumen de resultado de granulometría de la C-01 + Cal

TAMIZ		CALICATA 01							
		M.P.		M.P. + 1%		M.P. + 2%		M.P. + 3%	
ASTM	mm.	% Retenida	% Pasante	% Retenida	% Pasante	% Retenida	% Pasante	% Retenida	% Pasante
N°4	4.750	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
N°10	2.000	0.1	99.9	0.3	99.7	0.3	99.7	0.4	99.6
N°20	0.850	0.4	99.5	0.4	99.3	0.5	99.3	0.5	99.1
N°40	0.425	0.7	98.8	0.4	98.9	0.7	98.6	0.6	98.5
N°100	0.150	4.2	94.7	1.1	97.8	1.0	97.6	1.0	97.4
N°200	0.075	3.6	91.0	0.7	97.1	1.3	96.3	1.6	95.8

Se observa que la distribución del material de la calicata 01 pasa más del 50%, e incluso se incrementa a comparación de la muestra patrón debido a la incorporación proporcional de cal al 1%, 2% y 3%.

Tabla 22

Resumen de resultado de granulometría de la C-02 + Cal

TAMIZ		CALICATA 02							
		M.P.		M.P. + 1%		M.P. + 2%		M.P. + 3%	
ASTM	mm.	% Retenida	% Pasante	% Retenida	% Pasante	% Retenida	% Pasante	% Retenida	% Pasante
N°4	4.750	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
N°10	2.000	0.1	99.9	0.3	99.7	0.2	99.8	0.4	99.6
N°20	0.850	0.5	99.4	0.4	99.4	0.5	99.3	0.5	99.1
N°40	0.425	0.8	98.6	0.4	99.0	0.6	98.8	0.5	98.6
N°100	0.150	4.2	94.4	1.0	98.0	0.9	97.9	1.0	97.6
N°200	0.075	3.6	90.9	0.7	97.3	1.3	96.6	1.6	96.0

Se nota que más de la mitad del material de la calicata 02 se distribuye, llegando incluso a aumentar en comparación con la muestra de referencia, gracias a la adición gradual de cal al 1%, 2% y 3%.

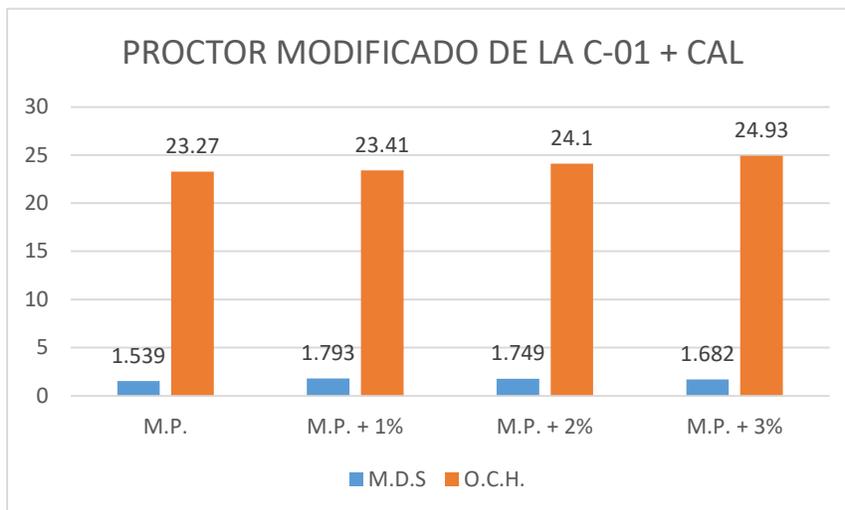
Tabla 23*Resumen de resultado de granulometría de la C-03 + Cal*

TAMIZ		CALICATA 03							
		M.P.		M.P. + 1%		M.P. + 2%		M.P. + 3%	
ASTM	mm.	% Retenida	% Pasante	% Retenida	% Pasante	% Retenida	% Pasante	% Retenida	% Pasante
Nº4	4.750	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0	0.0	100.0
Nº10	2.000	0.2	99.8	0.2	99.8	0.4	99.6	0.5	99.5
Nº20	0.850	0.4	99.4	0.4	99.4	0.4	99.2	0.6	98.9
Nº40	0.425	0.5	98.9	0.4	99.0	0.7	98.5	0.6	98.3
Nº100	0.150	4.4	94.5	1.0	98.0	0.9	97.6	1.0	97.3
Nº200	0.075	4.1	90.4	0.6	97.4	1.2	96.4	1.6	95.7

Se nota que más del 50% del material de la calicata 03 se distribuye, aumentando incluso en comparación con la muestra de referencia, gracias a la adición gradual de cal al 1%, 2% y 3%.

