



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, Vía de evitamiento, Abancay – Apurímac, 2021”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil

AUTOR:

Bach. Tacca Huaracca, Jose Antonio (ORCID: 0000-0003-0437-3050)

ASESOR:

Mg. Villegas Martinez, Carlos Alberto (ORCID: 0000-0002-4926-8556)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de infraestructura vial

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

El presente trabajo lo dedicado para mis
padres, hermanos y sobrinos.

José Antonio.

Agradecimiento

En esta nueva etapa de mi vida agradecer en primer lugar a Dios todo poderoso por cuidarme día a día, brindarme sabiduría y su gran amor.

A mis padres, por su apoyo incondicional que me impulsaron a seguir adelante

A mis hermanos y sobrinos que con sus consejos compañía y apoyo hicieron que logre un objetivo más en la vida

Mi gratitud también a la Escuela de Ing. Civil y a todos sus docentes que con sus enseñanzas y experiencias brindadas han hecho posible este sueño de culminar mi carrera universitaria.

José Antonio.

Índice de contenido

	Pág.
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	viii
Resumen	x
Abstract	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	24
3.1. Tipo y diseño de investigación	24
3.2. Variables y operacionalización	24
3.3. Población, muestra y muestreo	26
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	27
3.5. Procedimientos	27
3.6. Método de análisis de datos	27
3.7. Aspectos éticos	28
IV. RESULTADO	29
V. DISCUSIONES	61
VI. CONCLUSIONES	66
VII. RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXO	73

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1 Clasificación de Suelos según tamaño de partículas	13
Tabla 2 Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad.....	15
Tabla 3. Categoría de subrasante	17
Tabla 4. Operacionalización de las variables	25
Tabla 5. Clasificación SUCS ASTM D-2487 y Clasificación AASTHO M-145	33
Tabla 6 Datos de Limite Líquido observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay.....	36
Tabla 7 Análisis de varianza del promedio del Limite Líquido de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la via de Evitamiento, Abancay.....	38
Tabla 8 Datos de Límite Plástico observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay.....	38
Tabla 9 Análisis de varianza del promedio del Límite Plástico de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.	40
Tabla 10 Datos de Índice de plasticidad observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay.....	40
Tabla 11 Análisis de varianza del promedio del Índice de plasticidad de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.....	42
Tabla 12 Datos de Coeficiente de Uniformidad observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay.....	42
Tabla 13 Análisis de varianza del promedio del Coeficiente de Uniformidad de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.....	44

Tabla 14	Datos de Índice de consistencia observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay.....	44
Tabla 15	Análisis de varianza del promedio del Índice de consistencia de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.....	46
Tabla 16	Datos de Máxima densidad seca observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay.....	47
Tabla 17	Análisis de varianza del promedio de la Máxima densidad seca de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.....	49
Tabla 18	Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios de la Máxima densidad seca de suelos tratados con porcentajes de cal de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay. ...	49
Tabla 19	Datos de Humedad óptima observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay.....	50
Tabla 20	Análisis de varianza del promedio del Humedad óptima de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.	51
Tabla 21	Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios de la Humedad óptima de suelos tratados con porcentajes de cal de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.	52
Tabla 22	Datos de Análisis CBR (100% 0.1”) observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay.....	52
Tabla 23	Análisis de varianza del promedio del Análisis CBR (100% 0.1”) de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.....	54

Tabla 24 Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios del CBR (100% 0.1") de suelos tratados con porcentajes de cal de la subrasante de la via de Evitamiento, Abancay.....	55
Tabla 25 Datos de Análisis CBR (95% 0.1") observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay.....	55
Tabla 26 Análisis de varianza del promedio del Análisis CBR (95% 0.1") de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.....	57
Tabla 27 Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios del CBR (95% 0.1") de suelos tratados con porcentajes de cal de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.	58
Tabla 28 Porcentaje que pasa la malla # 200	58
Tabla 29. Cálculo del índice de grupo	59

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1 Análisis granulométrico en laboratorio (ASTM D-422, MTC E 107)	31
Figura 2. Limite Líquido en laboratorio ASTM D-4318, MTC E 110	32
Figura 3. Límite Plástico en laboratorio ASTM D-4318, MTC E111	33
Figura 4. Proctor Modificado en laboratorio ASTM D-1557, MTC – E115.....	34
Figura 5. California Bearing Ratio (CBR) en laboratorio ASTM D-1883, MTC – E132	35
Figura 6. Promedios del Limite Líquido de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay.....	37
Figura 7. Promedios del Límite Plástico de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay.....	39
Figura 8. Promedios del Índice de plasticidad de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay	41
Figura 9. Promedios del Coeficiente de Uniformidad de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay	43
Figura 10. Promedios del Índice de consistencia de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay	45
Figura 11. Promedios del Máxima densidad seca de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay	48
Figura 12. Promedios del Humedad óptima de suelos con diferentes porcentajes de cal realizada para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay	50

Figura 13. Promedios del Análisis CBR (100% 0.1") de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay	53
Figura 14. Promedios del Análisis CBR (95% 0.1") de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay	56
Figura 15. Porcentaje que pasa la malla # 200	58
Figura 16. Representación gráfica del índice de grupo	59
Figura 17. Proceso de apertura de las calicatas	75
Figura 18. Características de la calicata	75
Figura 19. Evidencia de la toma de muestra de la C1 y C2	76
Figura 20. Rotulado y acondicionamiento de las muestras	76
Figura 21. Cuarteo de las muestras a analizar	77
Figura 22. Acondicionamiento de las muestras	77
Figura 23. Preparación de las muestras a ser analizados	78
Figura 24. Acondicionamiento y rotulado de las muestras a analizar	78
Figura 25. Procedimiento del análisis del CBR	79
Figura 26. Análisis del CBR al 8% de cal	79
Figura 27. Análisis del Proctor con diferentes porcentajes de cal	80
Figura 28. Análisis del Proctor	80
Figura 29. Análisis de la granulometría con la adición de cal y suelo natural	81
Figura 30. Análisis de la granulometría	81

Resumen

La presente tesis titulada estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay – Apurímac, 2021. Cuyo objetivo fue estabilizar el suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante en la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021.

La metodología de estudio fue de enfoque cuantitativo, el método de estudio fue hipotético deductivo, el tipo de investigación fue aplicada y nivel de investigación experimental.

Los resultados mostraron que al adicionar las proporciones de 4%, 8% y 12% de la cal mejora la capacidad de soporte del suelo y por consiguiente mejora la estabilización del suelo de la subrasante, el suelo tratado con 12% de cal ha conseguido un CBR (95% 0.1") de 28.5% seguido por el suelo tratado con 8% de cal que tiene 24.95% de CBR (95% 0.1"), del mismo modo que el suelo tratado con 4% de cal ha conseguido un CBR (95% 0.1") de 19.2% los cuales son considerablemente mayor a CBR (95% 0.1") del suelo natural de 9.4% y se obtuvo un p-valor es 0.00 mucho menor a 0.05 por lo tanto podemos afirmar con un 95% de confiabilidad que estadísticamente entre los promedios del CBR (95% 0.1") del suelo natural y el suelo con incremento de diferentes porcentajes de cal existe una diferencia altamente significativa con el CBR (95% 0.1") del suelo tratado con el 12% de cal por lo tanto podemos afirmar que el suelo tratado con porcentajes de cal influye significativamente y de manera positiva en el CBR (95% 0.1").

La investigación muestra como conclusión que adicionando las proporciones de 4%, 8% y 12% de la cal mejora la capacidad de soporte del suelo y por consiguiente mejora la estabilización del suelo de la subrasante, además obteniendo como proporción optima de la cal el 8 %

Palabras clave: Estabilización, adición de cal y mejoramiento de la subrasante.

Abstract

The present thesis entitled stabilization of clay soil with lime addition for the improvement of the subgrade, Vía de Evitamiento, Abancay - Apurímac, 2021. Whose objective was to stabilize the clay soil with the addition of lime for the improvement of the subgrade in the Vía de avoidance, province of Abancay - Apurímac, 2021. Whose methodology, the hypothetical deductive method was applied, considered the type of applied research and level of experimental research.

The results showed that by adding the proportions of 4%, 8% and 12% of the lime improves the bearing capacity of the soil and therefore improves the stabilization of the subgrade soil, the soil treated with 12% of lime has achieved a CBR (95% 0.1 ") of 28.5% followed by soil treated with 8% lime that has 24.95% CBR (95% 0.1 "), in the same way that soil treated with 4% lime has achieved a CBR (95% 0.1 ") of 19.2% which are considerably higher than CBR (95% 0.1 ") of the natural soil of 9.4 % and a p-value was obtained is 0.00 much less than 0.05 therefore we can affirm with 95% of reliability that statistically between the averages of the CBR (95% 0.1 ") of the natural soil and the soil with an increase of different percentages of lime there is a highly significant difference with the CBR (95% 0.1 ") of the soil treated with 12% of lime, therefore we can affirm that the soil treated with percentages of lime has a significant and positive influence on the CBR (95% 0.1 ").

The investigation shows as a conclusion that adding the proportions of 4%, 8% and 12% of the lime improves the bearing capacity of the soil and consequently improves the stabilization of the subgrade soil, In addition obtaining 8% as the optimum proportion of lime

Keywords: Stabilization, lime addition and subgrade improvement.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional tal es el caso de México se evidencia que los materiales que conforman el subsuelo destinado para la pavimentación están constituidos básicamente por arcilla de alta compresibilidad, cuyo efecto es la baja resistencia, la expansión y la susceptibilidad a la erosión. Tales características categorizan a estos materiales como inapropiados en la construcción como el acondicionamiento de caminos provisionales. Según la descripción de Amaya (2017) en su indagación denominado estabilización de suelos superficiales del NAICM con óxido de calcio (CaO) desarrollado en la Universidad Nacional Autónoma De México. Describe que las condiciones naturales del subsuelo sumado a los cambios estacionales que ocurren en el sitio generan afectaciones importantes de índole constructivo principalmente, incrementando los tiempos de traslado interno, retraso de los tiempos de maniobra, además de daños a los equipos de construcción, inestabilidad de cortes por excavaciones y costos por retiro y disposición final del material excavado (considerado hasta el momento como material no apto para su empleo en la construcción) (Amaya, 2017).

Por otro lado, Perú no es ajeno a lo descrito anteriormente, puesto que se evidencia la gran cantidad de vías que no reúne las condiciones de calidad para realizar el afirmado o la pavimentación, debido principalmente al suelo arcilloso que se encuentra en la zona, perjudicando significativamente el desarrollo del proyecto, por ello se investiga diferentes materiales químicos y naturales para mejorar la estabilidad del suelo arcilloso, tal como describe el MTC (2014) se considera un material adecuado para la capa de suelo de subrasante con $CBR \geq 6\%$. Si es menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada) o existe una zona húmeda local o zona blanda, se realizará un estudio especial de estabilización, mejora o reposición, y el ingeniero responsable analizará diversas estabilizaciones o soluciones, tales como: Estabilización mecánica, en lugar de suelo de cimentación, utilice productos o aditivos que puedan mejorar las características del suelo, utilice geosintéticos u otros materiales como piedras y arena para estabilizar el suelo, levantar la rasante o cambiar el trazo de la

carretera (si lo hay) analizar alternativa, porque el resultado puede ser demasiado caro y complicado (MTC, 2013, p.107)

En la ciudad de Abancay, carreteras y asfalto en algunas zonas presentaban síntomas que afectaban gravemente la capacidad de caminar de vehículos y peatones. Además, también se encontraron zonas vulnerables, derrumbes, deslizamientos y otras condiciones patológicas causadas por tipos de suelo. Con el fin de establecer la proporción óptima de cal para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en la subrasante existente en la vía de evitamiento de Abancay, la sección del suelo sobre la que se encuentra la subrasante se ha deteriorado y en malas condiciones de transitabilidad, afectando la ciudad (la población beneficiaria).

Razones necesarias que permite identificar los problemas de investigación, considerando el **problema general** que se define de la siguiente manera: ¿De qué manera se estabiliza el suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante en la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021? y los problemas específicos que se define de la siguiente manera:

Teniendo en cuenta la variable independiente vincula con las dimensiones de la variable dependiente se tiene los siguientes **problemas específicos** ¿De qué manera la adición de la cal mejora las propiedades físicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021? y ¿De qué manera la adición de la cal mejora las propiedades mecánicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021?

El trabajo de investigación **justifica** porque pretende estabilizar el suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante en la Vía de evitamiento, provincia de Abancay, el cual permitirá obtener resultados confiables para tomar decisiones apropiadas y oportunas que permita mejorar la estabilización de los suelos arcillosos de manera óptima, utilizando la cal como estabilizador que permita mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo arcilloso.

Desde la perspectiva práctica el presente trabajo de investigación busca contribuir en una fluida transitabilidad de los vehículos pesados, de igual forma

disminuyendo el impacto ambiental negativo que genera en lo que respecta al material particulado (polvo), generado por el rodamiento de vehículos por la naturaleza actual del tipo de suelo arcilloso; lo que produce malestar a los habitantes de la zona de la ciudad de Abancay. Finalmente, relacionado a lo metodológico, la investigación planteada permitirá replicar en futuras investigaciones considerando como referencia las dosificaciones de la cal en la estabilización de la subrasante en la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021.

Es preciso mencionar los objetivos del proyecto de investigación que se define de la siguiente manera, **objetivo general**: Estabilizar el suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante en la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021 y los **objetivos específicos** se define de la siguiente manera:

Determinar la proporción óptima de la cal que mejora las propiedades físicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021 y determinar la proporción óptima de la cal que mejora las propiedades mecánicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021. Planteado los problemas y fijado los objetivos se formula las hipótesis, teniendo como **hipótesis general**: la estabilización del suelo arcilloso con adición de cal mejora significativamente en la subrasante en la vía de Evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021 y la **hipótesis específica** se establece de la siguiente manera:

La proporción de la cal mejora significativamente las propiedades físicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021 y la proporción de la cal mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021.

II. MARCO TEÓRICO

Como antecedentes internacionales, tenemos a: Hernández *et al.* (2016) en una tesis del Instituto Multidisciplinario Oriental de la Universidad de El Salvador, propuso estabilización de suelos arcillosos sobre pavimentos duros o rígidos, donde menciona: que el propósito de agregar cal al suelo natural es aumentar su CBR, para que pueda cumplir con los requisitos mínimos para su uso como subrasante. Por lo tanto, es necesario agregar 5% (en peso) de cal al suelo en su estado natural, ya que esto puede aumentar su valor de soporte de 1,93% a 54,00%. Por tanto, se confirmó que un material con un contenido de cal del suelo del 5% es factible para formar parte del firme rígido de la subrasante. Según la consolidación unidimensional, la adición de cal reduce el índice de plasticidad del 45% al 0% y reduce su hinchamiento en un 88%. La elección del estabilizador dependerá de la consistencia y los límites de tamaño de partícula de cada suelo en particular.

Por su parte Amaya (2017) en su trabajo de tesis denominado estabilización de suelos superficiales del NAICM con óxido de calcio (cao) Desarrollado en la Universidad Nacional Autónoma de México. Los resultados obtenidos en la investigación demuestran que con la adición de CaO a los materiales arcillosos se crean un material con características físicas y químicas suficientes que garantizan su buen desempeño en la construcción y en este caso en particular, sin limitar otros aspectos, en la construcción de terracerías, caminos de acceso y plataformas de trabajo. La estabilización de suelos a corto plazo induce el secado de los materiales lo que permite tener materiales desmenuzables y de mayor trabajabilidad. A largo plazo la reacción química genera una reacción puzolánica similar a la de un cemento Portland, lo que provoca el incremento significativo en la resistencia a través del tiempo de curado, además de la reducción drástica de los cambios volumétricos ocasionados por el agua.

Asimismo, Parra (2018) en su trabajo de tesis "Estabilización de suelos con cal y cenizas volantes. Evaluó la resistencia mecánica de varios cuerpos de prueba de caolín bajo cargas monotónicas de tracción y compresión en el laboratorio, y de acuerdo con el Proctor estándar para probar y estudiar el suelo, se agregaron 2%,

4%, 6% y 8% de cal y cenizas volantes respectivamente (Caolín); antes de eso, se caracterizó primero el material, y el propósito final fue determinar el suelo por comparación mejorar la situación, y concluir que la cal tiene mejor resistencia al caolín en términos de máxima tensión y deformación, mientras que la ceniza no mejora significativamente el suelo. En general, tiene mejores propiedades de tracción sin exceder el resultado de la cal. Generalmente, si el suelo necesita estabilizarse rápidamente, los datos obtenidos señalan a la cal como una mejor opción para mejorar el suelo.

En ese sentido, Castillo (2017) afirmó en su obra maestra que `` como cimentación de carreteras se utiliza suelo arcilloso estabilizado de Macas con un valor CBR menor al 5% y un límite líquido superior al 100%. Añadiendo cal viva al suelo natural, se propone un método de mejora del suelo. Procesamos el suelo que se encuentra en el conducto de aire construido en la ciudad de Macas (Ecuador). El límite líquido (LL) del suelo es superior al 100%, la humedad natural es superior al 140% y su rango plástico varía significativamente según el tipo de secado utilizado; la respuesta del suelo al CBR es inferior al 5%. . La respuesta del suelo al tratamiento con cal se analizó en el laboratorio. En relación al peso seco del material, se procesa con 10%, 20%, 30% y 40% de cal. Los resultados muestran que: el límite líquido, el índice de plasticidad y la tasa de expansión disminuyen, mientras que el CBR aumenta. Cuando se usa cal para tratar estos suelos, el valor de CBR aumenta significativamente y cada vez que se agrega un cierto porcentaje de cal, el valor de CBR aumenta aproximadamente en un 15,8%.

Como antecedentes nacionales, se tiene: Montesinos, *et al.* (2019) que de acuerdo con el manual de caminos de tierra, geología, ingeniería geotécnica, al agregar 15%, 25% y 30% de la calzada de la cantera de Raqchi, se agregó 10% de cal y ceniza volcánica para analizar y evaluar la Av. Estabilidad de suelos arcillosos y aceras en Pícol Orcompugio. Mediante el uso de 10% de cal y 15%, 25% y 30% de puzolanas se combinan para estabilizar el suelo, de esta manera se confirma el incremento en el porcentaje de CBR, de manera que un material con un porcentaje de CBR del 95% es mayor que un material con un CBR del 6%. Solo 10% cal, 25%

y 30% puzolana estabilizada Se puede utilizar en combinación en el suelo, de acuerdo con el "Manual de suelo, geología, ingeniería geotécnica y pavimentos de carreteras, es adecuado para su uso en la calzada. Combinando estabilizador de cal (10% de contenido) y puzolana (15%, 25% y 30% de contenido), se puede verificar el aumento de la densidad seca máxima del suelo arcilloso, que es el primero con 15% de contenido de puzolana en un estabilizador. Se incrementó en un 6,67%, de los cuales la estabilidad de la ceniza volcánica fue del 25%, un aumento del 8,48% y la estabilidad de la ceniza volcánica fue del 30%, un aumento del 10,3%. Con los resultados obtenidos de la combinación de 10% de estabilizador de cal y 15%, 25% y 30% de puzolana, se observó que el límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad disminuyeron. Se puede comprobar que los materiales estables al reaccionar químicamente con el suelo harán que nuestra arcilla se vuelva cada vez más alcalina.

Así también Yampara (2020) en su trabajo de tesis denominado "Estabilización de suelo arcilloso con cal para sub rasante tramo Km 03+000 al Km 04+000 de la vía Juliaca-Canchi Grande del distrito de Caracoto, provincia de San Román, departamento de Puno. Los suelos arcillosos para una sub rasante presentan problemas por una elevada plasticidad, capacidad de soporte CBR muy baja y cambio en contacto con la humedad. Por ello en esta investigación el objetivo es determinar el porcentaje óptimo de cal que asegure un aumento en la capacidad de soporte CBR. La metodología consiste en comparar la muestra de suelo natural con proporciones de 3%, 5% y 7% de material estabilizante aplicado en estado seco. Para medir las variables los ensayos realizados fueron proctor modificado y capacidad de soporte CBR según la Norma MTC.2014 (ensayo de laboratorio). Entre los principales resultados se obtuvo una variación considerable de la capacidad de soporte donde se logró alcanzar un CBR de 13.01% al adicionarle 5% de cal siendo el suelo CL y su CBR en estado natural 4.40%, llevando a aumentar la resistencia en un 295.68%. Lo cual según la Tabla 1 (Categorías de subrasante MTC, (MTC-SP 2014, p. 35), lleva al suelo de una sub rasante insuficiente a una sub rasante buena".

Para, Moale y Rivera (2019) en su trabajo de tesis denominado “Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica. El trabajo de investigación actual se centra en estudiar el proceso de estabilización de la arcilla con cal y determinar el contenido óptimo de estabilizador para asegurar un aumento sustancial de la capacidad portante de la subrasante de pavimento flexible. El área de estudio y sitio de muestreo fue Villa Rica, que se encuentra a 3+000 kilómetros de la carretera Oconal-Cedropampa. La cal tiene propiedades de absorción de agua como estabilizador y aumenta la resistencia de la arcilla al encapsular las partículas de arcilla. En otras palabras, cuando las partículas de cal y arcilla interactúan, se producirá la floculación, formando una doble capa difusa, lo que reduce la posibilidad de hinchamiento e hinchazón del suelo fino y aumenta la resistencia a la permeabilidad. Las muestras de suelo natural se analizaron para determinar el tamaño de partícula, el límite de consistencia, la gravedad específica, las pruebas de Proctor modificado y CBR, y el contenido de cal fue del 9%, 15% y 21%, respectivamente. Además, la clasificación del suelo se realiza utilizando métodos AASHTO y SUCS para complementar los cálculos necesarios. Se encontró que el porcentaje óptimo de cal era del 15%, aumentando así el valor CBR del suelo del 3,3% al 5,9%. Además, se lleva a cabo un análisis de costos comparativo del diseño de la estructura del pavimento. Entre ellos, la superficie de la carretera se modela en la subrasante en el estado natural, y la subrasante en el estado mejorado se modela con el mejor porcentaje de cal encontrado.

La investigación de Vásquez (2018) en su trabajo sobre la capacidad de soporte del suelo en la vía cascajal para estabilizar mediante la adición de carbón y cal a nivel de subrasante. El carbón mineral utilizado en este artículo corresponde al producto extraído de la cantera “La Galgada” que mecánicamente activarlo para reducir el tamaño de la piedra para que se pueda mezclar con tierra y cal. Utilizamos 7% carbón mineral y 4% cal respectivamente según el peso de la muestra de suelo a evaluar, y según los procedimientos y control de los técnicos del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad de San Pedro. Los resultados finales muestran

que según la clasificación AASHTO, las calicatas N ° 01, N ° 02 y N ° 03 son suelos limosos (A-4), y su análogo en la clasificación SUCS es ML (limo de baja plasticidad arenosa). Se implementó la relación de carga de California (CBR) en las tres calicatas, se obtuvo 16.2% del valor CBR estándar del 100% y agregando 7% de carbón y 4% de cal al 100% de 29.0% en la calicata N°01, la calicata N° 02 obtuvo el 15.4% del valor CBR estándar de 100% y agregando 7% de carbón y 4% de cal al 100% de 35.3% y la calicata N ° 03 obtuvo el 14.0% del valor de CBR estándar del 100% y agregando 7% de carbón y 4% de cal al 100% de 32,2%.

En el trabajo de Niño (2018) denominado “Adición de cal para mejora de suelos con fines de cimentación en condominio Monte - Carmelo, distrito el Carmen - Chinch - Ica, 2018. Este método de investigación se utiliza para determinar el índice del suelo, la forma, la presión, el grado de hinchamiento y la tasa de reproducción. Su estado natural y el porcentaje de estabilizante. Para mostrar la evaluación del estudio se consideraron los porcentajes de Cal mostrados en el suelo (3%, 5% y 7% en peso, respectivamente). Estos porcentajes están controlados por la norma ASTM 6276 y están basados en la norma. De acuerdo con los resultados obtenidos del objetivo general, se determina que en los condominios Monte-Carmelo en el área El Carmen-Chincha-Ica en 2018, la adición de cal puede mejorar el suelo de la cimentación de cimentación. El nivel de significancia es de 0.004 y menos de 0,05, por lo que otro es aceptable esta hipótesis, la mejora del suelo es de 25,33%.

Para, Cuadros (2017) en su tesis denominada “Mejoramiento de las propiedades físico -mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la Región Junín mediante la estabilización química con óxido de calcio – 2016. El tipo de estudio fue aplicado, descriptivo, explicativo, experimental el propósito es comprender la influencia del óxido de calcio como estabilizador químico del suelo y determinar el mejor porcentaje de óxido de calcio. , además de determinar el pase Además de utilizar estabilizadores químicos para mejorar el efecto de uso, también puede analizar y comparar el costo entre estabilidad física y química. La conclusión más importante aún, el uso de óxido de calcio para la estabilización química tendrá un impacto positivo en las propiedades físicas y mecánicas de la

carretera. Según el peso del suelo y el índice de plasticidad del suelo natural con un IP de 19,08, se puede determinar el porcentaje óptimo de adición de óxido de calcio al 3%. El porcentaje de PI es del 4,17%, lo que también aumenta considerablemente el valor de CBR. Cuando el valor de CBR estabilizado es del 15,64%, el valor de CBR del suelo natural es del 4,85%. Además, en comparación con la estabilización física por el método de unión del suelo, se utiliza óxido de calcio. Se ha demostrado la ventaja económica de la estabilidad química y el coste se ha reducido en un 44,41%

Como antecedentes locales, se tiene a: López y Ortiz (2018) En su trabajo denominado “Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay. Este trabajo incluye determinar el porcentaje óptimo de cal que se debe agregar a la calzada de Molinapata y Santo Domingo, para luego usarse como cimiento estable en suelo estabilizado en varios tipos de acera, el procedimiento utilizado para determinar el porcentaje óptimo de cal incluye la definición de las propiedades físicas del suelo, tales como el esfuerzo cortante obtenido en el suelo después de la mezcla con la cal al 2%, el contenido de humedad, el grado de compactación y el plasticidad, agregando de 0% a 8% de cal a la muestra de suelo a intervalos para determinar su resistencia al corte (CBR). El objetivo principal de este trabajo es determinar las ventajas técnicas de la estabilización de caminos arcillosos con cal de la calzada, suelo, geología, manual de geotecnia y pavimentación del Ministerio de Transporte y prueba de laboratorio de cal ASTM C.-25.

Por su parte, Yavar (2017) en su trabajo de investigación titulada: Evaluación de la proporción de cal viva en el proceso de mejoramiento de la calidad del suelo arcilloso, Abancay. Cuyo objetivo fue evaluar las proporciones de cal viva en el proceso de mejoramiento de la calidad de los suelos arcillosos, en el sector de Puca Puca de la carretera Moyo Corral baja de la Provincia de Abancay. Y concluyo que la proporción de cal viva que mejora las propiedades mecánicas del suelo arcilloso es la que contiene el 8% de cal viva ya que con ella se ha mejorado varios parámetros los cuales son indicadores de la calidad del suelo.

Para Ccasani y Ferro (2017) en su trabajo de indagación titulada: “Evaluación y análisis de pavimentos en la ciudad de Abancay, para proponer una mejor alternativa estructural en el diseño de pavimentos. El objetivo es identificar mejoras a la evaluación y análisis de aceras en la estructura de aceras de la ciudad de Abancay, 2016. Llegué a la conclusión de que en el estudio de aceras rígidas, se encontró que la frecuencia de deterioro era mayor; la combinación de grietas en los bloques y placas subdivididas, grietas longitudinales y transversales, debido al pulido del agregado, la laminación La superficie de la pista es excesiva. Suave, también se observa eficiencia en el material de sellado, lo que mejora significativamente el rendimiento del sellado. La filtración de agua puede dañar la capa inferior de la estructura del pavimento.

Asimismo, Saenz (2017) en su trabajo de indagación titulada: “Análisis para estabilidad de taludes en roca utilizando mallas galvanizadas ancladas, ciudad nueva Fuerabamba–Apurímac. Cuyo objetivo es determinar un método para diseñar y analizar la estabilidad de taludes rocosos utilizando rejillas galvanizadas ancladas, que pueden producir un mejor desempeño y resistencia en taludes. Y concluí que al utilizar el diseño de rejilla galvanizada anclada, el análisis de la estabilidad del talud de roca tiene una gran influencia en asegurar la estabilidad del talud, pues el uso de este tipo de apoyos puede garantizar la seguridad del coeficiente de talud. Superando $FS = 1,25$ (con aceleración sísmica) y $FS = 1,50$ (sin aceleración sísmica), garantizando así la estabilidad a largo plazo del talud, lo cual ha sido comprobado por los análisis y cálculos realizados en cada posición geométrica del talud.

En cuanto a las **teorías relacionadas al tema** se revisaron conceptos correspondientes a las variables y sus respectivas dimensiones. El suelo es la base y soporte a las vías terrestres, pero a veces, cuando el suelo no es adecuado para estos fines, su calidad no es suficiente para cumplir con los requisitos del objetivo, por lo que debe modificarse para que sea más duradera (Arredondo, 1977, p. 221-222).

Existen variedades de tipos de suelo: *Suelo granulares*: está compuesto por partículas agregadas y no tiene cohesión debido a su mayor tamaño. Una de las

propiedades más importantes de este tipo de suelo es su alta capacidad portante y alta permeabilidad, que ayuda a drenar el agua rápidamente bajo cargas externas (Arredondo 1977, p. 221-222). *Gravas*: Según el sistema unificado SUCCS, está compuesto por rocas, estas sustancias están compuestas por rocas quebradas por la atmósfera, con un tamaño de partícula mayor a 2 mm. Como sustancia suelta, generalmente se encuentra a ambos lados de los ríos y en depresiones llenas de arrastre y/o transporte fluvial, por lo que los bordes están desgastados y redondeados (Arredondo, 1977, p. 221-222). *Arenas*: es material de grano fino es el nombre, que proviene de la desintegración o trituración artificial de rocas. Su tamaño de partícula está entre 2 mm y 0,05 mm (para la norma AASTHO, entre 4,75 mm). Según el sistema unificado SUCCS, el diámetro máximo es de 0,075 mm. Este material se suele encontrar en el mismo depósito donde se ubica la grava. La arena de río generalmente incluye partes de grava y fragmentos de arcilla más grandes. Este material limpio y seco no encogerá. La arena no es de plástico. No son tan comprimibles como la arcilla. Cuando se aplica una carga a su superficie, se comprimen casi de inmediato (Arredondo, 1977, p. 221-222). *Suelos cohesivos*: Según el sistema unificado SUCCS, la característica de este suelo es que el tamaño más pequeño de sus partículas constituyentes es menor a 0.08 mm. Desde el punto de vista mecánico, la cohesión es la principal característica de este tipo de suelo y, mientras no esté saturado, es la fuerza entre partículas provocada por la humedad del suelo (Arredondo, 1977, p.. 221-222). *Limos*: Está compuesto por suelos de grano fino con poca o nula plasticidad, en este tipo de suelos podemos encontrar limos inorgánicos producidos en canteras, o limos orgánicos en ríos, los cuales tienen plasticidad, baja permeabilidad y alta compresibilidad. Según la norma AASTHO, el diámetro de partícula de este tipo de suelo varía de 0.05 mm a 0.002 mm. Para el sistema unificado SUCCS, el diámetro de partícula es menor a 0.075 mm (Arredondo, 1977, p. 221-222). *Arcillas*: Son partículas sólidas con un diámetro inferior a 0,002 mm. Según estándares AASTHO. Este tipo de suelo tiene la propiedad de convertir el plástico en plástico cuando se mezcla con agua. Está compuesto químicamente de agregados de silicato de aluminio hidratado y, a veces, también puede contener silicato de hierro hidratado o silicato de magnesio (Arredondo, 1977, p. 221-222).

En cuanto al concepto de la subrasante: es la capa básica de suelo que constituye la vía, y su función principal es soportar la estructura de la acera y extenderse a una profundidad que no afecte la carga de diseño correspondiente al volumen de tráfico esperado. Puede formarse cortando o rellenando. El espesor del pavimento depende en gran medida de la calidad del camino, por lo que el camino debe ajustarse a parámetros como la capacidad portante o resistencia y la sensibilidad del suelo a la humedad, dependiendo de los cambios de volumen (Arredondo, 1977, p. 221-222).

Las principales funciones de la capa base vial son: a) Recibir y resistir la carga generada por el tráfico transmitido desde la acera a los peatones. b) Transfiera y distribuya adecuadamente la carga de tráfico al cuerpo principal del terraplén (Arredondo, 1977, p. 221-222).

Las características del suelo que constituye el lecho de la calzada son las variables más significativas a considerar en el diseño de la estructura del pavimento (rigidez, flexibilidad, certeza). Para establecer las propiedades físicas y mecánicas de los materiales de subrasante de la carretera, es necesario muestrear a una profundidad mínima de 1,5 m durante todo el proceso de desarrollo de la carretera (tajo) y luego determinar sus propiedades en el laboratorio (Mohedas y Moreno, 2014, pág. 8).

La humedad natural es una de las propiedades físicas del suelo y es muy útil en la construcción de carreteras, debido a que la resistencia del suelo del pavimento (especialmente el suelo fino) está directamente relacionada con las condiciones de humedad y densidad que presentan estos suelos. La humedad natural w_n es la relación en peso, que se define como la relación entre el peso del agua y el peso seco del suelo, expresada como porcentaje. (Mohedas y Moreno, 2014, pág. 8).

$$w_n(\%) = \frac{W_w * 100}{W_s} \dots\dots\dots (Ec. 1)$$

Donde:

w_n = contenido de humedad expresado en porcentaje (%)

Ww= peso del agua existente en la masa de suelo

Ws= peso de la muestra seca

La Granulometría: Tiene como finalidad determinar la textura del suelo, es decir, el porcentaje en peso de partículas de diferentes tamaños en el suelo. Desde la perspectiva de la tecnología utilizada en la carretera, es importante que el suelo esté bien nivelado para que cuando se compacta el suelo (el terraplén), las partículas más finas llenen los huecos que dejan las partículas más grandes para obtener una mejor estabilidad y capacidad (Mohedas y Moreno, 2014, pág. 8).

Según el peso seco del suelo (%), indica la proporción relativa de diversas partículas de minerales (arena, grava, arcilla y limo) en el suelo. El método de análisis granulométrico tamiza según especificaciones técnicas (ensayo MTC E 107) y estudia la distribución de partículas que componen el suelo según el tamaño del suelo, tecnología que proporciona un estándar de clasificación descriptiva. Representa la distribución granulométrica del árido tamizado según especificaciones técnicas (ensayo MTC EM 107). A partir de esto, se pueden aproximar otros atributos que pueden resultar de interés. El análisis del tamaño de partículas del suelo tiene como finalidad establecer las proporciones de sus diferentes elementos constituyentes y clasificarlos según su tamaño (MTC, 2013).

Tabla 1
Clasificación de Suelos según tamaño de partículas

Tipo de material	Tamaño de partícula
Grava	75mm - 4.75 mm
Arena	Arena gruesa: 4.75mm - 2.00 mm
	Arena media: 2.00 mm - 0.45mm
	Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm
Material Fino	Limo 0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla Menor a 0.005 mm

Fuente: (MTC) 2013)

El estado de consistencia, según Mohedas y Moreno (2014) el comportamiento del suelo se ve afectado en gran medida por la presencia de agua en su abrazo. Este hecho indica que el tamaño de las partículas que componen el suelo es pequeño, lo cual se relaciona principalmente con el componente arcilloso, porque en este tipo de suelos los fenómenos de interacción superficial se imponen sobre el tipo de suelo por gravedad.

- a. Líquido: La presencia de un exceso de agua contrarrestará la atracción especial (cohesión) que mantiene unido el suelo y lo convertirá en una lechada, que es un líquido viscoso sin resistencia.
- b. Plástico: El suelo es fácil de moldear y se deformará sin esfuerzo. Su comportamiento es maleable, por lo que no volverá a su estado original una vez finalizada la obra. Incapaz de soportar la carga adicional mecánicamente.
- c. Semisólido: el suelo es fácil de formar y se romperá antes de deformarse. Sin embargo, no es un sólido puro porque su volumen disminuye a medida que se seca o pierde humedad. Mecánicamente aceptable.
- d. Sólido: En este estado el suelo es estable porque el volumen del suelo no cambia con el cambio de humedad y sus propiedades mecánicas también son óptimas. La humedad correspondiente al punto de transformación entre cada uno de estos estados define el límite líquido (LL) y el límite plástico (LP).

Los límites de Atterberg, son procedimientos de prueba que se usan para comprobar el comportamiento de suelos finos. Esta limitación se basa en el concepto de que, en un suelo de grano fino, solo puede haber cuatro estados de consistencia en función de su contenido de humedad.

- a. Límite Líquido (LL): es el contenido de humedad, expresado como porcentaje del peso del suelo seco, y define la transición entre el estado líquido y el estado plástico del suelo.
- b. Límite Plástico (LP): es la humedad más baja, puede formar un cilindro de 3 mm de diámetro en él, y rodar entre los dedos de la mano y la superficie lisa hasta que el cilindro se agriete.

- c. Índice de plasticidad (IP): se expresa como el porcentaje del peso seco de la muestra de suelo y representa el tamaño del intervalo de cambio del contenido de humedad del suelo para mantener la plasticidad.

$$IP = LL - LP$$

Según el MTC (2013) el índice de plasticidad indica el tamaño del intervalo de humedad, donde el suelo tiene plasticidad y puede clasificar bien el suelo. Una PI más alta corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, una PI baja es característica de un suelo poco arcilloso. En este sentido, la plasticidad y el índice de plasticidad del suelo se pueden clasificar de acuerdo los siguientes:

Tabla 2

Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad

índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	Suelo muy arcilloso
IP ≤ 20	Media	Suelo arcilloso
IP > 7		
IP < 7	Baja	Suelo poco arcillosa plasticidad
IP = 0	No plástico	Suelos exentos de arcilla

Fuente: (MTC, 2013)

Se debe considerar que, en el suelo, dependiendo de su contenido, el contenido de arcilla puede ser un elemento peligroso en el suelo de la subrasante y la estructura de la acera, lo que se debe principalmente a su alta sensibilidad al agua (MTC, 2013).

La compactación del suelo es el grado de compacidad del suelo. En general, la compacidad del suelo es un atributo importante de carreteras, terraplenes y todo tipo de rellenos, pues debe estar directamente relacionada con la resistencia, deformación y estabilidad del pavimento, pues debe estar suficientemente consolidado para evitar asentamientos. Con el desarrollo de rodillos de servicio

pesado y su uso en la compactación de campo, la prueba estándar de Proctor se representará mejor las condiciones de campo (Braja, 2013, p. 60).

Para la compactación del suelo, la relación entre la densidad seca del suelo y la humedad presente en él es particularmente importante. La intención de esta prueba es determinar la humedad de compactación óptima de una muestra de suelo. Existen dos tipos de variantes, Proctor estándar y Proctor modificado, la diferencia entre los dos es principalmente la energía de compactación utilizada. El Proctor modificado es solo una evolución lógica del Proctor estándar. Esto se debe al aumento de la carga por eje que soporta el vehículo, lo que requiere el uso de maquinaria de compactación más pesada (Braja, 2013, p. 60).

La resistencia del suelo son las propiedades mecánicas del suelo. No hay duda de que es el factor más importante. De hecho, las características y ensayos anteriores tienen como objetivo obtener la mayor estabilidad mecánica posible, para que la tensión se pueda transferir de manera uniforme y gradual, evitar demasiada fijación no sucederá. Para identificar mecánicamente el suelo se utilizan diferentes procedimientos de prueba, por lo que el más utilizado en ingeniería de carreteras es la capacidad de carga.

El volumen de carga del suelo se define como la carga que puede soportar sin provocar un asentamiento excesivo. En el camino para establecer la capacidad de carga del suelo, el índice más comúnmente utilizado es el índice CBR (California Bearing Ratio), que se utilizó por primera vez en California. La determinación de este parámetro se realiza en laboratorio mediante la prueba estándar MTC E 132. Una vez que el suelo ha sido clasificado por los sistemas SUCS y AASTHO, se realizará un análisis de perfil estratigráfico en cada tramo de la vía en estudio. Puede especificar el plan de prueba para determinar el CBR, lo que significa el 95% de la densidad seca máxima y una penetración de carga de 2,54 mm. Una vez obtenido el valor CBR de diseño, se clasificará la categoría de subrasante correspondiente al departamento o parte:

Tabla 3.

Categoría de subrasante

Categoría de subrasante	CBR
Subrasante inadecuada	CBR<3%
Subrasante insuficiente	3% ≤ CBR <6%
Subrasante Regular	6% ≤ CBR <10%
Subrasante Buena	10% ≤ CBR <20%
Subrasante Muy Buena	20% ≤ CBR <30%
Subrasante Excelente	CBR≥30%

Fuente: MTC (2013)

Según MTC (2013): `` Para obtener el módulo elástico a partir de CBR se utilizará la siguiente ecuación, que relaciona el Mr-CBR obtenido en el Apéndice CC-1 con la correlación entre el valor de CBR y las características del índice del suelo " Preparado por el Proyecto NCHRP 1-37A (Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras) en 2001, este documento es parte del mecanismo MEPDG-Directrices de diseño de pavimentos empíricos-AASHTO Interim 2008)”:

$$Mr (psi) = 2555 * CBR^{0.64} \dots\dots\dots (Ec. 2)$$

Donde:

Mr = Modulo resilente

Psi =libra por pulgada cuadrada

CBR = california bearing ratio

La definición básica de estabilización de suelos es mejorar las propiedades físicas del suelo mediante procesos y / o métodos mecánicos o la adición de productos químicos, naturales o sintéticos. Suele realizarse en suelos de subrasante pobre o insuficiente. El propósito principal de estabilizar el suelo es aumentar la resistencia mecánica, hacer que las partículas trabajen de manera más efectiva y asegurar que las condiciones de humedad del trabajo del suelo cambien dentro de un rango reducido para lograr la estabilidad suficiente para resistir cambios en las

condiciones de carga y pequeños volúmenes. Además, aumenta la durabilidad de la capa.

a. Métodos de estabilización de suelos

Método físico, este procedimiento utiliza una mezcla o combinación de materiales de suelo existentes y materiales prestados para producir cambios físicos en el mismo. Para evaluar las características de cada suelo mixto, la combinación de suelos requiere una serie de pruebas. Este procedimiento requiere la eliminación de grandes cantidades de material de la superficie y no es práctico para mejorar mecánicamente depósitos profundos.

Método mecánico, la compactación del suelo es un proceso mecánico diseñado para mejorar las particularidades de resistencia, compresibilidad y tensión-deformación del suelo. En este proceso manual, se utilizan recursos mecánicos para acercar las partículas que componen el suelo reduciendo la porosidad.

Métodos Químicos, se refiere a la adición de sustancias químicas especiales para cambiar o cambiar las características del suelo. Este procedimiento se basa en la aplicación de productos químicos (también conocidos como estabilizadores químicos), teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del producto, este debe ser mezclado de manera cercana y uniforme con el suelo a tratar y solidificar. El objetivo que se persigue con el uso de estabilizadores químicos es conferir ciertas características al suelo tratado con un cierto espesor, con el objetivo de mejorar su desempeño durante la cimentación y/o uso. Los principales productos químicos utilizados como estabilizadores son: a) Cal, b) Cemento Portland, c) Productos asfálticos, d) Cloruro de sodio, e) Cloruro de calcio, f) Escorias de fundición y g) Polímeros.

Estabilización con Cal, de acuerdo con la finalidad, la cal se puede utilizar para el tratamiento del suelo en diversos grados o cantidades. La cantidad mínima de cal se utiliza para secar y mejorar temporalmente el suelo. Este proceso produjo una plataforma de trabajo para la construcción de carreteras temporales. Con el apoyo

de las pruebas, el diseño y la tecnología de construcción adecuada, un mayor grado de tratamiento puede hacer que la estructura del suelo sea permanentemente estable (Álvarez y Echeverri , 1999, p. 42).

El producto obtenido directamente de esta reacción es la denominada "cal viva". Para construir un buen producto, el mineral original debe tener una alta pureza en términos de contenido de carbonatos. Pero obviamente, durante el proceso de calcinación, se deben asegurar una serie de otros factores físicos afectados por los minerales para obtener una calidad suficiente del producto; estos factores son básicamente el tamaño de partícula y la superficie, porosidad y densidad del mineral expuesto a la calcinación (Bauzá, 2003)

La función principal de la cal es mejorar las propiedades de manipulación de los materiales utilizados, aumentando su consistencia y resistencia a largo plazo (Bauzá, 2003).

El primer fenómeno mejora fundamentalmente su trabajabilidad al cambiar la plasticidad, retención de agua y permeabilidad de materiales, morteros y suelos (Bauzá, 2003).

El segundo fenómeno, es fundamental para realizar los procesos químicos más o menos complejos según los materiales utilizados y el tipo de cal utilizada. El dióxido de carbono atmosférico conjuntamente con la carbonatación de carbohidratos aumenta la resistencia y durabilidad del material (Bauzá, 2003).

Para los tipos de cal, Bauzá (2003) menciona la siguiente clasificación: Se ha mencionado anteriormente la primera clasificación de la cal, que se basa en la composición del mineral básico a calcinar. Por lo tanto, con base en la proporción de carbonato de magnesio a carbonato de calcio total, se puede clasificar como:

Cales de alto contenido en calcio: Proviene de materiales a base de CaCO_3 y el contenido de MgCO_3 no supera el 5%. Por lo tanto, están compuestos principalmente por óxido de calcio.

Cales dolomíticas: Se compone de materias primas y su contenido supera el 5% de MgCO_3 . Están compuestos por óxidos de calcio y magnesio.

Inicialmente, tanto el óxido de magnesio como el óxido de calcio tenían efectos similares. Sin embargo, la diferencia entre estos dos tipos se puede determinar porque la solubilidad de las limas dolomíticas en agua es menor y su fenómeno de hidratación es más lento que el de las limas cálcicas. Esto significa que cuando se utiliza cal moscovita, cuando se aplica de forma acuosa, el óxido de calcio libre es liberado es menor que el de la caliza, y la reacción de unión que se busca durante el proceso de aplicación es más lenta, lo que puede llegar a hacer que en algunos casos no es válido (Bauzá, 2003).

Cal Hidráulica: Se obtiene a partir de calizas arcillosas (sílice y alúmina) mediante calcinación y posterior hidratación. Además de hidróxido de calcio, también contienen silicato de calcio y aluminato de calcio. Son hidráulicas, lo que significa que pueden endurecerse con agua. El dióxido de carbono en la atmósfera también contribuye al proceso de endurecimiento (Bauzá, 2003).

Cal viva gaseosa: está compuesta de calcio, óxido e hidróxido de magnesio, y se endurece cuando entra en contacto con el CO₂ del aire. No son hidráulicos, es decir, no se endurecen con el agua. Se obtienen de calizas que contienen más del 95% de carbonato (Bauzá, 2003).

Cal apagada: está compuesta de hidróxido de calcio / magnesio. Por tanto, puede existir en forma de pasta, lechada o suspensión de cal en agua, o incluso como polvo seco.

Cal viva u óxido de calcio / magnesio obtenido directamente del proceso de calcinación, se presenta en forma de granulado o polvo molido, incluso micronizado, porque esta forma significa que el producto calcinado aún no ha sido hidratado.

La cal utilizada es óxido de calcio (cal anhidra o cal viva) o hidróxido de calcio (cal hidratada) obtenido por calcinación de materiales calizos. Las limas también se llaman limas de aviación, porque una vez mezcladas con agua, deben endurecerse profundamente en el aire debido a la acción del dióxido de carbono (MTC, 2018, p. 101).

Según la información de MTC (2018), la National Lime Association resumió las propiedades obtenidas tras la estabilización o mejora con cal (p.102) como se muestra a continuación:

- a) Debido a la disminución del valor límite líquido y al aumento del valor límite plástico, el índice de plasticidad disminuye.
- b) La aglomeración de partículas reduce en gran medida el aglutinante natural del suelo.
- c) A medida que se reduce el contenido de humedad en el suelo (la aglomeración es fácil de romper), se obtiene un material más práctico y confiable.
- d) La cal ayuda a secar el suelo húmedo, acelerando así la compactación.
- e) Reducción significativa del potencial de contracción y potencial de expansión.
- f) Después de que se alcanza el tiempo de curado, la resistencia de la mezcla a la compresión simple a veces puede aumentar en un 40%.
- g) Incrementar la capacidad portante del suelo (CBR).
- g) Incrementar la resistencia a la tracción del suelo. i) Formar una capa impermeable para evitar la infiltración de agua de lluvia o la elevación capilar de agua subterránea.

Según Braja (2013), los aditivos más utilizados para la estabilización de suelos son la cal, el cemento y las cenizas volantes. Las principales funciones de la estabilización del suelo son: (a) mejorar el suelo, (b) acelerar la construcción, (c) mejorar la resistencia y durabilidad del suelo. Los tipos de cal utilizados para estabilizar suelos de grano fino incluyen cal hidratada con alto contenido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), cal viva de calcio (CaO) y cal dolomita monohidrato ($\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgO}$) y cal viva moscovita. Cuando se agrega cal a la arcilla, la cantidad de cal que se usa para estabilizar la mayoría de los suelos suele estar en el rango del 5 al 10%, y se producen dos reacciones químicas puzolánicas, a saber, intercambio catiónico y floculación-coalescencia (Braja, 2013).

Estabilización con cal en campo, según Braja (2013) menciona sobre la estabilización del suelo con cal en campo se puede dar de tres maneras, estas son:

- a) Los materiales in situ o los materiales absorbidos pueden mezclarse con una cantidad adecuada de cal en el sitio y luego compactarse después de agregar humedad.
- b) El suelo puede mezclarse con una cantidad adecuada de cal y agua en la planta y luego transportarse de regreso al sitio para compactarlo.
- c) La lechada de cal se puede inyectar en el suelo bajo presión hasta una profundidad de 4 a 5 m. Una unidad de maquinaria de inyección común es un mástil de elevación hidráulico cuya viga contiene una varilla de inyección. Mediante la acción de la viga en el mástil de la grúa, la varilla se empuja hacia el suelo. La lechada generalmente se mezcla en lotes de aproximadamente 3 m de diámetro y 12 m de longitud en un tanque de reabastecimiento y se bombea a la varilla de inyección a alta presión. La proporción general prescrita para preparar lechada de cal es de 1,13 kg de cal seca por 1 galón de agua (Braja, 2013).

Como definición de términos tenemos:

- a) Arcillas. Rocas sedimentarias con un tamaño de grano inferior a 4 micrones. Su ingrediente principal son los minerales arcillosos.
- b) Baches. Son concavidades formadas en la superficie de la banda de rodadura debido al deterioro causado por el tráfico de vehículos y la desintegración local.
- c) Caliza. Las rocas sedimentarias están compuestas principalmente por carbonato cálcico (calcita), que se obtiene de la acumulación mecánica de los fragmentos minerales mediante precipitación química.
- d) CBR. El valor relativo de soporte del suelo o material se determina en el laboratorio por la penetración de la fuerza en la masa del suelo.

- e) Estabilización de suelos. Se refiere al método de mejora de las propiedades físicas del suelo mediante procesos mecánicos y la adición de productos químicos, naturales o sintéticos.
- f) Calzada. La superficie completa de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno) se puede utilizar como base para la combinación de la estructura completa de aceras o carreteras confirmadas.
- g) Operabilidad. La mezcla de pavimentación e infraestructura vial es fácil de instalar y compacta.
- h) Vida útil. El período de tiempo estimado de la etapa de diseño de ingeniería vial debe operarse o proporcionarse en condiciones adecuadas de acuerdo con el plan de mantenimiento establecido.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación es de tipo aplicada, según Sánchez (1998) también se le llama productiva o útil, y se determina por su interés en aplicar los conocimientos teóricos a situaciones específicas y las consecuencias prácticas que se derivan de ello. Además, mencionó la aplicación que intenta realizar la investigación, hacer, hacer y modificar. Se enfoca en la aplicación inmediata en la realidad ambiental, más que en el desarrollo del conocimiento de valor universal. De lo que podemos estar seguros es que generalmente consiste en investigadores educativos, investigadores sociales y psicología aplicada (p.41).

El diseño a considerarse en la presente indagación fue experimental debido a que se sometió a la variable independiente (Proporción de estabilizador químico cal) a ciertos tratamientos para observar los efectos o reacciones que se producen en la variable dependiente (Estabilización de suelos), tal como afirma (Arias, 2012).

3.2. Variables y operacionalización

Variable independiente

Proporción de estabilizador químico cal: El óxido de calcio es un compuesto químico que, al ser empleado como estabilizador químico de suelos, este puede aumentar o mantener las propiedades físicas y la estabilidad de una masa de terreno; el aditivo debe ser capaz de mezclarse íntima y homogéneamente con el suelo y curarse de acuerdo a especificaciones técnicas” (Norma CE.020, 2012, pág. 3).