PROCTOR MODIFICADO + CAL**Tabla 24***Resumen de resultado del proctor modificado de la C-01 + Cal*

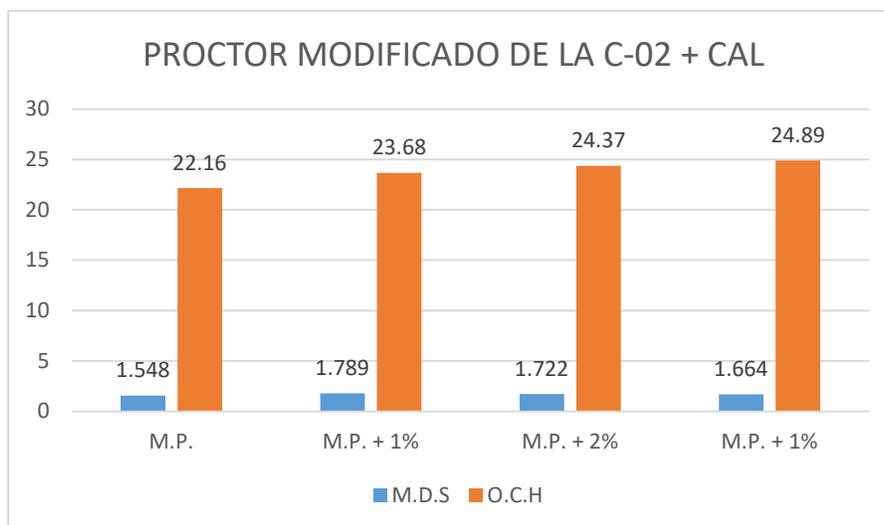
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	PROCTOR	
			M.D.S. (gr/cm ³)	O.C.H. (%)
C - 01	Derecho	Muestra Patrón (M.P.)	1.539	23.27
C - 01	Derecho	Muestra Patrón + 1% (cal y cemento)	1.793	23.41
C - 01	Derecho	Muestra Patrón + 2% (cal y cemento)	1.749	24.10
C - 01	Derecho	Muestra Patrón + 3% (cal y cemento)	1.682	24.93

Figura 19*Proctor modificado de la C-01 + Cal*

Se puede notar que en la muestra de suelo de la calicata 01, la densidad máxima cuando está seca y el nivel ideal de humedad van en aumento a medida que se añaden cantidades de cal al suelo, partiendo desde el valor de la muestra original.

Tabla 25*Resumen de resultado del proctor modificado de la C-02 + Cal*

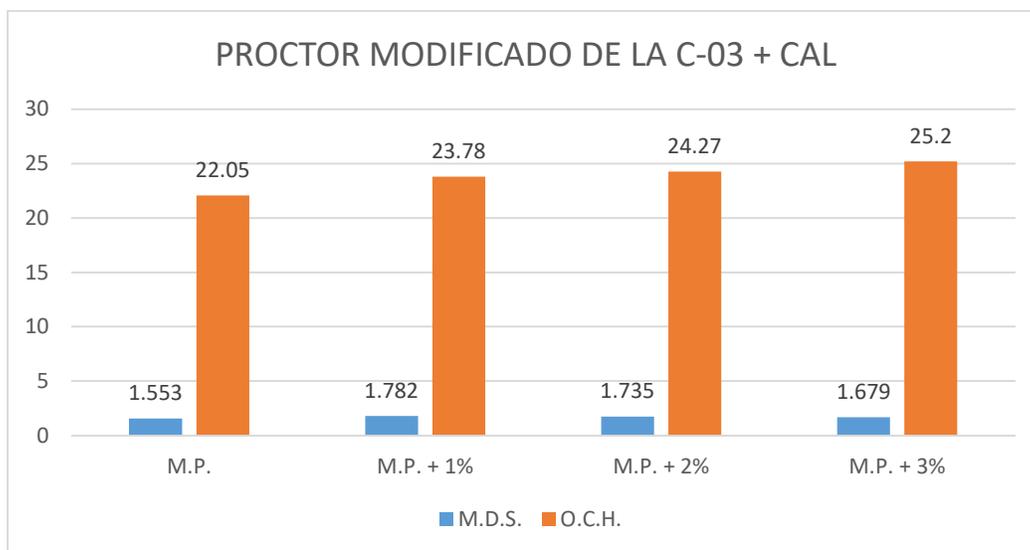
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	PROCTOR	
			M.D.S. (gr/cm ³)	O.C.H. (%)
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón (M.P.)	1.548	22.16
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón + 1% (cal)	1.789	23.68
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón + 2% (cal)	1.722	24.37
C - 02	Izquierdo	Muestra Patrón + 3% (cal)	1.664	24.89

Figura 20*Proctor modificado de la C-02 + Cal*

Se puede notar que en la muestra de suelo de la excavación 02, la densidad máxima al secarse y el nivel ideal de humedad incrementan a medida que se añade cal al suelo, partiendo desde el valor de la muestra de referencia.