Variable dependiente

Estabilización de suelos: La estabilización de un suelo es el proceso mediante el cual, se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose una capa de asiento del firme estable y durable, capaz de soportar los efectos de tránsito y las condiciones de clima más severas y por ende asegure geotécnicamente el comportamiento de la explanada (Fernández, 1991).

Tabla 4. Operacionalización de las variables

Operacionalización de las variables					
Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	índice
Variable independiente	“El óxido de calcio es un compuesto químico que, al ser empleado como estabilizador químico de suelos, este puede aumentar o mantener las propiedades físicas y la estabilidad de una masa de terreno; el aditivo debe ser capaz de mezclarse íntima y homogéneamente con el suelo y curarse de acuerdo a especificaciones técnicas” (Norma CE.020, 2012, pág. 3).	Se empleará proporción de estabilizador químico cal, para lograr propiedades impermeabilizantes, adhesivas y de preservación, en el suelo arcilloso. En suelos friccionantes puede considerarse, además de la química, estabilización mecánica. Por lo que es necesario analizar la proporción de estabilizador químico cal.	Proporción de la cal	✓ T0 = 0%	%
				✓ T1 = 4 %	
Proporción de estabilizador químico cal	“La estabilización de un suelo es el proceso mediante el cual, se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose una capa de asiento del firme estable y durable, capaz de soportar los efectos de tránsito y las condiciones de clima más severas y por ende asegure geotécnicamente el comportamiento de la explanada” (Fernández, 1991).	El suelo se deberá controlar con ensayos de las propiedades físicas y propiedades mecánicas que permita evaluar la estabilidad del suelo utilizando diferentes proporciones de estabilizador químico cal, se determinaran mediante ensayos de compactación, durabilidad y compresión simple.	Propiedades físicas	✓ Granulometría	Razón
				✓ Límite de atterberg	
Variable dependiente			Propiedades mecánicas	✓ Proctor modificado	
				✓ Análisis del CBR (100% 0.1”)	
				✓ Análisis del CBR (95% 0.1”)	

Fuente: elaboración propia

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

Según Lerma (2009) “una población es un conjunto de todos los elementos de una misma especie con las mismas características o correspondientes a la misma definición, y se estudiarán las características y relaciones de sus elementos” (p.72).

Por lo tanto, la población de estudio se consideró la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac.

Muestra

Según Hernández *et al.* (2014) considera que la muestra "es un subgrupo de la población objetivo cuyos datos se van a recolectar, y deben delimitarse con precisión con anticipación, y debe representar a la población. (p.174).

En la presente investigación la muestra fue conformada por la vía de Evitamiento comprendido entre el Km 02+950 hasta el Km 03+450 en la ciudad de Abancay.

Muestreo

Según Hernández *et al.* (2014) considera que "el muestreo no probabilístico o muestreo directo está compuesto por un subgrupo de la población, en el que la selección de elementos no depende de la probabilidad, sino de las características del estudio" (p. 176).

En este estudio se tomaron muestras tanto para suelos inestables como estables, y se consideraron diferentes dosis de cal y la longitud de la sección a estudiar, y el tamaño de la muestra se determinó sobre una base no probabilística.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas de recolección de datos

Las técnicas utilizadas en la recolección de datos consisten básicamente en observar y analizar diferentes muestras según el método de Hernández *et al.* (2014). A través de un conjunto de categorías y subcategorías (p. 252). Además, los datos secundarios (recopilados por otros investigadores) que involucran otros datos implican la revisión de documentos, registros públicos y archivos físicos o electrónicos.

Instrumentos de recolección de datos

Los Instrumentos necesario para la elaboración de este trabajo es básicamente la verificación de diversas muestras, la tabla de análisis y las directrices del Ministerio de Transporte. Como lo señalan Hernández *et al.* (2014) cree que las herramientas a utilizar son recursos que utilizan los investigadores para registrar información o datos sobre las variables en las que piensan, y estas variables deben estar relacionadas con variables, dimensiones e indicadores (p.199).

3.5. Procedimientos

Los instrumentos como las fichas de verificación y otros fueron utilizados de acuerdo a las normas y fueron analizado las muestras obtenidas en campo y en laboratorio se realizó los análisis estadísticos y corroborar la incidencia de la cal en la estabilidad del suelo bajo los diferentes tratamientos.

3.6. Método de análisis de datos

Los datos que se obtuvieron producto de la ejecución del presente trabajo de investigación denominado estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante en la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021. Se realizó utilizando el software estadístico R, por su amplia función y recursos que presente en estos tipos de investigación científica, que permite tener certeza de la confiabilidad de los valores extraídos de las pruebas, donde se utilizará el análisis ligado a la prueba de hipótesis, desviación estándar, el rango y la varianza.

3.7. Aspectos éticos

En el presente trabajo de investigación se garantizó que las fuentes son confiables, que bajo ninguna circunstancia se incurrió el plagio, por lo que se ha respetado estrictamente la norma internacional para citar y referenciar considerando a la norma APA séptima edición, además la Guía de Elaboración del Trabajo de Investigación y Tesis para la obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales de la Universidad César Vallejo, aprobado por el Vicerrectorado de Investigación.

IV. RESULTADO

Los resultados de la tesis denominado “Estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, Vía de evitamiento, Abancay – Apurímac, 2021” se muestra a través del análisis de las propiedades físicas que comprende en análisis de la granulometría y límite de atterberg y por otro lado, los análisis de las propiedades mecánicas que comprende el análisis del Proctor, análisis del CBR (100% 0.1”) y análisis del CBR (95% 0.1”) donde se evidencia los análisis descriptivos, las Tablas de influencia, análisis de las varianzas para corroborar la prueba de hipótesis y la prueba de comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios de los resultados con significancia.

4.1. Procedimiento previo al análisis

Para los estudios de laboratorio se tomó en cuenta dos puntos de investigación 02 calicatas con una profundidad de 1.50 mts, la norma indica que para carreteras de primera clase se debe realizar como mínimo 4 calicatas por 1 km, como se tiene un tramo de estudio de 500mts se ha realizado 02 calicatas, se extrajo muestras representativas de cada calicata para realizar los ensayos en laboratorio

a) Exploración de suelos

Para la exploración de suelos, primero se debe realizar un estudio de campo, y el resultado es un plan de exploración e investigación de campo a lo largo de caminos y áreas de préstamo para identificar los diferentes tipos de suelo que pueden introducirse. El reconocimiento del terreno puede identificar cortes naturales y / o artificiales, definir el estrato principal de la superficie del suelo, delimitar áreas con características de suelo similares e identificar áreas de riesgo o no recomendadas para determinar la ruta de la carretera. Los planes de exploración e investigación de campo incluirán la ejecución de tajos o pozos exploratorios (MTC, 2013, p. 29).

b) Caracterización de la subrasante

Para determinar las propiedades físicas y mecánicas del material de la calzada, el levantamiento se realizará mediante la realización de un pozo exploratorio o mina con una profundidad mínima de 1,5 m. (MTC, 2013, p. 30)

c) Ensayos de laboratorio

Según MTC, (2013 p.44) luego del muestreo del pozo, se realizarán las siguientes pruebas de laboratorio:

- ✓ Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E107
- ✓ Límite Líquido ASTM D-4318, MTC E110
- ✓ Límite Plástico ASTM D-4318, MTC E111
- ✓ Contenido de humedad ASTM D-2216, MTC E108
- ✓ Clasificación SUCS ASTM D-2487
- ✓ Clasificación AASHTO M-145

d) Ensayos Especiales

- ✓ California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-1883, MTC – E132
- ✓ Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC – E115

e) Análisis granulométrico en laboratorio (ASTM D-422, MTC E 107)

consiste en la distribución de las partículas del suelo en sus diferentes tamaños las cuales pasan por los diferentes tamices, el análisis granulométrico es muy importante para poder clasificar el tipo de suelo cuando el porcentaje que pasa por el tamiz N°200 es mayor al 50% nos indica que el suelo es fino, se extrae muestras representativas para realizar el ensayo granulométrico la muestra a ensayar se coloca en una bandeja y se cuartea una vez hecho el cuarteo se separa aproximadamente 800 a 900 gramos esta muestra se lava en la malla N°200 para perder los finos en el lavado, se seca en horno a 110°c ,retiramos la muestra seca del horno luego mediante agitación y pequeños golpes se

tamiza la muestra enseguida se registran los pesos retenidos en cada uno de los tamices, tal como se muestra en la figura 1.



Figura 1 Análisis granulométrico en laboratorio (ASTM D-422, MTC E 107)

f) Limite Liquido en laboratorio ASTM D-4318, MTC E 110

El ensayo se determina en laboratorio ,decimos que el suelo presenta limite liquido cuando el suelo falla a los 25 golpes con un determinado porcentaje de humedad se debe tomar una muestra de 150 a 200g que pasa por el tamiz N°40 consiste en un ensayo multipunto con tres muestras las cuales deben tener diferente porcentaje de humedad, colocar una muestra húmeda en la cuchara de Casagrande enseguida con el acanalador se hace una ranura de 1/2", contar el número de golpes requeridos para cerrar la ranura para luego tomar una muestra de la parte media donde ocurre la falla ,colocamos la muestra con la falla en un recipiente con peso conocido para determinar el límite líquido, como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Límite Líquido en laboratorio ASTM D-4318, MTC E 110

g. Límite Plástico en laboratorio ASTM D-4318, MTC E111

El límite plástico es el porcentaje de humedad correspondiente con el cual el suelo se cuarteo y se quiebra cuando toma la forma de pequeños rollitos, se toma una muestra de 20 g restante del ensayo del límite líquido, luego se amasa la muestra sobre una placa de vidrio en la que pierde su humedad hasta tener una consistencia en la que pueda enrollarse sin que se pueda pegar en las manos, en cada movimiento el rollito debe adelgazar hasta alcanzar un diámetro de 3.2mm, el ensayo debe continuar hasta que el rollito empieza a quebrarse, una vez determinado el punto de quiebre se coloca el rollito en un recipiente con peso conocido para determinar el límite plástico, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Límite Plástico en laboratorio ASTM D-4318, MTC E111

h. Clasificación SUCS ASTM D- 2487 y Clasificación AASTHO M-145

Se clasifico el suelo por el sistema SUCS y AASTHO para suelo natural y con diferentes porcentajes de cal (Natural, 4%, 8% y 12%) con respecto al sistema SUCS se obtuvieron simbología y nomenclatura de CL-ML a M-L con la adición de cal cambia la simbología y la nomenclatura y con respecto al sistema AASTHO corresponden al grupo de A-4 suelos limosos (de pobre a malo) y el índice de grupo varia con la adición de cal, ver tabla 5

Tabla 5.

Clasificación SUCS ASTM D-2487 y Clasificación AASTHO M-145

Muestra	Clasificación SUCS	Clasificación AASTHO
Natural	CL-ML Arcilla Limo arenoso de baja plasticidad	A-4(4)
4% DE CAL	M-L Limo arenoso de baja plasticidad	A-4(5)
8% DE CAL	M-L Limo arenoso de baja plasticidad	A-4(5)
12% DE CAL	M-L Limo arenoso de baja plasticidad	A-4(5)

Fuente: elaboración propia

i. Proctor Modificado en laboratorio ASTM D-1557, MTC – E115

El ensayo de Proctor modificado consiste en determinar la humedad óptima con la cual el suelo se pueda compactar hasta alcanzar su máxima densidad seca, para determinar ambos resultados se toma 4 muestras de 2300g que pasa por el tamiz de 3/8", el ensayo de Proctor modificado se realiza en función al tamaño máximo nominal de la granulometría en este caso como se tiene poca cantidad de gravas más finos se usa el molde pequeño de 4" y el pistón de 10 lb de peso, se coloca la muestra en el molde aplicar 25 golpes para 5 capas de compactación, repetir el ensayo para 4 muestras cada ensayo se compacta con diferente contenido de humedad pero igual energía de compactación, registrar el peso del suelo + molde, luego del pesado se toma una muestra de 300g de la parte central para determinar la humedad óptima y la máxima densidad seca, como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Proctor Modificado en laboratorio ASTM D-1557, MTC – E115

j. California Bearing Ratio (CBR) en laboratorio ASTM D-1883, MTC – E132

El ensayo de CBR determina la capacidad de soporte del suelo, este parámetro nos indica el espesor del paquete estructural del pavimento, si tenemos menor %de CBR mayor será el espesor del paquete estructural y si tenemos mayor % de CBR menor será el espesor del paquete estructural, se realiza en muestras preparadas en el laboratorio previamente se debe realizar el ensayo del Proctor modificado, se separa 3 muestras de 5600g pasantes por el tamiz de 3/4”, se colocan muestras en un molde de 6 “compactar la muestra con el pistón de 10 lb y la humedad optima , los tres ensayos se trabaja con el mismo porcentaje de humedad ,pero con diferente energía de compactación lo cual es controlado con el número de golpes ,para el primer ensayo aplicar 12 golpes para 5 capas ,el segundo con 25 golpes para 5 capas y el tercero con 56 golpes para 5 capas ,terminado la compactación se llevan los tres ensayos a la prensa de CBR para determinar la resistencia de cada ensayo el cual nos determina el índice de CBR, como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. California Bearing Ratio (CBR) en laboratorio ASTM D-1883, MTC – E132

4.2. Propiedades Físicas

Límite de Atterberg

Límite Líquido, en la Tabla 6 se aprecia los datos observados respecto al límite líquido del estudio de suelos realizado para determinar las propiedades Físicas y mecánicas del suelo Natural y los tratamientos con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la Vía de Evitamiento, Abancay.

Tabla 6

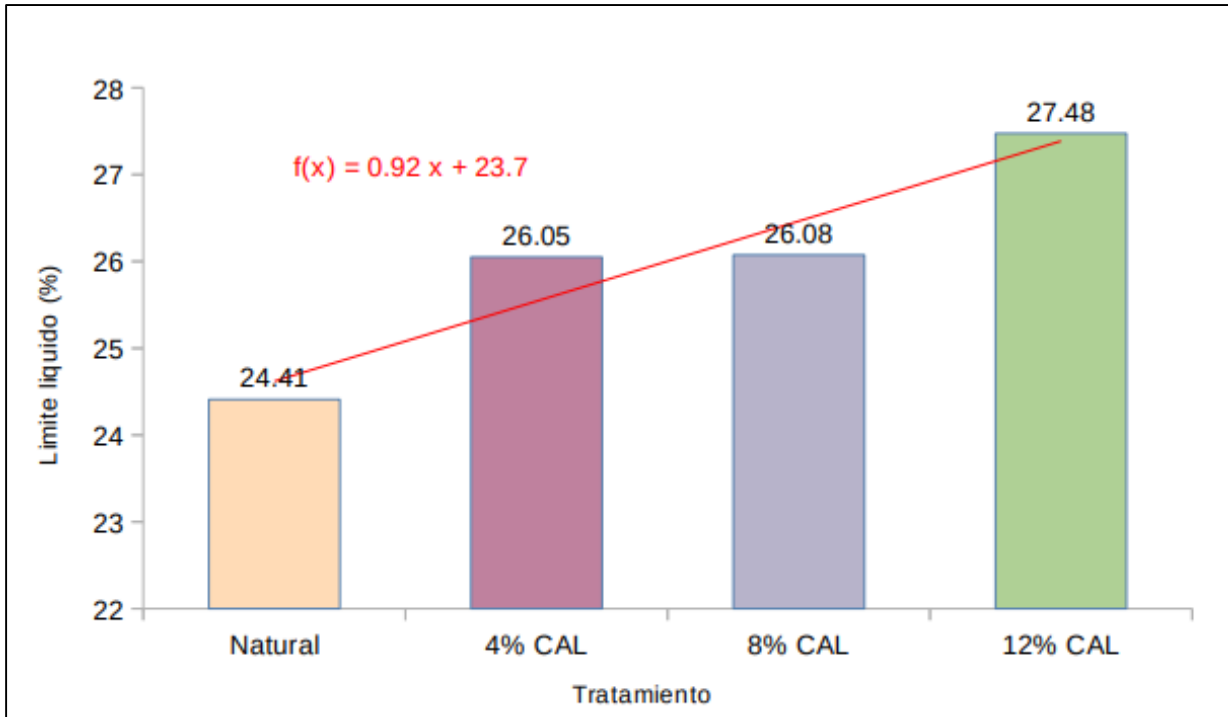
Datos de Límite Líquido observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

Límite líquido (%)	Natural	4% CAL	8% CAL	12% CAL	Total
R1	24.48	28.45	29.01	28.99	110.93
R2	24.34	23.65	23.14	25.96	97.09
R3	24.41	26.05	26.075	27.475	104.01
Total	73.23	78.15	78.225	82.425	312.03
Promedio	24.41	26.05	26.075	27.475	104.01
Varianza	0.0049	5.76	8.614225	2.295225	47.8864

En la Figura 6 se muestra la gráfica de los Promedios del análisis de suelo realizado para determinar el Límite Líquido de suelos tratados con diferentes porcentajes de cal (Natural, 4%, 8% y 12%) realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay en la que resalta el Límite líquido del tratamiento con 12% de cal obteniendo 27.48%, el tratamiento con 8% de cal obtuvo 26.08% de límite líquido, el

tratamiento con 4% de cal obtuvo 26.05% de Límite líquido mientras que el suelo natural obtuvo 24.41% de límite líquido.

Figura 6. Promedios del Límite Líquido de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado



para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

Podemos notar también la proporcionalidad que tiene el Límite líquido respecto al porcentaje de cal es decir a mayor porcentaje de cal mayor límite líquido del suelo, cuya ecuación estimada es $Y = 0.92X + 23.7$, la cual sirve para interpolar y extrapolar los valores de límite líquido.

Tabla 7

Análisis de varianza del promedio del Límite Líquido de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	F crítico	Sig.
Entre grupos	14.14	3	4.71	1.13	0.39	4.07	NO
Dentro de los grupos	33.35	8	4.17				
Total	47.48	11					

El Análisis de varianza al 95% de confiabilidad realizada para determinar si existe diferencia significativa entre los promedios del Límite Líquido del suelo natural tratado con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay se presenta en la Tabla 7 en la que se aprecia que el p-valor es 0.39 mayor a 0.05 por lo que se puede afirmar que la probabilidad de rechazar la idea de que los promedios de límite líquido de los diferentes tratamientos son iguales no es pequeña por lo tanto no existe una diferencia significativa eso quiere decir respecto al límite líquido.

Límite Plástico

Tabla 8

Datos de Límite Plástico observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

Límite plástico (%)	Natural	4% CAL	8% CAL	12% CAL	Total
C1	20.23	24.32	23.06	23.56	91.17
C2	20.25	21.53	20.51	20.8	83.09
C3	20.24	22.93	21.79	22.18	87.13
Total	60.72	68.78	65.36	66.54	261.39
Promedio	20.24	22.93	21.79	22.18	87.13
Varianza	0	1.95	1.63	1.9	16.32

En la Tabla 8 se aprecia los datos observados respecto al Límite Plástico del estudio de suelos realizado para determinar las propiedades Físicas y mecánicas del suelo Natural y los tratamientos con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la Vía de Evitamiento, Abancay.

En la Figura 7 se muestra la gráfica de los Promedios del análisis de suelo realizado para determinar el Límite Plástico de suelos tratados con diferentes porcentajes de cal (Natural, 4%, 8% y 12%) realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay en la que se puede apreciar que el Límite plástico del tratamiento con 4% de cal obteniendo 22.93%, el tratamiento con 12% de cal obtuvo 22.18% de límite plástico, el tratamiento con 8% de cal obtuvo 21.79% de Límite plástico los cuales son mayores que el suelo natural la que obtuvo 20.24% de límite plástico.

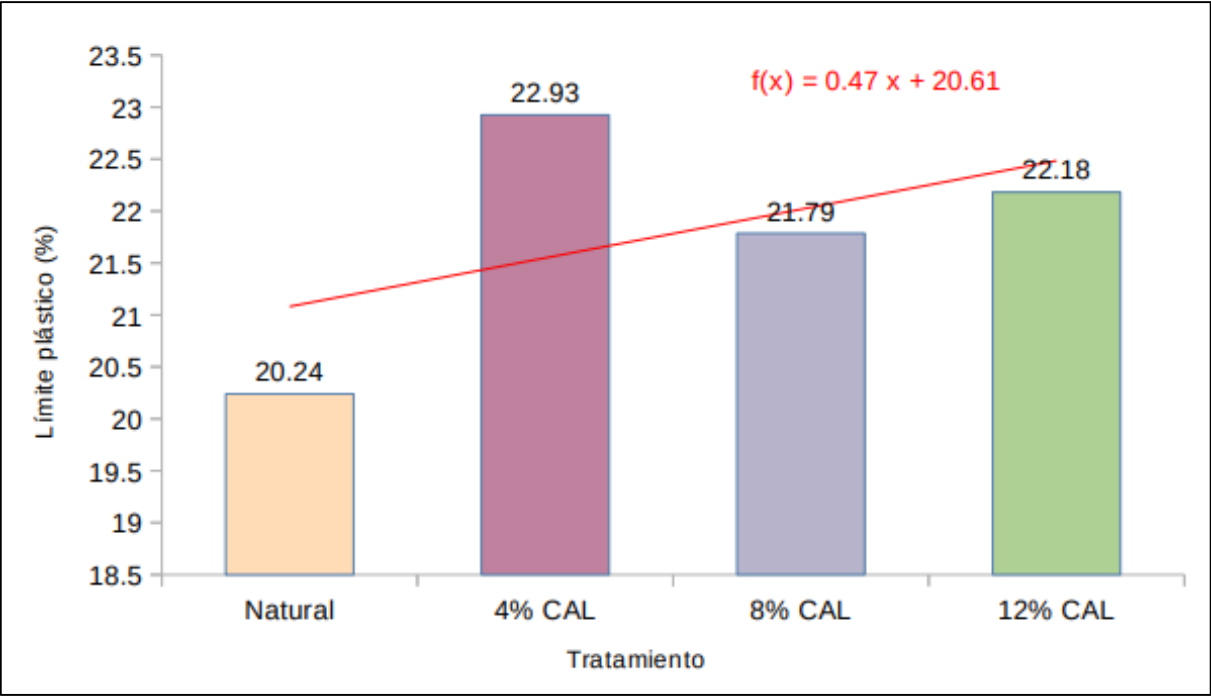


Figura 7. Promedios del Límite Plástico de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

La Figura muestra también la línea de tendencia del límite plástico en función de porcentajes de cal, en la que se aprecia que la ecuación $Y=0.47X+20.61$ tiene pendiente positiva es decir el suelo tratado con mayor porcentaje de cal permite obtener mayor límite plástico de dicho suelo.

Tabla 9

Análisis de varianza del promedio del Límite Plástico de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	F crítico	Sig.
Entre grupos	11.53	3	3.84	2.81	0.11	4.07	NO
Dentro de los grupos	10.95	8	1.37				
Total	22.48	11					

El Análisis de varianza al 95% de confiabilidad realizada para determinar si existe diferencia significativa entre los promedios del Límite Plástico del suelo natural tratado con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay se presenta en la Tabla 9 y dado que el p-valor es 0.11 y por tanto mayor que 0.05 entonces no podemos afirmar que existe diferencia significativa entre los promedios de Límite plástico de los diferentes tratamientos, por lo tanto respecto al límite plástico estadísticamente al 95% de confiabilidad son iguales.

Índice de plasticidad

En la Tabla 10 se aprecia los datos observados respecto al Índice de plasticidad del estudio de suelos realizado para determinar las propiedades Físicas y mecánicas del suelo Natural y los tratamientos con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la Vía de Evitamiento, Abancay.

Tabla 10

Datos de Índice de plasticidad observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

Índice plástico (%)	Natural	4% CAL	8% CAL	12% CAL	Total
C1	4.25	4.12	5.95	5.43	19.75
C2	4.09	2.12	2.63	5.16	14
C3	4.17	3.12	4.29	5.3	16.88
Total	12.51	9.36	12.87	15.89	50.63
Promedio	4.17	3.12	4.29	5.3	16.88
Varianza	0.01	1	2.76	0.02	8.27

En la Figura 8 se muestra la gráfica de los Promedios del análisis de suelo realizado para determinar el Índice de plasticidad de suelos tratados con diferentes porcentajes de cal (Natural, 4%, 8% y 12%) realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay en ella se muestra que el índice de plasticidad del suelo natural es de 4.14% mientras que del suelo tratado con 4% cal tiene un índice de plasticidad de 3.12%, el suelo tratado con 8% de cal tiene un índice de plasticidad de 4.29% y el suelo tratado con el 12% de cal tiene 5.3% de índice de plasticidad.

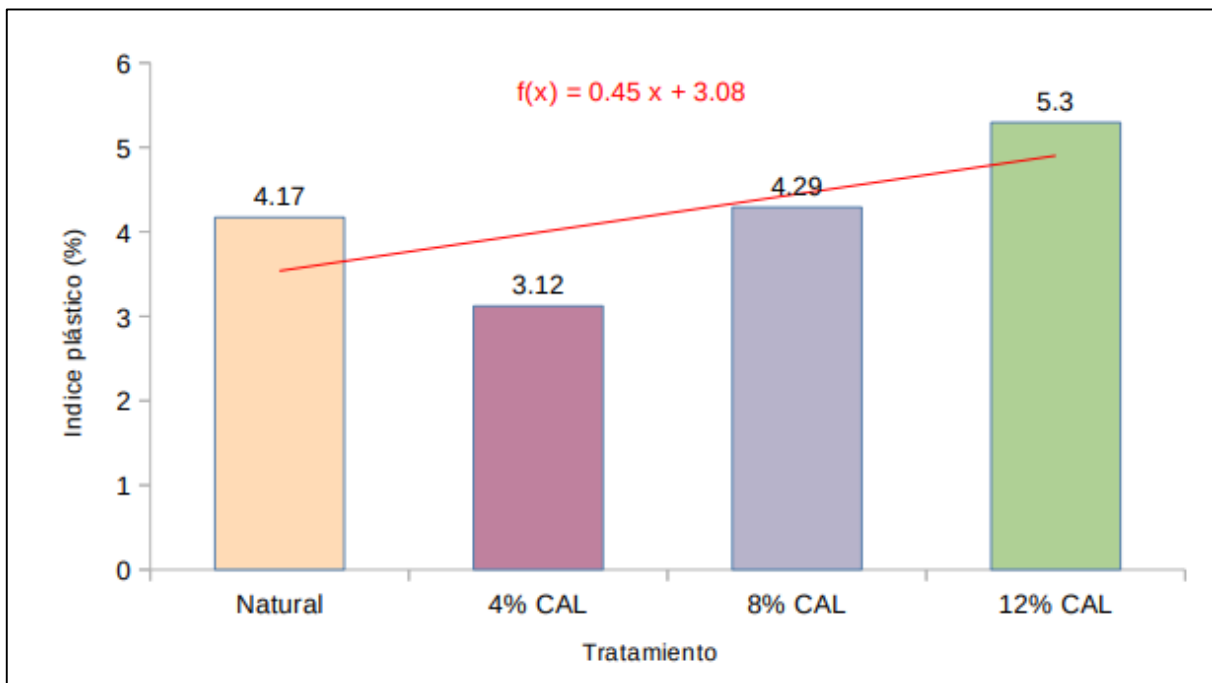


Figura 8. Promedios del Índice de plasticidad de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

Además, se aprecia la línea de tendencia del índice plástico en función de porcentajes de cal aplicados al suelo natural, en ella se observa que la ecuación de tendencia $Y=0.45X+3.08$ tiene pendiente positiva lo que configura a que a mayor incremento de cal al suelo natural mayor será el índice plástico que se obtenga.

El Análisis de varianza al 95% de confiabilidad realizada para determinar si existe diferencia significativa entre los promedios del Índice de plasticidad del suelo natural tratado con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante

de la vía de Evitamiento, Abancay se presenta en la Tabla 11 en ella se observa que el p-valor es 0.13 mayor a 0.05 por lo que podemos afirmar al 95% de confiabilidad que respecto al promedio del límite plástico de los diferentes tratamientos y del suelo natural son estadísticamente iguales.

Tabla 11

Análisis de varianza del promedio del Índice de plasticidad de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	F crítico	Sig.
Entre grupos	7.12	3	2.37	2.51	0.13	4.07	NO
Dentro de los grupos	7.56	8	0.95				
Total	14.68	11					

También se aprecia que el índice de plasticidad del suelo natural y tratado con diferentes porcentajes de cal se encuentra entre 3.12% y 5.3% lo que se halla según la norma por debajo de IP = 7 por lo que tiene plasticidad baja según la norma del MTC.

Coeficiente de Uniformidad

En la Tabla 12 se aprecia los datos observados respecto al Coeficiente de Uniformidad del estudio de suelos realizado para determinar las propiedades Físicas y mecánicas del suelo Natural y los tratamientos con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la Vía de Evitamiento, Abancay.

Tabla 12

Datos de Coeficiente de Uniformidad observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

Coef. Uniformidad	Natural	4% CAL	8% CAL	12% CAL	Total
C1	56142	89207	136260	206011	487620
C2	609	803	1117	609	3138
C3	28375.5	45005	68688.5	103310	245379
Total	85126.5	135015	206065.5	309930	736137
Promedio	28375.5	45005	68688.5	103310	245379
Varianza	770978522.25	1953816804	4565907612.25	10547495401	58680702081

En la Figura 9 se muestra la gráfica de los Promedios del análisis de suelo realizado para determinar el Coeficiente de Uniformidad de suelos tratados con diferentes porcentajes de cal (Natural, 4%, 8% y 12%) realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay en ella se aprecia que el tratamiento con 12% de cal ha logrado un coeficiente de uniformidad de 245379 la que es superior a los demás tratamientos y al suelo natural.

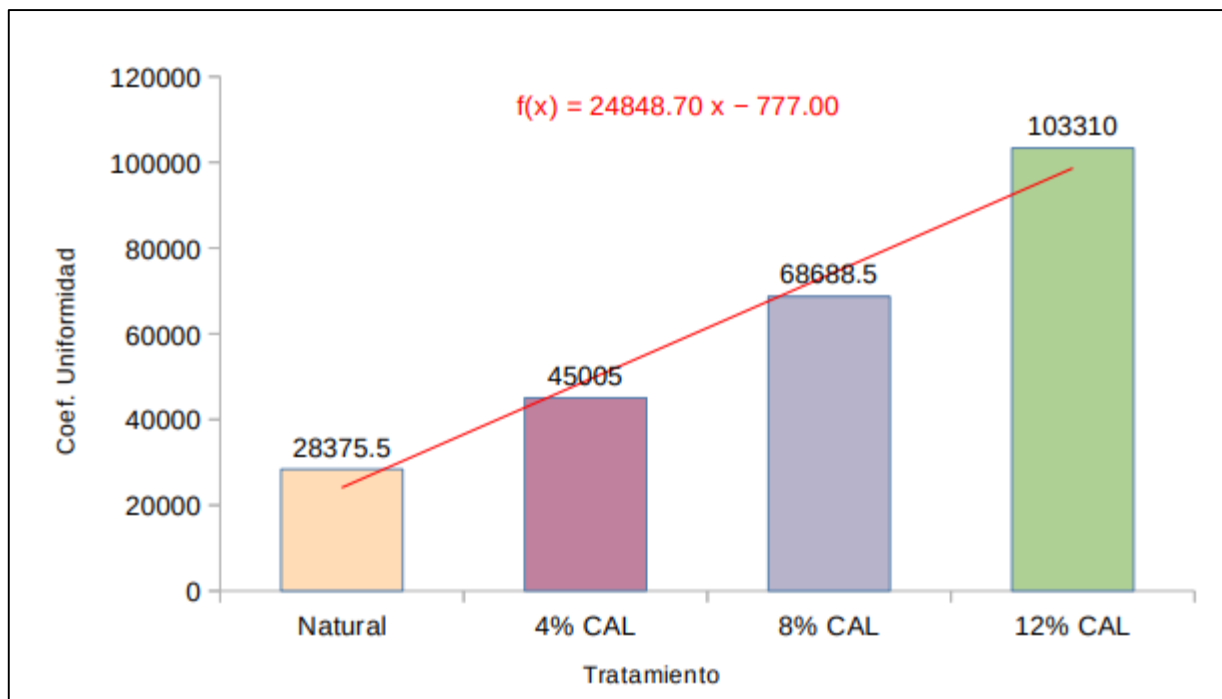


Figura 9. Promedios del Coeficiente de Uniformidad de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

Se aprecia también la línea de tendencia que tiene por ecuación $Y=24848.70X-777$ lo que muestra la proporcionalidad directa del coeficiente de uniformidad y los porcentajes de cal es decir a mayor incremento de porcentajes de cal al suelo natural se puede conseguir mayor coeficiente de uniformidad, sin embargo, cabe mencionar que es solo una aproximación.

El Análisis de varianza al 95% de confiabilidad realizada para determinar si existe diferencia significativa entre los promedios del Coeficiente de Uniformidad del

suelo natural tratado con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay se presenta en la Tabla 13 en la que podemos notar que el p-valor es 0.57 mayor a 0.05 lo que quiere decir que estadísticamente al 95% de confiabilidad los promedios del coeficiente de uniformidad del suelo natural y del suelo incrementado los diferentes porcentajes de cal son iguales.

Tabla 13

Análisis de varianza del promedio del Coeficiente de Uniformidad de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	F crítico	Sig.
Entre grupos	9,506,915,241.75	3	3,168,971,747.25	0.71	0.57	4.07	NO
Dentro de los grupos	35,676,396,679.00	8	4,459,549,584.88				
Total	45,183,311,920.75	11					

Índice de consistencia

En la Tabla 14 se aprecia los datos observados respecto al Índice de consistencia del estudio de suelos realizado para determinar las propiedades Físicas y mecánicas del suelo Natural y los tratamientos con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la Vía de Evitamiento, Abancay.

Tabla 14

Datos de Índice de consistencia observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

Índice de consistencia	Natural	4% CAL	8% CAL	12% CAL	Total
C1	3.51	4.58	3.27	3.58	14.94
C2	2.09	3.71	2.8	1.97	10.57
C3	2.8	4.15	3.04	2.78	12.76
Total	8.4	12.44	9.11	8.33	38.27
Promedio	2.8	4.15	3.04	2.78	12.76
Varianza	0.5	0.19	0.06	0.65	4.77

En la Figura 10 se muestra la gráfica de los Promedios del análisis de suelo realizado para determinar el Índice de consistencia de suelos tratados con diferentes porcentajes de cal (Natural, 4%, 8% y 12%) realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay, en ella se puede apreciar que el suelo tratado con 4% de cal es la que tiene mejor índice de consistencia con 4.15 seguido del suelo tratado con 8% de cal la que ha conseguido un índice de consistencia de 3.04 mientras que el suelo natural tiene 2.8 de índice de consistencia.

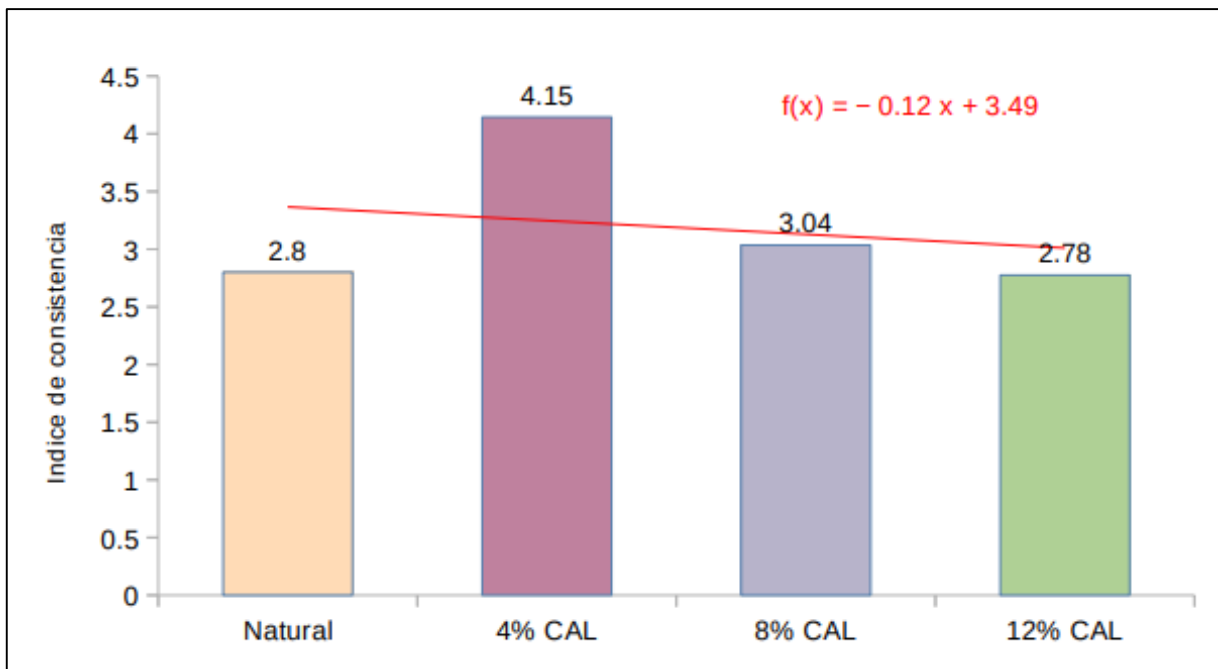


Figura 10. Promedios del Índice de consistencia de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

Aquí también podemos observar la línea de tendencia del índice de consistencia de ecuación $Y = -0.12X + 3.49$ tiene pendiente negativa eso quiere decir que al parecer a mayor aumento de cal al suelo natural para estabilizar dicho suelo se obtendrá menor índice de consistencia lo que a su vez podría afectar la estabilidad del suelo, sin embargo, siempre es recomendable hacer un estudio con mayor detalle respecto a este resultado que confirme o refute lo obtenido en este estudio.

El Análisis de varianza al 95% de confiabilidad realizada para determinar si existe diferencia significativa entre los promedios del Índice de consistencia del suelo

natural tratado con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay se presenta en la Tabla 15 en la que se aprecia que el p-valor es 0.07 sin embargo es mayor a 0.05 por lo que no hay suficiente información para rechazar la idea de que los promedios del índice de consistencia de los diferentes suelos tratados con cal son iguales por lo que podemos afirmar que son iguales.

Tabla 15

Análisis de varianza del promedio del Índice de consistencia de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	F crítico	Sig.
Entre grupos	3.78	3	1.26	3.61	0.07	4.07	NO
Dentro de los grupos	2.79	8	0.35				
Total	6.57	11					

4.3. Prueba de hipótesis para las propiedades físicas

Ha: La proporción de la cal mejora significativamente las propiedades físicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021

Ho: La proporción de la cal no mejora significativamente las propiedades físicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021

Según los resultados de los factores físicos y el análisis de varianza de los límites líquidos, límite plástico, índice de plasticidad, coeficiente de uniformidad e índice de consistencia mostraron un p valor mayor a 0.05 a un 95% de confiabilidad, por lo que hay suficiente información para mencionar que la proporción de la cal no mejora significativamente las propiedades físicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021 y aceptamos la hipótesis nula (H0).

4.4. Propiedades Mecánicas

Proctor Modificado

Máxima densidad seca, en la Tabla 16 se aprecia los datos observados respecto al Máxima densidad seca del estudio de suelos realizado para determinar las propiedades Físicas y mecánicas del suelo Natural y los tratamientos con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la Vía de Evitamiento, Abancay.

Tabla 16

Datos de Máxima densidad seca observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

Max. Dens. Seca (gr/cc)	Natural	4% CAL	8% CAL	12% CAL	Total
C1	1.98	1.96	1.86	1.86	7.66
C2	2.05	2	1.97	1.95	7.97
C3	2.01	1.98	1.92	1.91	7.81
Total	6.04	5.94	5.75	5.72	23.44
Promedio	2.01	1.98	1.92	1.91	7.81
Varianza	0	0	0	0	0.03

En la Figura 11 se muestra la gráfica de los Promedios del análisis de suelo realizado para determinar el Máxima densidad seca de suelos tratados con diferentes porcentajes de cal (Natural, 4%, 8% y 12%) realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay, en ella se observa que el suelo natural tiene 2.01 gr/cc de Máxima densidad seca mientras que el suelo tratado con porcentajes de cal a medida que el porcentaje va en aumento la densidad seca del suelo va bajando tal es así que el suelo tratado con 12% de cal ha obtenido Máxima densidad seca de 1.91gr/cc.

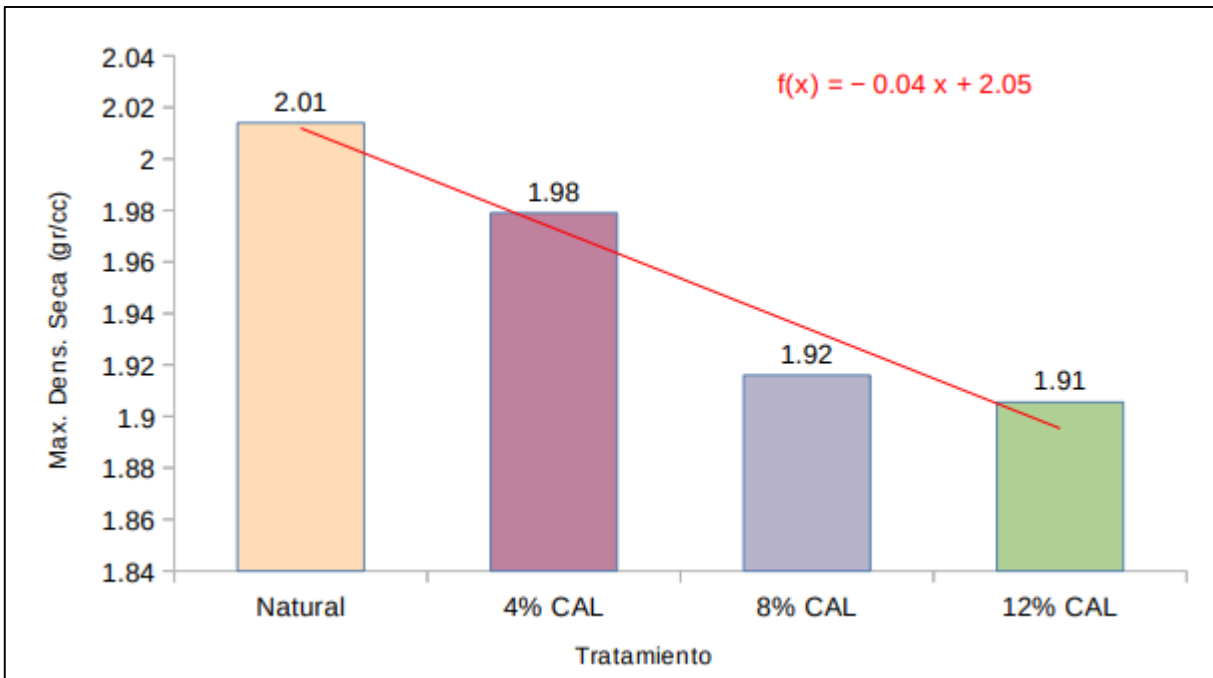


Figura 11. Promedios del Máxima densidad seca de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

Además, muestra la línea de tendencia de Máxima densidad seca en función de porcentajes de cal incrementado al suelo natural, en la que se observa que la línea de tendencia tiene pendiente negativa es decir a medida que se incrementa porcentajes de cal la Máxima densidad seca disminuye.

El Análisis de varianza al 95% de confiabilidad realizada para determinar si existe diferencia significativa entre los promedios del Máxima densidad seca del suelo natural tratado con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay se presenta en la Tabla 17 es ella se aprecia que el p-valor es 0.04 lo que es menor a 0.05, esto quiere decir que la probabilidad de rechazar la idea de que los promedios de Máxima densidad seca del suelo natural y suelo con diferentes porcentajes de cal es muy pequeña por lo que rechazamos dicha idea y en consecuencia afirmamos que existe una diferencia significativa en lo que respecta a la Máxima densidad seca con una confiabilidad de 95%, es decir el

incremento de porcentajes de cal al suelo natural influye inversamente en la Máxima densidad seca del suelo.

Tabla 17

Análisis de varianza del promedio de la Máxima densidad seca de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	F crítico	Sig.
Entre grupos	0.02	3	0.01	4.65	0.04	4.07	Si
Dentro de los grupos	0.01	8	0.00				
Total	0.04	11					

La Tabla 18 muestra la Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios de la Máxima densidad seca de suelos tratados con porcentajes de cal, en ella se observa que entre el suelo Natural y el suelo tratado con 12% CAL existe una diferencia significativa siendo el suelo natural la que tiene mayor Máxima densidad seca frente al suelo tratado con 12% de cal, mientras las demás comparaciones no son significativas.

Tabla 18

Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios de la Máxima densidad seca de suelos tratados con porcentajes de cal de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.

Tratamiento	Diferencia	Lim. Inferior	Lim. Superior	P adj
4% CAL-12% CAL	0.0735	-3.508327e-02	0.18208327	0.2117637
8% CAL-12% CAL	0.0105	-9.808327e-02	0.11908327	0.9889245
Natural-12% CAL	0.1085	-8.326788e-05	0.21708327	0.0401731
8% CAL-4% CAL	-0.0630	-1.715833e-01	0.04558327	0.3162261
Natural-4% CAL	0.0350	-7.358327e-02	0.14358327	0.7365536
Natural-8% CAL	0.0980	-1.058327e-02	0.20658327	0.0776736

Humedad óptima

En la Tabla 19 se aprecia los datos observados respecto al Humedad óptima del estudio de suelos realizado para determinar las propiedades Físicas y mecánicas del suelo Natural y los tratamientos con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la Vía de Evitamiento, Abancay.

Tabla 19

Datos de Humedad óptima observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

Humedad óptima (%)	Natural	4% CAL	8% CAL	12% CAL	Total
C1	11.9	12.3	10.5	11.1	45.8
C2	12	11.9	11.5	12.2	47.6
C3	11.95	12.1	11	11.65	46.7
Total	35.85	36.3	33	34.95	140.1
Promedio	11.95	12.1	11	11.65	46.7
Varianza	0	0.04	0.25	0.3	0.81

En la Figura 12 se muestra la gráfica de los Promedios del análisis de suelo realizado para determinar el Humedad óptima de suelos tratados con diferentes porcentajes de cal (Natural, 4%, 8% y 12%) realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay y se visualiza que la humedad óptima del suelo tratado con 4% de cal es 12.1% que es ligeramente superior a la humedad óptima del suelo natural, mientras que el suelo tratado con 8% de cal ha conseguido 11% de humedad óptima.

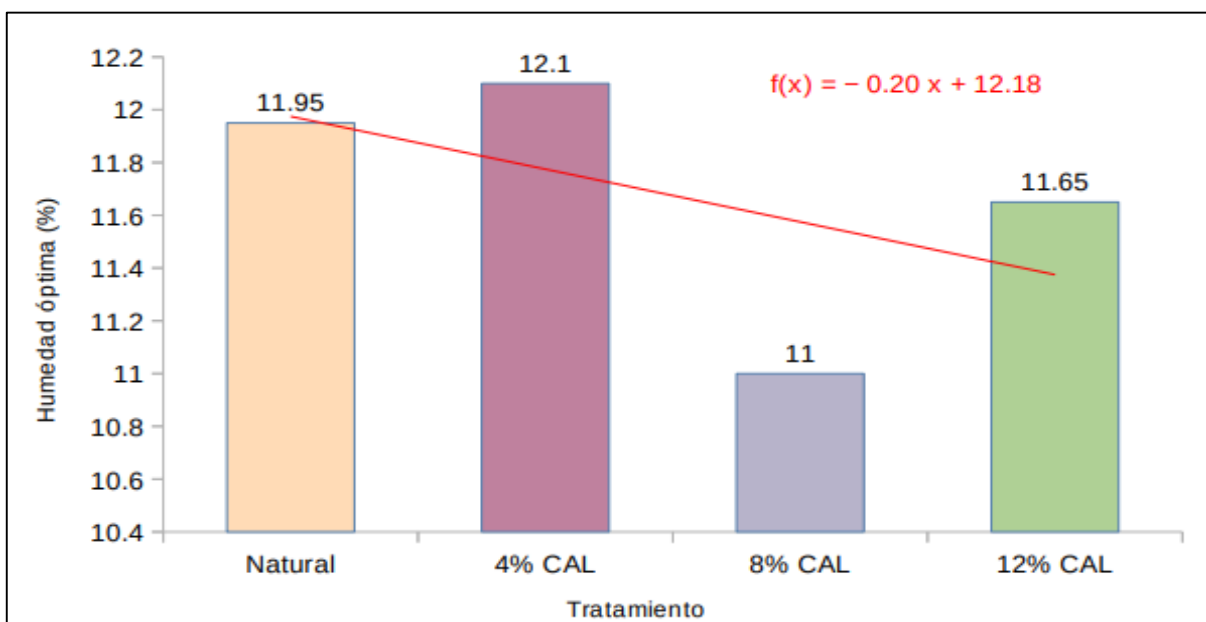


Figura 12. Promedios del Humedad óptima de suelos con diferentes porcentajes de cal realizada para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

También se observa la línea de tendencia de Humedad óptima en función de porcentajes de cal cuya ecuación está dada por $Y=-0.20X+12.18$ de pendiente negativa es decir las magnitudes son inversamente proporcionales es decir a medida que se incrementa las proporciones de cal al suelo natural se verá disminuida la humedad óptima de suelo resultante.

El Análisis de varianza al 95% de confiabilidad realizada para determinar si existe diferencia significativa entre los promedios del Humedad óptima del suelo natural tratado con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay se presenta en la Tabla 20 en ella se puede ver que el p-valor es 0.03 menor a 0.05 por lo tanto con una confiabilidad de 95% estadísticamente se afirman que existe una diferencia significativa entre los promedios respecto a la humedad óptima del suelo natural y suelo con porcentajes de cal siendo el suelo tratado con 4% de cal visiblemente mayor que los demás tratamientos, finalmente podemos afirmar que el tratamiento del suelo natural con diferentes porcentajes de cal influye significativamente y positivamente en la Humedad óptima de dicho suelo.

Tabla 20

Análisis de varianza del promedio del Humedad óptima de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	F crítico	Sig.
Entre grupos	2.14	3	0.71	4.79	0.03	4.07	Si
Dentro de los grupos	1.19	8	0.15				
Total	3.33	11					

La Tabla 21 muestra la Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios de Humedad óptima de suelos tratados con porcentajes de cal, en ella se observa que el suelo tratado con el 8% CAL y el suelo tratado con 4% CAL son significativamente diferentes respecto al promedio de humedad óptima siendo el suelo tratado con 4% de cal la que ostenta mayor humedad óptima, mientras que las demás comparaciones no tienen diferencia significativa.

Tabla 21

Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios de la Humedad óptima de suelos tratados con porcentajes de cal de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.

Tratamiento	Diferencia	Lim. Inferior	Lim. Superior	P adj
4% CAL-12% CAL	0.45	-0.55844432	1.45844432	0.5173311
8% CAL-12% CAL	-0.65	-1.65844432	0.35844432	0.2429050
Natural-12% CAL	0.30	-0.70844432	1.30844432	0.7786870
8% CAL-4% CAL	-1.10	-2.10844432	-0.09155568	0.0332914
Natural-4% CAL	-0.15	-1.15844432	0.85844432	0.9622346
Natural-8% CAL	0.95	-0.05844432	1.95844432	0.0649579

Análisis CBR (100% 0.1")

En la Tabla 22 se aprecia los datos observados del Análisis de CBR (100% 0.1") del estudio de suelos realizado para determinar las propiedades Físicas y mecánicas del suelo Natural y los tratamientos con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la Vía de Evitamiento, Abancay.

Tabla 22

Datos de Análisis CBR (100% 0.1") observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

CBR al 100% 0.1" (%)	Natural	4% CAL	8% CAL	12% CAL	Total
C1	10.49	24.83	43.16	46.83	125.31
C2	14.5	33.11	34.1	40.12	121.83
C3	12.5	28.97	38.63	43.48	123.57
Total	37.49	86.91	115.89	130.43	370.71
Promedio	12.5	28.97	38.63	43.48	123.57
Varianza	4.02	17.14	20.52	11.26	3.03

En la Figura 13 se muestra la gráfica de los Promedios del análisis de suelo realizado para determinar el Análisis CBR (100% 0.1") de suelos tratados con diferentes porcentajes de cal (Natural, 4%, 8% y 12%) realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay, en la que se aprecia que el suelo tratado con 12% de cal ha conseguido un CBR (100% 0.1") de 43.48% seguido por el suelo tratado con 8% de cal que tiene 38.63% de CBR (100% 0.1"), del mismo modo que el

suelo tratado con 4% de cal ha conseguido un CBR (100% 0.1'') de 28.97% los cuales son considerablemente mayor a CBR (100% 0.1'') del suelo natural.