Tabla 26*Resumen de resultado del proctor modificado de la C-03 + Cal*

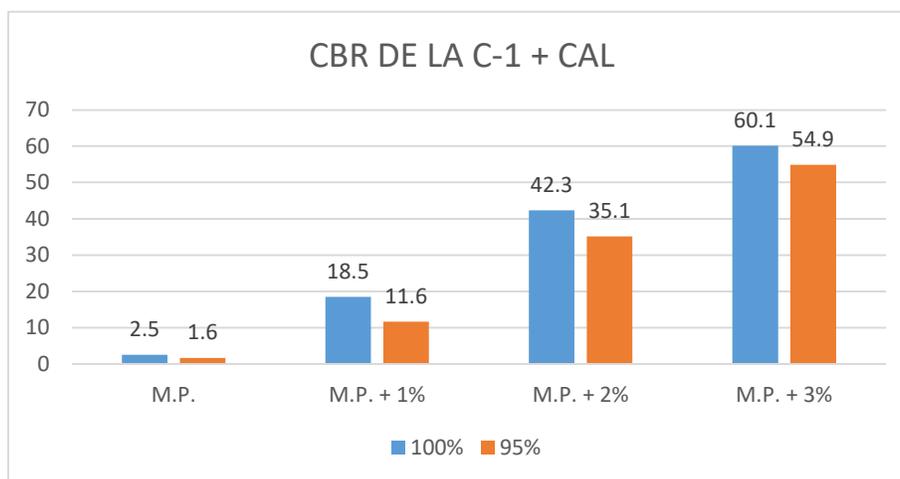
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	PROCTOR	
			M.D.S. (gr/cm ³)	O.C.H. (%)
C-03	Derecho	Muestra Patrón (M.P.)	1.553	22.05
C-03	Derecho	Muestra Patrón + 1% (cal)	1.782	23.78
C-03	Derecho	Muestra Patrón + 2% (cal)	1.735	24.27
C-03	Derecho	Muestra Patrón + 3% (cal)	1.679	25.20

Figura 21*Proctor modificado de la C-03 + Cal*

Se puede notar que en la muestra de suelo extraída en la calicata 03, la densidad máxima al secarse y el nivel ideal de humedad van en aumento a medida que se incorporan cantidades de cal al suelo, partiendo desde el valor de la muestra de referencia.

CBR + CAL**Tabla 27***Resumen de resultado del CBR de la C-01 + Cal*

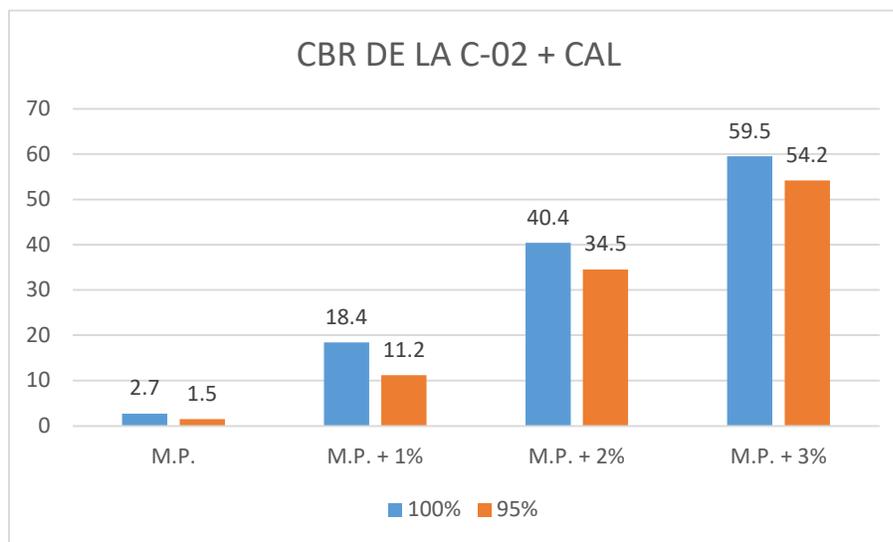
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CBR	
			100%	95%
C-01	Derecho	Muestra Patrón (M.P.)	2.5	1.6
C-01	Derecho	Muestra Patrón + 1% (cal)	18.5	11.6
C-01	Derecho	Muestra Patrón + 2% (cal)	42.3	35.1
C-01	Derecho	Muestra Patrón + 3% (cal)	60.1	54.9

Figura 22*CBR de la C-01 + Cal*

El aumento significativo en el valor de CBR del suelo en la calicata 01 es evidente, gracias a la incorporación de aditivos estabilizantes en proporciones preestablecidas. Los resultados superan la calidad de subrasante buena con solo un 1% de cal, y al aumentar al 2% se logra una calidad de subrasante excelente, fortaleciéndolo y haciéndolo más resistente.