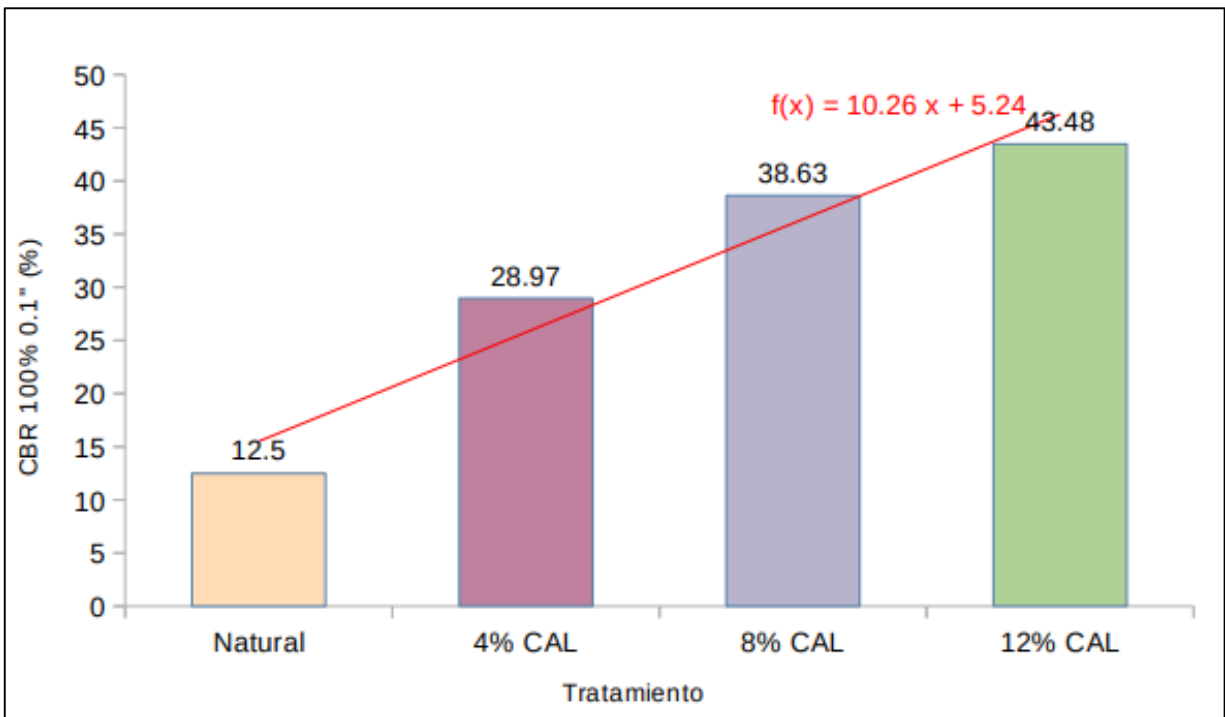


Figura 13. Promedios del Análisis CBR (100% 0.1'') de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

También podemos notar que la tendencia del CBR (100% 0.1'') en función del porcentaje de cal incrementada al suelo natural, en ella se aprecia que la línea de tendencia es una función creciente es decir más magnitudes son directamente proporcionales eso quiere decir que a medida que se aumenta cal al suelo natural el CBR (100% 0.1'') también se incrementa por lo tanto cabe afirmar que si se quiere obtener un suelo con mejor CBR (100% 0.1'') se debe incrementar mayor cantidad de cal, sin embargo, éste estudio no permite conocer la máxima cantidad de cal que debe incrementarse por lo que se sugiere otro estudio incrementando mayores porcentajes de cal.

El Análisis de varianza al 95% de confiabilidad realizada para determinar si existe diferencia significativa entre los promedios del Análisis CBR (100% 0.1'') del suelo natural tratado con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la

subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay se presenta en la Tabla 23 en ella se aprecia que el p-valor es 0.00 mucho menor a 0.05 por lo tanto podemos afirmar con un 99% de confiabilidad que estadísticamente entre los promedios del CBR (100% 0.1”) del suelo natural y el suelo con incremento de diferentes porcentajes de cal existe una diferencia altamente significativa con el CBR (100% 0.1”) del suelo tratado con el 12% de cal por lo tanto podemos afirmar que el suelo tratado con porcentajes de cal influye significativamente y de manera positiva en el CBR (100% 0.1”) del suelo para la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.

Tabla 23

Análisis de varianza del promedio del Análisis CBR (100% 0.1”) de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	F crítico	Sig.
Entre grupos	1,681.06	3	560.35	42.34	0.00	4.07	Si
Dentro de los grupos	105.87	8	13.23				
Total	1,786.93	11					

La Tabla 24 muestra la Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios de CBR (100% 0.1”) de suelos tratados con porcentajes de cal, en ella se observa que los suelos tratados con el 4% de CAL y con 12% de CAL son diferentes significativamente siendo el de mayor CBR (100% 0.1”) en de 12% de cal y por tanto el de mayor al suelo natural sin embargo el CBR (100% 0.1”) del suelo tratado con 8% de cal y 12% de cal son estadísticamente iguales. Cabe señalar que según la norma del MTC del 2013 el suelo natural por tener el CBR entre el 10% y 20% se considera subrasante buena mientras que los suelos tratados con 8% de cal y 12% de cal según dicha norma se considera subrasante excelente por lo que se recomienda un tratamiento con 8% de cal para obtener un suelo con calificación de subrasante excelente.

Tabla 24

Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios del CBR (100% 0.1") de suelos tratados con porcentajes de cal de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.

Tratamiento	Diferencia	Lim. Inferior	Lim. Superior	P adj
4% CAL-12% CAL	-14.505	-24.0169873	-4.993013	0.0053359
8% CAL-12% CAL	-4.845	-14.3569873	4.666987	0.4149661
Natural-12% CAL	-30.980	-40.4919873	-21.468013	0.0000289
8% CAL-4% CAL	9.660	0.1480127	19.171987	0.0466171
Natural-4% CAL	-16.475	-25.9869873	-6.963013	0.0024202
Natural-8% CAL	-26.135	-35.6469873	-16.623013	0.0001014

Análisis CBR (95% 0.1")

En la Tabla 25 se aprecia los datos observados del Análisis de CBR (95% 0.1") del estudio de suelos realizado para determinar las propiedades Físicas y mecánicas del suelo Natural y los tratamientos con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la Vía de Evitamiento, Abancay.

Tabla 25

Datos de Análisis CBR (95% 0.1") observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

Cbr al 95% 0.1" (%)	Natural	4% CAL	8% CAL	12% CAL	Total
C1	7.3	17	26.4	31	81.7
C2	11.5	21.4	23.5	26	82.4
C3	9.4	19.2	24.95	28.5	82.05
Total	28.2	57.6	74.85	85.5	246.15
Promedio	9.4	19.2	24.95	28.5	82.05
Varianza	4.41	4.84	2.1	6.25	0.12

En la Figura 14 se muestra la gráfica de los Promedios del análisis de suelo realizado para determinar el Análisis CBR (95% 0.1") de suelos tratados con diferentes porcentajes de cal (Natural, 4%, 8% y 12%) realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay en la que se aprecia que el CBR (95% 0.1") del suelo tratado con 12% de cal es 28.5%, seguido por el CBR (95% 0.1") del suelo tratado con 8% de cal con 24.95 de CBR (95% 0.1"), luego el suelo tratado con 4%

de cal ha conseguido 19.2% de CBR (95% 0.1") todas ellas mayor al CBR (95% 0.1") del suelo natural que es 9.4%.

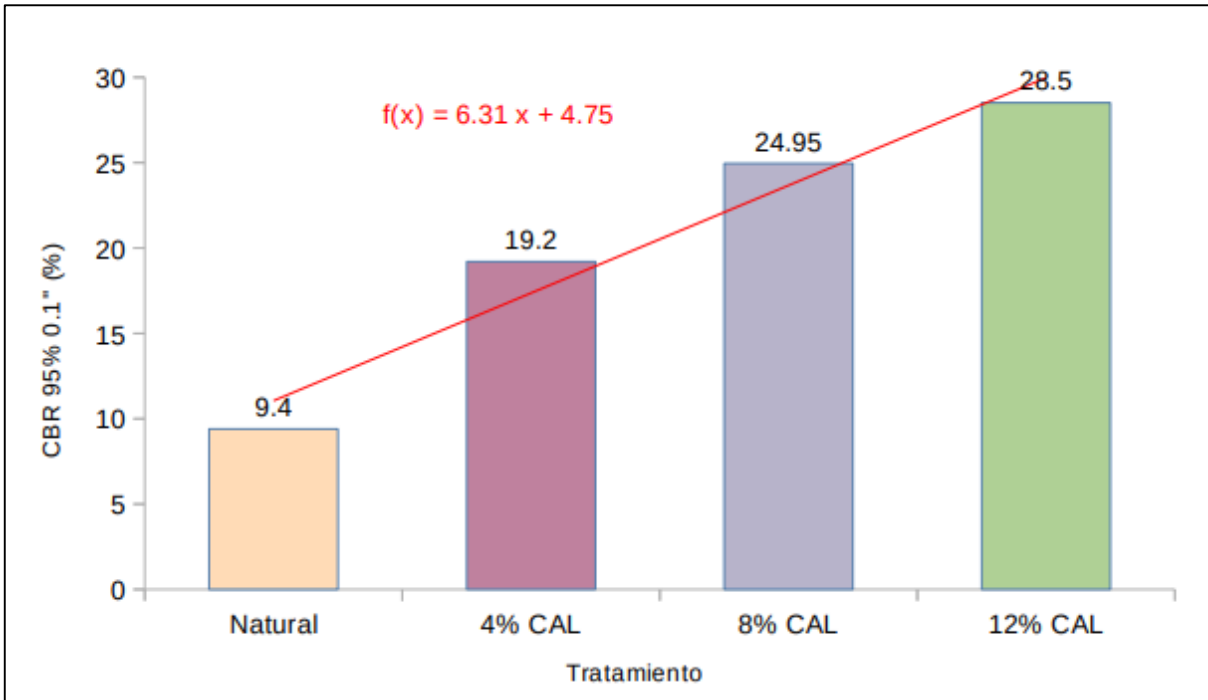


Figura 14. Promedios del Análisis CBR (95% 0.1") de suelos con diferentes porcentajes de cal realizado para el mejoramiento de la subrasante, Vía de Evitamiento, Abancay

La Figura muestra también la tendencia del CBR (95% 0.1") en función del incremento de porcentajes de cal al suelo natural para la subrasante de la vía de Evitamiento de la ciudad de Abancay cuya ecuación es $Y=6.31X+4.75$ en ella podemos notar que la pendiente es positiva eso quiere decir que las magnitudes son directamente proporcionales por lo tanto se puede afirmar que a mayor porcentaje de cal incrementado al suelo natural a fin de mejorar las características mecánicas se consigue incrementar el CBR (95% 0.1") eso es importante ya que da luz a que el suelo se estabiliza más como consecuencia del incremento de cal a un suelo natural.

El Análisis de varianza al 95% de confiabilidad realizada para determinar si existe diferencia significativa entre los promedios del Análisis CBR (95% 0.1") del suelo natural tratado con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante

de la vía de Evitamiento, Abancay se presenta en la Tabla 26 en ella se observa que el p-valor es de 0.00 mucho menor a 0.05 por lo tanto podemos afirmar con una confiabilidad de 95% que estadísticamente existe una diferencia altamente significativa entre los promedios del CBR (95% 0.1”) del suelo natural y los suelos tratados con diferentes porcentajes de cal es decir que el incremento de porcentajes de cal al suelo natural influye significativamente y positivamente en el CBR (95% 0.1”) del suelo.

Tabla 26

Análisis de varianza del promedio del Análisis CBR (95% 0.1”) de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.

Origen de variaciones	SS	df	MS	F	Valor P	F crítico	Sig.
Entre grupos	626.11	3	208.70	47.43	0.00	4.07	Si
Dentro de los grupos	35.21	8	4.40				
Total	661.31	11					

La Tabla 27 muestra la Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios de CBR (95% 0.1”) de suelos tratados con porcentajes de cal, en ella se observa que el CBR (95% 0.1”) de los suelos tratados con 4% de CAL y 12% de CAL existe una diferencia significativa siendo el suelo tratado con 12% de cal la que tiene mejor CBR (95% 0.1”) y además es significativamente mayor a los demás suelos tratados y al suelo natural sin embargo entre el suelo tratado con 8% de cal y 12% de cal no existe diferencia significativa por lo que se recomienda tratar al suelo de la vía de Evitamiento con 8% de cal para mejorar el CBR (95% 0.1”) del suelo además cabe mencionar que el suelo natural se considera como subrasante regular por encontrarse entre 6% y 10% de CBR y que el suelo tratado con 8% de cal se considera según la norma del MTC del 2013 como subrasante muy buena.

Tabla 27

Comparación múltiple de Tukey al 95% de confiabilidad de los promedios del CBR (95% 0.1") de suelos tratados con porcentajes de cal de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay.

Tratamiento	Diferencia	Lim. Inferior	Lim. Superior	P adj
4% CAL-12% CAL	-9.30	-14.7850504	-3.81495	0.0027711
8% CAL-12% CAL	-3.55	-9.0350504	1.93505	0.2402078
Natural-12% CAL	-19.10	-24.5850504	-13.61495	0.0000175
8% CAL-4% CAL	5.75	0.2649496	11.23505	0.0402447
Natural-4% CAL	-9.80	-15.2850504	-4.31495	0.0019825
Natural-8% CAL	-15.55	-21.0350504	-10.06495	0.0000807

Tabla 28

Porcentaje que pasa la malla # 200

% que pasa	Porcentaje que pasa la malla # 200			
	Natural	4% de cal	8% de cal	12% de cal
Calicata 1	57.8	59.5	60.9	62.3
Calicata 2	46.8	48.8	50.7	52.5
Promedio	52.3	54.15	55.8	57.4
Total	104.6	108.3	111.6	114.8

La Figura 15 muestra el porcentaje que pasa por la malla N° 200, se evidencia claramente que la calicata 1 registra un mayor porcentaje que pasa por dicha malla con respecto a la calicata 2 tal como se corrobora con la Figura 15.

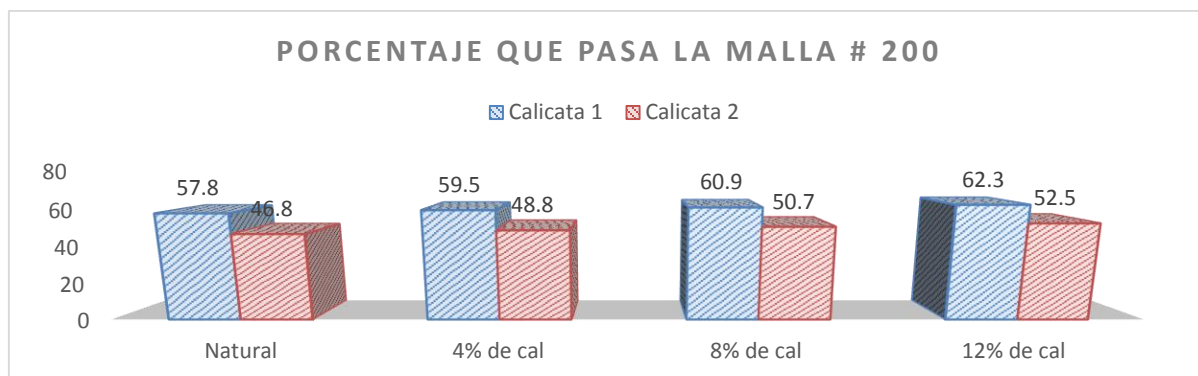


Figura 15. Porcentaje que pasa la malla # 200

Cálculo del Índice de grupo

$$IG = 0.2(a) + 0.005(ac) + 0.01(bd)$$

- a = F-35 (F= Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200-74 micras).
Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40
- b = F-15 (F= Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200-74 micras).
Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40
- c = LL-40 (LL= Límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20
- d = IP-10 (IP= índice plástico). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20

La Tabla 29 y Figura 16 se muestra los resultados del índice de grupo de suelo natural y con la adición de cal al 4%, 8% y 12%, se evidencia que a mayor proporción de cal mayor es el índice de grupo.

Tabla 29. Cálculo del índice de grupo

Índice de grupo	Natural	4% CAL	8% CAL	12% CAL
	3.46	3.84	4.16	4.48

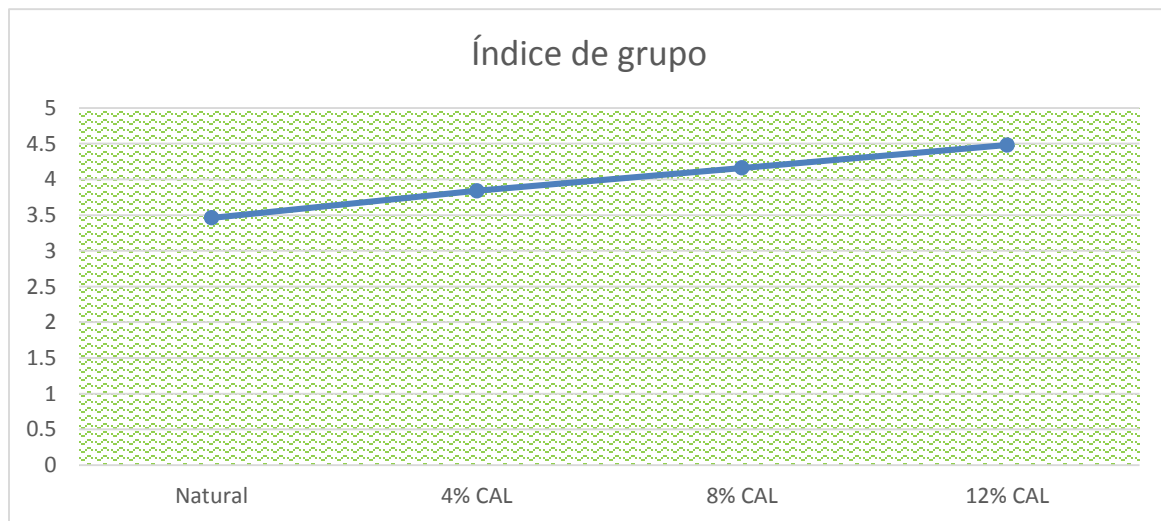


Figura 16. Representación gráfica del índice de grupo

4.5. Prueba de hipótesis para las propiedades mecánicas

Ha: La proporción de la cal mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021.

Ho: La proporción de la cal no mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021.

Según los resultados de los factores mecánicos y el análisis de varianza de la máxima densidad seca, humedad óptima, análisis del CBR (100%) 0.1”), análisis del CBR (95%) 0.1”) mostraron un p valor menos a 0.05 a un 95% de confiabilidad, por lo que hay suficiente información para mencionar que la proporción de la cal mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021 por lo tanto aceptamos la hipótesis alternativa (La proporción de la cal mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021) y se rechaza la hipótesis nula (La proporción de la cal no mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2021) a un 95% de confiabilidad.

V. DISCUSIONES

De acuerdo al parámetro del límite líquido se evidenció a través del Análisis de varianza al 95% de confiabilidad realizada para determinar si existe diferencia significativa entre los promedios del Límite Líquido del suelo natural tratado con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, en la que se aprecia que el p-valor es 0.39 mayor a 0.05 por lo que se puede afirmar que la probabilidad de rechazar la idea de que los promedios de límite líquido de los diferentes tratamientos son iguales no es pequeña por lo tanto no existe una diferencia significativa eso quiere decir respecto al límite líquido. Tal como corrobora Montesinos *et al.* (2019) tesis citado como antecedente nacional por agregar 10%, 15%, 25% y 30% de cal, confirmando la reducción del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad. Se puede comprobar que los materiales estables al reaccionar químicamente con el suelo harán que nuestra arcilla se vuelva cada vez más alcalina. Según (MTC, 2013) plasticidad: se refiere a la estabilidad del suelo sin desintegración cuando alcanza cierto límite de humedad. Por lo tanto, la plasticidad del suelo no depende de los elementos densos que contiene, sino solo de su Finura. El análisis del tamaño de las partículas no permite apreciar esta característica, por lo que es necesario determinar los Límites de Atterberg.”

En relación al límite plástico, el análisis de varianza al 95% de confiabilidad realizada para determinar si existe diferencia significativa entre los promedios del Límite Plástico del suelo natural tratado con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay se presenta en la Tabla (9) y dado que el p-valor es 0.11 y por tanto mayor que 0.05 entonces no podemos afirmar que existe diferencia significativa entre los promedios de Límite plástico de los diferentes tratamientos, por lo tanto respecto al límite plástico estadísticamente al 95% de confiabilidad son iguales. Según el MTC (2013) cuando se mezcla suelo con cal, el suelo se vuelve más frágil y granular. Al aumentar su límite plástico y la humedad óptima de compactación, se puede poner en uso con mayor facilidad, generalmente La mezcla se realiza en dos etapas, con un tiempo de reacción intermedio de 1-2 días la aplicación más común de estabilizadores de cal

es en calzadas y procesos de abrasión, en áreas de suelos arcillosos y/o con materiales particulados remotos.

Asimismo, el análisis de la varianza sobre el índice plástico se obtuvo el p-valor de 0.13 mayor a 0.05 por lo que podemos afirmar al 95% de confiabilidad que respecto al promedio del límite plástico de los diferentes tratamientos y del suelo natural son estadísticamente iguales. Según (MTC, 2013) señala que el índice plástico deberá registrar un IP de 4% a 15%.

La evaluación del coeficiente de uniformidad de suelos con incremento de porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante, a través del análisis de la varianza podemos notar que el p-valor es 0.57 mayor a 0.05 lo que quiere decir que estadísticamente al 95% de confiabilidad los promedios del coeficiente de uniformidad del suelo natural y del suelo incrementado los diferentes porcentajes de cal son iguales.

Sobre el análisis de índice de consistencia. El análisis de varianza al 95% de confiabilidad realizada para determinar si existe diferencia significativa entre los promedios del Índice de consistencia del suelo natural tratado con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, se aprecia que el p-valor es 0.07 sin embargo es menor a 0.05 por lo que no hay suficiente información para rechazar la idea de que los promedios del índice de consistencia de los diferentes suelos tratados con cal son iguales por lo que podemos afirmar que son iguales.

Con respecto a la máxima densidad seca del suelo natural y suelo con diferentes porcentajes de cal es muy pequeña por lo que rechazamos dicha idea y en consecuencia afirmamos que existe una diferencia significativa en lo que respecta a la Máxima densidad seca con una confiabilidad de 95%, puesto en el análisis de la varianza se muestra el p-valor de 0.04 lo que es menor a 0.05, es decir el incremento de porcentajes de cal al suelo natural influye inversamente en la Máxima densidad seca del suelo. Tal como corrobora Montesinos *et al.* (2019) tesis citada como precedente nacional, la cantidad de cal añadida fue 10%, 15%, 25% y 30%

respectivamente. La densidad seca máxima del suelo arcilloso aumentó, y el primer proceso de estabilización cuando el contenido de puzolana fue 15%. La ceniza volcánica aumentó en un 6,67%, de la cual la estabilidad de la ceniza volcánica fue del 25%, un aumento del 8,48% y la estabilidad de la ceniza volcánica fue del 30%, un aumento del 10,3%.

En relación a la humedad óptima, el análisis de varianza al 95% de confiabilidad realizada para determinar si existe diferencia significativa entre los promedios del Humedad óptima del suelo natural tratado con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay se presenta en la Tabla (20) en ella se puede ver que el p-valor es 0.03 menor a 0.05 por lo tanto con una confiabilidad de 95% estadísticamente se puede afirmar que existe una diferencia significativa entre los promedios respecto a la humedad óptima del suelo natural y suelo con porcentajes de cal siendo el suelo tratado con 4% de cal visiblemente mayor que los demás tratamientos, finalmente podemos afirmar que el tratamiento del suelo natural con diferentes porcentajes de cal influye significativamente y positivamente en la Humedad óptima de dicho suelo.

Con respecto al Análisis CBR (100% 0.1") observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante. El Análisis de varianza al 95% de confiabilidad realizada para determinar si existe diferencia significativa entre los promedios del Análisis CBR (100% 0.1") del suelo natural tratado con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante, se aprecia que el p-valor es 0.00 mucho menor a 0.05 por lo tanto podemos afirmar con un 99% de confiabilidad que estadísticamente entre los promedios del CBR (100% 0.1") del suelo natural y el suelo con incremento de diferentes porcentajes de cal existe una diferencia altamente significativa con el CBR (100% 0.1") del suelo tratado con el 12% de cal por lo tanto podemos afirmar que el suelo tratado con porcentajes de cal influye significativamente y de manera positiva en el CBR (100% 0.1") del suelo para la subrasante de la vía de Evitamiento, Abancay. Como describen Hernández *et al.* (2016) trabajo citado como un precedente internacional, que confirmó la factibilidad de agregar cal al suelo en una proporción del 5% para formar parte de la subrasante rígida del pavimento.

Según la consolidación unidimensional, la adición de cal reduce el índice de plasticidad del 45% al 0% y reduce su hinchamiento en un 88%. La elección del estabilizador dependerá de la consistencia y las limitaciones del tamaño de las partículas de cada suelo en particular. Además, se cita como precedente internacional el trabajo de Castillo (2017) se trabaja con 10%, 20%, 30% y 40% de cal con respecto al peso seco del material. Los resultados muestran: límite líquido, plasticidad índice e hinchamiento al mismo tiempo que aumenta el CBR. Cuando se usa cal para tratar estos suelos, el valor de CBR aumenta significativamente. Por cada porcentaje de cal agregado, el valor de CBR aumenta aproximadamente en un 15,8%.

Con respecto al Análisis CBR (95% 0.1") observados en el estudio de suelos realizado para el mejoramiento de la subrasante. El Análisis de varianza al 95% de confiabilidad realizada para determinar si existe diferencia significativa entre los promedios del Análisis CBR (95% 0.1") del suelo natural tratado con diferentes porcentajes de cal para el mejoramiento de la subrasante, se observa que el p-valor es de 0.00 mucho menor a 0.05 por lo tanto podemos afirmar con una confiabilidad de 95% que estadísticamente existe una diferencia altamente significativa entre los promedios del CBR (95% 0.1") del suelo natural y los suelos tratados con diferentes porcentajes de cal es decir que el incremento de porcentajes de cal al suelo natural influye significativamente y positivamente en el CBR (95% 0.1") del suelo. Del mismo modo, el trabajo de Parra (2018) fue citado como precedente internacional, agregando 2%, 4%, 6% y 8% de cal y cenizas volantes respectivamente, concluyendo que la cal tiene un mayor efecto sobre el caolín en términos de estrés máximo y deformación, la buena resistencia y el contenido de cenizas no aportaron una mejora significativa al suelo. Por otro lado, Montesinos *et al.* (2019) tesis citada como precedente nacional. Agregó cal en las proporciones de 10%, 15%, 25% y 30%, de esta manera, verificó el aumento en el porcentaje de CBR, y obtuvo el material con un porcentaje de CBR del 95% mayor a 6% de CBR. De igual manera, el documento Niño (2018) citado como precedente nacional señaló: Se ha determinado que la adición de cal puede mejorar los edificios a nivel de cimentación en el condominio Monte-Carmelo-Chincha-Ica en el distrito de El Carmen. Es significativa la propiedad

es de menos de 0,05, por lo que la hipótesis alterna es aceptada, la mejora del suelo es 25,33%". El artículo de Yavar (2017) que es un precedente local, muestra que la proporción de cal viva mejora las propiedades mecánicas del suelo arcilloso. Un suelo que contiene un 8% de cal viva, por eso, mejora varios parámetros de los indicadores de calidad del suelo.