Tabla 28*Resumen de resultado del CBR de la C-02 + Cal*

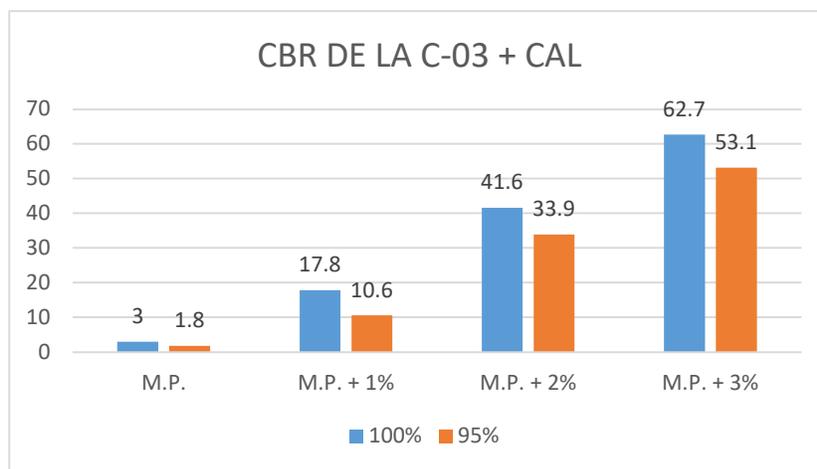
CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CBR	
			100%	95%
C-02	Izquierdo	Muestra Patrón (M.P.)	2.7	1.5
C-02	Izquierdo	Muestra Patrón + 1% (cal)	18.4	11.2
C-02	Izquierdo	Muestra Patrón + 2% (cal)	40.4	34.5
C-02	Izquierdo	Muestra Patrón + 3% (cal)	59.5	54.2

Figura 23*CBR de la C-02 + Cal*

El aumento significativo en el valor de CBR del suelo en la excavación 02 es evidente, gracias a la incorporación de aditivos estabilizantes en cantidades previamente calculadas. Se ha logrado superar la clasificación de subrasante buena con solo un 1% de cal, y al aumentar al 2% de cal se alcanza una categoría de subrasante excelente, lo que lo hace más firme y duradero.

Tabla 29*Resumen de resultado del CBR de la C-03 + Cal*

CALICATA	MARGEN	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CBR	
			100%	95%
C-03	Derecho	Muestra Patrón (M.P.)	3.0	1.8
C-03	Derecho	Muestra Patrón + 1% (cal)	17.8	10.6
C-03	Derecho	Muestra Patrón + 2% (cal)	41.6	33.9
C-03	Derecho	Muestra Patrón + 3% (cal)	62.7	53.1

Figura 24*CBR de la C-03 + Cal*

El aumento significativo en el valor de CBR del suelo en la calicata 03 es evidente, gracias a la incorporación de aditivos estabilizantes en proporciones preestablecidas. Se ha logrado superar la clasificación de subrasante buena con solo un 1% de cal, y al aumentar al 2% de cal se alcanza una categoría de subrasante excelente, fortaleciéndolo y haciéndolo más resistente.

Resumen de Resultados

Tabla 30*Resumen general de resultados del estudio de suelo*

Descripción del suelo	Propiedades Físicas del Suelo				Propiedades Mecánicas del Suelo			
	Calicata	Contenido de Humedad (%)	Límites de Consistencia			Proctor		CBR
			LL (%)	LP (%)	IP (%)	MDS (gr/cm ³)	OCH (%)	
Muestra Patrón	C-01	8.81	52.35	33.3	19.05	1.539	23.27	1.6
	C-02	8.75	51.29	32.38	18.91	1.548	22.16	1.5
	C-03	9.25	51.32	32.42	18.9	1.553	22.05	1.8
Muestra Patrón + 1% de cal	C-01	8.72	50.72	32.02	18.7	1.793	23.41	11.6
	C-02	8.69	50.85	32.06	18.79	1.789	23.68	11.2
	C-03	8.56	50.97	32.16	18.81	1.782	23.78	10.6
Muestra Patrón + 2% de cal	C-01	8.34	50.45	32.66	17.79	1.749	24.1	35.1
	C-02	8.25	50.15	32.31	17.84	1.722	24.37	34.5
	C-03	8.07	50.03	32.47	17.56	1.735	24.27	33.9
Muestra Patrón + 3% de cal	C-01	6.53	48.95	32.08	16.87	1.682	24.93	54.9
	C-02	7.86	49.53	32.53	17	1.664	24.89	54.2
	C-03	6.48	48.67	31.42	17.25	1.679	25.2	53.1

Prueba estadística

Tabla 31

Estadística básica del contenido de humedad

Descripción	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Contenido de Humedad	4	7.25	9.25	8.5150	.87230
Contenido de Humedad con 1% de cal	3	8.56	8.72	8.6567	.08505
Contenido de Humedad con 2% de cal	3	8.07	8.34	8.2200	.13748
Contenido de Humedad con 3% de cal	3	6.48	7.86	6.9567	.78271