VI. CONCLUSIONES

1. Adicionando las proporciones de 4%, 8% y 12% de la cal mejora la capacidad de soporte del suelo y por consiguiente mejora la estabilización del suelo de la subrasante, el suelo tratado con 12% de cal ha conseguido un CBR (95% 0.1") de 28.5% seguido por el suelo tratado con 8% de cal que tiene 24.95% de CBR (95% 0.1"), del mismo modo que el suelo tratado con 4% de cal ha conseguido un CBR (95% 0.1") de 19.2% los cuales son considerablemente mayor a CBR (95% 0.1") del suelo natural siendo este de 9.4% y se obtuvo un p-valor es 0.00 mucho menor a 0.05 por lo tanto podemos afirmar con un 95% de confiabilidad que estadísticamente entre los promedios del CBR (95% 0.1") del suelo natural y el suelo con incremento de diferentes porcentajes de cal existe una diferencia altamente significativa con el CBR (95% 0.1") del suelo tratado con el 12% de cal por lo tanto podemos afirmar que el suelo tratado con porcentajes de cal influye significativamente y de manera positiva en el CBR (95% 0.1") por lo tanto también mejora la subrasante
2. En relación a las propiedades físicas se demostró que ninguno de los parámetros fue influido por las proporciones de cal al 4% ,8% y 12 %, puesto que el valor de LL , LP y IP No tienen una incidencia sustancial , según la norma de MTC 2013 pág. 16 , IP < 15 % ,donde menciona que la cal aumentan tanto el LL como el LP y también muy ligeramente su IP, de acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio cumple con lo establecido en la norma , obteniendo el suelo natural un IP de 4.17 , seguido de 3.12 , 4.29 y 5.3 tratados con 4,8 y 12 % , Limite Liquido de 24.41, 26.05 , 26.075 y 27.475 en suelo natural y tratados con 4 ,8 y 12% respectivamente , limite plástico de 20.24 , 22.93 , 21.79 y 22.18 en suelo natural y tratados con 4,8 y12% respectivamente, con respecto al LL según MTC (2013, p.262) menciona que como característica de la subrasante deberá presentar un LL inferior a 40 lo cual cumple con lo establecido en la norma , el p-valor es mayor a 0.05 en las evaluaciones de límites de atterberg antes mencionados , por lo que podemos

afirmar que estadísticamente no presentan diferencia alguna entre el suelo natural y el suelo adicionado con cal en los diferentes porcentajes.

3. En relación a las propiedades mecánicas del suelo se concluye que los parámetros de la máxima densidad seca, humedad óptima (Proctor modificado), análisis del CBR al 100% y CBR al 95% registran una influencia. Se demostró el p-valor menor a 0.05 en los análisis de las propiedades mecánicas por lo tanto con una confiabilidad de 95% se afirman que existe diferencia significativa entre los promedios respecto a las propiedades mecánicas del suelo natural y suelo con los porcentajes de cal al 4%, 8% y 12%, finalmente podemos afirmar que el tratamiento del suelo natural con diferentes porcentajes de cal influye significativamente y positivamente en las propiedades mecánicas. Cabe señalar que según la norma del MTC del 2013 el suelo natural por tener el CBR entre el 10% y 20% se considera subrasante buena mientras que los suelos tratados con 8% de cal y 12% de cal según dicha norma se considera subrasante excelente por lo que la proporción óptima para mejorar y estabilizar la subrasante es con 8% de cal incrementando el CBR de 9.4 % para suelo natural a un valor de CBR de 24.95% para obtener un suelo con calificación de subrasante excelente.

VII. RECOMENDACIONES

1. Para mantener la humedad natural de las muestras se recomienda guardar las muestras en bolsas de plástico para realizar los ensayos en laboratorio
2. Cuando la humedad natural es mayor que la de la humedad optima se recomienda secar la muestra o reair para llegar a una humedad cercana a la del natural y poder realizar los ensayos de CBR
3. El ensayo de Proctor modificado se realiza en función al tamaño máximo nominal de la granulometría en este caso como se tiene poca cantidad de gravas más finos se recomienda usar el molde pequeño de 4"
4. Se recomienda tomar las muestras en épocas no lluviosas ya que se extrajo muestras parcialmente saturadas lo que dificulta los trabajos a realizar en laboratorio
5. Como se trata de una vía de evitamiento se clasifica en carreteras de primera clase vía nacional se recomienda hacer estudios en tramos más extensos y así saber el comportamiento de la subrasante más a detalle y poder diseñar una buena infraestructura vial
6. Al adicionar cal viva al suelo natural de 8% se obtuvo un incremento de CBR (100% 0.1") de 38.63% y CBR (95 % 0.1") de 24.95% ambos resultados según la categoría de sub rasante del manual de carreteras "suelos, geología, geotecnia y pavimentos" se clasifican en una subrasante excelente y muy buena, entonces obteniendo los valores de CBR antes mencionados se recomienda la adición de cal al 8% para poder estabilizar el suelo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Braja M. Das. (2013). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*,. México: Segunda Edición.
- Álvarez, J., & Echeverri , J. (1999). Estabilización de arcillas expansivas con cal hidratada. Medellín. *Universidad Nacional de Colombia*., 113. Obtenido de <https://repositorio.unan.edu.ni/6456/1/51667.pdf>
- Amaya Navarrete, M. E. (2017). Estabilización de suelos superficiales del naicm con óxido de calcio (CaO). *Universidad Nacional Autónoma De México*, 103.
- Amaya Navarrete, M. E. (2017). Estabilización de suelos superficiales del NAICM con óxido de calcio (CaO). *Universidad Nacional Autónoma De México*, 103.
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación*. Caracas: Episteme.
- Arredondo Verdú, F. (1977). *Compactación de Terrenos – Terraplenes y Pedraplenes*. Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados S.A.
- Bauza Castelló, J. D. (2003). Estabilización de suelos con cal. 37. Obtenido de https://www.elabora.es/index.php/divulgacion/item/download/5_51058156e3721b2dd24073ba37a8f2fd
- Braja M, D. (2013). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*. México: (quinta edición) Cengage Learning.
- Castillo Parra, B. F. (2017). Estabilización de Suelos Arcillosos de Macas con Valores de CBR menores al 5% y Límites Líquidos superiores al 100%, para utilizarlos como Subrasantes en Carreteras. *Universidad de Cuenca*, 149. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/26917>
- Ccasani Bravo, M. J., & Ferro Moina, Y. I. (2017). Evaluación y análisis de pavimentos en la ciudad de Abancay, para proponer una mejor alternativa estructural en el diseño de pavimentos. *Tesis de pregrado*, 383. Obtenido de

<http://52.67.78.165/bitstream/handle/utea/107/Tesis-Evaluaci%C3%B3n%20y%20an%C3%A1lisis%20de%20pavimentos%20en%20la%20ciudad%20de%20Abancay%201.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cuadros Surichaqui, C. M. (2017). Mejoramiento de las propiedades físico -mecánicas de la subrasante en una vía afirmada de la red vial departamental de la Región Junín mediante la estabilización química con óxido de calcio – 2016. *Universidad Peruana Los Andes*, 229. Obtenido de <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/297>

Fernández Loaiza, C. (1991). *Estabilizacion de suelos con cementantes*.

Hernández Lara, J. A., Mejía Ramírez, D. R., & Zelaya Amaya, C. E. (2016). Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la facultad multidisciplinaria oriental de la universidad de el salvador. *Universidad De El Salvador*, 380.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación quinta edición*. México: McGRAW.HILL/INTERAMERICANA, S.A. DE C.V. Obtenido de https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf

Instituto Colombiano de Productores de Cemento (ICPC). (2008.). Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito.

López Sumarriva, J. J., & Ortíz Pinares, G. (2018). Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay. *Universidad Tecnológica de los Andes*. Obtenido de <http://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/152>

Ministerio de transportes y Comunicaciones (MTC). (2013). Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos. 305.

- Moale Quispe, A. B., & Rivera Justo, E. J. (2019). Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/648846>
- Mohedas Díaz, M., & Moreno Veja, A. (2014). *Apertura y Mantenimiento de Vías Forestales*. . España: Ediciones Nobel S.A.
- Montesinos Cervantes, J. A., Mamani García, J., & Ramírez Rondán, M. B. (2019). Análisis y evaluación de la estabilización de suelos arcillosos en la Apv Picol Orcompugio mediante la adición de cal al 10% y puzolana volcánica de la cantera de Raqchi al 15, 25 y 30%. *Universidad Nacional del Cusco*. Obtenido de <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/UAC/3549>
- MTC. (2013). *Manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Lima.
- MTC. (2018). *Manual de ensayo de laboratorios*. Lima.
- Niño Santiesteban , A. I. (2018). Adición de cal para mejora de suelos con fines de cimentación en condominio Monte - Carmelo, distrito el Carmen - Chincha - Ica, 2018. *Universidad César Vallejo*, 93. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/43548/Ni%C3%B1o_SAI.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Norma CE.020. (2012). Suelos y Taludes.
- Parra Gómez , M. G. (2018). Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante (Tesis de pregrado). *Universidad Católica De Colombia*, 81. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22856/1/TRABAJO%20DE%20GRADO%20MANUEL%20GERARDO%20PARRA%20GOMEZ%20505587.pdf>
- Quezada Osoria, S. (2017). Estudio comparativo de la estabilización de suelos arcillosos con valvas de moluscos para pavimentación (Tesis de pregrado). *Universidad de Piura*, 122. Obtenido de

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3207/ICI_242.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Saenz Serpa, A. A. (2017). Análisis para estabilidad de taludes en roca utilizando mallas galvanizadas ancladas, ciudad nueva Fuerabamba–Apurímac. *Tesis de pregrado*, 157. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3874/Saenz%20Serpa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sanchez Carlesi, H. (1998). *Metodología y Diseño en la Investigación Científica*. . Lima - Perú: Mantaro.

Vásquez Cabrera, A. M. (2018). Capacidad de soporte al estabilizar el suelo de la Vía Cascajal con adición de carbón y cal a nivel de sub rasante. *Universidad San Pedro*, 122.

Yabar, Y. (2017). Evaluación de la proporción de la cal viva en el proceso de mejoramiento de la calidad del suelo arcilloso, en el sector de Puca Puca de la carretera moyo corral baja de la provincia de Abancay del departamento de Apurimac año 2017. *tesis de pregrado*.

Yampara Ticona, R. L. (2020). Ramos Mamani, Bradyan Sergio 2020 Estabilización de suelo arcilloso con cal para sub rasante tramo Km 03+000 al Km 04+000 de la vía Juliaca-Canchi Grande del distrito de Caracoto, provincia de San Román, departamento de Puno. *Universidad Peruana Unión*. Obtenido de <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/4021>

Yavar, Y. (2017). Evaluación de la proporción de la cal viva en el proceso de mejoramiento de la calidad del suelo arcilloso, en el sector de Puca Puca de la carretera moyo corral baja de la provincia de Abancay del departamento de Apurimac año 2017. *tesis de pregrado*.

ANEXO

Anexo 1. Matriz de consistencia

“Estabilización de suelo arcilloso con adicción de cal para el mejoramiento de la subrasante, Vía de evitamiento, Abancay –Apurímac, 2021”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLEA	Dimensión	Indicadores	Metodología
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL				
<ul style="list-style-type: none"> ✓ ¿De qué manera se estabiliza el suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante en la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2020? 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estabilizar el suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante en la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2020 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La estabilización el suelo arcilloso con adición de cal mejora significativamente en la subrasante en la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2020 	<u>Variable independiente</u>		T0 = 0% T1 = 4% T2 = 8% T3 = 12%	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tipo de investigación. El tipo de investigación según el propósito que persigue el trabajo de investigación fue aplicado. ✓ Diseño. El Diseño por la manipulación delibera de las variables fue Experimental.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS				
<ul style="list-style-type: none"> ✓ ¿De qué manera la adición de la cal mejora las propiedades físicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2020? 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Determinar la proporción optima de la cal que mejora las propiedades físicas suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2020 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La proporción de la cal mejora significativamente las propiedades físicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2020 	<u>Variable dependiente</u>	Propiedades físicas	Granulometría Límite de atterberg	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Población. la población de estudio se consideró la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac.
<ul style="list-style-type: none"> ✓ ¿De qué manera la adición de la cal mejora las propiedades mecánicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2020? 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Determinar la proporción optima de la cal que mejora las propiedades mecánicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2020. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La proporción de la cal mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo arcilloso en la subrasante de la Vía de evitamiento, provincia de Abancay – Apurímac, 2020. 	Estabilización del suelo arcillo		Proctor modificado Análisis de CBR (100% 0.1") Análisis de CBR (95% 0.1")	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Muestra. Fue constituido por el Km 2+950 hasta el Km 3+450 ✓ Muestreo. No probabilístico. ✓ Técnica. Se estableció la observación y los análisis de laboratorio. ✓ Instrumento. Comprendió la ficha de análisis de las diferentes muestras y la guía del MTC.

Fuente: elaboración propia

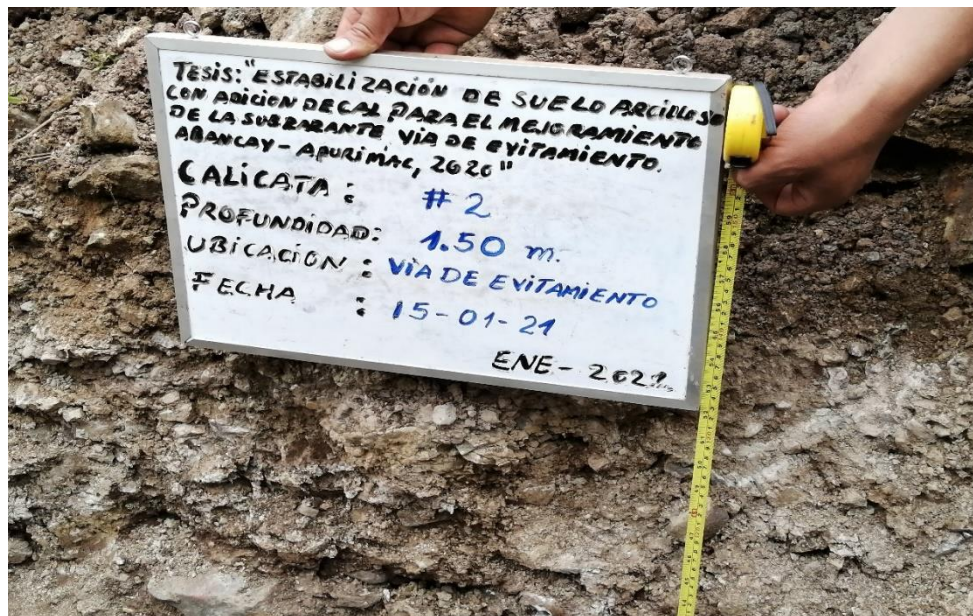
Anexo 2. Evidencias del desarrollo de la investigación

Figura 17. Proceso de apertura de las calicatas



En la Figura 17 se evidencia el proceso de elaboración de las calicatas, que comprende un método que proporciona datos e información confiable y completa del suelo. Además permitió conocer el estado actual del terreno de manera in situ, con la finalidad de realizar la toma de muestras y los ensayos respectivos en laboratorio.

Figura 18. Características de la calicata



En la Figura 18 se muestra las características de la calicata número dos (C2), tuvo una profundidad de 1.50m.

Figura 19. Evidencia de la toma de muestra de la C1 y C2



La Figura 19 muestra en proceso de la toma de muestras de las dos calicatas, muestra que permitió realizar los análisis de laboratorio, considerando los parámetros físicos y mecánicos del suelo.

Figura 20. Rotulado y acondicionado de las muestras



La Figura 20 se muestra la cadena de custodia del muestreo con fines de análisis físico y mecánico del suelo, como el etiquetado, fecha de muestreo, cantidad, lugar y entre otros aspecto de importancia.

Figura 21. Cuarteo de las muestras a analizar



La Figura 21 muestra el proceso del cuarteo de la muestra, con la finalidad de tener muestras representativa y ello se desarrolla por ser volúmenes grandes hasta tener muestra de suelo necesario para realizar los análisis.

Figura 22. Acondicionamiento de las muestras



La Figura 22 muestra la elección de la muestra definitiva para realizar los análisis físicos y mecánicos del suelo.

Figura 23. Preparación de las muestras a ser analizadas



La Figura 23 muestra el rótulo de cada muestra y las muestras representativas ubicado en el laboratorio de análisis de suelos, permitió realizar los análisis cumpliendo el procedimiento de los análisis de factor.

Figura 24. Acondicionamiento y rotulado de las muestras a analizar



La Figura 24 muestra el acondicionamiento de la muestra y los materiales que se utilizó en el laboratorio.

Figura 25. Procedimiento del análisis del CBR



En la Figura 25 se observa el procedimiento del análisis del CBR al 100% y 95%, además se evidencia los materiales que se ha utilizado en el análisis.

Figura 26. Análisis del CBR al 8% de cal



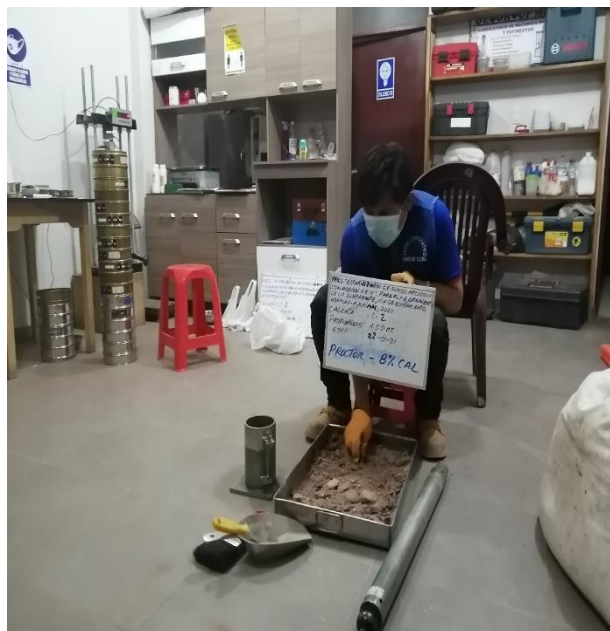
La Figura 26 se observa el procedimiento del análisis del CBR al 100% y 95%, resultados que permitieron determinar la capacidad portante del suelo con adición de cal al 4%, 8% y 12% en comparación con el suelo natural.

Figura 27. Análisis del Proctor con diferentes porcentajes de cal



La Figura 27 se observa el procedimiento del análisis del Proctor a la muestra del suelo con adición de cal al 4%, 8% y 12% en comparación con el suelo natural.

Figura 28. Análisis del Proctor



La Figura 28 se observa el procedimiento del análisis del Proctor a la muestra del suelo con adición de cal al 4%, 8% y 12% en comparación con el suelo natural.

Figura 29. Análisis de la granulometría con la adición de cal y suelo natural



La Figura 29 se observa el procedimiento del análisis de la granulometría, resultados que permitieron determinar la distribución de los tamaños que posee el suelo mediante el tamizado según especificaciones técnicas (con adición de cal al 4%, 8% y 12% en comparación con el suelo natural).

Figura 30. Análisis de la granulometría



La Figura 30 se observa el procedimiento del análisis de la granulometría, resultados que permitieron determinar la distribución de los tamaños que posee el suelo mediante el tamizado según especificaciones técnicas con adición de cal al 4%, 8% y 12% en comparación con el suelo natural

Anexo 3. Certificado de calibración



METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Laboratorio de Metrología - Servicio con Tecnología y Calidad

CERTIFICADO DE CALIBRACION

N° 169- LM - 2020

LABORATORIO DE MASA
Página 1 de 4

Expediente	: 014-MYC-2020	
Solicitante	: MORÓN ROMERO OSCAR ALBERTO	La incertidumbre reportada en el presente informe es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la medición".
Dirección	: Av. Centenario Mza. B, Lte. 9; P.J. Centenario, Apurímac - Abancay	
Instrumento de Medición	: BALANZA Electronica 600 g.	
Marca	: OHAUS	Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.
Modelo	: TAJ602	
Número de Serie	: B452431076	
Identificación	: S/N	La periodicidad de la calibración depende del uso mantenimiento y conservación del instrumento de medición.
Ubicación	:	
Tipo	:	
Alcance de Indicación	: 0 g- 600 g	Este Certificado de Calibración, no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la aprobación por escrito del Laboratorio emisor.
División de Escala	: 0.01 g	
Div.Verificación escala(e)	: 0.01 g	
Clase de Exactitud	: II	
Procedencia	: U.S.A.	
Fecha de Calibración	: 2020-09-25	
Lugar de Calibración	: Av. Centenario Mza. B, Lte. 9; P.J. Centenario, Apurímac - Abancay	
Método de Calibración		
La Calibración se realizó según el metodo descrito en el PC -011 "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automatico Clase I y Clase II" del SNM-INDECOPI. Cuarta Edición.		



Fecha de Emisión

2020/09/27

Jefe de Laboratorio de Metrología

METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Veronica Luque Sulca

JEFE LABORATORIO

METROLAB Y CALIDAD SAC - LABORATORIO DE METROLOGIA

Dirección: PASAJE SANTIAGO MZA. E, LOTE N° 2, SANTIAGO CUSCO - PERU Teléfono: (084) 206172 Cel: 976 648 580

www.metrolabycalidad.com • metrolab@metrolabycalidad.com • ventas@metrolabycalidad.com • metrolabycalidad@gmail.com



METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Laboratorio de Metrología - Servicio con Tecnología y Calidad

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 169- LM - 2020

LABORATORIO DE MASA

Página 2 de 4

Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura (°C)	24.4	24.9
Humedad Relativa (%HR)	44.8	42.8

Patrones de Referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP)

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
Pesas (Clase de Exactitud E1) METTLER TOLEDO IM-1122 / B437009650	Pesas (Clase de Exactitud M2)	METROIL - INACAL LM-0659-2019 EXP. 76280- 2019
Pesas (Clase de Exactitud E1) METTLER TOLEDO IM-1122 / B437009650	Pesas (Clase de Exactitud M2)	METROIL - INACAL LM-0659-2019 EXP. 76280- 2019
Pesas (Clase de Exactitud E1) METTLER TOLEDO IM-1122 / B437009650	Pesas (Clase de Exactitud M2)	METROIL - INACAL LM-0659-2019 EXP. 76280- 2019
Pesas (Clase de Exactitud E1) METTLER TOLEDO IM-1122 / B437009650	Pesas (Clase de Exactitud M2)	METROIL - INACAL LM-0659-2019 EXP. 76280- 2019

RESULTADOS

INSPECCION VISUAL

Ajuste de Cero	SI
Oscilación Libre	SI
Plataforma	SI
Sistema de Traba	SI

Escala	SI
Cursor	SI
Nivelación	SI



METROLAB Y CALIDAD S.A.C. - LABORATORIO DE METROLOGIA

Dirección: PASAJE SANTIAGO MZA. E. LOTE N° 2, SANTIAGO CUSCO - PERU Teléfono: (084) 206172 Cel: 976 648 580

www.metrolabycalidad.com

metrolab@metrolabycalidad.com

ventas@metrolabycalidad.com

metrolabycalidad@gmail.com



METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Laboratorio de Metrología - Servicio con Tecnología y Calidad

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 169- LM - 2020

LABORATORIO DE MASA

Página 3 de 4

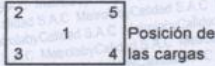
ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Temperatura	Inicial	Final
	24.1 °C	24.6 °C

Medición N°	Carga L1 = 300 (g)		
	l (g)	ΔL (g)	E (g)
1	300.0	0.00	0.00
2	300.0	0.00	0.00
3	300.0	0.00	0.00
4	300.0	0.00	0.00
5	300.0	0.00	0.00
6	300.0	0.00	0.00
7	300.0	0.00	0.00
8	300.0	0.00	0.00
9	300.0	0.00	0.00
10	300.0	0.00	0.00
Diferencia Máxima			0.000
Error Máximo Permissible			± g 0.030

Medición N°	Carga L1 = 600 (g)		
	l (g)	ΔL (g)	E (g)
1	600.0	0.00	0.00
2	600.0	0.00	0.00
3	600.0	0.00	0.00
4	600.0	0.00	0.00
5	600.0	0.00	0.00
6	600.0	0.00	0.00
7	600.0	0.00	0.00
8	600.0	0.00	0.00
9	600.0	0.00	0.00
10	600.0	0.00	0.00
Diferencia Máxima			0.000
Error Máximo Permissible			± g 0.030

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD



Temperatura	Inicial	Final
	24.4	24.6

Posición de Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga * (g)	l (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Minima (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)
1	300.00	300.0	0.00	0.00	600.00	600.0	0.02	-20.02	-20.02
2		300.0	0.00	0.00		600.0	0.00	0.00	0.00
3		300.0	0.00	0.00		600.0	0.00	0.00	0.00
4		300.0	0.01	-10.01		600.0	0.00	0.00	10.01
5		300.0	0.00	0.00		600.0	0.00	0.00	0.00
					Error Máximo Permissible ± g 0.030				

* Valor entre 0 y 10 e



METROLAB Y CALIDAD SAC - LABORATORIO DE METROLOGIA

Dirección: PASAJE SANTIAGO MZA. E. LOTE N° 2, SANTIAGO CUSCO - PERU Teléfono: (084) 206172 Cel: 976 648 580

www.metrolabycalidad.com • metrolab@metrolabycalidad.com • ventas@metrolabycalidad.com • metrolabycalidad@gmail.com



METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Laboratorio de Metrología - Servicio con Tecnología y Calidad

CERTIFICADO DE CALIBRACION N° 169- LM - 2020

LABORATORIO DE MASA

Página 4 de 4

ENSAYO DE PESAJE

	Inicial	Final
Temperatura	24.1 °C	24.6 °C

Carga (g)	Prueba de Ascenso				Prueba de Descenso				e.m.p. (±g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
0.4	0.40	0.000	0.00						
1	1.00	0.001	-1.00	-1.00	1.00	0.000	0.000	0.000	0.02
5	5.00	0.000	0.00	0.00	5.00	0.000	0.000	0.000	0.03
10	10.00	-0.001	1.01	1.01	10.00	0.000	0.000	0.000	0.03
50	50.00	0.000	0.00	0.00	50.00	0.000	0.000	0.000	0.03
100	100.00	0.000	0.00	0.00	100.00	0.000	-0.095	-0.095	0.03
150	150.00	0.000	0.00	0.00	150.00	0.000	0.000	0.000	0.03
200	200.01	-0.010	10.02	10.02	200.00	0.000	0.000	0.000	0.03
300	300.00	0.000	0.00	0.00	300.00	-0.001	1.006	1.006	0.03
400	400.00	0.001	-1.00	-1.00	400.00	-0.001	1.006	1.006	0.03
600	600.00	0.000	0.00	0.00	600.00	0.000	0.000	0.000	0.03

Donde : e.m.p. Error Máximo Permitido para Balanzas de Funcionamiento No Automático
Con Clase de Exactitud I

- I Lectura o Indicación de la Balanza
- ΔL Carga Añadida
- E Error Encontrado
- Eo Error en Cero
- Ec Error Corregido

Lectura Corregida : Rcorregida (kg) = R - 0.00000001313208126 R

Incertidumbre de Medición: U(Kg) = ± 2 x √(0.00000836 + 0.0000000002139 x R²)

Observaciones

Con fines de identificación se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de Calibrado y el número de Certificado de Calibración.