Tabla 32

Estadística básica del límite líquido

Descripción	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Límite Líquido	4	22.27	52.35	44.3075	14.69993
Límite Líquido con 1% de cal	3	50.72	50.97	50.8467	.12503
Límite Líquido con 2% de cal	3	50.03	50.45	50.2100	.21633
Límite Líquido con 3% de cal	3	48.67	49.53	49.0500	.43863

Tabla 33*Estadística básica del límite plástico*

Descripción	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Límite Plástico	4	333.00	3242.00	2168.0000	1385.77078
Límite Plástico con 1% de cal	3	3202.00	3216.00	3208.0000	7.21110
Límite Plástico con 2% de cal	3	3231.00	3266.00	3248.0000	17.52142
Límite Plástico con 3% de cal	3	3142.00	3253.00	3201.0000	55.83010

Tabla 34*Estadística básica del índice de plasticidad*

Descripción	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Índice de Plasticidad	4	3.68	19.05	15.1350	7.63697
Índice de Plasticidad con 1% de cal	3	18.70	18.81	18.7667	.05859
Índice de Plasticidad con 2% de cal	3	17.56	17.84	17.7300	.14933
Índice de Plasticidad con 3% de cal	3	16.87	17.25	17.0400	.19313

Tabla 33*Estadística básica de la máxima densidad seca (M.D.S)*

Descripción	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
M.D.S.	3	1.54	1.55	1.5467	.00709
M.D.S. con 1% de cal	3	1.78	1.79	1.7880	.00557
M.D.S. con 2% de cal	3	1.72	1.75	1.7353	.01350
M.D.S. con 3% de cal	3	1.66	1.68	1.6750	.00964

Tabla 34*Estadística básica del óptimo contenido de humedad (O.C.H)*

Descripción	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
O.C.H.	3	22.05	23.27	22.4933	.67486
O.C.H. con 1% de cal	3	23.41	23.78	23.6233	.19140
O.C.H. con 2% de cal	3	24.10	24.37	24.2467	.13650
O.C.H. con 3% de cal	3	24.89	25.20	25.0067	.16862

Tabla 35*Estadística básica del CBR*

Descripción	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
CBR	3	1.50	1.80	1.6333	.15275
CBR con 1% de cal	3	10.60	11.60	11.1333	.50332
CBR con 2% de cal	3	33.90	35.10	34.5000	.60000
CBR con 3% de cal	3	53.10	54.90	54.0667	.90738

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Según los resultados obtenidos en esta investigación, se evaluó la estabilización de los suelos cohesivos con agentes estabilizantes para así mejorar las propiedades mecánicas y físicas del suelo, esto se puede constatar con los resultados de los siguientes ensayos: límites de consistencia y CBR. Los cuales muestran los resultados de la muestra patrón, para el límite de consistencia se tiene 19.05% (C-01), 18.91% (C-02) y 18.90 (C-03) y para el CBR se tiene los siguientes resultados 1.6 (C-01), 1.5 (C-02) y 1.8 (C-03). Con la adición de cal al 1%, 2% y 3% se tiene una disminución de límites de consistencia del (18.7%, 18.79% y 18.81%) y (17.79%, 17.84% y 17.56%), respectivamente. Y finalmente el CBR aumenta sus resultados con la adición de cal, los cuales son los siguientes: (11.6, 11.2 y 10.6) y (35.1, 34.5 y 33.9). Todo esto se puede constatar con Según Fernández (2016) en su tesis “Estabilización de suelos arcillosos a través de la adición de cloruro de sodio (NaCl) para uso de carreteras. Como resultado se obtuvo alguna variación, el índice de plasticidad disminuyó a 9.4 al usar cloruro de sodio al 50%, inicialmente 38.2 sin ningún aditivo, y con CBR fue de 4.1% al agregar 5% de sal, es decir 1.8%. Es óptimo para arcilla. Esto significa que el suelo de prueba tiene una tolerancia al 5% de cloruro de sodio, mejorando varias propiedades como su resistencia, cohesión, impermeabilidad y estabilidad. Con todo lo anteriormente mencionado se puede decir que la hipótesis general es correcta.

- Dentro de esta investigación se determinó la variación del suelo cohesivo frente a cambios de humedad determinando si el tipo de adición es correcta para evitar el hinchamiento y contracción del suelo, todo esto se puede apreciar con el siguiente resultado. Como muestra patrón se tiene un óptimo contenido de humedad del 8.81%, 8.75% y 9.25%, con la adición de la cal al 1%, 2% y 3% se tiene una disminución de los resultados, las cuales son: muestra patrón + 1% cal (8.72%, 8.69%, 8.56%), muestra patrón + 2% cal (8.34%, 8.25% y 8.07%) y por último la muestra patrón + 3% cal (6.53%, 7.86% y 6.48%). Con lo anteriormente descrito se puede decir que los resultados del contenido de humedad del suelo de las calicatas adicionadas con proporciones de cal, disminuyen su valor de humedad de manera no lineal, que tomando en cuenta su mayor proporción de esos aditivos, tendrá una relación de reducir aún más la humedad del suelo. Esto se puede constatar con Mamani y Yataco (2017) en su investigación “Estabilización de suelos arcillosos mediante la incorporación de cenizas de madera obtenidas de hornos artesanales de ladrillos en Ayacucho.” El objetivo general fue señalar el impacto de la ceniza de madera de los hornos manuales de ladrillos en la estabilización de arcillas en Ayacucho, el tipo de investigación que se viene aplicando desde que se utilizaron nuevas tecnologías para estabilizar arcillas. La arcilla (tierra natural) y el clinker se consideran en herramientas, donde se realizan diferentes combinaciones en diferentes proporciones. En resumen, cuando la ceniza se une para pruebas mecánicas de acuerdo con la norma ASTM D3080 y se cura durante 7 a 14 días, los parámetros de resistencia como el ángulo de fricción interna y la fuerza de adhesión, el esfuerzo cortante y el esfuerzo aumentan, lo que demuestra que el uso de estos residuos es eficaz. Con todo lo anteriormente mencionado se puede decir que la primera hipótesis general es correcta.

- Según los resultados de la investigación se realizaron ensayos de laboratorio donde se puede encontrar el valor del índice de actividad del suelo cohesivo y determinar el valor de soporte del suelo CBR. Esto se puede constatar con los siguientes resultados, para la muestra patron el CBR tiene los siguientes resultados: 1.6, 1.5 y 1.8, cuando se adiciona la cal al 1%, 2% y 3% se tuvo un aumento considerable en comparación con la muestra patron, los cuales son: Muestra Patron + 1% de cal (11.6, 11.2, 10.6), Muestra Patron + 2% de cal (35.1, 34.5 y 33.9) y finalmente la Muestra Patron + 3% de cal (54.9, 54.2 + 53.1). con los resultados que se obtuvieron líneas arriba se puede decir que se ha tenido un incremento radical del valor de CBR del suelo de las calicatas, debido a la adición de aditivos estabilizantes con proporciones ya estimadas, se obtuvieron valores que superan la categoría de subrasante buena con el 1% de cal, a partir del 2% de cal se logra obtener una categoría de subrasante excelente, haciéndolo más sólido y resistente. Esto se puede constatar con Larrea y Rivas (2019) en su tesis " Estabilización de suelo arcillosos con cloruro de sodio y cloruro de calcio" Se realizaron ensayos para estudiar el rendimiento, en los que se midió la partícula, medida modificada, pH para reconocer sus propiedades físicas a las que ha sido tratada la arcilla, CBR, medida de grano, ensayo de humedad, límite de Atterberg. , clasificaciones SUCS y AASHTO, medición de humedad óptima y pruebas de densidad máxima. Sus análisis comparativos se realizaron con ensayos con dosificaciones de 1%, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de calcio y cloruro de sodio, donde se encontraron proporciones adecuadas de las 4 sustancias estables, se procedió a modificar el Proctor, pH según límites ASTM, CBR, Atterberg para confirmar los resultados obtenidos; Una vez obtenidos estos parámetros se sacan conclusiones en base al comportamiento del material y la aplicación. Finalmente se concluyó que, en cuanto a la reducción de la plasticidad, el cloruro de sodio fue el que mejores resultados dio a pesar de que el CaCl también redujo la

ductilidad, pero el suelo estabilizado perdería su resistencia a la tolerancia, esto se refleja en la tasa de hinchazón y CBR. Con todo lo anteriormente mencionado se puede decir que la segunda hipótesis específica es correcta.