Final del Documento



METROLAB Y CALIDAD SAC - LABORATORIO DE METROLOGIA
 Dirección: PASAJE SANTIAGO MZA. E. LOTE N° 2, SANTIAGO CUSCO - PERU Teléfono: (084) 206172 Cel: 976 648 580
 www.metrolabycalidad.com • metrolab@metrolabycalidad.com • ventas@metrolabycalidad.com • metrolabycalidad@gmail.com



METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Laboratorio de Metrología - Servicio con Tecnología y Calidad

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nº 176-LF-2020

Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 2

Expediente : 014-MYC-2020
Solicitante : MORON ROMERO OSCAR ALBERTO
Dirección : Av. Centenario Mza. B, Lte. 9; P.J. Centenario, Apurimac - Abancay
Instrumento de Medición : Maquinas para Ensayos Uniaxiales Estaticos
Maquinas de Ensayos de Tension/Compresion
Equipo Calibrado : PRENSA CBR - CELDA
Marca : LVA
Modelo : NO INDICA
Número de Serie : NO INDICA
Rango de medición : 5000 kg
Identificación : NO INDICA
Procedencia : NO INDICA
Indicador de Lectura : DIGITAL
Marca : HIGH WEIGHT
Modelo : 315-X8
Numero de Serie : 231279
Identificación : NO INDICA
Alcance de Indicación : 0 kg a 1 kg
Procedencia : CHINA
Resolución : 1 kg
Trasductor de Fuerza : CELDA TIPO S
Alcance de Indicación : -
Marca : ZEMIC
Modelo : H3-C3-5.0t6B
Numero de Serie : P2C026029
Lugar de calibración : Pje. Montevideo D-4 Urb Las Americas - Abancay
Fecha de Calibración : 2020-09-25

La incertidumbre reportada en el presente informe es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$.

La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la expresión de la incertidumbre en la medición".

Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales y/o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el periodo de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio emisor.

La periodicidad de la calibración depende del uso mantenimiento y conservación del instrumento de medición.

Fecha de Emisión

Jefe de Laboratorio de Metrología

Sello

2020-09-27

METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Veronica Luque Sulica
JEFE LABORATORIO



METROLAB Y CALIDAD SAC - LABORATORIO DE METROLOGIA

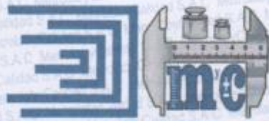
Dirección: PASAJE SANTIAGO MZA. E, LOTE N° 2, SANTIAGO CUSCO - PERU Teléfono: (084) 206172 Cel: 976 648 580

www.metrolabycalidad.com

metrolab@metrolabycalidad.com

ventas@metrolabycalidad.com

metrolabycalidad@gmail.com



METROLAB Y CALIDAD S.A.C.

Laboratorio de Metrología - Servicio con Tecnología y Calidad

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Nº 176-LF-2020

Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 2

Método de Calibración

La calibración se realizó por comparación directa utilizando como referencia la Norma Tec. ASTM E74-13a ASTM C39 y de acuerdo con el cliente se procedió a aplicar los valores de carga indicados en el cuadro.

Patrones de Referencia

Trazabilidad	Patron Utilizado	Certificado de Calibración
Patrones de referencia ilac-MRA - UKAS Calibration	Celda de Carga - Impact Test Equipment	DM22036 - 07 November 2019
Patrones de referencia del SNM-INDECOPI - INACAL	Termometro Patron de Resolucion 0.01°C	METROIL - INACAL LM-661-2019 EXP. 76280-2019
Patrones de referencia del SNM-INDECOPI - INACAL	Termohigometro TESTO-PC-MT-002, Incertidumbre 208 % HR	METROIL - INACAL LT-1733-2019 EXP. 76280-2019

Resultados de medición

Lectura de la máquina (Fi)		Lectura del patrón			Promedio	Calculo de errores		Incertidumbre
		Primera	Segunda	Tercera		Exactitud	Repetibilidad	
%	kgf	kgf	kgf	kgf	kgf	q(%)	b(%)	U(%)
10	500	536.3	536.3	534.6	535.7	-6.7	0.3	0.42
20	1000	1069.8	1027.6	1025.4	1040.9	-3.9	4.3	2.79
30	1500	1521.7	1540.2	1535.6	1532.5	-2.1	1.2	0.77
40	2000	2117.3	2058.8	2085.7	2087.2	-4.2	2.8	1.64
50	2500	2635.6	2583.4	2604.7	2607.9	-4.1	2.0	1.19
60	3000	3173.1	3102.4	3128.2	3134.6	-4.3	2.3	1.34
70	3500	3690.2	3626.6	3633.8	3650.2	-4.1	1.7	1.13
80	4000	4209.6	4135.6	4148.0	4164.4	-3.9	1.8	1.13
90	4500	4712.1	4707.2	4747.4	4722.3	-4.7	0.9	0.59
Lectura máquina en cero		0	0	0	----	0	0	Error máx. de cero(0)=0,00

Temperatura promedio durante los ensayos 24,0 °C Variación de temperatura en cada ensayo < 2 °C

Evaluación de los resultados

De los resultados obtenidos durante la calibración se ha obtenido la siguiente ecuación cuadrática:

$$Y = A * X^2 + B * X + C$$

Donde:

Y = Indicación del Equipo en kgf.

X = Lectura directa del equipo / valores del dial

Los coeficientes obtenidos son:

A = 0.000006

B = 1.019100

C = 17.04100

Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.
- La incertidumbre de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición
- por el factor de cobertura k=2 para una distribución normal de aproximadamente 95%.



Fin del documento

METROLAB Y CALIDAD SAC - LABORATORIO DE METROLOGIA

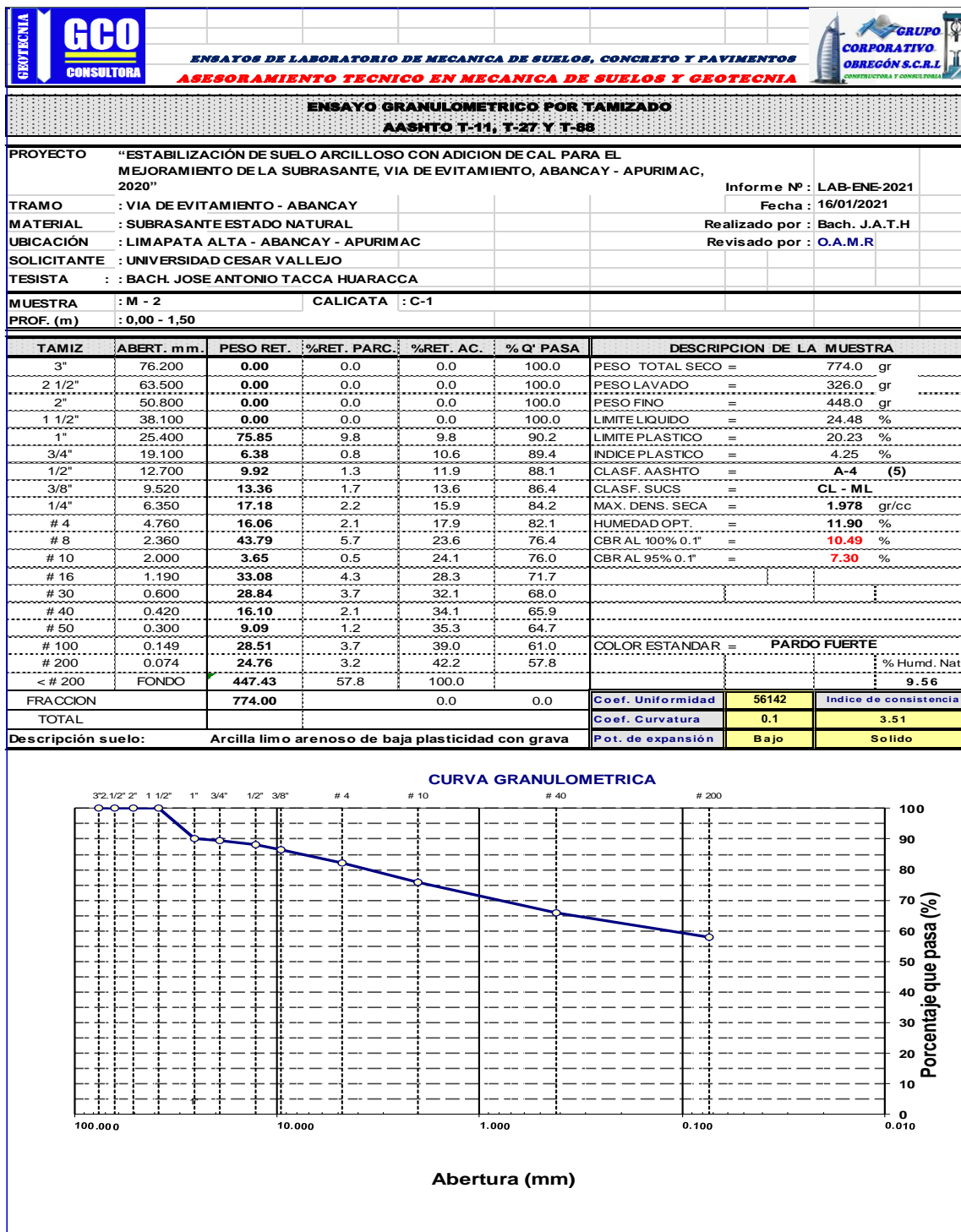
Dirección: PASAJE SANTIAGO MZA. E, LOTE N° 2, SANTIAGO CUSCO - PERU Teléfono: (084) 206172 Cel: 976 648 580

www.metrolabycalidad.com • metrolab@metrolabycalidad.com • ventas@metrolabycalidad.com • metrolabycalidad@gmail.com

Anexo 4. Base de datos de los analisis

Tratamiento	Calicata	Clasf. Aashto	Clasf. Sucs	Pot. de expansión	Peso total seco	Peso lavado	Peso fino	Limite liquido (%)	Limite plastico (%)	Indice plastico (%)	Max. Dens. Seca (gr/cc)	Humedad opt. (%)	Cbr al 100% 0.1" (%)	Cbr al 95% 0.1" (%)	Coef. Uniformidad	Coef. Curvatura	Indice de consistencia
Natural	C1	A-4	CL - ML	Bajo	774	326	448	24.48	20.23	4.25	1.978	11.9	10.49	7.3	56142	0.1	3.51
Natural	C2	A-4	SC - SM	Bajo	621	330	291	24.34	20.25	4.09	2.05	12	14.5	11.5	609	0.3	2.09
Natural	C3	A-4	ML	Bajo	697.5	328	369.5	24.41	20.24	4.17	2.014	11.95	12.495	9.4	28375.5	0.2	2.8
4% CAL	C1	A-4	ML	Bajo	806	326	480	28.45	24.32	4.12	1.958	12.3	24.83	17	89207	0.1	4.58
4% CAL	C2	A-4	SM	Bajo	645.8	330	315.8	23.65	21.53	2.12	2	11.9	33.11	21.4	803	0.3	3.71
4% CAL	C3	A-4	ML	Bajo	725.9	328	397.9	26.05	22.925	3.12	1.979	12.1	28.97	19.2	45005	0.2	4.145
8% CAL	C1	A-4	ML	Bajo	835.9	326	509.9	29.01	23.06	5.95	1.863	12.5	43.16	26.4	136260	0.1	3.27
8% CAL	C2	A-4	ML	Bajo	670.7	330	340.7	23.14	20.51	2.63	1.969	11.5	34.1	23.5	1117	0.3	2.8
8% CAL	C3	A-4	ML	Bajo	753.3	328	425.3	26.075	21.785	4.29	1.916	12	38.63	24.95	68688.5	0.2	3.035
12% CAL	C1	A-4	ML	Bajo	866.9	326	540.9	28.99	23.56	5.43	1.857	11.1	46.83	31	206011	0.1	3.58
12% CAL	C2	A-4	SC - SM	Bajo	621	330	291	25.96	20.8	5.16	1.954	12.2	40.12	26	609	0.3	1.97
12% CAL	C3	A-4	ML	Bajo	743.95	328	415.95	27.475	22.18	5.295	1.9055	11.65	43.475	28.5	103310	0.2	2.775

Anexo 5. Base de datos del analisis de los parametros fisicos y mecanicos



**ENSAYOS DE LÍMITES DE ATTERBERG
AASHTO T-89 Y T-90**

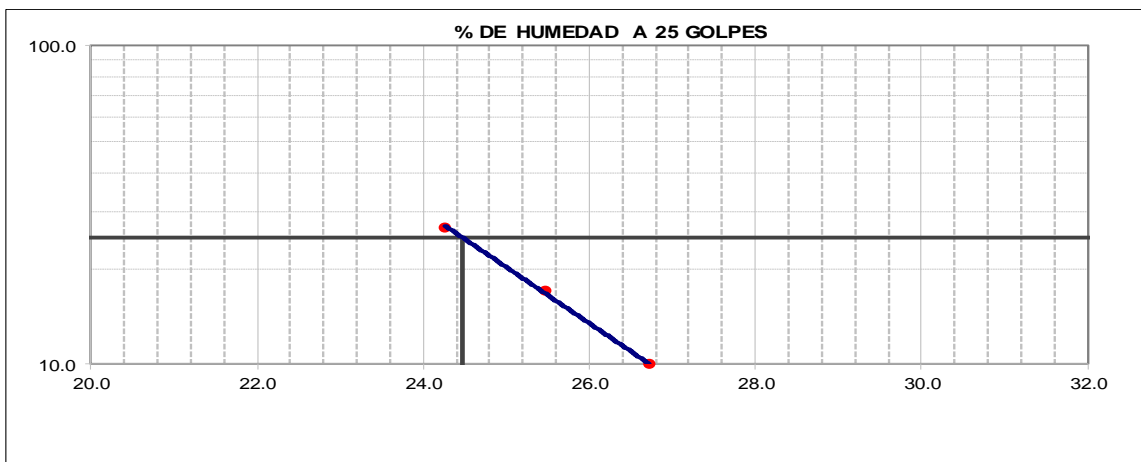
PROYECTO	"ESTABILIZACIÓN DE SUELO ARCILLOSO CON ADICION DE CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE, VIA DE EVITAMIENTO, ABANCAY - APURIMAC, 2020"		Informe Nº : LAB-ENE-2021
TRAMO	VIA DE EVITAMIENTO - ABANCAY		Fecha : 16/01/2021
MATERIAL	SUBRASANTE ESTADO NATURAL		Realizado por : Bach. J.A.T.H
UBICACIÓN	LIMAPATA ALTA - ABANCAY - APURIMAC		Revisado por : O.A.M.R
SOLICITANTE	UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO		
TESISTA	BACH. JOSE ANTONIO TACCA HUARACCA		
MUESTRA	M - 2	CALICATA	C-1
PROF. (m)	0,00 - 1,50		

LIMITE LIQUIDO

Nº TARRO	T-1	T-2	T-3
TARRO + SUELO HUMEDO	34.20	36.25	35.97
TARRO + SUELO SECO	31.16	33.12	32.93
AGUA	3.04	3.13	3.04
PESO DEL TARRO	19.78	20.83	20.40
PESO DEL SUELO SECO	11.38	12.29	12.53
% DE HUMEDAD	26.71	25.47	24.26
Nº DE GOLPES	10	17	27

LIMITE PLASTICO

Nº TARRO	T-4	T-5
TARRO + SUELO HUMEDO	22.44	22.14
TARRO + SUELO SECO	22.20	21.80
AGUA	0.24	0.34
PESO DEL TARRO	21.02	20.11
PESO DEL SUELO SECO	1.18	1.69
% DE HUMEDAD	20.34	20.12

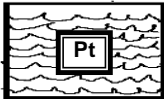
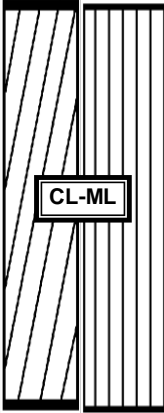


CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO	24.48
LIMITE PLASTICO	20.23
INDICE DE PLASTICIDAD	4.25

24.52

PERFIL ESTRATIGRAFICO DE LA CALICATA

PROYECTO : "ESTABILIZACIÓN DE SUELO ARCILLOSO CON ADICION DE CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE, VIA DE EVITAMIENTO, ABANCAY - APURIMAC, 2020" Informe Nº : LAB-ENE-2021
 TRAMO : VIA DE EVITAMIENTO - ABANCAY Fecha : 16/01/2021
 MATERIAL : SUBRASANTE ESTADO NATURAL Realizado por : Bach. J.A.T.H
 UBICACIÓN : LIMAPATA ALTA - ABANCAY - APURIMAC CALICATA C-1 Revisado por : O.A.M.R
 SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
 TESISISTA : BACH. JOSE ANTONIO TACCA HUARACCA

PROF.	M.	GRAFICO	ESTRATO Espesor (CM.)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	CLASIF.		GRANULOMETRIA			LIMITES			HUM. NAT.
					AASHTO	SUCS	3° A Nro. 4	Nro. 4 a Nro. 200	Menor Nro. 200	L.L.	L.P.	I.P.	
0.00													
0.10			0.00 - 0.30 m.	SUELO ORGANICO									
0.20													
0.30													
0.40			0.30 - 1.50 m.	Arcilla limo arenoso de baja plasticidad con grava	A-4	CL - ML	17.9%	24.3%	57.8%	24.5	20.2	4	9.56
0.50													
0.60													
0.70													
0.80													
0.90													
1.00													
1.10													
1.20													
1.30													
1.40													
1.50													

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
AASHTO - T-180-D

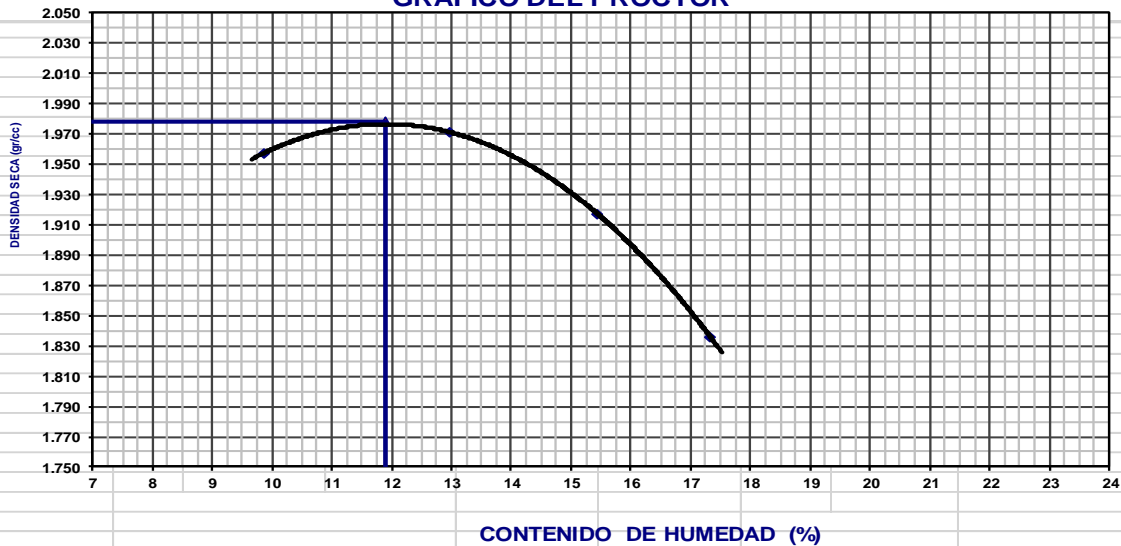
PROYECTO	"ESTABILIZACIÓN DE SUELO ARCILLOSO CON ADICION DE CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE, VIA DE EVITAMIENTO, ABANCAY - APURIMAC, 2020"			Informe Nº	LAB-ENE-2021
TRAMO	: VIA DE EVITAMIENTO - ABANCAY			Fecha	: 16/01/2021
MATERIAL	: SUBRASANTE ESTADO NATURAL			Realizado por	: Bach. J.A.T.H
UBICACIÓN	: LIMAPATA ALTA - ABANCAY - APURIMAC			Revisado por	: O.A.M.R
SOLICITANTE	: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO				
TESISTA	: BACH. JOSE ANTONIO TACCA HUARACCA				
MUESTRA	: M - 2	CALICATA	: C-1		
PROF. (m)	: 0,00 - 1,50				

VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	944				PESO DEL MOLDE (gr.) :	4265				
NUMERO DE ENSAYOS					1	2	3	4		
PESO SUELO + MOLDE					6294	6367	6354	6298		
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO					2029	2102	2089	2033		
PESO VOLUMETRICO HUMEDO					2.150	2.227	2.213	2.154		

CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE Nro.	10	11	12	13	
PESO SUELO HUMEDO + TARA	302.10	301.20	305.70	301.30	
PESO SUELOS SECO + TARA	275.00	266.60	264.80	256.80	
PESO DE LA TARA	0.00	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA	27.10	34.60	40.90	44.50	
PESO DE SUELO SECO	275.00	266.60	264.80	256.80	
CONTENIDO DE AGUA	9.85	12.98	15.45	17.33	
PESO VOLUMETRICO SECO	1.957	1.971	1.917	1.836	

DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.978	gr/cc	HUMEDAD OPTIMA:	11.90
-----------------------	-------	-------	-----------------	-------

GRAFICO DEL PROCTOR



ENSAYO DE CBR
AASHTO T-193

PROYECTO	"ESTABILIZACIÓN DE SUELO ARCILLOSO CON ADICION DE CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE, VIA DE EVITAMIENTO, ABANCAY - APURIMAC, 2020"	Informe Nº:	LAB-ENE-2021
TRAMO	VIA DE EVITAMIENTO - ABANCAY	Fecha:	16/01/2021
MATERIAL	SUBRASANTE ESTADO NATURAL	Realizado por:	Bach. J.A.T.H
UBICACIÓN	LIMAPATA ALTA - ABANCAY - APURIMAC	Revisado por:	O.A.M.R
SOLICITANTE	UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO		
TESISTA	BACH. JOSE ANTONIO TACCA HUARACCA		
MUESTRA	M - 2 CALICATA : C-1		
PROF. (m)	0,00 - 1,50		

	1		2		3	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Molde Nº	1		2		3	
Nº Capa	5		5		5	
Golpes por capa Nº	56		25		12	
Cond. de la muestra						
Peso molde + suelo húmedo (gr)	12265	12295	12040	12092	11520	11598
Peso de molde (gr)	7531	7531	7670	7670	7373	7373
Peso del suelo húmedo (gr)	4735	4765	4370	4422	4147	4225
Volumen del molde (cm3)	2124	2124	2108	2108	2087	2087
Densidad húmeda (gr/cm3)	2.229	2.243	2.073	2.098	1.987	2.025
Humedad (%)	11.8	12.6	11.9	13.6	11.9	14.4
Densidad seca (gr/cm3)	1.994	1.992	1.852	1.846	1.776	1.771
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr)	512.3	512.3	502.7	502.7	505.2	505.2
Tarro + Suelo seco (gr)	458.4	455.0	449.2	442.4	451.5	441.8
Peso del Agua (gr)	53.9	57.3	53.5	60.3	53.7	63.4
Peso del tarro (gr)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso del suelo seco (gr)	458.4	455.0	449.2	442.4	451.5	441.8
Humedad (%)	11.8	12.6	11.9	13.6	11.9	14.4
Promedio de Humedad (%)	11.8	12.6	11.9	13.6	11.9	14.4

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
15/01/2021	8:30 a. m.	0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.000	0.0
16/01/2021	8:30 a. m.	24	5.0	0.05	0.0	4.0	0.04	0.0	3.0	0.030	0.0
17/01/2021	8:30 a. m.	48	13.0	0.13	0.1	16.0	0.16	0.1	19.0	0.190	0.2
18/01/2021	8:30 a. m.	72	20.0	0.20	0.2	22.0	0.22	0.2	48.0	0.480	0.4
19/01/2021	8:30 a. m.	96	28.0	0.28	0.2	56.0	0.56	0.5	81.0	0.810	0.7

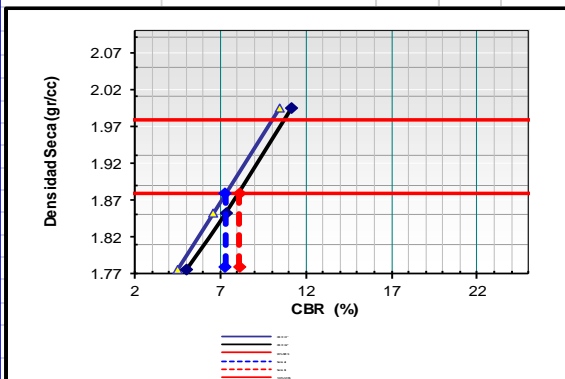
PENETRACION

PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE Nº 1				MOLDE Nº 2				MOLDE Nº 3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.025		35.2	1.8			15.7	0.8			12.8	0.7		
0.050		81.2	4.2			44.5	2.3			43.8	2.3		
0.075		113.9	5.9			86.8	4.5			57.6	3.0		
0.100	70	151.9	7.85	7.38	10.5	99.4	5.1	4.64	6.6	70.2	3.6	3.15	4.5
0.150		189.2	9.8			123.0	6.4			80.2	4.1		
0.200	105.46	241.3	12.5	11.77	11.2	134.3	6.9	7.71	7.3	97.5	5.0	5.31	5.0
0.300		273.6	14.1			198.2	10.2			147.6	7.6		
0.400		334.6	17.3			212.6	11.0			182.3	9.4		