- En la investigación se determinó los parámetros que se obtienen del ensayo de Proctor modificado, máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad para poder compactar adecuadamente el suelo. Esto se puede constatar con los resultados de la muestra patrón del Proctor y contenido de humedad, los cuales son: 1.539 gr/cm³, 1.548 gr/cm³ y 1.553 gr/cm³ y 23.27%, 22.16 y 22.05%, respectivamente. Con la adición de la cal al 1%, 2% y 3% se tuvo un aumento de la máxima densidad seca y una disminución del óptimo contenido de humedad. MDS y OCH muestra Patrón 1% de cal (1.793gr/cm³ y 23.41%), MDS y OCH muestra Patrón 2% de cal (1.749gr/cm³ y 24.1%) y MDS y OCH muestra Patrón 3% de cal (1.682gr/cm³ y 24.93%). La máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad aumenta desde el valor de la muestra patrón a medida que se va adicionando proporciones de cal en el suelo. Esto se puede constatar con Según Garzón y Lugo (2019) en su tesis “Análisis geomecánico de materiales granulares estabilizados con ceniza vegetal y cal para uso de vías secundarias desde el caserío de Caño Chiquito hasta Paz de Aripuro, Casanare” Se concluyó que la mezcla de ceniza vegetal con cal aportó suficiente suelo, dando como resultado que 235% CBR mejoró el suelo en un 301%, su resistencia fue de 1.52 Mpa mejoró en un 323% y el desgaste de un 84% a un 99%, la porosidad reactiva completa el material de estudio. El suelo estabilizado con cenizas vegetales y cal ofrece mejores propiedades mecánicas debido a la reacción puzolana de los aditivos y menor porosidad con cenizas volantes y cal, dando como resultado un suelo más fuerte y estable. Con todo lo anteriormente mencionado se puede decir que la tercera hipótesis es correcta.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. Se estabilizo los suelos cohesivos con un alto índice de actividad frente a la variación de contenidos de humedad los cuales son susceptibles a variaciones volumétricas. Esto se debe a que, los resultados de los siguientes ensayos: limites de consistencia y CBR. Los cuales muestran los resultados de la muestra patron, para el limite de consistencia se tiene 19.05% (C-01), 18.91%(C-02) Y 18.90(C-03) y para el CBR se tiene los siguientes resultados 1.6 (C-01), 1.5(C-02) y 1.8(C-03). Con la adición de cal al 1%, 2% y 3% se tiene una disminución de limites de consistencia del (18.7%, 18.79% y 18.81%) y (17.79%, 17.84% y 17.56%), respectivamente. Y finalmente el CBR aumenta sus resultados con la adición de cal, los cuales son los siguientes: (11.6, 11.2 y 10.6) y (35.1, 34.5 y 33.9).
- 6.2. Se determino como varia la actividad del suelo cohesivo, hinchamiento y contracción frente a cambios de humedad. Esto se debe a que, la muestra patron tiene un optimo contenido de humedad del 8.81%, 8.75% y 9.25%, con la adición de la cal al 1%, 2% y 3% se tiene una disminución de los resultados, los cuales son: muestra patron + 1%cal (8.72%, 8.69%, 8.56%), muestra patron + 2%cal (8.34%, 8.25% y 8.07%) y por ultimo la muestra patron + 3%cal (6.53%, 7.86% y 6.48%). Con lo anteriormente descrito se puede decir que los resultados del contenido de humedad del suelo de las calicatas adicionadas con proporciones de cal, disminuyen su valor de humedad de manera no lineal, que tomando en cuenta su mayor proporción de esos aditivos, tendrá una relación de reducir aún más la humedad del suelo.
- 6.3. Se realizo el ensayo de laboratorio que demuestra que el suelo cohesivo tiene alta actividad de agente estabilizante apropiada para mejorar el suelo y con eso se pudo hallar el valor del CBR. Esto se debe a que, se adiciona la cal al 1%, 2% y 3% y se obtuvo un aumento considerable en comparación con la muestra patron, los cuales son: Muestra Patron + 1% de cal (11.6, 11.2,

10.6), Muestra Patron + 2% de cal (35.1, 34.5 y 33.9) y finalmente la Muestra Patron + 3% de cal (54.9, 54.2 y 53.1) con los resultados que se obtuvieron líneas arriba se puede decir que se ha tenido un incremento radical del valor de CBR del suelo de las calicatas, debido a la adición de aditivos estabilizantes con proporciones ya estimadas, se obtuvieron valores que superan la categoría de subrasante buena con el 1% de cal, a partir del 2% de cal se logra obtener una categoría de subrasante excelente, haciéndolo más sólido y resistente.

6.4. Se encontró mediante los ensayos de laboratorio los parámetros de máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad para hallar el valor de CBR al 95%, esto se debe a que los resultados de la muestra patron del Proctor y contenido de humedad, los cuales son: 1.539 gr/cm³, 1.548 gr/cm³ y 1.553 gr/cm³ y 23.27%, 22.16 y 22.05%, respectivamente. Con la adición de la cal al 1%, 2% y 3% se tuvo un aumento de la máxima densidad seca y una disminución del óptimo contenido de humedad. MDS y OCH muestra Patron 1% de cal (1.793gr/cm³ y 23.41%), MDS y OCH muestra Patron 2% de cal (1.749gr/cm³ y 24.1%) y MDS y OCH muestra Patron 3% de cal (1.682gr/cm³ y 24.93%). la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad aumenta desde el valor de la muestra patrón a medida que se va adicionando proporciones de cal en el suelo.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Se recomienda a los futuros investigadores realizar un estudio comparativo de estabilización de suelos con cal y con otros tipos de estabilizantes por separado y determinar cual es la mayor influencia de cambio en las propiedades físicas y mecánicas del suelo.
- 7.2. Se sugiere que en futuras investigaciones se lleven a cabo pruebas de permeabilidad en las muestras de suelo extraídas, utilizando diversas dosificaciones.
- 7.3. Se sugiere utilizar materiales que mantengan de manera adecuada el nivel de humedad al extraer muestras.
- 7.4. Se sugiere llevar a cabo la caracterización del suelo utilizando diversas dosificaciones para identificar sus propiedades físicas y mecánicas.

VIII. REFERENCIAS

- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación*. (6^a ed.). Episteme.
https://www.researchgate.net/publication/301894369_EL_PROYECTO_DE_INVESTIGACION_6a_EDICION
- Aguilar, H. y Mestanza, E. (2018). *Diseño de la infraestructura vial urbana para mejorar la transitabilidad de las calles principales de la ciudad de Tabaloso, San Martín*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/27388>
- Altamirano, G. y Dias, A. (2015). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de cal en las vías de la comunicación de San Isidro del Pegón, municipio Potosí-Rivas*. [Tesis de pregrado]. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación*. Patria.
- Fernández, L. (2016) *Estabilización de suelos arcilloso mediante adición de cloruro de sodio (NaCl) para uso de vías terrestres. Estudio de casos: suelos de Chachapoyas, 2016*. [Tesis de pregrado]. Universidad nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.
- Garzón, N. y Lugo, L. (2019). *Análisis geomecánico de un material granular estabilizado con ceniza vegetal y cal; para su uso en las vías terciarias del corregimiento de caño chiquito en Paz de Ariporo, Casanare*. [Tesis de pregrado]. Universidad de la Salle.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6a ed.). McGraw Hill.
- INGARTEK (2019). *Tres claves para el estudio de tráfico de carreteras: la densidad, la intensidad y la velocidad*.
- Larrea, B. y Rivas, J. (2019). *Estabilización de suelo arcillosos con cloruro de sodio y cloruro de*

- calcio*. [Tesis de pregrado]. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- Manual de estabilización de suelo tratado con cal (2014). *Estabilización y modificación con cal*.
Nacional Lime Association.
- Mamani, L. y Yataco, A. (2017). *Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de madera de fondo, producto de ladrilleras artesanales en el departamento de Ayacucho*. [Tesis de pregrado]. Universidad de San Martín de Porres.
- MTC (2018). *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG -2018*. Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- Useche, M., Wileidys, A., Queipo, B. y Perozo, E. (2019). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos Cualitativos*. (1ª ed.).
- Valderrama, S. (2013). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica: cuantitativa, cualitativa y mixta*.

IX. ANEXOS

ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA

VARIABLE		PROBLEMA GENERAL	PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO ESPECIFICO	HIPOTESIS GENERAL	HIPOTESIS ESPECIFICAS
INDEPENDIENTE	Adición de cal en porcentaje.	¿De qué manera podemos estabilizar suelo cohesivo que presente alto índice de actividad teniendo en cuenta la variación del contenido de humedad?	¿Qué parámetros son necesarios para determinar que el suelo cohesivo tiene alto índice de actividad para que se produzca cambios volumétricos que podrían afectar la subrasante del terreno de fundación?	Estabilizar suelos cohesivos con alto índice de actividad frente a la variación de contenidos de humedad que son susceptibles a variaciones volumétricas.	Determinar cómo varia la actividad del suelo cohesivo, hinchamiento y contracción frente a cambios de humedad.	Estabilizando suelos cohesivos con alto índice de actividad con agentes estabilizantes apropiados para este, frente al contenido de humedad se mejorará el suelo incrementando adicionalmente el valor soporte de este.	Determinando como varia la actividad del suelo cohesivo frente a cambios de humedad podremos determinar el tipo de adición correcto para evitar hinchamientos y contracciones volumétricas.
			¿Cómo podemos determinar el agente estabilizante más apropiado para este tipo de suelos de tal forma que se incremente la capacidad soporte del suelo?		Realizar ensayos de laboratorio que demuestre que el suelo cohesivo tiene alta actividad y determinar el agente estabilizante apropiado para mejorar el suelo y también hallar el valor de CBR.		Realizando ensayos de laboratorio podemos encontrar el valor del índice de actividad del suelo cohesivo y determinar el valor soporte del suelo CBR.
¿De qué forma mediante ensayos de laboratorio podemos determinar el porcentaje óptimo de adición del agente estabilizante asimismo la cantidad apropiada de adición de agua para compactar adecuadamente e incrementar el valor soporte CBR?	Encontrar mediante ensayos de laboratorio los parámetros de máxima densidad seca.		Determinando los parámetros que se obtienen del ensayo de Proctor modificado, máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad se podrá compactar adecuadamente para disminuir el índice de actividad del suelo cohesivo.				
¿Cuál es la forma correcta del mezclado suelo cohesivo con agente estabilizante para conformar la subrasante soporte del pavimento?	Óptimo contenido de humedad, para hallar el valor de CBR al 95% de grado de compactación.		Detallando la fórmula óptima de mezclado del agente estabilizante en nuestro caso CAL con el suelo cohesivo de alta actividad se logrará la compactación adecuada con valores de grado de compactación normados por las especificaciones técnicas del MTC.				