ENSAYO DE CBR
AASHTO T-193

PROYECTO	"ESTABILIZACIÓN DE SUELO ARCILLOSO CON ADICION DE CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE, VIA DE EVITAMIENTO, ABANCAY - APURIMAC, 2020"	Informe Nº : LAB-ENE-2021
TRAMO	: VIA DE EVITAMIENTO - ABANCAY	Fecha : 16/01/2021
MATERIAL	: SUBRASANTE ESTADO NATURAL	Realizado por : Bach. J.A.T.H
UBICACIÓN	: LIMAPATA ALTA - ABANCAY - APURIMAC	Revisado por : O.A.M.R
SOLICITANTE	: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	
TESISTA	: BACH. JOSE ANTONIO TACCA HUARACCA	
MUESTRA	: M - 2	CALICATA : C-1
PROF. (m)	: 0.00 - 1.50	

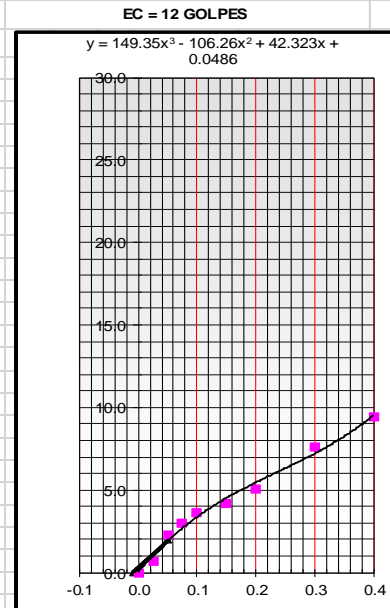
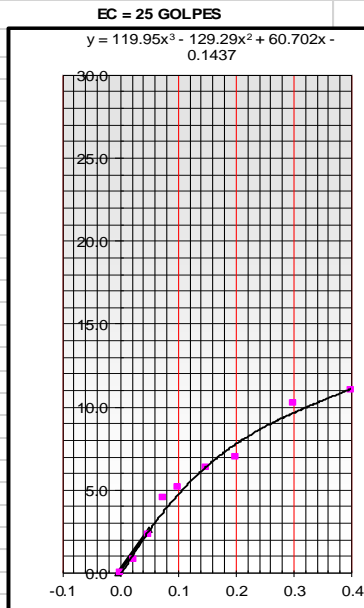
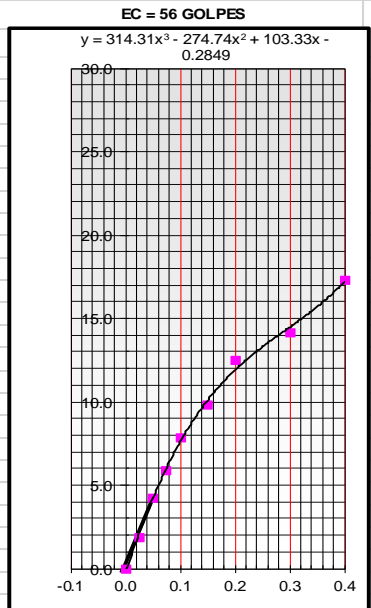
GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	10.49	0.2"	11.2
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	7.30	0.2"	8.10

Datos del Proctor		
Densidad Seca	1.978	gr/cc
Optimo Humedad	11.90	%

OBSERVACIONES:



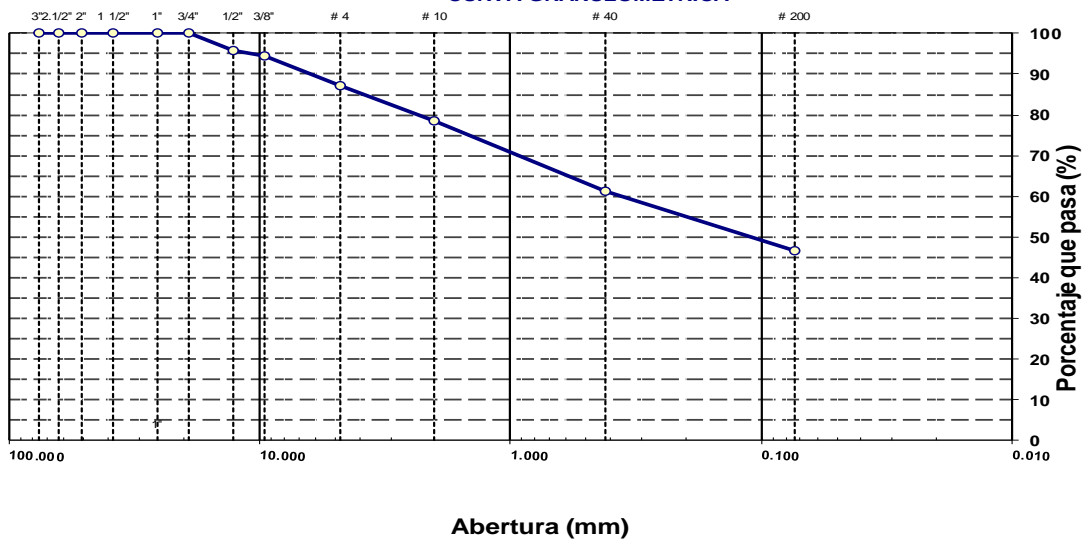
**ENSAYO GRANULOMETRICO POR TAMIZADO
AASHTO T-11, T-27 Y T-88**

PROYECTO	"ESTABILIZACIÓN DE SUELO ARCILLOSO CON ADICION DE CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE, VIA DE EVITAMIENTO, ABANCAY - APURIMAC, 2020"	Informe Nº	: LAB-ENE-2021
TRAMO	: VIA DE EVITAMIENTO - ABANCAY	Fecha	: 22/01/2021
MATERIAL	: SUBRASANTE CON ADICION DE 12 % DE CAL	Realizado por	: Bach. J.A.T.H
UBICACIÓN	: LIMAPATA ALTA - ABANCAY - APURIMAC	Revisado por	: O.A.M.R
SOLICITANTE	: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO		
TESISTA	: BACH. JOSE ANTONIO TACCA HUARACCA		
MUESTRA	: M - 2	CALICATA	: C-2
PROF. (m)	: 0,00 - 1,50		

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200	0.00	0.0	0.0	100.0	PESO TOTAL SECO = 621.0 gr
2 1/2"	63.500	0.00	0.0	0.0	100.0	PESO LAVADO = 330.0 gr
2"	50.800	0.00	0.0	0.0	100.0	PESO FINO = 291.0 gr
1 1/2"	38.100	0.00	0.0	0.0	100.0	LIMITE LIQUIDO = 25.96 %
1"	25.400	0.00	0.0	0.0	100.0	LIMITE PLASTICO = 20.80 %
3/4"	19.100	0.00	0.0	0.0	100.0	INDICE PLASTICO = 5.16 %
1/2"	12.700	26.29	4.2	4.2	95.8	CLASF. AASHTO = A-4 (3)
3/8"	9.520	8.98	1.5	5.7	94.3	CLASF. SUCS = SC - SM
1/4"	6.350	28.76	4.6	10.3	89.7	MAX. DENS. SECA = 1.954 gr/cc
# 4	4.760	15.24	2.5	12.8	87.2	HUMEDAD OPT. = 12.20 %
# 8	2.360	47.50	7.7	20.4	79.6	CBR AL 100% 0.1" = 40.12 %
# 10	2.000	5.64	0.9	21.3	78.7	CBR AL 95% 0.1" = 26.00 %
# 16	1.190	47.66	7.7	29.0	71.0	
# 30	0.600	40.38	6.5	35.5	64.5	
# 40	0.420	19.76	3.2	38.7	61.3	
# 50	0.300	12.07	1.9	40.6	59.4	
# 100	0.149	45.60	7.3	48.0	52.1	COLOR ESTANDAR = ROJO OSCURO
# 200	0.074	32.61	5.3	53.2	46.8	% Humd. Nat.
< # 200	FONDO	290.51	46.8	100.0		15.78
FRACCION		621.00		0.0	0.0	Coef. Uniformidad = 609
TOTAL						Indice de consistencia = 0.3
						Pot. de expansión = 1.97
						Bajo
						Solido

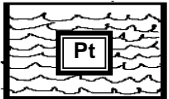

Descripción suelo: Arena limo arcillosa

CURVA GRANULOMETRICA



PERFIL ESTRATIGRAFICO DE LA CALICATA

PROYECTO : "ESTABILIZACIÓN DE SUELO ARCILLOSO CON ADICION DE CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE, VIA DE EVITAMIENTO, ABANCAY - APURIMAC, 2020" Informe Nº : LAB-ENE-2021
 TRAMO : VIA DE EVITAMIENTO - ABANCAY Fecha : 22/01/2021
 MATERIAL : SUBRASANTE CON ADICION DE 12 % DE CAL Realizado por : Bach. J.A.T.H
 UBICACIÓN : LIMAPATA ALTA - ABANCAY - APURIMAC CALICATA C-2 Revisado por : O.A.M.R
 SOLICITANTE : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
 TESISISTA : BACH. JOSE ANTONIO TACCA HUARACCA

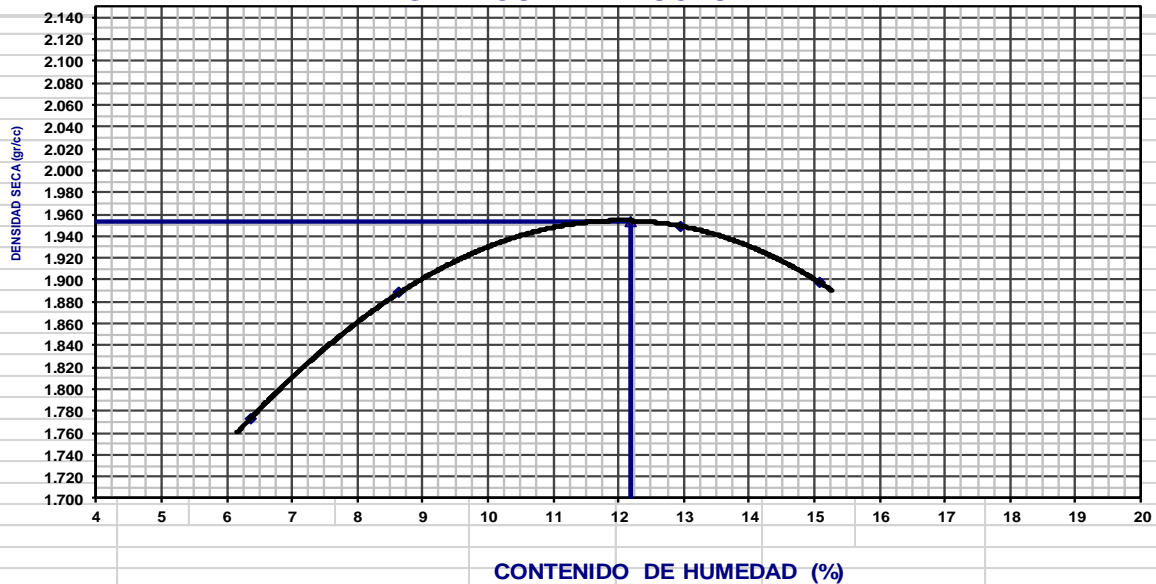
PROF.	M.	GRAFICO	ESTRATO Espesor (CM.)	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	CLASIF.		GRANULOMETRIA			LIMITES			HUM. NAT.
					AASHTO	SUCS	3° A Nro. 4	Nro. 4 a Nro. 200	Menor Nro. 200	L.L.	L.P.	I.P.	
0.00													
0.10				SUELO ORGANICO									
0.20			0.00 - 0.30 m.										
0.30													
0.40				Arena limo arcillosa	A-4	SC - SM	12.8%	46.8%	26.0	20.8	5	15.78	
0.50													
0.60													
0.70													
0.80													
0.90													
1.00													
1.10													
1.20													
1.30													
1.40													
1.50			0.30- 1.50 m.										

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO
AASHTO - T-180-D

PROYECTO	"ESTABILIZACIÓN DE SUELO ARCILLOSO CON ADICION DE CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE, VIA DE EVITAMIENTO, ABANCAY - APURIMAC, 2020"		Informe Nº : LAB-ENE-2021
TRAMO	VIA DE EVITAMIENTO - ABANCAY		Fecha : 22/01/2021
MATERIAL	SUBRASANTE CON ADICION DE 12 % DE CAL		Realizado por : Bach. J.A.T.H
UBICACIÓN	LIMAPATA ALTA - ABANCAY - APURIMAC		Revisado por : O.A.M.R
SOLICITANTE	UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO		
TESISTA	BACH. JOSE ANTONIO TACCA HUARACCA		
MUESTRA	M - 2	CALICATA	C-2
PROF. (m)	0,00 - 1,50		

VOLUMEN DEL MOLDE (cm3)	944		PESO DEL MOLDE (gr.) :	4264	
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4	
PESO SUELO + MOLDE	6044	6201	6342	6326	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	1780	1937	2078	2062	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1.885	2.052	2.202	2.184	
CONTENIDO DE HUMEDAD:					
RECIPIENTE Nro.	10	11	12	13	
PESO SUELO HUMEDO + TARA	304.30	304.20	304.10	306.20	
PESO SUELOS SECO + TARA	286.10	280.00	269.20	266.10	
PESO DE LA TARA	0.00	0.00	0.00	0.00	
PESO DE AGUA	18.20	24.20	34.90	40.10	
PESO DE SUELO SECO	286.10	280.00	269.20	266.10	
CONTENIDO DE AGUA	6.36	8.64	12.96	15.07	
PESO VOLUMETRICO SECO	1.773	1.888	1.949	1.898	
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1.954	gr/cc	HUMEDAD OPTIMA:	12.20	

GRAFICO DEL PROCTOR



ENSAYO DE CBR
AASHTO T-193

PROYECTO	"ESTABILIZACIÓN DE SUELO ARCILLOSO CON ADICION DE CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE, VIA DE EVITAMIENTO, ABANCAY - APURIMAC, 2020"		Informe N°	LAB-ENE-2021
TRAMO	VIA DE EVITAMIENTO - ABANCAY		Fecha	22/01/2021
MATERIAL	SUBRASANTE CON ADICION DE 12 % DE CAL		Realizado por	Bach. J.A.T.H
UBICACIÓN	LIMAPATA ALTA - ABANCAY - APURIMAC		Revisado por	O.A.M.R
SOLICITANTE	UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO			
TESISTA	BACH. JOSE ANTONIO TACCA HUARACCA			
MUESTRA	M - 2	CALICATA : C-2		
PROF. (m)	0,00 - 1,50			

Cond. de la muestra		1		2		3	
		NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Molde N°		1		2		3	
N° Capa		5		5		5	
Golpes por capa N°		56		25		12	
Peso molde + suelo húmedo	(gr)	12219	12249	12029	12081	11469	11547
Peso de molde	(gr)	7537	7537	7675	7675	7378	7378
Peso del suelo húmedo	(gr)	4682	4712	4354	4406	4091	4169
Volumen del molde	(cm3)	2124	2124	2108	2108	2087	2087
Densidad húmeda	(gr/cm3)	2.204	2.218	2.065	2.090	1.960	1.998
Humedad	(%)	12.3	13.1	12.1	13.8	12.0	14.4
Densidad seca	(gr/cm3)	1.963	1.961	1.843	1.837	1.751	1.746
Tarro N°		-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo	(gr)	501.2	501.2	503.1	503.1	502.7	502.7
Tarro + Suelo seco	(gr)	446.5	443.1	449.0	442.2	449.0	439.3
Peso del Agua	(gr)	54.7	58.1	54.1	60.9	53.7	63.4
Peso del tarro	(gr)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso del suelo seco	(gr)	446.5	443.1	449.0	442.2	449.0	439.3
Humedad	(%)	12.3	13.1	12.1	13.8	12.0	14.4
Promedio de Humedad	(%)	12.3	13.1	12.1	13.8	12.0	14.4

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
22/01/2021	8:30 a. m.	0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	0.000	0.0
23/01/2021	8:30 a. m.	24	5.0	0.05	0.0	4.0	0.04	0.0	3.0	0.030	0.0
24/01/2021	8:30 a. m.	48	13.0	0.13	0.1	16.0	0.16	0.1	19.0	0.190	0.2
25/01/2021	8:30 a. m.	72	20.0	0.20	0.2	22.0	0.22	0.2	48.0	0.480	0.4
26/01/2021	8:30 a. m.	96	28.0	0.28	0.2	56.0	0.56	0.5	81.0	0.810	0.7

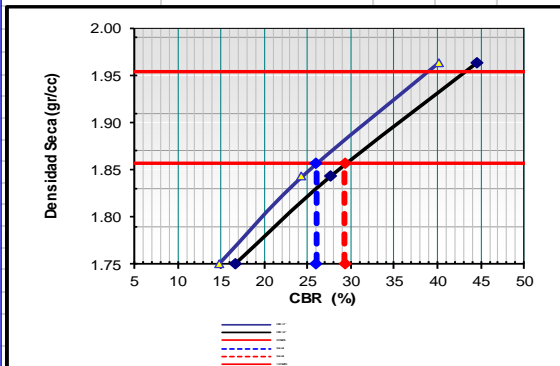
PENETRACION

PENETRACION pulg	CARGA STAND. kg/cm2	MOLDE N° 1				MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
		Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%	Dial (div)	kg/cm2	kg/cm2	%
0.000		0.0	0.0			0.0	0.0			0.0	0.0		
0.025		0.6	0.0			0.4	0.0			0.8	0.0		
0.050		235.8	12.2			150.2	7.8			74.3	3.8		
0.075		399.1	20.6			231.0	11.9			154.2	8.0		
0.100	70	584.7	30.21	28.21	40.1	337.0	17.4	17.11	24.3	210.5	10.9	10.36	14.7
0.150		711.6	36.8			436.5	22.6			259.3	13.4		
0.200	105.46	926.7	47.9	47.07	44.6	594.0	30.7	29.15	27.6	348.0	18.0	17.52	16.6
0.300		1082.2	55.9			689.8	35.6			417.8	21.6		
0.400		1225.4	63.3			876.3	45.3			523.7	27.1		

ENSAYO DE CBR
AASHTO T-193

PROYECTO	"ESTABILIZACIÓN DE SUELO ARCILLOSO CON ADICION DE CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE, VIA DE EVITAMIENTO, ABANCAY - APURIMAC, 2020"		Informe Nº : LAB-ENE-2021
TRAMO	: VIA DE EVITAMIENTO - ABANCAY		Fecha : 22/01/2021
MATERIAL	: SUBRASANTE CON ADICION DE 12 % DE CAL		Realizado por : Bach. J.A.T.H
UBICACIÓN	: LIMAPATA ALTA - ABANCAY - APURIMAC		Revisado por : O.A.M.R
SOLICITANTE	: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO		
TESISTA	: BACH. JOSE ANTONIO TACCA HUARACCA		
MUESTRA	: M - 2	CALICATA : C-2	
PROF. (m)	: 0,00 - 1,50		

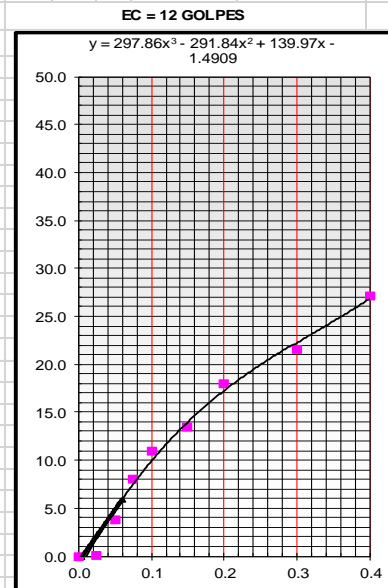
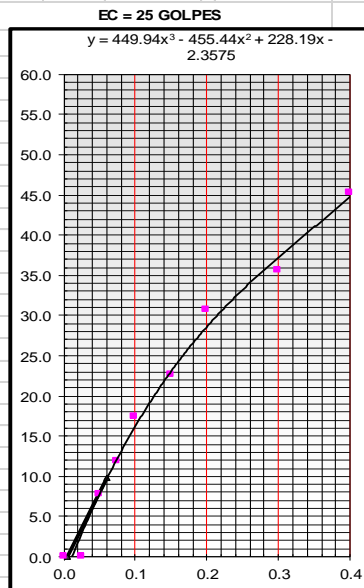
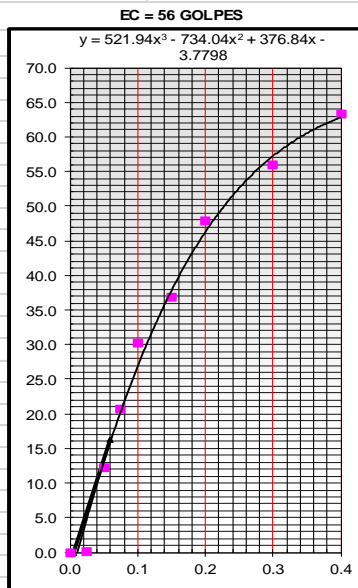
GRAFICO DE PENETRACION DE CBR



C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	40.12	0.2"	44.6
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	26.00	0.2"	29.30

Datos del Proctor		
Densidad Seca	1.954	gr/c
Optimo Humedad	12.20	%

OBSERVACIONES:

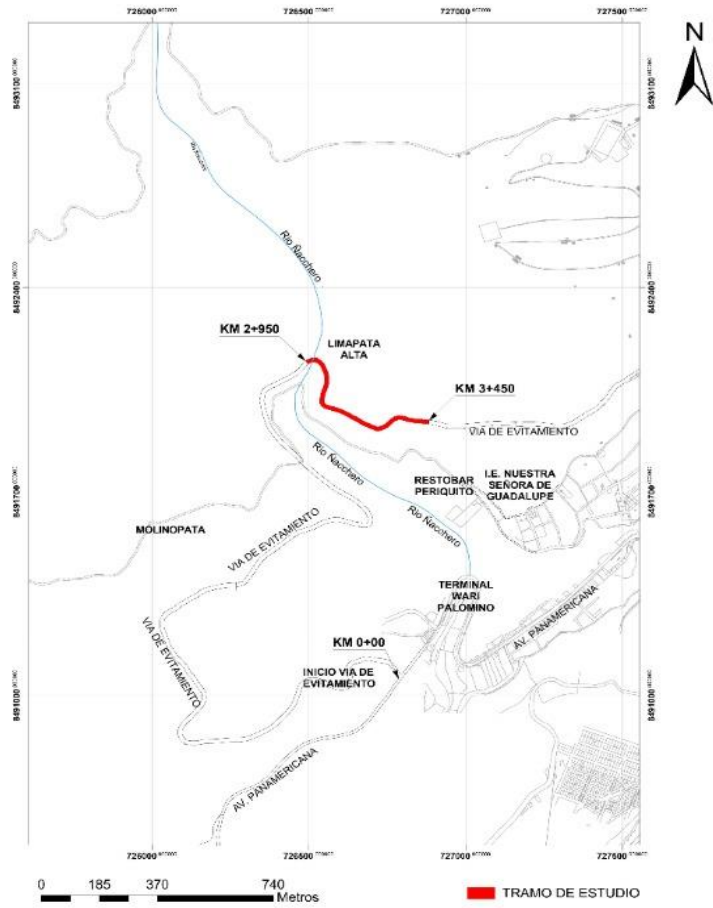


Anexo 6. Planos de la micro localización y macro localización

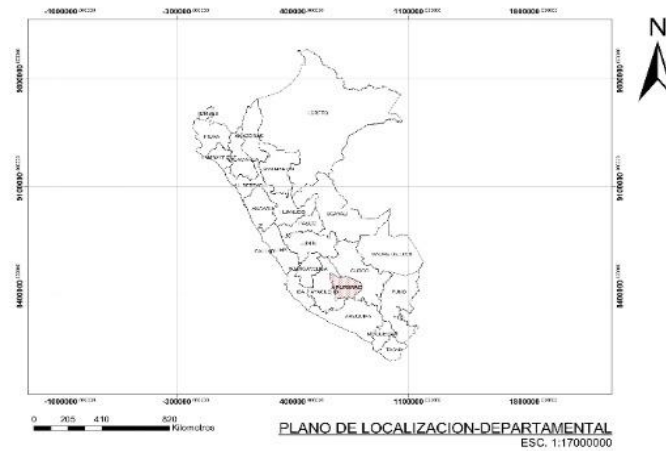


- LEYENDA**
- TRAMO DE ESTUDIO
 - CALICATA

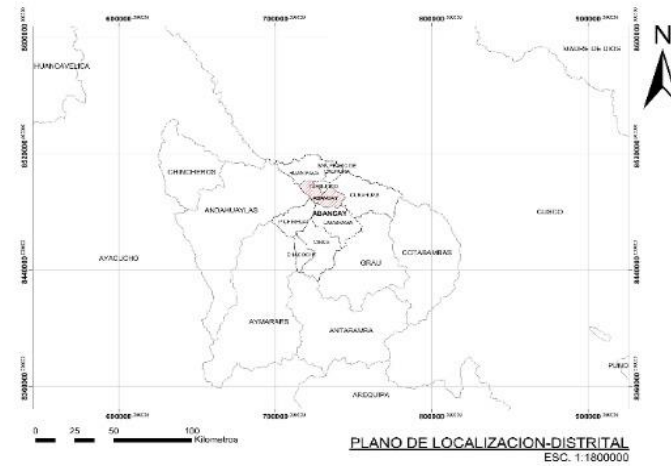
	"ESTABILIZACIÓN DE SUELO ARCILLOSO CON ADICIÓN DE CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE. VÍA DE EVITAMIENTO, ABANCAY - APURÍMAC, 2020"		ESCALA: INDICADA
	UBICACIÓN RUTA : Vía de evitamiento KM 2+950 - KM 3+450 DISTRITO : Abancay PROVINCIA : Abancay DEPARTAMENTO : Apurímac		FECHA: 13 / 02 / 21
	PRESENTADO POR: Bach. José Antonio Tacca Huaraca		



PLANO DE LOCALIZACION-VIA DE EVITAMIENTO
ESC. 1:9000



PLANO DE LOCALIZACION-DEPARTAMENTAL
ESC. 1:17000000



PLANO DE LOCALIZACION-DISTRITAL
ESC. 1:1800000

	"ESTABILIZACIÓN DE SUELO ARCILLOSO CON ADICIÓN DE CAL PARA EL MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE. VÍA DE EVITAMIENTO, ABANCAY - APURÍMAC, 2020"	
	UBICACIÓN	
	RUTA	: Vía de evitamiento KM 2+950 - KM 3+450
	DISTRITO	: Abancay
	PROVINCIA	: Apurímac
DEPARTAMENTO	: Apurímac	
PRESENTADO POR:	Bach. José Antonio Tacca Huaraca	
ESCALA:	INDICADA	
FECHA:	13 / 02 / 21	